

AI白書

Artificial Intelligence White Paper

独立行政法人情報処理推進機構 AI白書編集委員会 編

2019

企業を変えるAI
世界と日本の選択



独立行政法人 情報処理推進機構
Information-technology Promotion Agency, Japan

発行にあたって

近年、人工知能 (AI) への注目は一層の高まりを見せており、世界の各国の幅広い産業分野において積極的な取組みが進められております。中でも米国及び中国における進展は目覚ましく、官民一体となった社会実装が図られています。AI技術を使いこなすことが国や産業の行く末を決める鍵となっているといっても過言ではありません。

我が国におきましても、国や先進的なAI企業においてAIの社会実装が進められているとはいえ、先導的な産業分野にとどまり、なかなか幅広い分野における実用化には至っていないのが実情です。AIの実装を推進していくためには、AIを導入する側の企業の現場の方々のAIリテラシー向上やその経営層の方々のAI導入の事業的決断を促進したり、社会のAIに対する受容性を引き上げたりするなど、AIの理解をより深めることが必要と考えております。

IPAは2017年7月、AIの先進技術や利用動向などを取りまとめた『AI白書2017』を刊行、1万部近く部数を重ねてまいりました。このたび、ユーザー企業の経営層や現場の方々にもAIの必要性や有効性、米国・中国に大きく後れを取っている現状をより深く理解いただくため、有識者の対談、社会実装課題、中国動向などを特集とした『AI白書2019』を発行する運びとなりました。

本書はまず、我が国の産業の問題やAIによる取組みの方向性について明快にお伝えするため、編集委員とゲストによる対談を冒頭に設けています。技術動向は新しい内容に全面的に更新、利用動向はAI導入の参考となる250件超の事例によるアップデートを行っています。また、現地調査にもとづく中国のAI最新動向、2017年度にIPAが実施したAI社会実装推進調査やアンケート調査の詳細報告など、AI導入に有効となる豊富なデータも提供しております。

産業構造が大きく変化し始めている中、本書をユーザー企業の経営層や現場を含めた多くの方々のより深いAI理解のために活用頂き、AIの実装を進めていただくことにより、産業高度化やイノベーション、ひいては社会の活性化やよりよい生活の実現につながることを期待しています。

最後に本書を取りまとめるにあたって、調査や執筆のご協力をいただいた皆様や、編集委員会において、ご尽力いただいた皆様方に対し、心から敬意を表するとともに、厚く御礼申し上げます。

IPA (独立行政法人情報処理推進機構)
理事長

富田 達夫



目次

| | |
|--|----|
| 発行にあたって | 1 |
| 第1章 AIが壊すもの、創るもの | 7 |
| 【対談1】AI経営と日本の目指すべき道 | |
| 富山和彦(株式会社経営共創基盤代表取締役CEO)×中島秀之(本書編集委員長) | 8 |
| 【対談2】感情価値や欲望の部分をAIで勝ちに行け | |
| 尾原和啓(Professional Connector、ITジャーナリスト)×松尾豊(本書編集委員) | 16 |
| AIは決してブームではない。産業構造の転換である | 24 |
| 第2章 技術動向 | 33 |
| 2.1 総論(技術の全体像、マッピング) | 34 |
| 2.2 ディープラーニング | 35 |
| 2.2.1 ディープラーニングの躍進 | 35 |
| 2.2.2 ディープラーニングとは(特長、仕組みの概要など) | 36 |
| 2.2.3 画像認識技術とその飛躍的進歩 | 40 |
| 2.2.4 時系列データ処理への展開 | 42 |
| 2.2.5 最新の技術動向 | 43 |
| 2.2.6 ディープラーニングを端緒とする人工知能の発展 | 46 |
| 2.2.7 ディープラーニングの計算原理と実装技術 | 48 |
| 2.2.8 今後の展望 | 50 |
| 2.3 自然言語処理 | 52 |
| 2.3.1 文書分類 | 52 |
| 2.3.2 言語の構造解析 | 53 |
| 2.3.3 言語資源 | 55 |
| 2.3.4 テキスト生成を伴う研究課題 | 56 |
| 2.4 知識処理とデータ | 59 |
| 2.4.1 AIとデータ及び知識の関わり方の経時的俯瞰 | 59 |
| 2.4.2 ビッグデータの状況と課題 | 61 |
| 2.4.3 知識を巡る状況 | 68 |
| 2.5 身体性とロボティクス | 74 |
| 2.5.1 深層学習の現状 | 75 |
| 2.5.2 深層学習によるロボットの運動生成 | 75 |
| 2.5.3 認知発達ロボティクスの考え方 | 79 |
| 2.5.4 認知発達ロボティクスにおける身体性と社会的相互作用、自己概念の発達 | 80 |
| 2.5.5 人工意識に関する認知神経科学的考察 | 90 |
| 2.5.6 おわりに | 92 |
| 2.6 AIと社会 | 94 |

| | | |
|-------------------|--|------------|
| 2.6.1 | 社会システムデザインの必要性 | 94 |
| 2.6.2 | 社会的意思決定システム | 94 |
| 2.6.3 | 会社組織と働き方 | 95 |
| 2.6.4 | 経済システム | 96 |
| 2.6.5 | モビリティ | 97 |
| 2.6.6 | 医療 | 98 |
| 2.6.7 | 教育 | 98 |
| 2.7 | AI人材の育成 | 100 |
| 2.7.1 | AI人材育成の全体イメージ | 100 |
| 2.7.2 | スキル標準／認定・検定制度 | 101 |
| 2.7.3 | 学校教育による人材育成 | 103 |
| 2.7.4 | 産学官連携による人材育成 | 105 |
| 2.7.5 | 民間主導の人材確保・育成戦略 | 106 |
| 2.7.6 | 学び直し、リカレント教育 | 108 |
| 2.7.7 | ユーザー企業のリテラシー | 110 |
| 2.8 | 開発基盤 | 112 |
| 2.8.1 | 基本原理 | 113 |
| 2.8.2 | クラウド側基盤(ディープラーニング向け計算インフラストラクチャーの動向、ABCI)... | 120 |
| 2.8.3 | エッジ側基盤(推論用のプロセッサ技術と計算デバイスの動向) | 127 |
| 2.8.4 | 次世代AIインフラストラクチャー・ハードウェア | 131 |
| 2.9 | 標準化・オープンプラットフォーム | 138 |
| 2.9.1 | 標準化 | 138 |
| 2.9.2 | オープンソース | 140 |
| 2.9.3 | クラウドを利用したAIと開発環境 | 141 |
| 2.9.4 | 共有データセット・共有モデル | 144 |
| 2.9.5 | オープンプラットフォーム、エコシステム | 147 |
| 2.10 | 各国の研究開発 | 149 |
| 2.10.1 | 各国の研究開発の現状 | 149 |
| 2.10.2 | グランドチャレンジ | 178 |
| 2.11 | 今後の展望 | 190 |
| 【column01】 | AIによるクリエイティブの可能性／川上量生 | 192 |
| 【column02】 | 機械学習工学／丸山宏 | 196 |
| 【column03】 | 構成的計算神経科学／浅田稔 | 200 |
| 第3章 | 利用動向 | 207 |
| 3.1 | 総論 | 208 |
| 3.2 | 技術分野別のディープラーニングの利用動向 | 209 |
| 3.2.1 | 認識技術の利用動向 | 210 |
| 3.2.2 | 運動の習熟 | 220 |
| 3.2.3 | 言語の意味理解と生成 | 222 |
| 3.3 | 国内における利用動向 | 224 |

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| 3.3.1 | 製造業における利用動向 | 224 |
| | 取組み事例：株式会社IHI | 227 |
| | 取組み事例：オムロン株式会社 | 229 |
| | 取組み事例：ダイキン工業株式会社 | 230 |
| | 取組み事例：ルネサスエレクトロニクス株式会社 | 231 |
| 3.3.2 | 自動車産業における利用動向 | 232 |
| | 取組み事例：株式会社ZMP | 239 |
| | 取組み事例：NVIDIA | 241 |
| 3.3.3 | インフラにおける利用動向 | 243 |
| 3.3.4 | 農業における利用動向 | 243 |
| 3.3.5 | 健康・医療・介護における利用動向 | 247 |
| 3.3.6 | 防犯・防災における利用動向 | 250 |
| 3.3.7 | エネルギー分野における利用動向 | 252 |
| 3.3.8 | 教育における利用動向 | 253 |
| 3.3.9 | 金融業における利用動向 | 254 |
| 3.3.10 | 物流における利用動向 | 257 |
| 3.3.11 | 流通業における利用動向 | 259 |
| | 取組み事例：株式会社ABEJA | 262 |
| 3.3.12 | 行政における利用動向 | 263 |
| 3.3.13 | その他の利用動向 | 265 |
| 3.4 | 海外における利用動向 | 269 |
| 3.4.1 | 製造業における利用動向 | 269 |
| | 取組み事例：Siemens | 269 |
| 3.4.2 | 自動車産業における利用動向 | 270 |
| 3.4.3 | インフラにおける利用動向 | 273 |
| 3.4.4 | 農業における利用動向 | 274 |
| 3.4.5 | 健康・医療・介護における利用動向 | 274 |
| 3.4.6 | エネルギー分野における利用動向 | 276 |
| 3.4.7 | 教育における利用動向 | 277 |
| 3.4.8 | 金融業における利用動向 | 278 |
| 3.4.9 | 物流における利用動向 | 279 |
| 3.4.10 | 流通業における利用動向 | 280 |
| 3.5 | AI導入予算・AI市場の規模 | 281 |
| 3.5.1 | AI導入予算の規模 | 281 |
| 3.5.2 | AI市場の規模 | 282 |
| 3.6 | 今後の展望 | 287 |
| 特集 | データで見る中国のAI動向 | 288 |
| 1. | 世界におけるAIの動向と躍進する中国 | 289 |
| 2. | 中国人工知能市場規模 | 294 |
| 3. | 中国のAIリーディングカンパニー | 296 |
| 4. | 中国の有力AIベンチャー企業 | 304 |
| 5. | 個別技術分野ごとの有力企業 | 306 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 6. 産業応用分野ごとの有力企業 | 310 |
| 7. AIに関する中国政府の制度、政策 | 313 |
| 8. 人材育成政策 | 317 |
| 9. 倫理的問題及び安全性への対応 | 319 |
| 資料A 企業におけるAI利用動向アンケート調査 | 321 |
| A.1 調査目的及び調査概要 | 321 |
| A.2 回答企業の属性 | 322 |
| A.3 AIの利活用状況 | 323 |
| A.4 導入目的 | 325 |
| A.5 AIを適用する業務分野 | 327 |
| A.6 活用中／検討中のAI技術 | 329 |
| A.7 AIを導入／検討する上での課題 | 332 |
| A.8 AIが解決すると期待する社会的課題 | 336 |
| A.9 AIに対する懸念点 | 338 |
| A.10 公的機関への要望 | 340 |
| A.11 AIへの関心、活用に関する意見 | 340 |
| [column04] 日本の人工知能／辻井潤一 | 342 |
| | |
| 第4章 制度政策動向 | 351 |
| 4.1 総論 | 352 |
| 4.2 知的財産 | 353 |
| 4.2.1 国内のAI知的財産関連施策の動向 | 353 |
| 4.2.2 国内のAI知的財産関連課題の検討 | 354 |
| 4.2.3 海外のAI知的財産関連動向 | 359 |
| 4.3 AIに関する原則、ガイドライン等 | 362 |
| 4.3.1 海外における取組み | 362 |
| 4.3.2 我が国における「AI社会原則」の議論 | 368 |
| 4.4 制度改革 | 376 |
| 4.4.1 モビリティに係る制度改革 | 376 |
| 4.4.2 データ流通に係る制度改革 | 382 |
| 4.5 国内の政策動向 | 394 |
| 4.5.1 統合イノベーション戦略、同推進会議による政府横断の取組み | 395 |
| 4.5.2 人工知能技術戦略会議による研究開発・産業連携の推進 | 399 |
| 4.5.3 基盤省庁・出口省庁の方針と動向 | 408 |
| 4.5.4 予算の動向 | 422 |
| 4.6 海外の政策動向 | 426 |
| 4.6.1 米国 | 426 |
| 4.6.2 EU | 428 |
| 4.6.3 英国 | 431 |
| 4.6.4 ドイツ | 432 |

| | | |
|-------|------|-----|
| 4.6.5 | フランス | 435 |
| 4.6.6 | 中国 | 436 |
| 4.6.7 | インド | 438 |

| | | |
|-------------------|------------------------------|-----|
| 【column05】 | 法整備はゆっくりやれば当然できる。スピードが肝／喜連川優 | 440 |
|-------------------|------------------------------|-----|

| | | |
|-------------------|-------------------|-----|
| 【column06】 | AIと倫理・社会的受容性／北野宏明 | 444 |
|-------------------|-------------------|-----|

第5章 AIの社会実装課題と対策 447

| | | |
|-----|----|-----|
| 5.1 | 総論 | 448 |
|-----|----|-----|

| | | |
|-----|-------------|-----|
| 5.2 | 社会実装に係る課題調査 | 449 |
|-----|-------------|-----|

| | | |
|-------|-------------|-----|
| 5.2.1 | AI社会実装推進委員会 | 449 |
|-------|-------------|-----|

| | | |
|-------|------|-----|
| 5.2.2 | 文献調査 | 449 |
|-------|------|-----|

| | | |
|-------|---------|-----|
| 5.2.3 | アンケート調査 | 453 |
|-------|---------|-----|

| | | |
|-------|------------------------|-----|
| 5.2.4 | ヒアリング及びAI社会実装推進委員会での意見 | 456 |
|-------|------------------------|-----|

| | | |
|-----|------------|-----|
| 5.3 | 特定領域の深掘り調査 | 458 |
|-----|------------|-----|

| | | |
|-------|--------------|-----|
| 5.3.1 | 自動運転における実装課題 | 458 |
|-------|--------------|-----|

| | | |
|-------|----------------|-----|
| 5.3.2 | スマート工場における実装課題 | 462 |
|-------|----------------|-----|

| | | |
|-----|--------------|-----|
| 5.4 | 社会実装課題の抽出と分析 | 467 |
|-----|--------------|-----|

| | | |
|-------|--------------|-----|
| 5.4.1 | ユーザーや社会に係る課題 | 467 |
|-------|--------------|-----|

| | | |
|-------|------|-----|
| 5.4.2 | 国際課題 | 467 |
|-------|------|-----|

| | | |
|-------|----------|-----|
| 5.4.3 | 開発に関する課題 | 468 |
|-------|----------|-----|

| | | |
|-------|------------|-----|
| 5.4.4 | AIの特性に係る課題 | 468 |
|-------|------------|-----|

| | | |
|-------|----------|-----|
| 5.4.5 | 法制度に係る課題 | 469 |
|-------|----------|-----|

| | | |
|-------|-------------|-----|
| 5.4.6 | 課題解決の方向性の検討 | 470 |
|-------|-------------|-----|

| | | |
|-----|---------------|-----|
| 5.5 | 社会実装推進の方向性の提示 | 474 |
|-----|---------------|-----|

| | | |
|-------|---------------|-----|
| 5.5.1 | 社会実装推進の方向性の概要 | 474 |
|-------|---------------|-----|

| | | |
|-------|---------------|-----|
| 5.5.2 | 社会実装推進の方向性の詳細 | 476 |
|-------|---------------|-----|

| | | |
|-------|------------|-----|
| 5.5.3 | 長期的な課題について | 484 |
|-------|------------|-----|

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 5.6 | 社会実装推進の方向性の特定領域への適用 | 485 |
|-----|---------------------|-----|

| | | |
|-----|-------|-----|
| 5.7 | 今後の展望 | 487 |
|-----|-------|-----|

| | |
|------------|-----|
| 編集・執筆関係者名簿 | 492 |
|------------|-----|

AIが壊すものの、 創るもの

対談1 AI経営と日本の目指すべき道

富山和彦（株式会社経営共創基盤代表取締役CEO）

中島秀之（本書編集委員長、札幌市立大学学長）

対談2 感情価値や欲望の部分をAIで勝ちに行け

尾原和啓（Professional Connector、ITジャーナリスト）

松尾豊（本書編集委員、東京大学大学院特任准教授）

AIは決してブームではない。産業構造の転換である

対談1 AI経営と日本の目指すべき道



富山和彦

株式会社経営共創基盤代表取締役CEO

中島秀之

本書編集委員長、札幌市立大学学長

AIに莫大な投資を続け、その覇権を争っているアメリカと中国。その両国に挟まれている日本の企業は、どのようにAIを活用していくべきか。『AI白書2017』に「AI経営で会社は甦る」を寄稿した富山和彦氏と、本書編集委員長の中島秀之氏が、AIと経営をテーマに対談した。

このままでは米中の下請けになる？

中島 『AI白書2019』の編集委員会では、AIについて、技術、投資、人材といった面で、日本は米中から周回遅れになっているという意見

が出ています。富山さんはこの現状をどのようにとらえていらっしゃるでしょうか。

富山 周回遅れどころか、何周回も遅れています。アメリカと中国は、政治体制は異なりますが、産業・社会構造は似ています。割と個人主義で、お金が好き。起業志向で、ソフトウェアに強い。こういった要素は、幸か不幸かAIと相性が良い。どちらかと言うと、日本の産業・社会構造は逆です。組織がガチっとしている集団主義で、年功型の組織。ハードウェアを改善していくのにフィットしているモデルです。

さらに言うと、中国は国中がサンドボックス^{*1}で、何でもやり放題です。一方、日本は規制が厳しい。中国からAIベースのサービスモデルが先にたくさん出てきた時に、どのように対抗すべきか。日本は会社の形を根本から覆さなければならぬし、今までのような少しずつハードウェアを改良していくモデルだけに集中していると、必ず米中の下請けになります。

中島 AIによる破壊的イノベーションで変わらなければいけない今現在、大きな問題が2つあります。1つは法規制の話で、もう1つは、今おっしゃったような企業の話です。法規制に関して言うと、新しい公共交通システムは技術的には実現できているのですが、法的にはタクシーの乗り合いもできないし、バスの路線もなくすることができない。自動運転も日本では全然実装できていないのに対して、米中ではどんどん実施しているような状態です。日本の法律は「これとこれはしていいよ」と書いてあること以外はできない。一方で、アメリカと中国は法律で行ってはいけないことを書いている。技術の進展が早くなっているにもかかわらず、日本は業界保護になっていて、イノベーションに全く向いていない。法律をホワイトリスト型からブラックリスト型^{*2}に変えないといけません。

富山 ブラックリスト型の法律を作ってはならないとは、憲法には書かれていません。強い政権が本気になれば基本的な法体系のあり方を変えたり、「禁止されていないものは原則自由」という方向に切り替えることはできるはずです。そもそも日本は自由主義国家ですから、本来は原則すべて自由なのです。

しかし、日本は「お上がやっていいよ、というのを民がやる」というモデルを明治時代か

ら引きずっています。そろそろ本来の自由主義国家になった方がいいと思います。

中島 私は制度に逆らうような研究をたくさんやってきたのですが、制度が悪いと思っているから、こちらに正義がある。企業もそれくらいの気概が必要ですよ。

富山 日本企業はいろいろなことを付度する。例えば規制改革要望を出すこともできますが、日本の大手企業は出さない。そういう話はたくさんあります。

結局、この国は他責文化なのです。誰かに寄りかかっているのが前提なので、規制をしてもらったり、行っても良いことを明確にしてもらうのが好きなんです。誰かに保証してほしいと常に思っている。

中島 何か事故が起きると、自分の責任にしないで組織の責任になりますよね。また、なにかと政府の責任にしがります。

富山 企業の中で偉くなる人は、私の理解では他責力が強い人です。上手に他人のせいにする人が出世する。自責力が強い人は責任を取ってしまうから出世しない。「副業してはいけない」などと、自分の人生を会社が決めてくれて、その代わりに何か起きたら会社のせいのできる。日本人はそういうもたれあいのできたので、AIやソフトウェアは不得手なんです。

企業経営にAIをどう活かすか

中島 昨年頃から、AIは具体的な利用事例や先進事例が出始めています。日本企業はAIとどのように向き合っていくべきだとお考えですか。

富山 2つのアプローチが考えられます。1つは誰かが作ったAIをタダまたは安く使い倒すアプローチ。もう1つはAIを競争領域ととら

※1 サンドボックス

参加者や期間を限定すること等により、既存の規制にとらわれることなく新しい技術等の実証を行うことができる環境を整備することで、迅速な実証及び規制改革につながるデータの収集を可能とする制度を「規制のサンドボックス」と呼んでいる（詳細は第4章参照）。日本を含め、各国で実施されているが、このような制度がなくても、新事業・新技術の実験・実証を進める国もある。

※2 ホワイトリスト型とブラックリスト型

ホワイトリスト型（形式）は、サービスなどで警戒を必要としない、利用可能なものを示す方式。一方、ブラックリスト型（形式）は、サービスなどで警戒を必要とする、利用してはいけないものを示す方式。



富山和彦(とやま・かずひこ)ノボストンコンサルティンググループ、コーポレートディレクション代表取締役を経て、2003年、産業再生機構設立に参画し、COOに就任。同機構解散後、株式会社経営共創基盤(IGPI)を設立(同社代表取締役CEO)。経済同友会副代表幹事、内閣府総合科学技術・イノベーション会議基本計画専門調査会委員、経済産業省産業構造審議会新産業構造部会委員などを務める。著書に『AI経営で会社は甦る』(文藝春秋)などがある。

えて差別化、付加価値を作っていくというアプローチです。

例えば、バス会社を運営していて、5,000人のドライバーがいるとします。運転手が足りなくて困っているときに、自動運転技術がたくさん出てきたら、それをタダまたは安く使えばいい。自分たちでAIを開発する必要は全くありません。今のAIの開発トレンドからすると、オープンソースになっていくし、安く使えるようになる。これは誰でも手に入るの、競争領域ではありません。それを使う能力があれば大丈夫です。

もう1つは、たまたま日本に、AIのある分野のドリームチームが集まってベンチャーを作ることができた場合、AIそのものが付加価値や競争領域の中心となります。これはすごい例外です。企業の90%は前者だと思います。

中島 松尾豊先生(本書編集委員、東京大学大学院特任准教授)は研究でも勝てると言っています。分野によっては勝てるかもしれませんが、私も企業は使う側に回ったほうがいいと思います。

富山 AIを競争領域だと考えて、頑張って開発しようとするのが一番危ないです。資源を投入して、自動運転のモジュールを搭載してみたら、Mobileye(イスラエル)^{※3}のほうがよっぽどよくできていて、値段は1/10なんてことが起きてしまう。それなら最初からMobileyeを搭載したほうが賢い。日本企業は自前主義にとらわれているところがあります。

以前、ある自動車メーカーの研究開発者向けの講演で、パワーウィンドウやワイパーが好きで自動車を買った人はいますかと聞いたら、1人も手を上げなかった。しかし、実際はパワーウィンドウやワイパーを自社で開発している。競争領域でないものは自社で開発しないで、他社に任せたらいいんですよ。でも、その割り切りができない。

自分たちが競争すべきところはどこか。それがデジタル革命とグローバル革命では鮮烈に問われます。ですので、「AIの研究者を集めるんだ」と言っている会社があれば、その会社は危ないです。

AIウォッチャーのような人材を雇って、世界中の開発動向を見ながら、どれをパクするかを考える。「すげーぞ」と思ったら買収しても良い。それができているのが、コマツです。コマツはロシアやアメリカの技術を買ったり、ライセンスを受けたりしています。

中島 ディープラーニングは借りてきて、使えばいいだけですからね。

富山 誰でもある程度練習すれば使えるようになると思いますよ。それでいいんですよ。AIの開発で正面から立ち向かおうと考えたら、アメリカに総力戦を挑むような75年前の繰り返しです。

AIの研究者を1万人作れと言っても無理です。才能がないといけないので、ロサンゼルス・エンゼルスの大谷翔平君を100人作れと

※3 Mobileye(モービルアイ)

単眼カメラの画像認識技術による衝突防止補助システムで車載カメラの採用実績を伸ばしてきた、イスラエル(本社オランダ)のテクノロジー企業。自動運転など次世代自動車の研究開発を強化している。

いうのと同じくらい難しい。日本の人口は約1億人、中国は約14億人、アメリカは約3億人です。中国は14億人の中から、アメリカは世界中から人材が集まるので40億人くらいのプールの中から、天才が出てくるわけです。仮に天才の出現率が一緒だとしても、人口が格段に違いますから、そこで戦うのはナンセンスです。

中島 AIの使い方と言うと、人事をAIに任せるのはありかなと思います。企業経営者からよく「AIでどういうサービスができますか」という質問をもらいますが、現在は製品やサービスに使うことばかり考えていて、自分たちの経営にAIを使うという発想があまりありません。まずそれをやらないとダメだろうと思うし、それが1つの救いになると思います。大きな企業でも人事の大部分をAIにやってもらえればクールになる。そういうことを考えてくれる企業が出てほしい。採用をAIでマッチングしようという流れは出てきていますから、もう一歩だと思えます。

富山 AI人事にはヒューマニズムがないという人もいますが、逆に叙情的人事は人間的かという、そんな単純な話ではありません。

AIが定量的にある種のジャッジメントを下すことは、多くの場合、より人間的な結果をもたらします。人事で一番難しいのは、例えばAさんのことを判断するとき、Aさんの情報を頑張って10得たとしても、Aさんは自己意識として20ぐらいの情報を持っています。これをAさんはアンフェアに感じることもある。人事で揉めるのは大体そこのです。また、経営者が100人を評価する場合、1人に使う時間は1/100です。しかし、本人にとっては1/1です。人間が評価すると、こういった差は埋まりません。ですから、AI化した方が見落としや見逃しがなくなるので、非対称性が解消されます。それがAI人事の一番のメリットです。その上でヒューマンタッチを入れることには反対しません。

中島 ときどきは大岡裁きを残しておきたい。



中島秀之(なかしま・ひでゆき) / 東京大学大学院情報工学専門課程修了(工学博士)。通産省工業技術院電子技術総合研究所に入所後、産総研サイバーアシスト研究センター長、公立はこだて未来大学学長を経て、2016年6月より東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻特任教授。現在、札幌市立大学学長。人工知能を状況依存性の観点から研究している。

例外は常にありますから、学習では追いつかない。やっぱりそこは人間の判断が効いてくるところはありますよね。

富山 人間は人間が得意とする仕事だけをすればいい。そう考えると、AIは人間をより人間らしくする道具なんです。私たちは日ごろの生活で、脳が得意としない作業をたくさん行っています。おそらく単純な作業を高速にこなすような、人間が不得意なところから、AIに置き換わっていくでしょう。例えば、二足歩行は全動物の中で、人間が持つスーパーな能力なので、二足歩行のヒューマノイドはビジネスになりにくい。これを置き換えるのは、AIにとっても大変です。人間の得意なことを置き換えようとする、ビジネスになりません。

経営者は乱暴なことをやったほうがいい

中島 AIという第4の波の中で、日本企業が生き残れるかどうかは本書のテーマですが、1つは富山さんのおっしゃるのように速い技術変化に追従できる組織が必要です。『Harvard Business Review』に「アジャイル人事」という特集がありましたが、これはソフトウェア開発で採り入れられている、実行と評価のループをこまめに回す手法を企業の人事にも応用しよ



AI技術の産業応用例。パナソニックのロボット収穫機は、AIを導入したことによって、トマトの認識率が大幅に向上した。 提供：パナソニック

うというものです。柔軟な組織改編ができないと時代から取り残されます。

富山 デジタル革命になってから、産業では破壊的なことが起きています。汎用コンピューターという概念がなくなったために、IBMは全く異なる企業になった。Motorola、Lucentなど、伝統的な通信関連企業をFacebookやAppleが追い落としたわけです。AIは汎用性が高い技術なので、今までのデジタル技術以上に、多くの産業で破壊的イノベーションが起こる確率が高い。自分のいる会社がどこまで破壊されるか、自分がやっている事業がどれだけ破壊されるかという読みが必要です。

中島 IBMはパソコンを捨てるのが早かったですよね。

富山 そのIBMの姿を見ていたから、Microsoftはコンシューマー市場が悪くなる前に、B to Bのソリューションカンパニーに変わった。MicrosoftがWindows 95の時の事業構成でいたら、今頃消えていますよ。

では、どうするべきか。経営者は、自分の会社の形を全否定するくらいの乱暴なことをやっ

たほうがいいです。そのくらいでちょうどいいくらいに収まります。いきなり40歳の人を社長にするとか、あるいは会社のお金で留学したのに帰国後すぐに転職して偉くなった人がナンバー2として戻って来るような、日本型サラリーマン秩序からすると、許し難い人事をやる。若い個人の才能をフェアに早くから活かすというモードの経営に変えるべきです。日本で一番効くのはお金より人事です。すると、必然的にそれに合わせて会社の形も変わっていきます。

新卒採用も同じです。例えば、東大のトップラボ、松尾研^{*4}や坂田・森研^{*5}などを出て、グローバルなリクルーティングマーケットであれば、年収2,000万円、3,000万円の初任給がつくような学生も、「一応理系です」みたいな学生も、多くの日本企業は同じ初任給で採用しています。そんなことは海外ではありえない。そういう採用はやめたほうが良い。

AIは古き良き日本型サラリーマン社会を破壊しますから、問われているのは、日本の会社の形を根本から破壊的に再生産することです。これに取り組まないと本当に下請けになる。

中島 経団連の関係者らは、良いドクターを出せと大学に言うんですよ。でも、「良いドクターを出したら、高く採用してくれるのですか」と聞くと、「いえ、同じです」と答える。彼らからすれば、「能力があれば、あとで高くなりますから」という論理です。それだと最初から行かないわけですよ。良い人材が海外企業などに行ってしまう。機会損失しているのがわかっていない。

富山 みんなで安くてもいいものを作りますというモデルで競争している時は、ボトムアップがこの国の生産性・競争力に直結したと思います。しかし、明らかに平成になった頃から壁にぶつかっている。この戦い方では、国は豊かに

※4 松尾研

本書編集委員を務める、松尾豊氏(東京大学大学院特任准教授)の研究室。

※5 坂田・森研

東京大学大学院工学系研究科教授(技術経営戦略学専攻)で、同総合研究機構イノベーション政策研究センター長の坂田一郎氏と、東京大学数理・情報教育センター准教授の森純一郎氏の研究室。自然言語処理などAIに関する研究を行っている。

ならない。そのためにはトッププルを考えなくてはなりません。それは企業も同じで、過去の成功モデルは捨てるを得ない。仮に能力のある学生を年収1,000万円で雇ったときに、そうではない他の学生が不公平感を持って、モチベーションが下がっても、それは飲み込まなければいけない。そして、私の経験からすると、モチベーションの下がった人がいても、会社の生産性はほとんど落ちない。これは保証します。

中島 実は文部科学省も一緒に、彼らは「教育の質保証」と言っていて、一番下をどうやって引き上げるかを考えています。そのために、文科省はいろいろ規制するのですが、規制は同時に上も抑えてしまっています。今より良い教育もできないという面がある。そこに全然気がついていません。

富山 でも、経営トップは分かっていると思います。銀行が潰れ、ITバブルの崩壊があり、さらにリーマンショックや3.11が起きて、何回もレッスンがあったわけですから。AIによってどれだけインパクトがあるかわからないようでは愚かですよ。

経営トップはタイタニック号の上から、「このままいけば氷山にぶつかるな、ぶつかったら、半分くらいは壊滅するかもしれないな」と思っています。巨大な客船になればなるほど、

舵を切ってから動き出すまでに時間を要しますが、まだ氷山が遠いうちに舵を切ると組織にストレスがかかります。

多くの経営者は、そのストレスが行動原理を規定してしまいます。組織にストレスを無理やりかけると、「社内が荒れるぞ」「荒れると短期的に業績下がるぞ」「自分の立場があぶないぞ」ということが気になります。現状は、古いモデルで収益を上げていますから、多くの経営者はむしろその誘惑に負けるわけです。

けれども、構造改革や事業リストラは会社が儲かっているうちに行わなければなりません。

中島 会社ではありませんが、私が住んでいた函館は、かつてとても栄えていました。函館の人はその記憶で生きている。函館は今、人口減少率が中核市の中で1位か2位くらいです。でも、まだもつと思っている。「今はいいから、大丈夫だろう」というマインド。日本企業もそういうマインドが多いのではないかと思います。

富山 結局はリーダーシップの問題なので、取締役会でそれができるリーダーを選ぶしかありません。できなければ、潰れても全然かまわない。

ある大企業の祖業部門が売却される時の話ですが、売却されたら飛び降りると言った人がいました。最終的にオーナーは別の会社になりましたが、工場は同じままで、社員は同じ仲間



と仕事を続けています。その会社は法人としてはなくなりましたが、彼らの生活は変わっていません。むしろ新会社の経営者は能力が高いので、ボーナスもたくさん出て幸せになった。とにかくこの国は会社のことを大げさに言い過ぎです。変に会社が実存的になってしまっています。もともと会社というのは、リスクがあって、大規模な資本集約が必要で、時間的に長期的なレンジでやらなければならないビジネスを営むための法的なフィクションです。産業は新陳代謝していくものだから、会社は道具でしかありません。経営者から見ても道具だし、従業員から見ても道具。株主から見ても道具なんですよ。その道具を過大に言うってしまうから、国家主義と同じで、会社のために命をかけるみたいな話が出てくるのです。

地政学的な利を活かす

中島 そういう意味では、今は大企業ではなく、ベンチャーに期待しているところがありますね。やっと日本でもいろいろなベンチャーが出てきました。

富山 会社の形を変えるだけで、10年、20年かかってしまいますからね。最近はずごくレベルの高い若い人たちがベンチャーを起業しています。

私はシーソーの例えをよく出すのですが、経済重商主義でうまくいった時代は、“幕藩体制”といえますか、終身年功型の雇用体系が多数派で、シーソーもそっちに倒れている。しかし、それが世の中と合わなくなってくると、少しずつ反対側に行く人が抜け駆け、つまり“脱藩”し始めるわけですよ。その流れが、この10年くらい顕著です。日本は付和雷同の国なので、シーソーが逆に倒れ始めたら、そこは早いと思いますよ。

中島 考えてみればGAF(A[Google][Apple][Facebook][Amazon])だって、みんなベンチャーですからね。日本も今回のAIショックで変わってくれたらいいですよ。

富山 1990年ごろの日本企業の時価総額トッ

プ10を見ると、東京電力や日本電信電話、あるいは銀行、証券会社が並んでいます。結局、日本でかつて価値が高かった企業は、すべて規制に守られていた産業です。

今や日本のGDPは世界の中で6%しかありません。つまり、グローバル企業にとって6%の市場でしかないわけです。もし日本に本社がある会社で、いろいろな規制で行動の自由が奪われ、世界で商売するとき不利な状況なら、世界に出てチャレンジすればいいじゃないですか。

日本は幸いこれから人口が減っていきます。人口が減って中規模の国になっていく。だから、これからは米中日の三極なんか考えないで、巨大な覇権国の間でしたたかに豊かになる方法を考えていくべきなのです。ヨーロッパで参考にすべきは、ベネルクス三国や北欧、スイスですよ。これらの国は、東側にドイツとロシアというかなり乱暴な帝国があって、西側にイギリスとフランスがあります。でも、気がついたら1人あたりのGDPが高い。周りの国に対して、したたかに振舞っている。国際機関もみんなあの辺にあります。そういうキラリと光るような競争力のある国を目指せばいいと思います。

中島 そうですね。日本の強みには、おもてなしや日本食などがあります。それをAI化すれば良い。

富山 それでいいんですよ。ある時期、日本の経済が大きくなって、経済覇権国などと言っていました。それはもう捨てた方がいい。

企業も同じです。米中のITジャイアントとガチに戦うだけが戦法ではありません。日本は、米中という巨大なお客さんがいる国の間にあって、両方からアクセスがいい。日本はどちらの国から見ても、気候はいいし、食べ物もうまい。風光明媚だし、安心安全。携帯も盗聴されていない。自由空間ですよ。

地政学的な利を活かせば、絶対にこの国は豊かになる。平和と豊さを手に入れようと思ったら、それが一番、賢いと思います。

対談を終えて

富山さんの本は拝読していたが、分野も違うのでお会いするのは今回が初。どんな対談になるのか不安だったが、予定時間を越えてまで話していただいて、活発な対談となった。

本文には出てこないが、最初にAI白書編集委員会の雰囲気をお伝えした。この白書は企業の中堅からトップの人に読んでもらいたいと考えている。AIの進出によって技術革新が進み、企業の急速な変化が求められている。旧体制ではもたない。一番伝えたいメッセージは首脳陣が若手にその座を譲り、企業の脱皮を促す必要があるということ。そうしないと日本はもたないという危機感だ。

この危機感は富山さんも持っておられて、対話ではかなり過激な発言をしてくださった。記録からは企業の固有名詞などは消してあるが、結構具体的な話題が展開された。特に印象に残ったのは人口減少をポジティブに捉える視点だ。

北欧のフィンランドやスウェーデンは小さいながらもモビリティを含む様々な先進的制度を実施して世界を先導している。日本がこのような、小さいながらも世界の見本になれば良いと考えている。現状を肯定し、それを維持しようとするのではなく、変化(たとえば人口減少や過疎化)を肯定し、武器とする発想が必要だと思う。

私はコンパクトシティという方向性が嫌いだ。コンパクトシティの効率が良いというのは行政の発想だ。住居地域が広がるとインフラ維持のコストが高くなり、自治体の負担が増える。行政としてコンパクトにしたいのは分かるが、それが住民の幸福に直結するのかわかるということは考えなければならない。日本で幸福度の高い地域は東京圏ではなく、日本海側だ。これからは過疎地が不便にならず、行政負担も高くないようなインフラの仕組みをデザインし、実現しなければならない。そのような変革を支えるのがITでありAI技術である。現在のITやAIの利用は、既存システムの一部を置き換えるのに使われているにすぎない。どの職種がAIで置換え可能かという議論がその典型で、新しい職業が生まれるという発想がない。新しい社会や企業の仕組みの提案が待たれる。

AI白書編集委員長
札幌市立大学学長 中島秀之

感情価値や欲望の部分を AIで勝ちに行け



尾原和啓

Professional Connector
ITジャーナリスト



松尾豊

本書編集委員
東京大学大学院特任准教授

おばら・かずひろ / 京都大学大学院工学研究科応用人工知能論講座修了。マッキンゼー・アンド・カンパニーでキャリアをスタートさせ、リクルート、Google、楽天(執行役員)などで事業企画、投資、新規事業を歴任。著書に『ザ・プラットフォーム 「企業はなぜ世界を変えるのか?」(NHK出版新書)などがある。

まつお・ゆたか / 東京大学工学部卒業後、東京大学大学院工学系研究科電子情報工学博士課程修了。博士(工学)。スタンフォード大学 CSLI 客員研究員などを経て、2014年より東京大学大学院特任准教授。人工知能学会論文賞などを受賞。著書に『人工知能は人間を超えるか』(角川EPUB選書)などがある。

Google、マッキンゼーなどでITプラットフォームビジネスに携わった尾原和啓氏と本書編集委員の松尾豊氏が、AIビジネスの未来についてディスカッション。AIを活用すべき分野とは? AIでどのような付加価値をつけるべきか? 日本が目指す方向性についても語っていただきました。

リアル社会に浸出しはじめた AIと関連技術

松尾 2018年現在、人工知能分野の技術は、

おおよそ予測通りに進展しています。ディープラーニングによる画像認識はかなり進み、アプリケーションが多数出てきています。次の段階としては機械・ロボット系への応用となりますが、なかなか実用に結びつきにくい状況が続いていました。しかし、この半年~1年くらいで「World Models」^{*1}(世界モデル)を構築する研究が出てきています。今年6月にはDeepMind^{*2}(英国)から「GQN」(Generative Query Network)^{*3}が発表されました。

世界モデルについて簡単に説明すると、これはAIのエージェントが部屋の周りを回ると、机の形や誰がどんな配置で座っているかなど、構造や状況の空間認識ができるものです。人間にとって、視覚情報は単なる映像です。また、人間は筋肉への時系列の信号で身体を動かしています。基本的にこの2つの情報しかないのに、人間はこの世界が三次元であることがわかっています。つまり、この2つの情報の時系列から潜在的な構造を見つけ出しているのです。従来のSLAM^{※4}技術などでは、世界の構造が三次元であると最初に仮定し、タスクをナビゲーションに絞る必要がありました。

例えば、ものをつかむ、投げる、たたく、ちぎる、打つ、それぞれに異なる潜在構造があります。それが仮定なしに学習できる世界モデルができてきて、AIで機械・ロボット系をうまく動かせる状況が整いつつあります。大規模なシミュレーションと実ロボットによる試行を組み合わせた、四角いキューブを自由にひっくり返せるロボット(Dactyl^{※5})が出てくるなど、機械・ロボット系でAIの技術活用が始まる段階となっています。

尾原 これまでは「こんなケースではこうしよう」とケースを仮定して、個別に1対1対応を作らなければいけなかったのですが、これからは状況とゴールを与えれば自動的に最適化が行われる、そういう世界が見えてきたことになりますね。シリコンバレーでは以前、「Software eats everything」(すべてのビジネスがソ

フトウェア化していく)と言われていました。例えば、銀行がオンラインバンク化したり、タクシーがUber(アメリカ)に代わっていくといった事例がわかりやすいと思います。最近「AI eats software」という言い方をしていますが、これを両方重ねると「AI eats everything」(AIがすべてを飲み込む)となります。これまで論理で言われてきたことが現実味を帯びてきたと言えますね。

松尾 機械・ロボット系でのAIによるモデル化が進んだ先の段階では、「言葉」や「意識」の解明も進んでいくはずですよ。

動物としての知能に関して言うと、実は犬も猫も世界モデルを持っています。人間はその上に言語という機能を載せていて、言語の一番の特性は、任意の瞬間に情景を思い浮かべられる、すなわちイメージーションがあることなんですよ。前述のDeepMindのDemis Hassabisも、10年以上前からずっと「イメージーションが大事だ」と言っているのですが、人間は言葉によって任意のタイミングで任意のことを思い浮かべられ、言葉を使う操作とそれによるシミュレーターが連動しています。

人間がなぜ言語を持っているのか、それが数理的にどういう意味を持つかについては、もしかするとこの2～3年のうちに解明されるかもしれません。そうすると、言葉の意味・理解を伴うような自然言語処理ができるようになります。これは人類史上にとって巨大なインパクトになります。GoogleやFacebookがやりそ

※1 World Models(世界モデル)

運動系の強化学習に利用されるモデルで、エージェントの環境世界を学習する大規模な内部モデルが世界モデル(World Model)。タスクを実行する小規模なモデル(Controller)と分けて学習され、運動や行動につなげる予測シミュレーションをする。

※2 DeepMind(ディープマインド)

Demis Hassabis(デミス・ハサビス)率いる、ロンドンにある英国の人工知能企業。2014年にGoogleによって買収された。同社のAI、AlphaGo(碁)が韓国の囲碁棋士イ・セドル九段に勝利したことで有名。

※3 GQN(Generative Query Network)

DeepMindが2018年6月に発表した、二次元画像から三次元画像を生成する新技術。これによりAIは平面的な写真を見て、見えていない部分を想像するかのよう、三次元空間を作り出すことができる。

※4 SLAM(Simultaneously Localization and Mapping)

カメラなどのセンサーから取得した情報により、位置の推定と地図の作成を同時に行う、空間・立体認識技術。

※5 Dactyl(ダクティル)

AIを研究する非営利団体OpenAIが作ったロボットハンド。発表された映像では、器用に5本指を動かし、アルファベットが書かれた6面体を自在に操る。

うですね。

今、ディープラーニングは20年前のインターネットと同じような時期にあると思っています。つまり、今が1998年にインターネットが出てきた状況と同じであると。そう考えると、これからはプラットフォームなんです。10年後、20年後には、世界の時価総額10位以内に入ってくる巨大企業が、新しく何社もできてくるはずだと思います。

尾原 AIの世界において、次に何が起こるか、ですね。これまではインターネットの中の、閉じた空間でのビジネスの覇権争いが起きていました。インターネットの進展により、デジタルがすべてをオーバーラップするようになり、どんな情報がネットのどこにあるかを探すことに価値が生まれて、Googleの価値は高くなりました。人間関係もネット上でつながった方が効率が良いということで、人間関係を凝縮したFacebookの価値が高くなりました。今度は「AIによってリアル社会の何を再構造化できると一番価値が高くなるか？」という戦いが始まろうとしているのです。

一番わかりやすいのが「信用」情報ですね。中国では「アリペイ」(支付宝)、「WeChatペイ」など、いろいろな企業が決済システムの市場を取りにいています。一見するとみんな



決済を取りにいているように見えるのですが、実はそうではないんです。人間の信用を可視化することが、おそらく次のGoogleなので、信用を取りにいているのです。

松尾先生がおっしゃる通り、AIがリアル空間に染み出るようになったときには、現実の社会をもっと多角的に見る視点が必要ですね。そこに大きな可能性はあるはずですよ。

多様化、過剰化していく

付加価値にこそAIを

松尾 私は以前から、AI技術を応用していく産業分野として有望な領域を、農業、建設業、食関連と言ってきました。これらは、今までデータの取得や自動化技術の導入が行いにくかった分野で、その理由としては個々のアイテムを「認識」できなかったためなのですが、ディープラーニングによって大きく変化するでしょう。

例えば、食における個人の嗜好。このデータはどこにもありません。食に対する人々の情熱は非常に旺盛で、特に日本では独特の“食文化”があり、多大なエネルギーが費やされています。それなのに、個別データはほとんど存在しない。産業規模からいっても、現在のようにデータ化や自動化が遅れている状況がこの先も続くことはあり得ないと思っています。これをどうやってお金にするかは、実はオープンクエスチョンなのです。

尾原 これからはリアルが関わるのは間違いありませんが、松尾先生がおっしゃっているのは、AIプラットフォームビジネスの次の次くらいの段階を想定している。つまり、AIプラットフォームビジネスの第1段階は、AIとロボットによる画期的な効率化、自動化です。それによりシステム構築や運営のコストが安くなり、より多くの人が使うことで、よりデータが集まるようになります。するとさらに自動化が進み、コストが下がる。その結果、他社が追いかけても、先に進んだ企業に追いつけなくなる。そして、コスト効率の先にあるのは、付加価値

を上げることです。Mobileye (イスラエル)^{※6}が Intel に153億ドル (約1.7兆円) で買収された理由は、センサー技術ではありません。彼らは、センサーデータに基づいて画像認識し、世界の道路の地図を1cm単位でリアルタイムにバーチャル空間へアップロードし続けています。その技術と、データを収穫し続けて付加価値に変えるネットワークが重要なのです。

今はどこに行くにしても、多くの人が目の前の道路よりも Google Maps などのバーチャル空間の地図を見て移動しています。車ならカーナビです。例えば、何時間か前に中央分離帯の線が削れてしまった道路があるとしましょう。事故が発生する危険がありますが、アメリカではすでに Mobileye のカメラを積んだ車が何万台と走っていますから、AI の画像認識技術によってバーチャルマップ上に危険箇所をマーキングしたり、近くに来たドライバーに警告したりするような応用化が進んでいます。そういうことが、共通の付加価値になります。

その先にあるのが、松尾先生のお話にあるような個人の趣味嗜好に合わせて多様化させたデータの応用になっていくと思います。本来、AI は共通化するよりも多様化や過剰化に向いています。マネタイズについても、効率化や自動化よりも多様化や過剰化の方により可能性があります。なぜなら、人は効率よく調理されたチェーン店の牛丼には300円しか払いませんが、1本ずつストーリーのあるワインには5万円を払うわけですから。

松尾 王侯貴族の生活について調べたことがありますが、お金の遣い方にはだいたいパターンがあります。専属シェフを雇って美食を楽しむ、盛大にパーティを開く、服装にこだわる、家畜(ペット)を飼う、といったところです。



豪邸に住む、高級車に乗るなどもありますが、建物や車は外部から提供される製品から選択する傾向にあります。ただ食だけは、自分のシェフに自分好みの味で提供させます。

尾原 なるほど。そうした王侯貴族の生活も、AIがあれば一般の人でも味わえますね。

松尾 人は何にお金を使うのか、尾原さんがおっしゃったような「個性」にフィットしたものを提供することに、より高い価値を創出できる産業分野は何かという話につながります。

多様化フェーズでは、 家計消費に着目

尾原 IT関連の白書やレポートで、今年最も衝撃を受けたのは、ネットビジネスで多くの人が参照している Mary Meeker^{※7} の「インターネット・トレンド・レポート」(Internet Trends Report) です。今まではスマホのビジネス、AI のカッティングビジネスなどを紹介していたのですが、2018年版はフォーマットががらりと変わり、ベースが家計調査になり

※6 Mobileye (モバイルアイ)

単眼カメラの画像認識技術による衝突防止補助システムで車載カメラの採用実績を伸ばしてきた、イスラエル(本社オランダ)のテクノロジー企業。自動運転など次世代自動車の研究開発を強化している。

※7 Mary Meeker (メアリー・ミーカー)

米国の元証券アナリスト・投資家。テクノロジー分野の最新動向報告書「インターネット・トレンド・レポート」は、モルガン・スタンレー在籍時の1995年から手がけており、その幅広く収集される最新データと分析力には定評がある。

ました。つまり、人々の家計の消費支出項目をベースに、モバイルからeコマース、投資までのITの各ジャンル、教育、労働、運輸交通などの分析を行っているのですが、それぞれビフォーインターネットとアフターインターネットの人でコスト効率は変わっていると、そのレポートは語っています。また、家計の消費支出項目で大きいのは食費、住居費、医療費、交通通信費といったところで、これらはすべてネットによって上書きされていくとも言っています。ネットによって上書きされるということは、AIによって上書きされることになります。それは個人にとってそうだし、おそらく産業側から見たら農業、水産業、工業もAIによって上書きされていくと思います。

いずれにしても、人間は消費において、「機能」価値より「感情」価値の方に重きを置くため、AIビジネスにおいても、消費者一人一人を見ることが重要になってくるのは間違いないですね。少なくとも、先進国においてはそうだと思います。

松尾 そうすると私の中で結論が出た気がします。欲望をベースに個人が何にお金を使いたいのかという話が前提としてあります。その各々の欲望についてデータを取ることによって、どれくらい付加価値が出るのか。そのデータを分析し、独占したプレイヤーほど利益率を高めやすい。では、その構造をどうやって作るのかを考えたときに、おおざっぱに言うと、AIをどのように活用すると今の状態から独占に至るかを考えなければいけないということです。やはりデータによる独占は変わらない。それ以外の形はあまりないですね。

尾原 今日議論したかったことでもあるのですが、以前、「データは石油」という言い方がありましたよね。データは大変に有効な資源だと、私も信じていました。しかし最近はGANs (Generative Adversarial Networks) *⁸ といった学習モデルが登場しています。トレーニングデータは後追いで増やせるので、デー

タについては後発が勝てることもあるはずだ、と。しかし、今日わかったのは、後発でも勝てそうなのは、効率化や自動化、共通の付加価値を作るタイプの勝負までです。おいしいものを食べたいとか、人と違うことがしたいというような多様で、過剰なタイプの欲望に寄り添うサービスは、多様にしたものがデータで、そのデータがあるからより多様化を促進できて、そのループが回しやすい。だから、後発は追いつけない。やはりプラットフォームを取ったものが勝つでしょうね。

松尾 だいたいの欲望が多様化しますよね。安全の欲求とかは、安全であればいい。多様化したものはあまりない。けれども、健康になったら、自分なりに健康を追求したくなる。

尾原 ないと困るものは画一的なサービスで満足できますが、あるとうれしい系のサービスは、人間は飽きるということと他人と違うことをしたいという2つの欲望を有するために、永遠に過剰な世界なんですよ。むしろこちらの方がAIによる独占が進む事業だととらえることができますよね。ただ、これはもしかしたら2025年とか2030年の話を言っているかもしれない(笑)。

松尾 ビジネスですから、最初の目的がコスト削減であっても良いはず。いろいろな参入の仕方があるでしょう。ただ目指す先、ゴールはそうした多様性のところだとわかっていれば、それだけでも戦略はかなり違うと思います。

尾原 例えば、アメリカで今出てきている皮膚病系のベンチャーは、自分の腕にできた吹き出物を写真で送ると、リモートで医師が「これは病院に行った方がいいよ」「行かなくていいよ」と診断してくれます。一見するとクラウドソーシングのサービスなのですが、実はAIを学習させています。医師の代わりにAIが20%くらい診断できるようになれば、2割コストを削減できますよね。データが集まれば自動化できるし、そうなるサービスをもっと安く提供できる。このデータを基盤にして、今度は多様化フ

ューズに入っていきます。

資生堂はスキンケアのパーソナライズを実現する製品オプチューン(Optune)^{※9}を発売し、「パーソナライズド・ビューティー」というサービスを始めています。基礎化粧品は、個人の肌の質、紫外線量や湿度といった環境によって、どれをどのくらい塗るかを本来は判断したいものなのだそうです。それをAIが自動的にアドバイスするサービスです。このサービスにより、資生堂には、個人の肌の質、何時から何時まで外出するといったライフスタイルデータが貯まっていくことになります。

最初は単純に「今日は紫外線が多いからこういうことをしなくちゃ」「肌が荒れているから、化粧をどうしよう」と悩んでいる時間をゼロにするところからAIサービスが始まるのですが、次はその人の個性やシチュエーションに合わせた化粧を、AIが個別に勧めることができるようになるでしょう。これはわかりやすい事例だと思います。

松尾 付加価値を上げるためには、パーソナライズしてレコメンドするというサイクルがあります。それが自動化されていなかった。

消費行動に対するインテリジェンス、分析能力を高めないと、ものは高く売れません。西山圭太さん(経済産業省)は消費インテリジェンス^{※10}という概念を10年以上前から提案しており、それがいまの私の研究室の活動の基盤にもなっているのですが、ディープラーニングでそれがどう変わるのかはずっとわかりませんでした。結局、人は概念を消費するので、どうやって概念を作り上げるのかの話になりますね。

AIビジネスのチャンスが大いにある日本

松尾 ところで、先ほどの家計消費の話なのですが、私の考えで図にするとこうなります(次ページの写真参照)。世帯収入が600万円だとすると、食費に200万円、住居費に150万円、医療費に100万円、車や移動の交通費に数十万円……支出割合ごとにマッピングします。タテ軸は「付加価値」です。表面上の支出は、図のように見えますが、この食費の200万円は、0円から付加価値を積み上げて最終的に200万円になっているんですね。

尾原 面白い! 支出ごとに産業分解して、付加価値がどのくらい積み上がっているかが見えるわけですね。

松尾 ええ。各支出項目が下の方は素材になりますから、第1次産業の農業は下のあたりになります。化学メーカーや自動車メーカーは大きい範囲をがっちり取っています。

尾原 今まで消費者のパーソナライズを担当するのは第3次産業とそこに近い企業でした。ところが最近、例えばSoftBank Vision Fundは腎性貧血のAI治療(金沢医科大学)に投資しています。また、北京発のスタートアップAlesca Lifeは、レストランの横にコンテナ式の植物工場を設置し、野菜を提供しています。実はパーソナライゼーションはこういった分野で起こるのではないかと、この図を見て思いました。第1次産業はAIによってパーソナライズできるし、素材レベルからのパーソナライズの方が今後自由度が高く、むしろ主導権を持てるのかもしれない。この下部と上部のデータの両端を握り、サンドイッチで攻略していく

※8 GANs (Generative Adversarial Networks)

イアン・グッドフェロー(Ian Goodfellow)が考案した深層学習の新モデルで、敵対的生成ネットワークと呼ばれる。膨大な量のデータを読み込ませるような「教師あり学習」ではなく、「教師なし学習」の技術となっている。

※9 Optune (オプチューン)

資生堂が2018年春からβ版のテスト販売を開始したスキンケアシステム。iPhoneの専用アプリによる肌測定データ、収集した環境データをベースに独自のアルゴリズムで個人の肌環境に合わせたケア方法を専用マシンが提供する。

※10 消費インテリジェンス

データ分析を通して消費者理解を促進する能力を示す概念。消費データの戦略的活用ができる人材を育成することで、内外の消費市場の開拓を目指す。松尾氏は東大の寄附講座「グローバル消費インテリジェンス」を西山圭太氏らとともに運営している。

とすべての産業のガリバーになる可能性があります。

また独占といっても、垂直構造で全部取るのではなくて、わかりやすい例で言うと、AppleがApple Storeを作ってくれたおかげで小さなゲーム会社が世界で商売をできるようになりました。独占できなくても、APIエコノミーの時代ですから、大きいプラットフォー

ムの上で、アプリケーションとして提供して商売していく形はあると思います。

松尾 AIによる変化が大きい産業分野を検討するために、このような図を正確に作成したいのですが、なかなか難しい。「産業関連表」^{*11}にコンセプトが近いのですが、総務省や経済産業省にぜひ作ってくださいと言いたい(笑)。

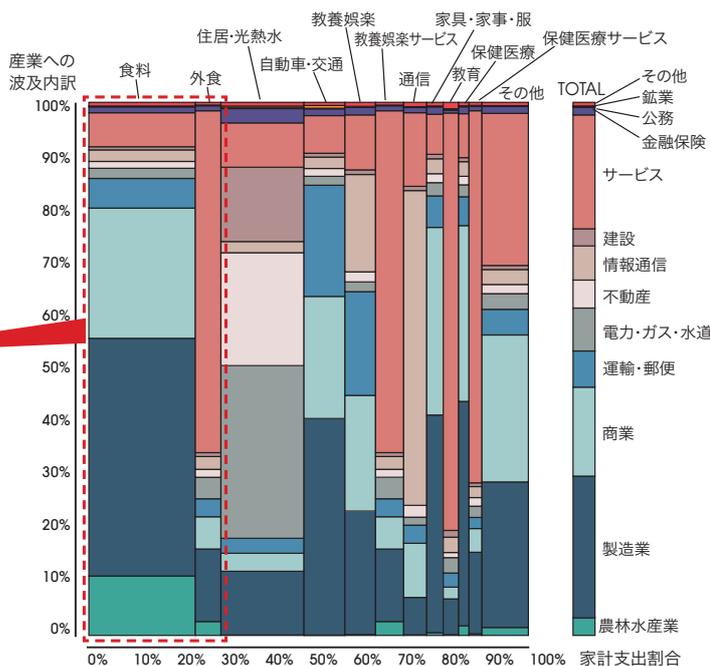
尾原 移動の部分がAI化されているので、移



豊チャート



個人の消費構造VS産業波及



※本グラフは平成23年度「家計調査」、「産業関連表」にもとづき、家計支出(横軸)がどれくらい、産業に影響(縦軸)があるかを試算したものです。

動費ばかりに目がいきがちですが、コンパクトシティになっていくことが予想されているので、“住”は日本企業の方がデータを持っているかもしれないですね。

また日本は食が豊かなので、松尾先生は「食」と言っているのもあって、消費割合からすると住居費や医療費に着目しなければいけないことが、この図を見たら一目瞭然です。本当はここを見なければいけない。

AIによってこれまで画一的にしか作れなかった素材も、個人の嗜好、体調、シチュエーションに合わせて多様化していきます。住宅ならば、セル構造で子供の年齢に合わせてセルの大きさが変わっていくとか、体調で壁の色が変わるとか。あと、学習は最も飽きないと言われているので、学習こそが多様なエンターテインメントになれると考えてもいいかもしれません。

話をまとめると、今まで世界の時価総額ランキングは、ネットの世界をデータの的に独占する企業が勝っていましたが、これがリアル社会に染み出してくると、リアルをAIやデータで独占できる企業が勝つことが予想されます。現時点では、地図データを握る企業や、横断的に信用を握る企業が強いです。ですが、人間が何にお金を払うかを考えた場合、食費、住宅費、医療費です。企業側から見ると、それは工業、農業、水産業分野です。その上で最低限のレベルがほしいという機能価値の世界より、人から認められたい、応援したい、何かを守りたいという欲望の方に、人間はお金を払っています。だとしたら、機能価値の部分をAIで勝ちに行くよりも、感情価値や欲望の部分をAIで勝ちに行った方が強いはず。日本は多様で過剰なものを提供することに関しては蓄積があります。まだまだグローバルで見てもここを掘り下げている会社は少ないので、そういうところがチャンスではないでしょうか。



提供: Alesca Life

Alesca Lifeのコンテナ式植物工場

植物をある程度の大きさまでは効率の良いセンター工場で作って、そこからコンテナをレストランの横に置き、新鮮な野菜を提供する。尾原氏は「これにより例えば大人は成熟したレタス、子供はシャキシャキしたレタス、あるいは甘いレタスなど、ラストワンマイルの野菜の育成をパーソナライズすることができます。AIは生産性を上げるため、温度管理、湿度管理などの最適化に用いられており、まだ多様性のために使われていませんが、AIの可能性を感じることができる事例だと思います」と述べている。

松尾 それこそ、日本が千年、二千年と取り組んできていることですからね。ただし、データが鍵になります。データを積み重ねた企業が勝てるようになっていくので、データをどうやって集積していくか、そこがポイントです。公正取引委員会などがありますが、むしろ独占をどう作るべきかを議論してもよいくらいです。

尾原 中国なんて、2社が競争すればいいですよという考えでやっているようにしか見えません。

松尾 プラットフォーマーは、やはり利益率が高いです。非常に高利益なわけですが、それがディープレニングでどのように変わるのかが今日わかった気がします。最後は感情なので、感情は利益率を高めやすい。日本の企業にもチャンスがすごくありますよね。

尾原 この図に名前を付けましょう！「豊チャート」はどうでしょう？ 松尾 豊考案で、世の中を豊かにするチャート(笑)。これをベースに、イノベーションがどこでどう起きているか、そこに必要なアルゴリズムは何か、ボトルネックか何かのマップも作れそうですよ。AIによる日本の産業構造変革を見通すために、この豊チャートを広く共有すべきだと思います。

※11 産業連関表

国内経済における産業間での財やサービスの取引を平面のマトリックスで表した統計表。通常1年間の取引を5年ごとに作成する。世界各国で作成されており、日本では総務省を中心に関係府省庁の共同事業として作成。

AIは決してブームではない。 産業構造の転換である

破壊的イノベーション前夜に、経営者は何をすべきか

富山氏と中島編集委員長の対談では、AIによる破壊的イノベーションが産業構造を根本から変え、企業はダイナミックに変革しなければ生き残れないことが示唆された。尾原氏と松尾編集委員の対談では、日本が活路を見出すべき産業分野について議論が交わされた。

革新的なサービスの登場は、これまでも産業構造を変化させてきた。Amazonの登場は流通の仕組みを変えた。個人が直接、世界中の商品を購入でき、小売業は苦境に立たされている。通信インフラの変化、スマートフォンの普及は、コンテンツ産業の勢力図を変えた。

今は第三次AIブームと言われている。しかし、AIは産業構造を変化させ、新しいサービスの創造を加速させている。もはやこれはブームではない。では、今のAIはどこが過去と異なるのか。

AIの研究は1960年ごろから始まっており、これまでのAIは推論や分析は得意であったが、認識や直観が弱かった。AIの基盤技術の詳しい説明は第2章に譲るが、AIを劇的に飛躍させたのが、「ディープラーニング」(深層学習)である。

「眼」と「耳」を手に入れた機械が産業・社会にもたらす影響

ひと口にAIと言っても、その意味する範囲は広大である。AI研究の50年来のブレイクスルーと言われるディープラーニングは、機械学習の一手法である「ニューラルネットワーク」のうち、さらに階層が深い(ディープな)部分を指すが、ディープラーニング以前と以後では、質的な断絶がある。

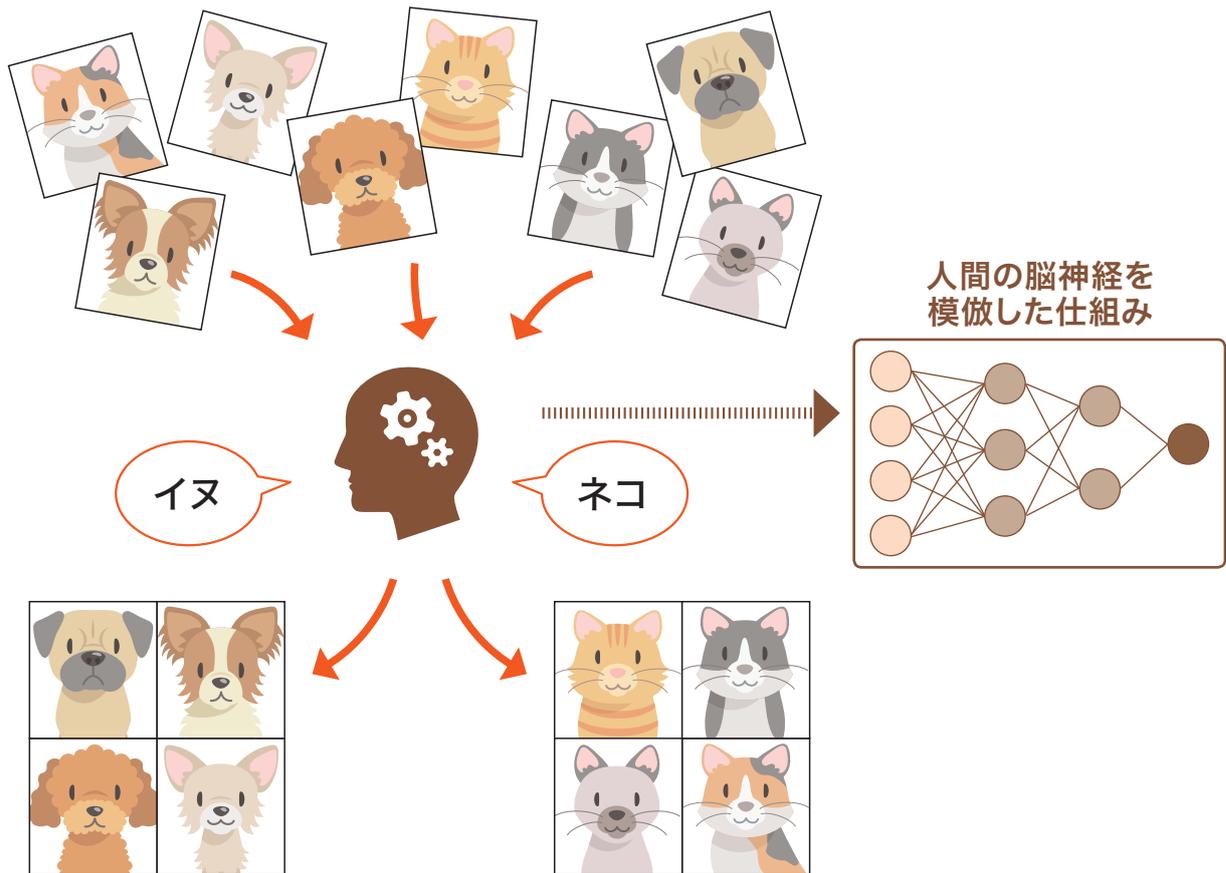
画像や音声など、生のデータに強いのがディープラーニングである。これまで、人間が自分で見たり聞いたりして区別するしかなかった生のデータを、AI自身が見分けたり、聞き分けたりできるようになった(図1)。

わずか数年前まで、写真に何が映っているかを当てることは、コンピューターにとっては非常に困難なタスクだった。しかし、ディープラーニングの登場によって状況は一変した。いまや画像認識の精度では、AIは人間の能力をはるかに超えていて、数万枚の写真を見て何が写っているかを当てるテストで、AIが間違える確率は2%を切る勢いである(同じテストを人間がやると5%程度間違える)。

音声認識についても、iPhoneに搭載された「Siri」やAndroidに搭載された「Googleアシスタント」に始まり、今ではAmazon EchoやGoogle Homeなど、AIスピーカーの開発も盛んだ。2018年5月には、Googleが人間に代わってレストランや美容室に電話予約してくれる音声アシスタント「Google Duplex」を発表して話題を集めた(「3.2.3 言語の意味理解と生成」参照)。相手に要件を伝えるだけでなく、相手の返事に応じて、AIがあまりに自然な受け答えをするので、言われなければ人間がしゃべっていると勘違いしてしまうほどである。

要するに、ディープラーニングによって、機械は「眼」や「耳」を手に入れつつあるのだ。カメラやセンサーは昔からあるが、それらは写すだけ、記録するだけで、そこに何が写っているかは人間が

■図1 大量のデータを学習することで認識が可能に



「眼」で見て確認するしかなかった。ところが、ディープラーニングによって、機械はそこに何が写っているか、自ら認識できるようになってきた。それが、今までのAIとは決定的に違うところである(図2)。

この「眼」を持ったことで、機械は「手」と「足」を使えるようになった。汎用的な調理ロボットの実用化にはまだ時間がかかりそうではあるが、Moley Roboticsなどはロボットシェフを開発している(図3)。

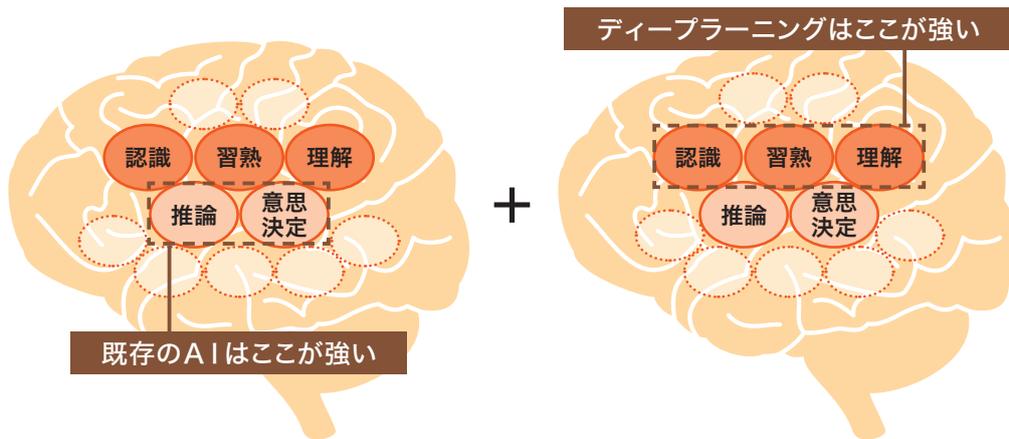
そして、この影響を大きく受ける産業分野の1つが、自動車産業である。自動車産業は裾野が広いだけに、自動運転技術の開発は、自動車メーカーやデバイスメーカーにとどまらず、Google(傘下に自動運転ベンチャーのWaymoを抱える)などのITメガプラットフォーマー、NVIDIA(p.241のヒアリング記事参照)やIntel(イスラエルのMobileyeを買収)などの半導体メーカー、Uberや中国の滴滴出行(ディーディー)などのライドシェア勢が入り乱れ、いまやAIの主戦場といった様相を呈している(「3.4.2 自動車産業における利用動向(海外)」参照)。

また、すでに工場では、食材の異物混入や不良品の判別、機器故障の事前検知など熟練工が行っていた業務をAIが代替するようなスマート工場化が進んでいる(「3.3.1 製造業における利用動向(日本)」「3.4.1 製造業における利用動向(海外)」参照)。コールセンター業務では、人手不足への対応などを目的に、問い合わせにクラウドAIが活用されている(「3.3.9 金融業における利用動向(日本)」「3.4.8 金融業における利用動向(海外)」参照)。

AIが実用化されつつある今、経営者はどこに投資すべきか。その判断を間違えないように注意すべきである(表1)。

■図2 なぜディープラーニングは産業構造を変えうるのか

AIでできることが飛躍的に拡大



■図3 イギリスのロボット企業Moley Roboticsなどが開発したAIロボットシェフ



提供: Moley Robotics

■表1 AIの実用化が進んでいる代表的な産業分野と、なくなったり、劇的に変化すると予想される作業

| | |
|----------|---|
| 製造業 | 目視での検査、モニタリング、部品の選定など |
| 自動車産業 | 運転代行、車中の過越し方など |
| インフラ | 地質調査、物流の最適化、異常検出など |
| 農業 | 作物の生育管理、害獣監視、不良品の選別、農薬散布・施肥の最適化など |
| 健康・医療・介護 | 画像診断、創薬、在宅医療者のケア、シフト管理など |
| 防犯・防災 | 不審者・万引き監視、災害予測など |
| エネルギー分野 | 電力最適化、送電線の点検、油田の探索など |
| 教育 | 採点作業、教育の最適化、シフト管理・リスト作成など |
| 金融業 | 不正検出、書類の確認などの審査、窓口業務など |
| 物流 | 宅配 (→ドローン、車、ロボットを含めた無人宅配)、衝突回避、積荷の最適化など |
| 流通業 | 来店者属性調査、陳列、レジ作業など |
| 行政 | 文章作成、住民の振り分け、問い合わせ対応、書類の不備の確認など |

出典: 第3章をもとに作成

AIのデータ収集・実用化で、米中が大きく先行する事実

これらのAIのいくつかは、「教師あり学習」という方法で訓練されている。正解付きのデータ（教師データという）を大量に与えることで、AIを賢く育てようという方法だ。一般に、学習用のデータが多いほどAIの性能は上がるので、「正解付きのデータをどれだけ集められるか」が勝負の分かれ目になる。

例えば、ネコやイヌが写っている画像や動画はインターネットを探せばいくらでも見つかる。こうした一般的な画像は、YouTubeや画像検索を持つGoogle、Instagramを持つFacebookなら、ただ同然で入手できるだろう。つまり、大量のデータを集めるときに、GAFA（Google、Apple、Facebook、Amazon）のようなITメガプラットフォーマーが圧倒的に優位である。

Amazonが2018年1月に一般公開したレジなしコンビニ「Amazon Go」の天井は、客がどの商品をピックアップしたかをチェックするため、無数のカメラで覆い尽くされている（図4、図5）。店内でピックアップした商品は、ゲートを通過して店外に出ると自動的にAmazonアカウントに請求される。おそらく消費行動なども収集可能である。この蓄積されたデータによって、AmazonのAIはさらに賢くなっていく。対談で尾原氏が語ったとおり、データ収集の結果から、さらに画期的な新サービスが誕生するだろう。

また、中国はAIの分野で莫大な投資と人材育成を行っている。中国政府は、2017年7月に「新世代人工知能発展計画（次世代の人工知能開発プラン）」を発表（第3章「特集 データで見る中国のAI動向」参照）。社会実装の面でも、国家主導で自動運転シティー計画を実施して、インフラ協調型の自動運転の実装を進めている。また、2018年7月にはBaidu（百度）とアモイ金龍聯合汽車工業は、共同開発したバス「Apolong（アポロン）」で「レベル4」の自動運転を実現したことを発表した（図6）。「レベル4」とは限定領域内の高度運転自動化のことで、日本では2020年に限定地域で行うレベルの自動運転である（「3.3.2 自動車産業における利用動向」参照）。

その後、ソフトバンクグループのSBドライブはApolongの日本での展開を発表している。このように今後、中国国内で社会実装を済ませたサービスが続々と日本に押し寄せる可能性がある。

中国は人件費の安い国というようなイメージはもはや過去のものである。経営者は中国を巨大な市場と人材（知能）を有する国として、客観的な目で注視しておく必要があるだろう。

■図4 レジがないコンビニ「Amazon Go」



提供：アマゾンジャパン

■図5 「Amazon Go」の天井にある無数のカメラ



提供：一般社団法人ジャパンフードクリエイティブ協会
ディープラーニングにより人の動きを把握している

■図6 自動運転バス「Apolong」



提供：Baidu Japan

■図7 人工知能を活用し、不審者の動きを感知・記録する「Nest Cam IQ indoor」



提供：Nest

データ収集で日本が勝てる分野はあるのか？

GAFAsは今、日常のあらゆる場面で我々の生活に入り込んでいる。これはすなわち彼らが日夜を問わず、世界中でデータを収集し続けていることを意味している。AIとそのデータの利活用については、オープンソースや倫理など様々なトピックスで議論が続けられている（「2.9 標準化・オープンプラットフォーム」「4.3 AIに関する原則、ガイドライン等」参照）。

しかし、前述したとおり、データの収集にはAIを正しい判断に導く正解データが必要になる。では、日本はどこに特化すべきだろうか。

例えば、収穫期を迎えたトマトやイチゴのうち、どれが収穫に適していて、どれがまだ収穫すべきではないのか。どれが出荷基準を満たしていて、どれを廃棄処分にすべきなのか。大きな実を育てるために、どの枝を残し、どの枝を落とすのか。どの花を残し、どの花を捨てるのか。人間が一つひとつ目で見て選別していた作業を、AIに学習させるためには、「この状態なら収穫する」という正解が付与された大量の画像データが必要になる。写真を撮るだけではダメで、写ったトマトやイチゴ一つひとつに「これは収穫する」「これはまだ」とタグ付けしなければいけないので、農家の協力が欠かせない（辻井潤一氏コラム「日本の人工知能」参照）。こうしたデータはまだどこにもない。それを集めれば、収穫用のAIを鍛えることができるはずだ。

あらゆるものがインターネットにつながるIoT (Internet of Things) 時代には、収集できるデータの種類も量もケタ違いに大きくなる。そこで、今まで取れていなかったデータを取る試みがあちこちで起きるはずだ。

データ未収集のフロンティアは、家庭にもある。パソコンやスマホの普及で個人のデータはかなり収集できるようになったものの、家庭内にはITメガプラットフォーマーがリーチできていない領域がいくつも残っている。2014年にGoogleがサーモスタットメーカーのNestを32億ドルで買収したときは世界中が驚いた(その後、家庭用の監視カメラDropcamも買収して、スマートホーム部門を強化している)が、セントラルヒーティング方式が一般的な米国家庭内のデータ収集に足場を築きたいGoogleの戦略の1つだと考えると、納得がいく(図7)。Amazonはボタン一発で注文が完了するダッシュボタンで家庭内への浸透をはかり、現在は、先ほど紹介したAIスピーカーや、テレビに接続して使うApple TVやGoogle Chromecast、Amazon Fire TVなどで各社がしのぎを削っている。いずれも、ITメガプラットフォーマーが家庭内に浸透するための手段というわけだ。

しかし、考えてみれば、家庭内にはすでに多くの電化製品が入っている。白物家電やAV機器だ。家電メーカーがもつ圧倒的な優位性を、もう一度確認しておきたい。例えば、冷蔵庫にセンサーをつけられれば、どんな情報が取れるだろうか。いつも買っている食材が認識できれば、使い切る前にアラートを出したり、自動で注文できるかもしれない。さらに進んで、冷蔵庫に今入っている食材でできる料理のレシピを教えてくれたり、家族の好みに応じて、毎日のメニューを提案して、足りない食材を自動発注したりすることはできないだろうか。

洗濯機や食器洗い乾燥機なら、消耗品である洗剤の買い忘れを防ぐことができるだろう。さらに進んで、水の消費量の少ない洗剤や汚れにくい衣類(繊維)の開発のためのデータを集めることはできないだろうか。

1日の3分の1近くは寝ているということを考えると、睡眠も大きなテーマだ。枕やベッドにセンサーを取り付けられれば、どんなデータが取れるだろうか。快眠・安眠のための寝具の開発や、いびき防止、睡眠時無呼吸症候群の治療などに役立つことも不可能ではない。

各部屋に必ずあるという意味で、エアコン以上に有望なのは照明やコンセントの差込口かもしれない。すべての部屋に人感センサーをつけたら、どんな情報が得られるだろうか。

もう1つ、アイボ(ソニー)を生んだ日本ならではの意味で、ペットロボットにも可能性がある。無機質なAIスピーカーに話しかけるよりも、ソニーのアイボや、シャープのロボホンのような小型のヒト型ロボットのほうが、密なコミュニケーションが発生しやすい。高齢者の見守り機能も含めて、様々なチャンスが広がっていそうだ。

またロボットに関して言えば、例えば、物流倉庫のピッキングや箱詰め作業に始まり、工場で人間に残された工程を代行するロボット、業務用の食洗機に皿を出し入れするロボット、野菜や果物を収穫するロボット、貝殻を剥くロボット、弁当の具を詰めるロボットなどがすぐに思いつく。身近なところで言えば、ルンバのような掃除ロボットはあるが、片付けロボットはまだ普及していない(ただし展示会CEATEC JAPAN 2018で、Preferred Networksが「家庭用全自動お片付けロボットシステム」を発表した。図8、図9)。部屋の中のいろいろなものをピックアップできるようになれば、いつしか家事全般を代行するロボットが出てくるかもしれない。

このように考えると、家庭内には様々なビジネスのヒントが眠っている。家庭は未発掘のデータの宝庫である。家電メーカーや寝具メーカー、住宅設備メーカーならではの工夫が望まれる。

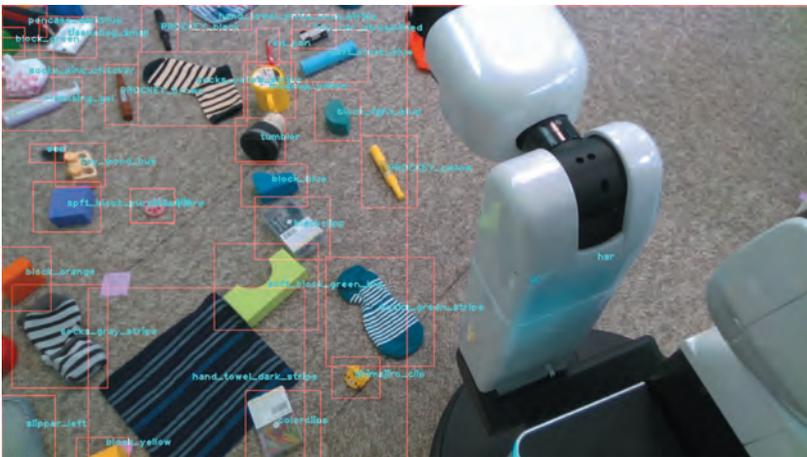
■図8 Preferred Networksの「全自動お片付けロボットシステム」



ロボットには、トヨタ自動車のHSR(human support robot)を使用している。

提供: Preferred Networks

■図9 深層学習技術を応用して、数百種類の物体を識別・整理する



提供: Preferred Networks

組み合わせ次第で、イノベーションを起こせる

ディープラーニング以前は、膨大な組み合わせの中から最適な組み合わせを見つける技術が主流を占めてきた。知りたい人と知りたい情報をつなげる検索エンジンはもとより、閲覧履歴などから一人ひとりにマッチした広告を表示するターゲティング広告、購買履歴などからおすすめの商品を表示する推薦システム、自分の趣味や好みを入力することで最適な相手を紹介してくれる出会い系SNS、中古品の売り手と買い手を結びつけるネットオークションやフリマアプリなど、組み合わせ技術の応用は枚挙にいとまがない。

組み合わせへのAIの応用は、組織のあり方にも一石を投じる可能性がある。すでに米国の大学では、過去の学習履歴などをもとに、自分に合ったカリキュラムや履修科目を提案してくれるAI進路アドバイザーが導入されているが、こうした機能を推し進めていけば、就職先や転職先、希望職種の選択など、AIが個人のキャリア支援アドバイザーとなるのは時間の問題である。

会社側からすると、社内業務と人材の最適なマッチングがAIを通じて行われるようになるかもしれない。すでに、個別面談の結果を通じて「もうすぐ辞めそうな社員」を特定、離職率を下げることに成功したAIなども登場していて、人事系のAIがカバーする領域は広い。

また、こうした技術は、AIの活用がネット空間を飛び出して、リアルな世界へと浸透していくと

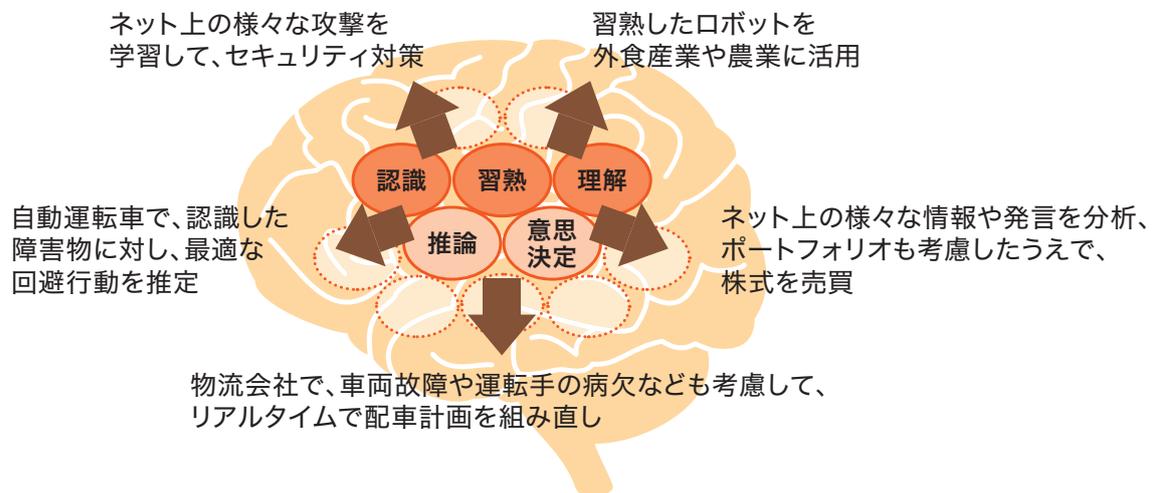
きも相変わらず有効であり、様々な組み合わせ次第で、画期的な新商品、新サービスの誕生が予想される。

例えば、医薬品開発や新素材開発においては、膨大な可能性の中から最適な組み合わせを見つける必要がある。実際、DeNA、塩野義製薬、旭化成ファーマは化合物最適化段階の大幅なコスト及び時間低減につながる技術の開発を始めている（「3.3.5 健康・医療・介護における利用動向」参照）。

また、消費行動がますます多様化した結果、あらゆる商品やサービスが個別にカスタマイズされて提供されるようになれば、組み合わせのビッグデータ分析が大活躍することは間違いない。

イノベーションは組み合わせで起こるが、AIは人間が今まで見ることができなかったものが見え、思いもよらない組み合わせや掘り起こしを行う。AIにより様々なデータ+サービス、サービス+サービスを組み合わせれば、新しい産業を生み出すことも夢ではない。つまり、異次元イノベーションがAIで可能となるのである（図10）。

■図10 AI技術の組み合わせで様々なサービスを実現(例)



オープン/クローズドの切り分けが極めて重要

ディープラーニングの登場により、これまでAIにできなかったことができるようになった。

松尾編集委員が対談で「言語を持つ意味が解明されるかもしれない」と述べているように、AIは自然言語処理でも飛躍的な進歩を見せている（「2.3 自然言語処理」参照）。今後は、言語による壁はもはやないと考え、ローカルな業種も世界で戦える時代になるだろう。

一方、富山氏によれば先進国においては産業のローカル化が進んでいるという[1]。生産も消費もローカル型で行われ、国際競争という概念があまり意味を持たなくなる可能性も示唆されている。その意味では、ローカル型産業を突き詰めることもさらに重要になるだろう。いずれにしても、これまでの常識は今後、覆されていくと考えたほうが良い。

まずはAIを活用することを始め、その上で、経営者が考えるべきポイントは次のようになる。

- ① 自社のビジネスでは、どんなデータなら取得できるか（今まで取れていなかったデータを取るにはどうしたら良いかも考える）。
- ② そのビジネス（あるいは自社がこれから取り組みたいビジネス）を強化するために、どんなデータが必要か。

- ③a ①と②がぴったり合致するときは、できるだけブラックボックス化して囲い込む。
- ③b ①と②に食い違いがあるときは、ある程度オープン化して外部の力を借りる。

③aの場合は、自社独自のデータでAIを鍛え上げることが第一の戦略となる。そのビジネス領域でナンバーワンのAIを作ることができれば、それが生き残りの強力な武器になる。さらに、そのAIをプラットフォーム化して、他社のデータを取り込めば、市場を席卷する可能性もゼロではない。ただ、気をつけたいのは、AIの開発をすべて外注してしまうと、自社にノウハウが残らず、おいしいところをすべて持って行かれる可能性があるということだ。そこで、M&Aやアライアンスによって、AI系のベンチャーの技術を取り込むことも視野に入ってくるだろう。

③bの場合は、どこまでをブラックボックス化して、どこからオープン化するかが経営判断の要となる。手元に他社でも取れるデータしかないなら、思い切ってオープン化して、他社が提供するプラットフォームに乗ってしまうという手もある。メーカー向けのIoTプラットフォームとしては、ドイツの「Industrie4.0」や米国の「Industrial Internet」の取組みが知られている（「4.6.4 ドイツ」参照）。Boschの「IoTスイート」やGEの「プレディックス」などがその代表である。そのうえで、自社にしかできない部分に特化して生き残るのだ。

人間がやるべき仕事は何か

AIが産業構造を変えることは明らかである。前述のように、経営者が考えなければいけないポイントの一つに、AIによってリソースの配分の変化が挙げられる。AIが目を持ち、手を使えるようになれば、ルーティンワークのような決まりきった作業はどんどん機械に置き換えられるのは間違いない。しかし、対談でも述べられていたとおり、AIにすべての作業が奪われるわけではない。

例えば訴訟案件に対して過去の判例を調べるパラリーガルの仕事は、マッチング系の技術によって失われる可能性が高いが、弁護士の仕事はなくなる。相手が人間だからだ。クライアントとも裁判官とも検察官とも、言葉や文書のやり取りが必要だ。深いレベルの対人コミュニケーションは、技術的にも受け取る側の感情的にも、人間にしかできない仕事であり続ける。

教師の仕事も大きく様変わりするが、なくなる。AIによって、生徒の学習進度に応じたカリキュラムの提供が可能になり、例えば成績評価も定量的な部分はAIが担うようになるが、生徒のモチベーションを上げるのは教師の仕事だ。事務的な作業から解放される分、生徒一人ひとりに割ける時間が増え、教師本来の仕事に集中できるようになるはずだ。

ホワイトカラーの仕事でも、下調べや資料作成などの事務作業はどんどんなくなる一方、AIは何かを決めてくれるわけではない。AIが提示した複数の選択肢から一つに決めるのは、やはり人間の役目であり、営業や社内調整などの対人コミュニケーションは人間の仕事であり続ける。

つまり、どの部分にAIやロボットを導入し、どの部分を社内外の人材にまかせるかを決めなければならない。それは経営の意思そのものだ。

ここで紹介した例の多くは想像も含まれていて、実現するかどうかは分からない。逆に言うと、AIを使ってこれから何をするか、経営者の皆さん自身が思い浮かべれば、もっとたくさんのアイデアが出るはずだ。

◆参考文献

- [1] 富山和彦『AI経営で会社は甦る』文藝春秋、2017。

技術動向

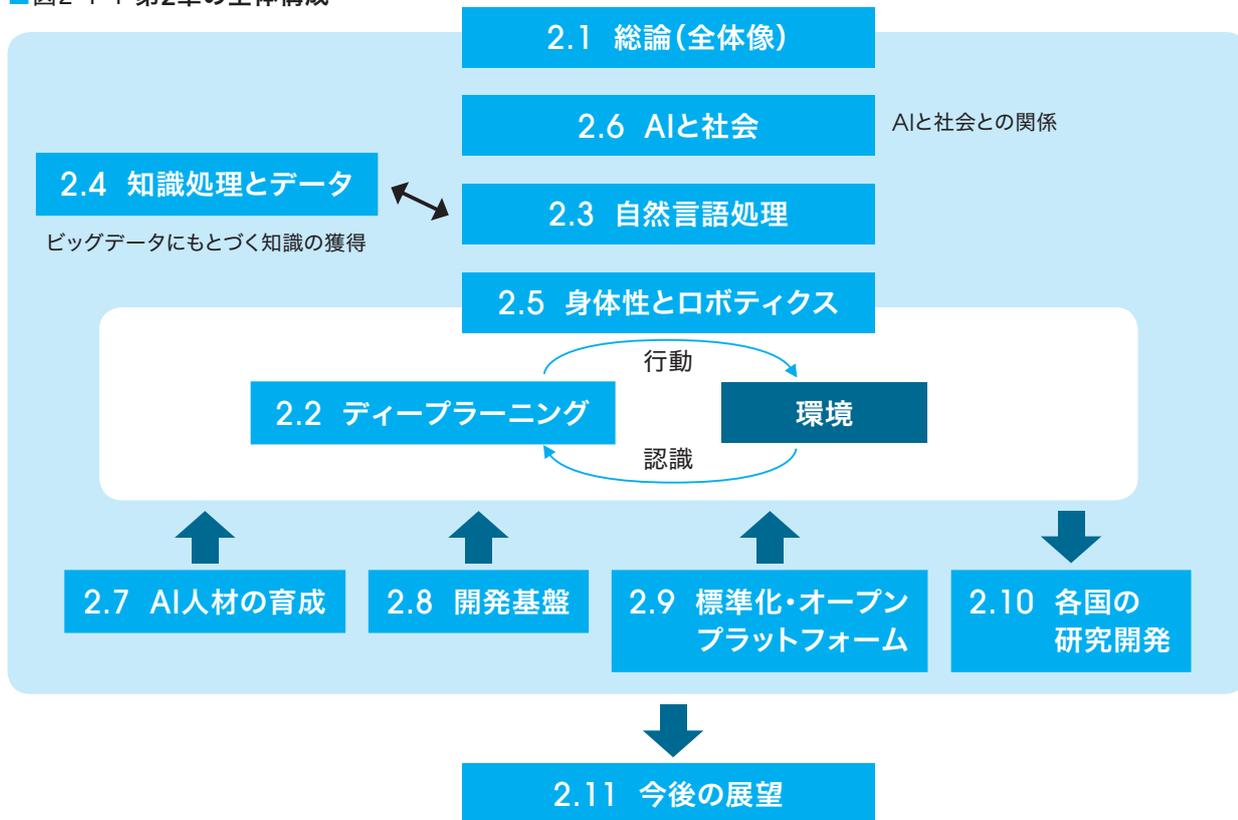
- 2.1 総論（技術の全体像、マッピング）
- 2.2 ディープラーニング
- 2.3 自然言語処理
- 2.4 知識処理とデータ
- 2.5 身体性とロボティクス
- 2.6 AIと社会
- 2.7 AI人材の育成
- 2.8 開発基盤
- 2.9 標準化・オープンプラットフォーム
- 2.10 各国の研究開発
- 2.11 今後の展望

技術動向

2.1 ▷ 総論(技術の全体像、マッピング)

本章では、AI開発に必要とされる「基盤技術」及び「技術環境」の最新動向について説明する。図2-1-1に第2章の概観を示す。各基盤技術や技術環境については、互いに関連しつつ、急速に進展している。

■図2-1-1 第2章の全体構成



基盤技術に関しては、「2.2 ディープラーニング」において第三次AIブームを引き起こしたディープラーニングの最新の動向、「2.3 自然言語処理」において自然言語処理の基本及び技術動向、「2.4 知識処理とデータ」において機械学習の学習に活用されるビッグデータやディープラーニングとの組み合わせで発展する知識処理について説明する。また、「2.5 身体性とロボティクス」においてロボットと環境とのインタラクションにより知識が創出される身体性について、「2.6 AIと社会」においてAI時代の社会の在り方などについて説明する。

技術環境に関しては、「2.7 AI人材の育成」においてAI技術者やユーザー企業の人材の育成施策や動向、「2.8 開発基盤」において学習環境やエッジにおける推論環境などの技術動向、「2.9 標準化・オープンプラットフォーム」において国際標準化やオープンソース、データの共有などの動向、「2.10 各国の研究開発」においてグランドチャレンジを含めた国内外のAI関連研究開発について説明する。最後に「2.11 今後の展望」としてまとめる。

2.2 ▷ ディープラーニング

本節では、ディープラーニングの定義と応用を説明し(2.2.1～2.2.4)、最新動向である、深層生成モデル、深層強化学習を説明し(2.2.5)、計算原理と実装技術についてできるだけ平易な説明を試みる(2.2.7)。

2.2.1 ▶ ディープラーニングの躍進

(1) 「眼の誕生」

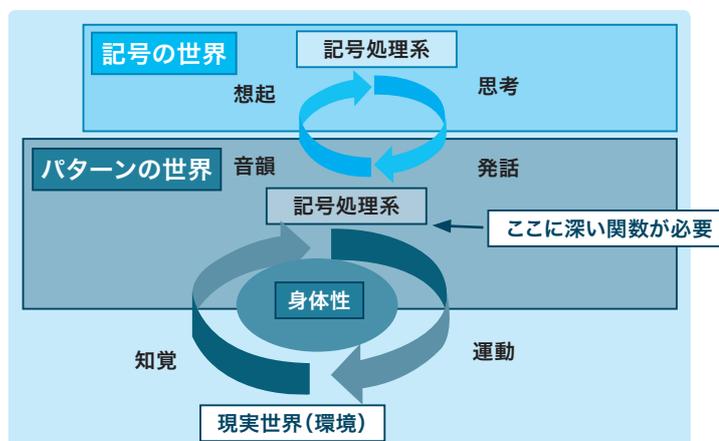
ディープラーニングは、2012年に「ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)」という画像認識のコンペティション^{*1}で大躍進を果たした。トロント大学(University of Toronto、米国)のGeoffrey Hintonらのチームがディープラーニングの技術を使って、ほかのチームがエラー率(低いほうが良い)26%台の攻防を繰り返す中、16%という脅威のエラー率を達成して圧倒的な勝利を取めた。それまでは世界中の研究者が競っても、1年で1～2%しか改善しない領域であった。その中で、10%も記録を更新し、しかも職人技の特徴抽出ではなく、自動で特徴を学習することで実現したことは驚きをもって迎えられた。

画像認識でコンピューターが人間の精度を上回ったことの意義は、いくら強調してもしすぎることはない。なぜなら、後述するように、人間の仕事の中で、「眼」を使って認識・判断している仕事はたくさんあり、それがすべて自動化・機械化できる「可能性」が出てきたからである。

(2) 知能の全体像

知能の全体像は、図2-2-1のようになる。まず、人間も動物も、生物はすべて環境中に生きているので、環境からのセンシングとそれに応じた行動というループが基本である。それは特定の環境に対してのみ動く、簡単な制御系でも実現できるし、より複雑な環境でロバスト^{*2}に動くようにも設計できる。これは、Rodney Allen Brooksが言っていた身体性^{*3}であり、Rolf Pfeiferの言う環境における身体性の重要性^{*4}である。すべての生物は環境に条件づけられた自己保存装置、あるいは再生産装置であるので、環境にその行動は埋め込まれている。

■ 図2-2-1 知能の全体像: 知覚運動系と記号系の2階建て



※1 ILSVRC2012 (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge 2012)

※2 堅牢性、ここでは、外乱の影響によって変化しないという意味。

※3 「ブルックスの知能ロボット論」ロドニー・ブルックス、ISBN9784274500336

※4 「知の創成 身体性認知科学への招待」ロルフ・ファイファー、ISBN9784320120327

ところが、こうした知能の全体像において、これまでの人工知能における数十年の研究では大きな問題があった。環境中におけるパターンの処理が極めて弱かったことである。Brooksによって昆虫型ロボットが作製されても、それよりも高度なパターン処理をするものは作れなかった。特に視覚的な入力の問題は顕著であった。

ディープラーニングはこれらの問題の根っこにあった原因(特微量を自ら発見できなかったこと)を解消した。そして、そこを起点にして、様々なイノベーションが起きると予想される。順番としては、認識の問題が解決されれば、次は身体性の研究が飛躍を遂げるはずである。しばらくはロボットや産業機械の研究が最もホットな分野となる。その後、記号の研究が本格化する。今までと違って、きちんと「グラウンドした^{※5}」記号を使つての研究ができるからである。そして、言葉を使った意味処理が可能になり、言語からの知識獲得もできるようになる。

以降の節では、ディープラーニングの概要を説明し(2.2.2)、画像認識分野での躍進(2.2.3)や、時系列データ処理への展開(2.2.4)を紹介する。深層生成モデルや深層強化学習などの最新の話題に触れ(2.2.5)、さらに、ディープラーニングが知能の探求という意味での人工知能技術へ与えるインパクトについて述べ(2.2.6)、基本的な学習のメカニズム(2.2.7)を補足する。最後に今後の展望を紹介する(2.2.8)。

2.2.2 ディープラーニングとは(特長、仕組みの概要など)

ディープラーニングとは、簡単な関数を組み合わせて表現力の高い「深い関数」を作り、そのパラメーターをデータから推定する機械学習技術である。「ニューラルネットワーク」の一つと説明されることも多いが、人間の神経回路(ニューロン)を模しているかどうかはもはや重要ではない。ディープラーニングの要点は、深い関数による表現力の高さと、連鎖律(チェインルール)による勾配降下^{※6}にある。

本項では「ニューラルネットワーク」の構造を概観し、より広い機械学習の観点からディープラーニングの特徴を説明する。さらにディープラーニングが単に認識だけでなく、運動の習熟や、画像生成に適用され、これらが未来の予測と、プランニングにつながってゆく様子を説明する。

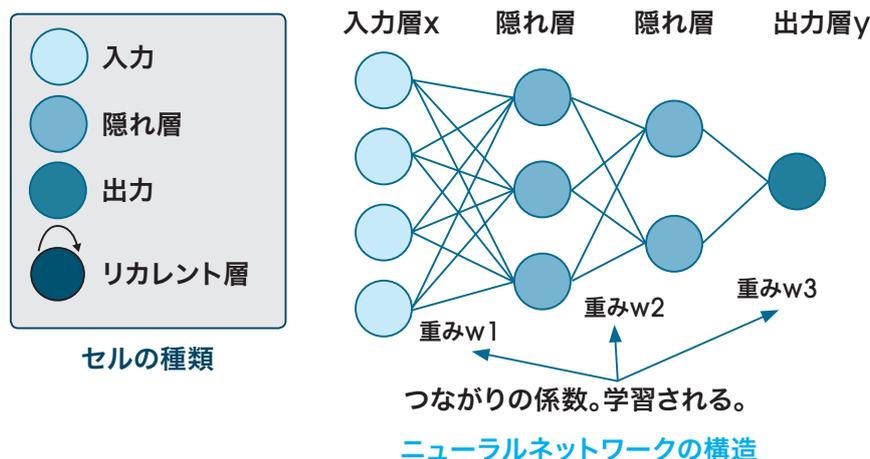
(1) ニューラルネットワークの構造

「ニューラルネットワーク」とは、人間の脳を参考にして神経細胞(ニューロン)を多層に重ね合わせた構造を計算機の上でネットワーク上に作成したもので、神経細胞間の伝達のしやすさを調整することにより、学習を模擬する、神経細胞のような(ニューラル)ネットワークのことである。

図2-2-2は、「ニューラルネットワーク」の構造を模式的に表した図である。4層のニューラルネットワークであり、入力層 x 、2層の隠れ層、出力層 y で構成され、これらの間のノード(図中の円)の間に重み係数 w_1 、 w_2 、 w_3 が与えられる。学習を繰り返し、入力に対し常に所望の出力を出すように、重み係数が調整されて、所望の機能、例えば「手書きの画像を入力して、書かれている数字を判定する」、を学習する。

※5 記号システム内のシンボル(記号)がどのように実世界の意味と結び付けられるかを「シンボルグラウンディング問題」と呼ぶ。「グラウンドした」記号とは、実世界の意味が結び付けられた記号を指す。

※6 深い関数の微分は、微分の「連鎖律」を用いて計算できる。この微分値(傾き=勾配)に従って最適なパラメーター値を求めるアルゴリズムを勾配降下と呼ぶ。

■ 図2-2-2 ニューラルネットワークの構造の例^{※7}

(2) 機械学習とは

「機械が学習する」とは、例えば、回帰を例にとると分かりやすい。賃貸住宅に対して広さや立地条件に対して家賃のデータが大量にあるとする。広さや立地条件と家賃の間に関係性があるだろうから、何らかの近似関数を導くことができる。この近似関数が計算できると、新しい物件が出たときに、広さと立地を聞けば、だいたいの家賃を予測することができる。この予測ができる状態になることを、「コンピューターが学習した」という。

機械学習における代表的な3つの学習の枠組みは、「教師あり学習」、「教師なし学習」、そして「強化学習」である。

機械学習においては、与えられた教師データ(教師となるデータ)を、学習に用いる訓練データと、テストに用いるテストデータの2つに分けることが多い。訓練データで学習をし、その結果をテストデータで評価する。

2つに分けることにより、訓練データに対しては正しい判断ができるが、テストデータに対しては正しい判断ができないので、「過剰適合(あるいは過学習)」を避けることができる。未知のデータに対して、当てはまりをよくする能力を「汎化性能」と呼び、過学習を防ぐために、行われる処理を「正則化」と呼ぶ。

このように、正解データにもとづいて学習することを「教師あり学習」という。

一方「教師なし学習」は、正解データを用いずに、データの背後にある構造を見つけ出すものである。代表的な手法にデータの近接性からグループ分けを行うクラスタリングがある。クラスタリング以外にも、次元削減、素性学習、密度推定などが含まれる。入力そのままのものを出力するように(入力を再構成するように)構成したニューラルネットワークの一種である「オートエンコーダー」も教師なし学習の手法の一つである。

「強化学習」は、次のように定式化される。環境とインタラクションを行うエージェント^{※8}において、ある「状態」にいるエージェントが、「行動」(環境への作用等)を選択すると、別の「状態」に移り、結果としてそれが良かった悪かったという情報(「報酬」という)が得られるとする。このとき、報酬を最大化するような行動の指針である「方策」を見つけたい。強化学習では、いろいろな行動をした後に、その情報(報酬)をもとに、どういう行動をすればよいかの「方策」を自分で学習する。

※7 表記は「The Neural Network Zoo<<http://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>>」を参考。

※8 「強化学習」の分野では、学習を行う主体のことを「エージェント」と呼ぶ。

(3) 機械学習からディープラーニングへ

ディープラーニングは、機械学習の一つの技術である。これまでの機械学習とディープラーニングが最も異なる点は、「深い関数を使う」という点である。これまでの様々な機械学習の方法、あるいはその応用(例えば自然言語処理など)では、様々な手法が構築されたが、基本的には「浅い」ものであった(あるいはグラフィカルモデル^{※9}などの何らかの変数間の依存関係を仮定したものであった)。

ここでは、学習の仕組みからは、「ディープラーニング系」とそれ以外の機械学習(ここでは「マシンラーニング系」と呼ぶ)に分類しよう。

マシンラーニング系のプロジェクトでは、ドメイン(対象分野)の知識を持って取り組むことが大変重要である。そして、いちばん簡単な線形モデル(重回帰)から始まって、ロジスティック回帰、サポートベクター回帰、そして様々なアンサンブル学習の手法(学習器を組み合わせる手法)、例えばランダムフォレストやXGboostなどのマシンラーニング系の手法を使ってやってみる。手法の一つとして、ディープラーニング系のアルゴリズムも適用するが、必ずしもマシンラーニングの手法より優れているというわけではない。

一方、「ディープラーニング系」は、表現力の高い深い関数を用いるため、データと計算量さえ多ければ精度が上がるという特徴を持つ(もちろんドメインの知識も重要ではある)。ただし、ディープラーニングに適したデータは限定的で、すでにデータベース化されているものよりも、画像そのものや音声そのもの、(大量にある場合の)テキストなど、生データに近いデータの扱いに優れている。ドメインの知識、一般的な背景知識等を必要とする問題に対しては、それらの知識をうまく組み込むことが難しい。

ディープラーニング系のプロジェクトでは、どうやってデータを取得するか、そのデータにどうやってアノテーション(ラベルやメタデータを与えて正解データを作ること)をするかがボトルネックになる。そして、最新の技術を使ってモデルを構築し、実際にやってみて、またデータの取り方から改良をしていくという、試行錯誤のサイクルを続けることになる。

また、ディープラーニング系と従来のマシンラーニング系との違いを最も際立たせる概念の一つとして、「エンド・トゥ・エンド(end-to-end)学習」がある。端から端を一気通貫で学習するという意味である。

ディープラーニングでは、途中をすべてニューラルネットワークとし、入力画像と判定したクラスをつなぐ。そして、正解データとの誤差から逆算して、ニューラルネットワークのパラメーターを学習する(誤差逆伝播)。従来のマシンラーニングが、データの事前処理にドメイン知識を多く必要としていたのに対し、ディープラーニングはそれほど必要としない。そういった意味で、従来の分野ごとに整理されてきた知識体系をあまり意味のないものにし、新たなパラダイムを構築しつつあるということになる。

(4) 「ディープラーニング×強化学習」：認識から運動の習熟へ

「2.2.1(1)『眼の誕生』」で示した画像認識の次に注目すべき変化は、深層強化学習と言われる技術である。運動の習熟すなわち、機械やロボットが練習して上達するというを可能にする。

強化学習では、前述のように、学習により報酬を最大化するような行動の指針である「方策」を見

※9 確率変数間の依存関係を矢印で表したグラフ構造として表現したモデル。対象とする現象の裏にある構造のモデル化と、それにもとづく推論(ベイズ推論等)を確率理論に沿って行うことができる。

つけるが、その実現手段の一つとして、「こういう状況ならこういう行動を取る」というふうに、「状態」から「行動」を出力するような関数を見つける方法がある。これまでの強化学習では、関数近似と呼ばれる方法もあったが、深い関数を学習させることができなかつたため、単純な方法しか取れず、状態の数が非常に多くなると、どうしようもなかつた。さらに、人間が定義した「特徴量」を使うしなく、どうしてもあらかじめ想定した範囲内でしか「状態」を記述できなかつた。

ところが、ディープラーニングと強化学習を組み合わせる「深層強化学習」では、ディープラーニングで得られた「特徴量」を使って「状態」を定義する。これまでのやり方とは、ほんのわずかな違いだが、これだけで機械やロボットが、今までよりもずっとうまく環境の「状態」に対応できるようになった。

人間と同じように何度も試行錯誤を重ねながら、自分でゲームの攻略法を見つけていくことが模擬できる。それが可能になったのは、「状態」を認識する「画像認識」の精度がディープラーニングによって劇的に向上したからである。さらに探索による先読みと組み合わせることで、「ゲームの勝利」を「報酬」とした「方策」を学習できるようになったことがAlphaGo(碁)の躍進につながった。環境に対するロボットの一連の操作と反応をゲームとみなせば、「ゲームの勝利」とはすなわち運動を習熟することに相当する。

一例として、ディープラーニングと強化学習を組み合わせたロボット「BRETT」^{*10}がある。カリフォルニア大学バークレー(University of California, Berkeley)校は2015年5月に、「BRETT」が試行錯誤を重ねながら様々な動作に習熟していく動画を公開した。

この動画の衝撃を言葉に表すのは難しい。我々は、機械は「機械的な動き」しかできないし、ロボットは「ロボットのような動き」しかできないと思い込んでいる。何より、「機械的」とか「ロボットのような」という形容詞自体が、決められたとおりの動作をカクカクとした動きで行うことの意味になってしまっている。そして何回同じ動作を繰り返しても、機械やロボットは、人間や動物のように上達することはないと思い込んでいるが、この動画を見ればそれが間違いだと分かる。

もう一つ、大きな違いは、同じプログラムに別の動作を学ばせることができる点である。BRETTは目的のタスクに応じて報酬の設定をすれば、様々な動作を学習することができる。動作の種類に応じてプログラミングし直す必要はなく、同じ学習プログラムを使って、別々の動作ができるようになる。また、一旦学習した内容はコピーして、同じタイプのロボットであれば同じように動かすことができる。

(5) 「ディープラーニング×生成モデル」：画像の生成

ディープラーニングを使うと、白黒写真に色をつけることもできる^{*11}。Googleの「オートドロー(AutoDraw)」は、簡単なイラストを描くと、プロが描いたようなイラストに変換してくれる^{*12}。これらの技術は、多くの人に衝撃を与えた。色がついた画像を白黒にすることや、イラストを簡略化することはできても、逆はできないように思える。情報量が増えているからである。ところが「オートドロー」ではそれができている。「生成モデル」では、データの生成過程をモデル化する。あるクラス y が与えられ、そして y から x が生成される確率 $P(x|y)P(y)$ を計算するので、 x と y の「同時確率」を求めることでもある。ディープラーニングにより「生成モデル」を学習できるようになったの

※10 BRETT the Robot learns to put things together on his own <<https://youtu.be/JeVppkoloXs>>

※11 「ディープネットワークを用いた大域特徴と局所特徴の学習による白黒写真の自動色付け」飯塚他、2016

※12 AutoDraw<<https://www.autodraw.com/>>

で、例えば、白黒写真 (y) からカラー写真 (x) を生成するモデルを構築できる。このような能力を見ると人間特有だと思われていた「クリエイティビティ (創造性)」の一部が、人工知能でも実現されているように見える。

そもそも、人間の創造性とはいったい何であろうか？ コンピューターは本当に「創造している」と言えるのだろうか？ こうした画像を「生成」する技術はある種のエンターテインメントの用途に用いられるだけだろうか。いや、そうではない。画像生成は未来の予測につながり、次に示すように、知能の技術の進展において重要な意義をもっている。

(6) 次のステップへ、未来の予測とプランニング

たくさんの映像からディープラーニングで学習させると、波が次にどう変化するかを予想できるようになる。そうして1枚の静止画から、その次に起こりそうな1秒間の動画を作れるようになる。こうした予測は、動物が行動計画を立てるときの基盤となる。未来を予測して、未来が自分にとって都合の良くなるように行動を選べばよいからである。

その先には、数秒程度ではなく、数分、あるいは数時間といった単位での行動計画を立てるために、記号を使ったプランニングという技術が出てくるのだが、この辺りはまだ研究者が競って研究をしているところである。

2.2.3 画像認識技術とその飛躍的進歩

2012年の「ILSVRC」にて、深い構造を持つニューラルネットワークが、従来手法の分類性能を大幅に上回って以来、ディープラーニングが画像認識に盛んに利用されるようになった。画像のような「空間的なデータ」に関しては、空間の隣接性を利用することができる。つまり、画像において、ある画素に遠く離れた別の画素が影響を与えることは少ない。空間は近くのものほど影響を受けるので、画像でも近くの画素のほうが影響を与える可能性が高い。この性質を使えば、近傍の画素間の関係を調べればよいので、パラメーターの数を減らすことができる。これがCNN (Convolutional Neural Network) である。本項ではディープラーニングがどのように画像を認識するのかを、CNNの具体的な例で説明する。

(1) CNN：画像を認識するネットワーク

CNNでは、入力に近い側から順に簡単な特徴量が学習され、それが組み合わせられてより複雑な特徴量が学習される。あらかじめイメージネットで訓練されたAlexNetやVGG-16、VGG-19、Inception、Resnetなどはよく使われるモデルである。

CNNに特徴的な処理として「畳み込み (Convolution)」と、「プーリング (Pooling)」がある。

・「畳み込み (Convolution)」

画像中の小さなパッチ (例、 $N \times N$ 画素の切出し) に、特定の関数を重ね合わせて素性^{*13}マップを生成することに相当する。

・「プーリング (Pooling)」

素性マップの局所的なパッチに対して、そのパッチに含まれる素性の「プール」(かたまり)を作り、

※13 対象物に対して、何を特徴とするかを「素性 (feature)」と呼ぶ。画像の場合は素性 (尖っている、滑らか等) が2次元上に配置されるので、マップになる。

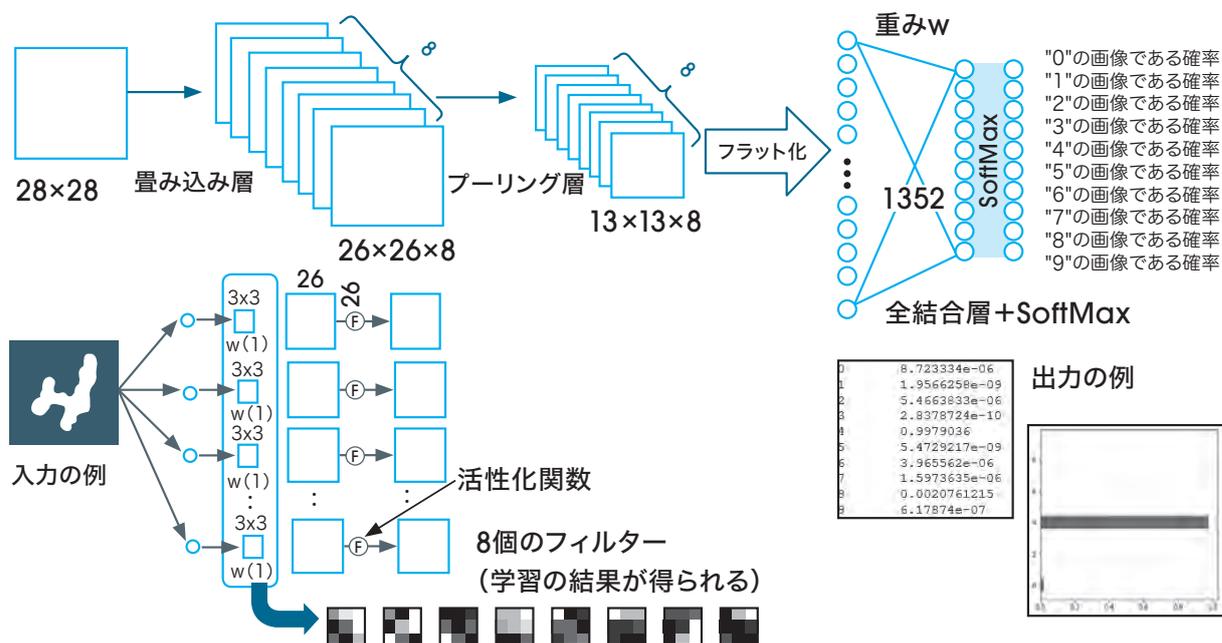
その中で最も値の大きいものだけを取り出す処理。

CNNは、「畳み込み層」と「プーリング層」という2種類の層を交互に繰り返して構成される。非線形な要素を入れるため、畳み込み層の後に活性化関数が挿入されるが、CNNの精度向上に寄与したのは、ReLU (Rectified Linear Unit) と呼ばれる活性化関数の導入である。深層学習では層を深く重ねることが特徴であるが、従来のシグモイド関数のような活性化関数では、層が深くなるにつれ勾配が小さくなっていくのでうまく学習できない、という勾配消失問題をReLUは解決した。

図2-2-3は、CNNを説明する簡単な例である。28×28画素の手書き数字の画像を入力として、そこから書かれている数字を判定する。3×3のフィルター8個を利用して「畳み込み (Convolution) 計算」を行い、活性化関数を介してフィルターが切り出す特徴を反映した素性マップがそれぞれ8枚生成される。さらに「プーリング層」にて2×2画素の最大値を取る計算を行い最終的に13×13画素の結果が8枚得られる。最後に出力層で、8枚の画像を1次元の列データにフラット化した13×13×8=1352のデータに対して、全結合のニューラルネットワークにより、0～9の数値の確からしさに対応する10個のノードに集約する。最後にSoftMax関数により、それぞれのノードを確率に変換する(すべて足すと1になる)。

■図2-2-3 CNNの例

- フィルターサイズ3×3ピクセルの畳み込み層とプーリング層、及び全結合1層からなる
- 畳み込みは、入力は白黒なので1チャンネル、出力数は8
- プーリングは2×2ピクセルの最大値を取るmaxpooling



画像認識も細かくはいろいろなタスクがあり、クラス分類、物体検出、物体セグメンテーション、画像キャプション生成などがある。さらに応用に近いものとして、顔認識、行動認識、人間のポーズ同定などがある。いずれのタスクにおいても、CNNは中心的に用いられる。

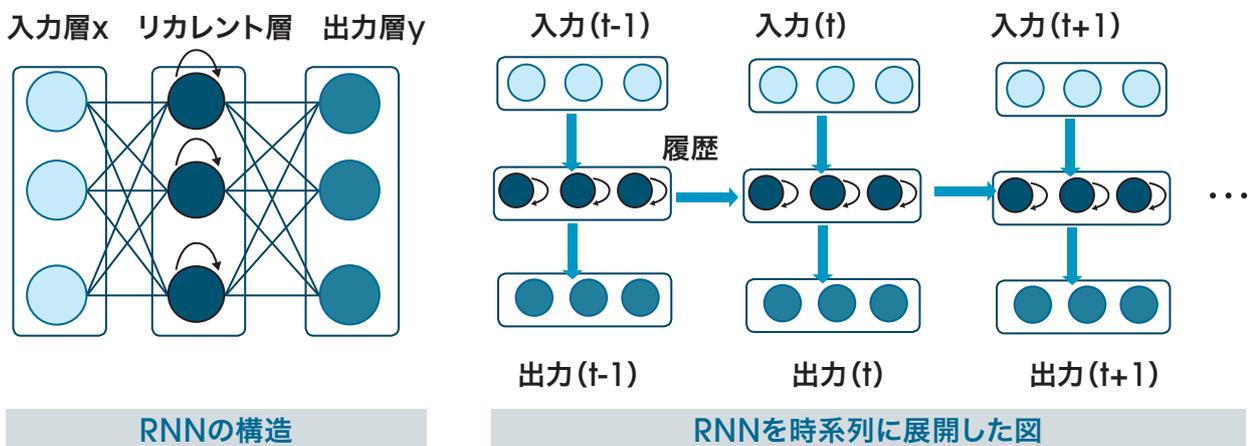
2.2.4 時系列データ処理への展開

音声データやテキストデータのような「時系列のデータ」に関しては、時間的な隣接性を利用できる。つまり、時系列データにおいて、ある時間的に近接した要素同士は影響を与え合う可能性が高いが、時間的に遠く離れた要素が影響を与えることは少ない。この性質を使えば、パラメーターの数を減らすことができる。これがRNN (Recurrent Neural Network) である。本項ではディープラーニングがどのように時系列を処理するのかを、RNNの具体的な例で説明し、時系列の例として自然言語処理への応用、翻訳への応用や、画像認識と組み合わせることにより、言語の意味の理解に近づくことを説明する。

(1) RNN：時系列データを扱うネットワーク

RNNの構造は図2-2-4の左のように図示できる。右は、このRNNを時系列方向に展開される様子を図示したものである。リカレント層は1つ前の時刻の状態も入力として利用していることが分かる。

■ 図2-2-4 RNNの構造※7参照



文脈といっているものを、ニューラルネットワークの隠れ層だと考えよう。すると、出力は、この隠れ層の情報から決められることになる。そして、隠れ層の値は、1時点前の隠れ層の値と、現在の入力によって、更新されると考える。つまり、過去の文脈と新しい入力から新しい文脈が構成される。

(2) RNN/LSTMを用いた自然言語処理

RNNの中身を分析すると、文がどのくらい長いかを学習しているユニットや、文の種類(例、疑問文か、回答文か等)、そして話題展開の階層の深さなどを学習しているユニットなど、文章の「特徴」に対応するユニットが確認できる。

こういった「特徴」を、人間がわざわざ設定しなくとも、自動的に学習することができるのが、RNNの大きな強みである。

しかし、RNNは影響が長期に及ぶときと、短期にしか及ばないときを区別できないという課題がある。LSTM(Long Short Term Memory)は時間的に長期の依存関係をモデル化しようとしたニューラルネットワークである。隠れ層のユニットに代えて、自分自身の状態を保存する「メモリセル」を導入する。不必要になったときに困るので、「忘却ゲート」を導入している。忘却ゲートがオンになると、状態を引き継がなくなる。そうでないときには、状態を引き継ぐ。これによって長期の依存関係もうまく学習でき、また、話題が変わったときには、すぐに前の状態を忘れられるようになった。

(3) ニューラル機械翻訳 (NMT)

このようにRNNは時系列データの扱いに優れているだけでなく、柔軟に入力、出力の構造や組み合わせを取ることができることも特徴である。

例えば、時系列(sequence) データを入力・処理し、時系列データを出力するモデルは、seq2seqと呼ばれる。代表的な応用として入力と出力を異なる言語列とすると翻訳が実現できる。これは「ニューラル機械翻訳 (NMT)」と呼ばれ、従来の統計的機械翻訳 (SMT) よりも大幅に性能が向上している。

seq2seqのような変換は、画像や言語を特徴量に変換(エンコード)したうえで、画像や言語に戻して(デコードして)いるともいえる。入出力に様々な組み合わせが可能である。例えば画像をCNNで特徴量に変換しこれをRNNで文字として出力すれば、画像からその説明であるキャプションを生成する仕組みができる。

(4) 言語の意味理解へ向けて

言語の意味理解というのは、文から画像を生成し、また画像から文を生成することであるといえる。ここで「画像」というのは、視覚的な情報を分かりやすく表現したもので、実際には、センサーとアクチュエーターの複合的な時系列情報であり、「体験」と呼ぶほうが適切かもしれない。つまり、「意味」を「理解」できるというのは、文から体験を生成し、あるいは体験から文を生成できる相互変換能力に相当する。その意味で、上記の研究は、単純なレベルの意味理解、あるいは原始的なシンボルグラウンディング^{*14}ができていると考えられる。

2.2.5 最新の技術動向

本項では、ディープラーニングの最新技術動向として、深層生成モデルと、深層強化学習を説明する。特に深層強化学習の一種であるQ学習を用いたDQN(deep Q-Network)は、AlphaGo(碁)に通じるディープラーニング応用の最前線につながる。

(1) 深層生成モデル

ディープラーニングの発展形の一つの大きな流れが、深層生成モデルである。深層生成モデルとは、生成モデルを深くしたもの、ということであるが、まず生成モデルとは何かを説明する。

機械学習の手法の分類方法の一つとして識別モデルと生成モデルという分類がある。識別モデルとは例えば猫の画像が与えられたときに、それを「ネコ」であると「識別する」モデルである。画像認識で用いられるCNNは識別モデルである。ディープラーニングの手法ではないが、ロジスティック回帰やSVM(Support Vector Machine)などもすべて識別モデルに当たる。生成モデルというのは、「あるところにネコがいた。そのネコが画像に写り、結果として画像になった」という、データの生成過程そのものをモデル化する。生成モデルはデータ生成の過程をモデル化するので、本物に似たデータを「生成」できる。あるクラス y が与えられ(あるところにネコがいて)、そして y から x が生成される(そのネコが画像に写る)確率 $P(x|y)P(y)$ を計算する。従来の手法では、ナイーブベイズという手法が生成モデルである。

※14 記号システム内のシンボルがどのように実世界の意味と結び付けられるが明らかになった状態。

生成モデルはこれまで、グラフィカルモデルという確率変数間の依存関係を表したモデルによって実現されることが多かった。これを、深い階層のニューラルネットワークによって実現しようというのが深層生成モデルである。深層生成モデルは、創造的なデータを生成できる、複数クラスを合成したデータを生成できる、通常は検知されない異常データを検知できる、欠損値を補うことができる、などの特徴をもち、着目されている。「深層生成モデル」の代表的な手法に「変分オートエンコーダー (Variational Autoencoder ; VAE)」と「生成的敵対ネットワーク (Generative Adversarial Network ; GAN)」がある。

もともと「オートエンコーダー (Autoencoder)」は、入力そのままのものを出力するように (入力を再構成するように) 構成したものであり、隠れ層をもつニューラルネットワークで実現できる。「変分オートエンコーダー (VAE)」は、隠れ層にある潜在変数との確率的な関係をはっきりさせたものであり、例えば潜在変数を操作することで、学習したデータと似た異なるデータを生成することができる。例えばFrey Faceデータセット^{*15}で学習した顔に対して、潜在変数を制御することにより、怒った顔から笑った顔へ徐々に変化するデータを生成できる。

「生成的敵対ネットワーク」は、本物と同じようなレプリカを作り出そうとするジェネレーターと、生成されたレプリカが本物なのかを識別するディスクリミネーターの2つのネットワークを用意し、互いに (敵対的に) 競わせることで最終的には本物と区別がつかないレプリカを製造できるように学習を進めるというものである。そのアイデアを例えてみる。お札の偽造をする犯罪者がいるとする。そして、それを見破ろうとする銀行がいる。偽造犯は、できるだけ実際のお札に似ている偽札を作ろうとする。銀行は、どれだけ似ていても、見分けようとする。この両者がお互いに競っていくと、どんどんレベルが上がっていき、そしてついに、普通の人であれば誰も見分けられないような完璧な偽札を作ることができるようになる。

(2) 深層強化学習

もう一つの大きな流れは、深層強化学習といわれる技術である。運動の習熟、機械やロボットが練習して上達することに関連する。

強化学習は、今まで説明した教師なし学習、教師あり学習とは異なり、「行動する主体」としての学習を念頭に置いている。長らく研究されてきた技術だが、ディープラーニングによって大きく変わりつつある。強化学習が教師あり学習などに比べて特徴的なのは、試行錯誤的な探索を行うことと、遅延報酬という2点である

「2.2.2(2) 機械学習とは」で説明したように、強化学習では、報酬を最大化するような行動の指針である「方策」を見つけることが重要であった。

こうした方策を見つけるには、大きく分けて2つの方法がある。一つは、適当に作った方策に従って行動してみて、報酬が得られるかどうかを試す。これを何度も繰り返して、試行錯誤しながら、徐々に良い方策を見つけていく方法である。これを「方策にもとづく方法」と呼ぶ。

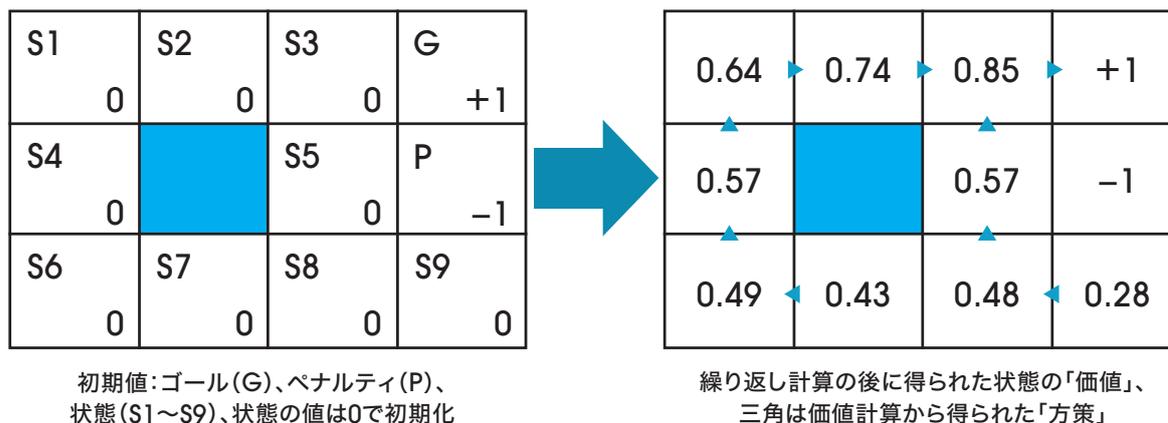
もう一つのやり方は、状態の「価値」を計算していく方法だ。

例として、3×4マスの盤上で、エージェントが、ゴールのマスG(右上)を目指して移動する例で説明する。エージェントは上下左右しか移動できないものとする(図2-2-5)。この例では通過で

*15 一人の顔の表情を連続的に変化させた2,000画像ファイルのデータセット<https://cs.nyu.edu/~roweis/data/frey_rawface.mat>

きないマスであることを表すペナルティを科すマスP(右中)もあるとする。

■ 図2-2-5 「価値反復法」により方策を計算する例



マス状態とし、マスの「価値」の値を計算する。価値反復法(Value Iteration)というアルゴリズム^{※16}に従えば、マスに対する「価値」を、周囲のマスの価値を使って状態の価値を再帰的に計算することができる。図の左側は状態価値の初期値を表しており、G、P以外は0が与えられている。右側は反復計算の結果を示している、右上(ゴール)の値が1なので、右上からひとつ左のところ(S3)は、1に近いくらい良い値、0.85である。逆に右下(S9)は、ペナルティに近いので悪い値0.28である。また状態価値が高くなる方向でのエージェントの動作が「方策」であり、三角にてこれを表している。以上を「価値にもとづく方法」と呼ぶ。示した例は簡単で、状態の「価値」の計算及び方策の決定はテーブル(状態×行動を軸とする)で記述できる。

しかし、実際には膨大な変数とその組み合わせに対してテーブルを作ることは容易ではない。

そこで、価値を算出するような「関数」を学習することを考える。この「関数近似」の方法も昔から研究されてきたが、これまでは、深い関数を学習させることができなかつたため、浅い関数を用いるしかなかった。それが、ディープラーニングにより、深い関数で、状態から価値(あるいは行動)の計算(すなわち方策)を学習できるようになった。

(3) 深層強化学習の例(Q学習、DQN)

「価値にもとづく方法」の代表的な学習であるQ学習では、2つの「価値関数」を使う。ある状態の価値を表す関数を状態価値関数Vという。ある状態から将来もらえる報酬の期待値を表す際、このVを使って方策を決めるが、(将棋や囲碁などの場合を除いて)次にどの状態に遷移するか分からないことも多い。そこで、「ある状態sにおいてある行動aをすること」の報酬の期待値を表す行動価値関数Q(s,a)を用意する。

つまり、各状態での行動価値を、実際の経験からの推測値と合わせていくような操作を行う。これは、実際の経験からの推測値をY、各状態を表す変数をXと考えると、XからYを推定するような関数を求める問題に帰着する。これを、深い構造をもったニューラルネットワークで代替するのが

※16 「価値反復法」では、状態sに対して、R(s)を即時報酬関数、P(s'|s,a)を状態sから行動aで次状態s'に遷移する確率、rを割引率とすると、状態価値関数U(s)は、周りの状態の価値関数U(s')から以下の式で計算することができる。

$$U(s) \leftarrow R(s) + \gamma \max_a \sum_{s'} P(s'|s,a) U(s')$$

DQN (deep Q-Network) である。

DeepMindの「DQN」は、Q学習の行動価値関数を、ニューラルネットワークで置き換えたものである。状態 s におけるアクション a の価値 $Q(s, a)$ を、画像を入力とするニューラルネットワークで計算する。アタリ社のゲームを学習させた例では、画像は、現在から4フレームまで遡り、 84×84 の画像にクロッピングし、グレースケールにして入力する(ニューラルネットワークに必要なパラメーターを減らすため)。その後、2層のコンボリューション層、1層の全結合層があり、最終的に各アクションのQ値を出力する。エミュレーション上の49のゲームのうち29のゲームで、人間並みあるいはそれ以上のスコア(人間のエキスパートのスコアの75%以上)を出した^{*17}。

2.2.6 ディープラーニングを端緒とする人工知能の発展

AIの分野で議論されてきた様々な難問において、結局のところは、データをもとにして特徴量を抽出するところに最も大きな困難性があり、それが今、「現実的な方法で」「実際に」解けるようになってきている。本項では、ディープラーニングのような「表現学習^{*18}」の進展により、人工知能の本質的な課題である「意味の理解」の実現が近づいていることを説明する。

例えば、階層的に履歴を集積する巧妙なRNNの構造を導入することで、高い品質の音声合成を実現できたり、教師ありのディープラーニング、強化学習、モンテカルロ木探索を巧みに組み合わせたコンピューター囲碁ソフトウェアである「AlphaGo」などが、代表的な例である。

得意なのは、画像や映像、音声などの「生に近いデータ」で、テキストの扱いも得意なものの一つに入る。しかし、これは大量にあるテキストをパターンとして学習させる統計的自然言語処理の延長線上にあり、劇的な精度の向上というより、従来と同じかそれを上回る精度を、ほとんど人間の介入なしにできるということが優れている。逆に、「生」ではないかなり加工されて抽象度の高い、「高次の特徴量」になっているデータでは、それほど既存技術に比べて効果が期待できない。

(1) 人工知能と「身体性」

人工知能を実現するうえで、「身体性」が必要かどうかは、長らく論争的であった。

「身体性」とは、「行動体と環境との相互作用を身体が規定すること、及びその内容、環境相互作用に構造を与え、認知や行動を形成する基盤となる」^{*19}ことを意味する。もともと生物における知能は、生物の生存確率を上げるためであり、最終的に生物の行動に紐づかないと意味がない。その意味で、生物の知能は身体性と不可分である。

「身体性」を持たない知能の限界の例として、Terry WinogradのSHRDLU^{*20}を紹介する。SHRDLUは、画面の中の「積み木の世界」にブロックや円錐、球などがあり、例えば「円錐は何に支えられているか?」といったユーザーからの質問に、自然言語文で答えることができた。また「緑色の円錐を赤いブロックの上に置け」といったユーザーからの命令を実行することもできた。このように、コンピューターが少し知的に見える振る舞いをできるようになる様子を示した。しかし、SHRDLUの積み木の世界はすべて人間が設計した世界であり、ありとあらゆるお膳立てが必要であ

※17 「Human-level control through deep reinforcement learning」Nature, Feb.2015

※18 データに対して、これを特徴づける表現(特徴など)を学習すること。表現は人間に分かりやすいとは限らない。自明でない表現の例として文章における単語の特徴をベクトルとして学習するなどがある。

※19 浅田稔「身体・脳・心の理解と設計を目指す認知発達ロボティクス」,2009,計測と制御vol.48,No.1

※20 Terry Winograd, "Procedures as a Representation for Data in a Computer Program for Understanding Natural Language", MIT AI Technical Report 235, February 1971

り、そこに限界があった。積み木の世界の研究が、知能の重要な側面をとらえる素晴らしい試みであること自体は、何も間違っていない。そして、それが今、ディープラーニングを突破口に新たな展開を見せつつある。

鍵となるのが、ディープラーニングにおける「生成モデル」である。例えば、「GAN」は生成器と識別器から構成され、互いに騙そう、騙されまいとすることによって、人間があらかじめお膳立てしなくても、精度を上げることができる。

「視覚的想像 (visual imagination)」は、実際に行動しないにもかかわらず、未来の状態を予測することである。Katerina Fragkiadaki^{*21}は、ビリヤードの例で、「LSTM」を用いて、20フレーム先の未来まで、ボールの速度(ベクトル)を予測することができることを示した。予測ができれば、どのようなことが起こるかをシミュレーション、すなわち「想像」し、行動の計画を立てることができる。「DQN」も、アクションを挟み込んだオートエンコーダーでフレームを学習することにより、特定の行動を行うと次に何が出来るかを予測する技術であるとみなせる。

このように、SHRDLUのように明示的に積み木の世界を作らなくても、ディープラーニングの生成モデルを使うことによって、その世界を描くことができるようになった。

(2) 環境とのインタラクションで得られる「身体性」から記号に迫るアプローチ

(1)の考察から、認識能力を獲得したディープラーニングの研究が、身体性の研究に向かうのは、必然であると言える。生物(我々人間も含む)は、認識能力を活かしながら、環境とインタラクションすることで、環境の中から重要な情報(あるいは特徴量)を見つけ出しているからである。

とはいえ、現実世界は驚くほど複雑で非線形であり、現象をモデル化したシミュレーター上での「身体性」では、結局はモデル化によって重要な要素が捨象されているかもしれない。

シミュレーション上で完結する「身体性」は、どうしても「ちゃちな」ものになる。やはり、現実世界とインタラクションできる何らかの「身体」が必要と思われる。

人間も動物も、環境の中で生きているので、環境とのインタラクション、つまり、センサー(感覚器官)からインプットした情報にもとづいてアクチュエーター(運動器官)で行動をアウトプットするというループが基本である。それは特定の環境に対してのみ動くような簡単な制御系でも実現できるし、より複雑な環境でロボストに動き、また学習していくようにも設計できる。これは、Rodney Brooksの「身体性」であり、Rolf Pfeiferの「環境における身体性」である。すべての生物は、環境に条件づけられた自己保存装置、あるいは再生産装置なので、その行動は環境に埋め込まれている。

人間の場合は、この「身体性のシステム」の上に「記号のシステム」を載せている。Rodney BrooksはMarvin Minskyを「ゾウはチェスをしない」^{*22}と批判したが、まさにその裏返しで、人間だけが「記号」を使ってチェスというゲームができる。

(3) 「身体性」抜きに、大量のデータから直接の概念獲得や意味理解を目指すアプローチ

「身体性」の研究があってはじめて、その先の「シンボルグラウンディング(記号接地)」の研究に進める。だから、ロボット研究における日本の優位性は大きなアドバンテージがある。しかし、

※21 Katerina Fragkiadaki, PulkitAgrawal, Sergey Levine, JitendraMalik, "Learning Visual Predictive Models of Physics for Playing Billiards"

※22 論理やアルゴリズムを突き詰めることで人工知能はチェスができるまで「知的」になったが、ゾウはチェスはしない。自然に囲まれた環境で生きる「知恵」を持っているとの趣旨。

GoogleやFacebookの研究者たちの研究のスピードを見てみると、実世界における身体性の研究を全部すっ飛ばして、大量のデータから直接、概念獲得や意味理解ができてしまう可能性もある。

Google自動翻訳がディープラーニング方式になって相当精度が上がったが、まだまだ上がるはずだ。Googleが「画像認識」や「身体性」をすっ飛ばしてこのレベルに達したということは、きちんと「身体性」を経て、本当の意味での「意味理解」ができたとしたら、自動翻訳は真に実用的なレベルに達するだろう。

(4) 表現学習の手段としてのディープラーニング

ここまでは、ディープラーニングに端を発する人工知能の発展の方向について述べてきたが、「深い(深い)」ネットワークを使うことは、必ずしも必然ではない。ディープラーニングは、より抽象化して「表現学習」ともいわれる。複雑な関数をデータから学習するために、今のところ「深い(深い)」ネットワークが有効である。深いことは、結局は、我々の世界を前提として学習を早くするための一つの「ズルのしかた」であって、世界にはこうした「ズルのしかた」がたくさん存在する。このズルのしかたを「prior(一般事前知識)」という。

2.2.7 ディープラーニングの計算原理と実装技術

本項では単純な画像認識の題材をもとに、ディープラーニングの原理と必要な実装技術について説明する。

(1) ディープラーニングの原理

ディープラーニングとは何かを、ひと言で説明すれば、「深い関数を使った最小二乗法」ということができる。深い関数というのは、入力Xから出力Yまで、何段階か中間の関数を介する関数である。深い関数のほうが浅い関数よりも圧倒的に表現力が高い。

例えば、100×100の画素で構成される画像にネコが写っているかを判定する問題。すなわち1万個の変数(画素)から、ネコが写っていれば1、写っていなければ0を返すような「ネコ関数」を求める問題である。

最も単純な判定式は、1万個の変数(x_1, \dots, x_{10000})に対してパラメーター(k_0, \dots, k_{10000})を用意して、以下のようなネコ関数を定義して、

$$f_{\text{ネコ}}(x) = k_0 + k_1 \times x_1 + k_2 \times x_2 + \dots + k_{10000} \times x_{10000}$$

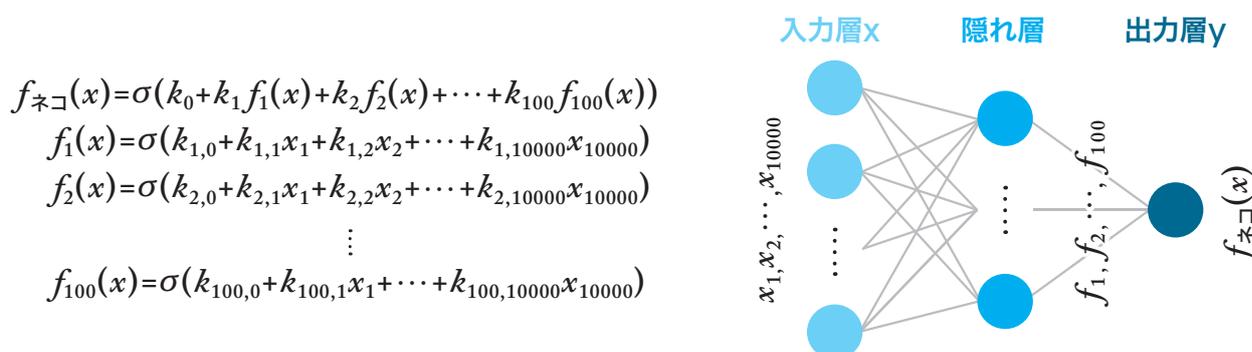
このデータに最も当てはまりがよくなるように、 k_0 から k_{10000} のパラメーターの値を求めればよい。これは最小二乗法で求めることができる。

ところが「ネコ関数」はこんな単純な構造をしていない。ディープラーニングの言葉の由来となったように、「ディープ」な階層構造を導入する。ここで階層構造とは、入力データが入ってくる変数から直接ネコ関数を定義するのではなく、一旦別の関数を介して、ネコ関数を定義することである。

最初にサブとなる関数 f_1, f_2, f_3, \dots を定義する。そして、これらの関数を使ってネコ関数を定義するわけである。これは2層(入出力も入れると4層)のニューラルネットワークに相当する。さらに中間的な関数を増やして階層を増やせば、3層、4層とどんどん深くしていくことができる(図2-2-6)。

ここで大切なのは、線形な関数(変数の一次式)をいくら重ねても線形にしかならないことであり、より多様なネコの形に対応するには、「ネコ関数」へ非線形な要素を入れたい。シグモイド関数 σ は、ニューロンの働きにヒントを得ており、これをサブとなる関数にそれぞれ入れていけば、非線形の強い、様々なものを柔軟に学習できる、表現力の高い関数となる。そして、こうした関数のパラメータは最小二乗法で求めることになる。シグモイド関数に代表される非線形な要素を活性化関数とも呼ぶ。

■ 図2-2-6 階層構造に非線形性を入れた「ネコ関数」の例とニューラルネットの構造



以上をまとめると、ディープラーニングとは、「シグモイド関数等の活性化関数を使って非線形性を入れ、多層に構成した関数を使った最小二乗法」ということもできる。なお、歴史的にはシグモイド関数が使われてきたが、最近ではよりシンプルなReLU(ランプ関数)等がよく使われる。

(2) ディープラーニングの実装技術

ディープラーニングの実装に必要な基本実装技術は以下の3つである。行列演算という並列度の高い積和演算が多用されるがゆえに、GPU(Graphics Processing Unit)との相性が良い。

① 行列演算による実装

多数のユニットを結ぶ重み付き有向辺(矢印の付いた辺)計算を効率的に行うために、行列演算と非線形関数の組み合わせを効率的に行う実装が望ましい。ベクトルと行列だけでなく3つ以上の軸を持つテンソルも扱えることが望ましい(例えば、センサーの信号を時間周波数解析する場合、時間 t 、周波数 f 、センサー番号 i の3つの軸を持つデータに対して、演算を行う)。本来3次元グラフィックス処理の高速化に活用されてきたGPUがディープラーニングの高速化に寄与したのは、3次元グラフィックスにおけるポリゴンを移動させたり回転させたりするときの行列演算が、ニューラルネットワークにおける、重みの行列に別の行列を掛けて足し合わせていく「行列の積和演算」という処理と同じであったからである。

② 勾配の計算手法

ニューラルネットワークを用いた学習では、誤差を最小とするように重み w を調整する。このとき、重み w の変化でどれくらい予測値が変化するかを勾配と呼ぶ。勾配が分かれば、どれだけ重み w を変化させればよいかのあたりがつく。数学的には関数の微分の計算を行う。ニューラルネットワークは数学的には重みの線形和関数や活性化関数を階層的に組み合わせた合成関数として与えられてい

るので、その微分は連鎖律(合成関数を微分するとき、その導関数がそれぞれの導関数の積で与えられるという関係式)を用いて各関数のヤコビ行列(行列版の微分に相当)の積として展開できる。

最も一般的な勾配計算法は誤差逆伝播法で、合成関数の勾配計算には自動微分と呼ばれる機能が用いられる。

③最適化ルーチンと効率化

勾配計算では、一つの訓練データから計算した勾配で近似して勾配計算を行う確率的勾配法が有効である。このとき、収束を早くするような様々な最適化アルゴリズムが存在することが知られている。ディープラーニングの実装ではこの確率的勾配法にもとづく最適化ルーチン、最適化のための様々な高速化技術が必要になる。

2.2.8 今後の展望

本項では、今まで説明したディープラーニングの発展を踏まえ、今後人工知能がどのように発展し、その中で日本が発展に寄与できる部分を明らかにするとともに、最終的に知能の原理の解明につながるであろう進展を展望する。

ディープラーニングの進展に端を発する人工知能に関して、実現可能性の高い未来をフェーズ1からフェーズ5という形でまとめた。

フェーズ1：ディープラーニングによる画像認識

フェーズ2：眼をもつ機械の誕生

フェーズ3：翻訳が実用レベルに達する

フェーズ4：言葉の意味理解・知識処理

フェーズ5：物理現象や社会現象のモデル化

フェーズ1の画像認識からフェーズ2のディープラーニングと強化学習を組み合わせた「眼をもつ機械」という流れがあり、先には翻訳、言葉の意味理解の世界が広がっている。この中で、日本が市場を取れるとしたら、ほぼフェーズ2の強化学習のところしかないということである。フェーズ3、フェーズ4の辺りは完全にG A F A (Google、Apple、Facebook、Amazon)の強い領域(つまりハードウェアが関係ない、特定の産業集積が意味をもたない)世界だからである。だからこそ、1から2のところでは日本がきちんと市場を取れるかどうか、つまり、この10年くらいの大きな変化に先導してついていけるかどうかが大変重要である。

ディープラーニングの深層生成モデルを使えば、「意味」を「理解」することができる。例えば画像キャプション生成や文からの画像生成は意味を理解しているといえる。日本語の文から体験を生成し、それを英語の文に変換するというのもできるはずである。それはすなわち、意味理解を伴う機械翻訳そのものである。

ディープラーニングが、それまでの機械学習がもつ様々な問題の根っこにあった原因(特徴量を自ら発見できなかったこと)を解消し、そこを起点にして、様々なイノベーションが起きるだろうと述べた。順番としては、認識の問題が解決されれば、次は身体性の研究が飛躍を遂げるはずだ。しばらくはロボットや産業機械の研究が最もホットな分野となる。その後、記号の研究が本格化する。今までと違って、きちんと「グラウンドした」記号を使っただけの研究である。言葉を使った意味処理が可

能になり、言語からの知識獲得もできるようになる。

(1) 「モデリング」の自動化

自然言語処理の分野は、多くのデータを使う統計的自然言語処理にシフトし、またデータマイニングなどの研究分野も立ち上がった。インターネット上のシステムには、こうしたアプローチが多く使われ、GoogleやFacebookなどで真っ先に活用された。おすすめ商品を提示する推薦システムも、Amazonで有名になった。こうした機械学習は極めて有用ではあったが、変数となる「素性(feature)」をどう作るか(「素性エンジニアリング」と呼ばれる)も難しい問題の一つであった。

人工知能の研究の中で難問とされるフレーム問題やシンボルグラウンディング問題、あるいは素性エンジニアリングの問題に共通するのは、現実世界の現象から何が重要かを見抜いていかにモデルを立てるかという部分である。そこが自動化できなかつたために、重要な部分の作業はどうしても人間がやらなければいけなかつたのだ。その突破口を切り拓いたのが、ディープラーニングである。ディープラーニングの研究が進めば、フェーズ1～フェーズ5それぞれで必要とされるモデル構築も加速されるはずである。

物理モデル構築の最新事例として、2018年6月にDeepMindが発表した「GQN」(Generative Query Network)がある、GQNは、2次元画像から3次元画像を生成する新技術であり、これにより平面的な写真を見て、見えていない部分を想像するかのよう、3次元空間(世界のモデル)を作り出すことができる。

(2) 知能の原理の解明へ

人間は生存のために知能という機能を発達させた。飛ぶことに単一の原理があつたように、知能にも原理があるはずである。しかも、その原理は、実は比較的単純なものに違いない。すでにディープラーニングで一部が解明されつつあり、あとは身体性や言語の意義が分かれば、知能の原理の大方は解明されるはずである。

そして、知能の原理が分かれば、これを工学的に利用することが可能である。その結果、様々な製品やサービスが生まれる。そのときに、必ずしも人間を擬す必要はない。トリと飛行機がまったく異なる形をしているように、「知能」という機能を実装した機械がヒト型ロボットである必要はないのだ。それこそが、本節で何度も強調してきた「眼をもつ機械」の実態であり、フェーズ1からフェーズ5へと続く、様々な人工知能技術の進展の姿である。

2.3 ▷ 自然言語処理

ある企業のサービスや製品に興味を持ち、その会社のWebページを訪れたとしよう。そこにはその企業の歴史や組織から、提供しているサービスや製品の情報まで、様々な情報が載っているだろう。しかし、知りたいことがすべて載っているとは限らず、「開店時刻は何時ですか?」など詳細について質問したくなることがある。最近では、Webページに質問を受け付ける機能が付いていることも多く、もしリアルタイムで回答が返ってくる場合は、背後でオペレーターが何人も働いているか、そうでなければchatbotが動いている。すなわち、質問に対し自動的に答えを返すアプリケーションである。このアプリケーションを支える技術が自然言語処理、すなわち人間の言語を処理する技術である。自然言語処理には機械翻訳や仮名漢字変換など多くの応用がある。とはいえ、高度な自然言語処理技術が常にchatbotに利用されているとは限らない。最も単純には、例えば「何時」という文字列が質問に含まれていれば、「営業時間は10時から19時までです」という回答を返すといったルールを用意しておくこともできる。しかし、このような単純な仕組みでは「何時頃が一番混んでいますか?」や「何時まで入店できますか?」などの質問に対し、的外れな回答をしてしまうことになる。こう考えると、「何時」だけでなく「混む」や「入店」など他の多くの単語もうまく使って回答を選びたい、質問の意味を理解させたい、事前に作成した回答リストにない回答もできるようにしたい、など様々な形でchatbotを賢くしたくなるだろう。ここでは、chatbotを賢くするという目的を通して、そのために使える自然言語処理技術を概観することにする。

2.3.1 文書分類

文書分類とは、与えられた文書を、あらかじめ定義された複数のカテゴリのいずれかに分類するタスクである。例えば、電子メールをスパムメールとそうでないものに分類するタスクや、ブログ記事を政治、経済、スポーツ、生活などのトピックを表すカテゴリに分類するタスクなどが分かりやすい。冒頭で述べたchatbotにおいても、例えば回答を100個用意し、それらを回答1、回答2、…、回答100というカテゴリだとみなし、さらに「何時頃が一番混んでいますか」などの質問を文書だとみなして、この文書を上記の100個のカテゴリのいずれかに分類するというアプローチが考えられる。分類されたカテゴリの回答を返せばよい。

さて、各文書は、「何時 頃 が 一 番 混 む で い る ま す か」などのように単語分割、及び基本形化されているものとする^{*23}。文書分類の基本的な方法においては、まず各文書をベクトルで表す。よく用いられるbag-of-words表現では、ベクトルの各要素に単語を対応させ、その単語が文書中に出現していれば1、そうでなければ0を要素の値とする。1の代わりに、その単語のその文書中での出現回数を使う場合もある。bag-of-words表現では、単語の種類数と同じ次元を持つベクトルで各文書が表現されることになる。これらの文書ベクトルを事例とし、ベクトル进行分类してくれるような機械学習手法(例えばサポートベクトルマシン)を用いる。機械学習分類器は、通常教師付き学習手法であり、すなわちラベル付き訓練データを必要とする。chatbotの例でいうと、各質問について適切な回答ラベルが付いているデータ(通常、ラベル付けは人間が行う)が、ある程度の量必要である。実際にどの程度必要なのかは、問題の難しさや分類器の複雑さによるので一概には

※23 単語分割および基本形化にはMeCabやJumanなどの形態素解析器を用いる。単語分割方法自体が研究対象となる技術であり、その分割基準、分割精度、あるいは基本形化するかどうかなどが、後段の分類精度などに少なからず影響を与えるものである。ここでは説明を割愛するが、詳細を知りたい場合は工藤の文献[3]を参照されたい。

言えない。

さて、このような単純な方法でも、難しい問題でなければかなり高精度で分類が可能である。しかし、bag-of-words表現では、各文書に各単語が出現したかどうか(あるいは何回出現したか)の情報だけが使われ、それらの単語がどういう順序で現れたかについては捨象されている。単純な方法で、わずかながら語順を考慮するものとして、bag-of-n-grams表現がある。n-gramとはn個の単語の並びで、n=2としたときは、ある2単語の組が連続して出現したかどうか(あるいはその出現回数)を考える。「何時頃が一番混んでいますか」であれば、これを「何時-頃 頃-が が-一番 一番-混む 混む-で で-いる いる-ます ます-か」とみなすことになる。これにより、例えば、「何時頃」という表現が出現しているという情報をベクトルに入れ込むことができる。さらにn=3として「何時-頃-が」などの3単語の組までいくなど、さらにnを増やしていくことも可能であるが、nが大きければいいというわけではなく、ちょうどよいnは実験的に決定することになる。

上記のn-gramのように、文書などを表現するベクトルの構成要素を素性(feature)と呼ぶ。また、機械学習手法には手をつけず、人間が知識を用いて素性を工夫して機械学習の性能を向上させることを素性エンジニアリングと呼ぶ。単純であるが実用上は効果が大きい。

文書分類の応用の一つとして、評価文書分類がある。これは、評判分析という分野におけるタスクであり、口コミなど意見が記述された文書を、好意的な意見か、あるいは批判的な意見かに分類する問題である^{*24}。

2.3.2 言語の構造解析

テキストデータから、そこで言及されている固有表現(人名、地名、組織名など)を取り出したいという状況は多く存在する。例えば、「俳優のJohn DoeさんがCMしている機種を探しています」という文には、“John Doe”という人名が含まれている。あるいは特定の機種名やメーカー名が含まれていることもあるだろう。このような固有表現を抽出する方法を考える。固有表現は一つの単語から成る場合もあるし、複数の単語から成る場合もある。上の例文が、

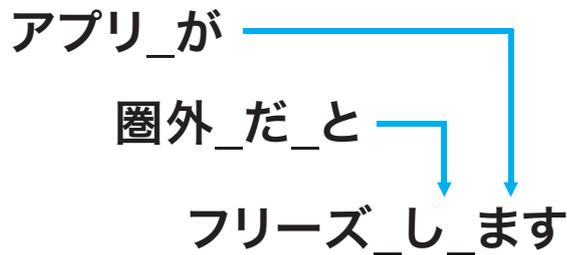
「俳優 の John Doe さんが CM している 機種 を 探 して います」
と単語分割されているとしよう。通常、これらの各単語が、固有表現の一部であるか否かを分類することで固有表現を抽出する。もう少し詳細には、人名の最初の単語、人名の2番目以降の単語、地名の最初の単語、地名の2番目以降の単語、組織名の最初の単語、組織名の2番目以降の単語、それ以外、を分類カテゴリとする多クラス分類問題を解く。扱う固有表現の種類が増えれば、分類カテゴリ数も増える。前節の文書分類では、各文書をそれに含まれる単語で表現するなどしたが(bag-of-words表現)、固有表現抽出の場合は周辺に出現している単語(上の例のJohnなら、「俳優」、「の」、「Doe」、「さん」)などで各単語を表現する。固有表現抽出に限らず、文章の一部を抽出するタスクは、このように構成要素を分類することで実現できる。また、固有表現抽出のような抽出タスクは、言語構造解析の一種とみなされる。

もっと深い言語構造解析を紹介しよう。「アプリが、圏外だと、フリーズします」という質問をchatbotで受けたとする(図2-3-1)。前節のようにbag-of-words表現で処理してもうまく分類できるかもしれないが、質問の意味をより正確に捉えようとすると十分ではない。フリーズするのがアプリであるという情報が消えてしまうからである。このようなときに利用できるのが、構文解析で

*24 中立的な意見も3つ目のカテゴリとして含める場合もある。

ある。すなわち、次のような構文的な依存構造を見つけることである。

■ 図2-3-1 構文的な依存構造の例



ここから、例えば「アプリが→フリーズ」のような関係の有無を文書ベクトル表現の要素として使えば、より細かい意味の把握が可能になる。このような日本語の構文的な依存構造は、係り受け構造と呼ばれ、文節（「アプリが」などは文節である）間の依存関係として定義されることが多い。文章から人々の意見、感情を分析する評判分析では、構文的な依存構造が重要になることが多い。例えば、「このアプリは非常に便利だが、デザインが悪い」という意見は、利便性という側面では良いが、デザイン性という側面では悪いという評価をしている。このように見る側面によって評価が変わることがあり、これを捉えるためには構文的依存関係を用いるのが一つの解決手段である。日本語の構文的依存構造関係を出力してくれるツールとしては、CaboCha^{*25}やKNP^{*26}などがある。この2つのツールにはそれぞれ特徴があるが、大きな違いとしては、速度面ではCaboChaに分があり、詳細な情報を与えてくれるという点ではKNPが優れている。英語の構文的依存構造解析では、文節という概念はなく、単語間の依存関係を見つける。英語の構文的依存構造解析器は多くあるが、Stanford parserなどが有名である。

実は、構文解析とは、依存構造解析だけではない。句構造解析と呼ばれるより詳細な解析もあり、英語ではこちらも発展している。句構造解析においては、“The man ordered a hot coffee”という文において、“a hot coffee”が名詞句を成し、それが“ordered”と組み合わせさって動詞句を成し、その動詞句“ordered a hot coffee”が名詞句“The man”と組み合わせさり文を成す、といった構造を推定する。つまり、文のどこからどこまでが部分構造を成すのか、を推定する。また各部分構造は他の部分構造と組み合わせさって上位の部分構造を成すことになる。

構文解析により、文の構造を考慮することで、文に含まれている情報をより厳密に扱うことができるようになった。この節では、もう一步意味に近づくことにする。例えば、顧客からchatbotに「電源アダプター売ってますか」という質問があったとする。この顧客は、（この店が）電源アダプターを売っているかどうかを知りたいのであるが、助詞が省略されているため字面からは「電源アダプターが」なのか「電源アダプターを」なのか「電源アダプターに」なのかが分からない。意味解析の一種である述語項構造解析では、日本語においては、各述語とそのガ格、ヲ格、ニ格となる名詞句（格要素）により内容が把握できると考え、各格の名詞句を同定することを目標とする。上記の例では助詞が省略されているが、「私は先日お店に伺い、パソコンを購入したのですが」における「購入する」のよう

*25 CaboCha< <http://taku910.github.io/cabochoa/>>

*26 KNP< <http://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/?KNP>>

に、ガ格の格要素である「私」が離れて出現しており格も明示されていないようなケースも非常に多い。そもそも同一の文に格要素が出現しない場合は、別の文に探しに行く必要がある。同一文書に格要素が存在しない場合さえある。つまり、このような解析は文脈解析と密接な関係がある。

ガ格、ヲ格、ニ格という表層的な格を扱うだけでなく、各要素の意味的な役割を推定する意味役割付与というタスクもある。ここで意味役割とは、例えば、その述語の動作主、対象、経験者、場所、時、目的などである。ガ格、ヲ格、ニ格という表層的な格を扱うタスクは日本語以外の言語には存在しないが、意味役割付与というタスクは日本語以外にも存在する。

表層格の述語項構造解析や意味役割付与は、述語を中心とした意味表現であるが、文全体の意味を抽象的に表現することを目的としたものとして、abstract meaning representation (AMR) という記述の枠組みも存在する。

また、意味解析と関連する重要な概念としてグラウンディングというものがある。これは、言語表現とそれが指す実体とを結び付けることである。特に、文章中に出現した固有名を、それが指す人物や場所などに結び付けることを目指すことが多い。通常、人物リストや場所リストを事前に用意しておき、文章中の各固有名がそれらのリスト中のどのエントリに対応するかを決定する、という形で問題を解く。例えば、「渋谷でオバマさんを見ました」という文において、「渋谷」が東京都にある渋谷であり、「オバマさん」が「バラク・オバマ元大統領」であることを認識する^{*27}。

2.3.3 言語資源

これまで、主に機械学習にもとづく手法などを紹介してきたが、シソーラス(類義語辞典)のように、ある単語とある単語が意味的に類似していることを示す言語資源が存在する。英語の類義語情報を含む言語資源としてはWordNet^{*28}が圧倒的に有名である。WordNetは、類義語関係、上位語一下位語関係、構成要素一被構成要素関係など、単語間の関係を提供している。互いに類義語関係にある単語からなる集合をsynsetと呼ぶ。すなわち、同一のsynsetに属する単語はすべておおよそ同じ意味を持つものとされている^{*29}。これを用いることで、文書表現としてbag-of-words表現の代わりにbag-of-synsets表現(各synsetが文書内で出現したか否か)を使うことなども考えられる。

日本語のシソーラスも紹介しよう。WordNetを日本語へ移植した日本語WordNetも存在するが、もともと日本語に対して構築された分類語彙表^{*30}、日本語語彙体系^{*31}、EDR電子化辞書^{*32}などがよく知られている。

その他、様々な言語資源やコーパスが、言語資源協会^{*33}、ALAGIN^{*34}、情報学研究データリポジトリ^{*35}などで公開されている。

近年目覚ましい発展を見せたのが、単語分散表現である。これは、コーパスから機械学習により得られた単語のベクトル表現である。すなわち、各単語が、例えば100次元、500次元、1000次元などの実数値ベクトルで表現される。コーパス内での振る舞いが似ている単語同士は互いに似たベク

※27 もちろん、この例文だけからは何が正解であるかは分からない。

※28 英語の概念辞書 <<https://wordnet.princeton.edu/>>

※29 細かい意味の違いは存在する。

※30 国立国語研究所コーパス開発センター <http://pj.ninjal.ac.jp/corpus_center/goihyo.html>

※31 日本語語彙大系 <<http://www.kecl.ntt.co.jp/icl/lirg/resources/GoiTaikei/>>

※32 EDR電子化辞書 <<http://www2.nict.go.jp/ipp/EDR/JPN/Intro.html>>

※33 言語資源カタログ <<http://www.gsk.or.jp/catalog/>>

※34 ALAGIN <<https://alaginrc.nict.go.jp/>>

※35 NII情報学研究データリポジトリ <<https://www.nii.ac.jp/dsc/idr/>>

トルで表現される。これにより、例えば「開店時刻」、「開店時間」、「営業時間」などについて、それぞれの単語分散表現間の余弦値(コサイン)を計算し、その値が高ければ単語同士が類似していると判断できることになる^{※36}。こうすることで、「開店時刻」を問う質問に対して用意した回答を、「開店時間」を問われたときにも利用することができる。単語をベクトルで表現すること自体は以前から行われていたが、大量のデータを使って、表現そのものを最適化することにより、容易に高精度のベクトル表現が得られるようになった。単語分散表現を獲得するためのツールとして最も知られているのが、word2vec^{※37}である。単語分散表現は、それ自体興味深い性質を持っているが、応用上に非常に重要である。前述のように、単語分散表現を求める多くの手法は、コーパスさえあれば機能する。つまり、例えばインターネット上の大量のテキストコーパスを用いて単語分散表現を求めると、非常に多くの単語の分散表現が得られる。これを他のタスクにおいて単語を表現することに使うことができる。例えば前節の固有表現抽出では、分類したい単語の周辺の単語を用いてベクトル表現を作る。この際、周辺にある単語が出現したか否かでなく、その単語の分散表現を用いることができる。こうすることで、訓練データに出現しなかった単語でも、その分散表現さえあれば、手がかりとして利用できることになる。

コーパスから自然言語処理技術を用いて獲得された単語分散表現は、独立した言語資源として様々な場面に利用されている。このように、単語分散表現に限らず、多くの言語資源が自然言語処理技術を用いて構築され、再び自然言語処理に利用されている。

2.3.4 テキスト生成を伴う研究課題

これまでは、chatbotに対して問われた質問に様々な言語解析を施すことで、あらかじめ用意した回答集合のいずれかから適切なものを選択する、という枠組みを念頭に置いていた。しかし、これでは限られた種類の回答しか返せず、システムとしての柔軟性に欠ける。これに対して、古くからテキスト生成技術の開発がなされてきた。回答そのものでなく、回答のテンプレートを用意し、必要な情報をテンプレートに埋め込んで回答を生成する方法も以前から存在する。例えば、曜日によって開店時刻が異なる場合など、「本日の開店時刻は、□時□分です。ご来店をお待ちしております。」のようなテンプレートを用意し、その日の開店時刻で□部分を埋めて回答とする。開店時刻が異なる多くの営業店を持つ場合などは有効だろう。

テキスト生成を伴うタスクは応答生成に限らない。機械翻訳、文書要約など、多くの応用タスクはテキスト生成を伴う。機械翻訳は自然言語処理において、非常に重要な応用タスクであり、多くの研究者がこれに関わっている。その機械翻訳で発展したモデルが、統計的機械翻訳モデルである。これは、統計を用いた機械翻訳モデルの総称のように聞こえるが、そうではなく、特定のモデルを指す名称である。統計的機械翻訳モデルは、言語モデルと翻訳モデルから成る。言語モデルは出力文がその言語の文として自然であるかを捉え、翻訳モデルは出力文が入力文の意味に対応しているかを捉える。直観的には、例えば日英翻訳の翻訳モデルでは、各日本語の単語が、ある英語の単語に翻訳される確率を学習データから計算しておき、これを用いて全体として出力の英語文が入力の日本語文に対応しているかを捉える。その際に、単語の並べ替えなども考慮できるモデルになっている。詳細は文献[4][5]を参照していただきたい。

※36 そもそも、「開店時刻」、「開店時間」、「営業時間」が、単語分割においてそれぞれ1単語として認識される必要があるが、これは単語分割の基準や精度に依存する問題である。

※37 word2vec<<https://code.google.com/archive/p/word2vec>>

近年のニューラルネットワーク（あるいはディープラーニング）の発展は、自然言語処理分野にも大きな影響を与えている。前項で紹介した単語分散表現のような表現方法の発展がその一つであり、また自然言語処理の各要素技術についても精度が向上したという報告が多くなされている。しかしその中で特に大きな影響を受けているのがテキスト生成技術である。ニューラルネットワークにもとづく機械翻訳のモデルとしてsequence-to-sequenceモデルが提案され、またたく間に改良が施され、非常に高い精度が報告されるまでになっている。このモデルは、機械翻訳にとどまらず、文要約、応答生成などにも適用されている。以下では、機械翻訳を念頭に置き、このモデルを説明する。

■図2-3-2 sequence-to-sequenceモデル

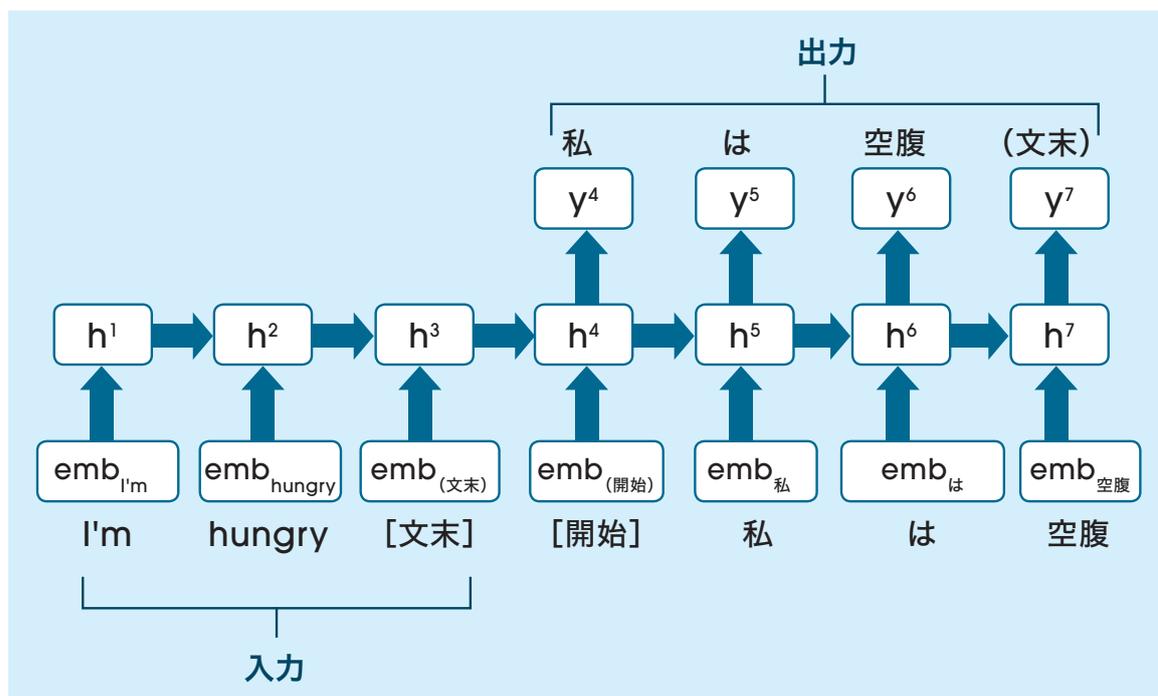


図2-3-2に示すように、「I'm hungry」を「私は空腹」に訳す場合を例にとって、sequence-to-sequenceモデルを説明する。まず、入力の最初の単語である「I'm」がベクトル表現 $emb_{I'm}$ に変換され、これがさらに行列により変換されたうえで \tanh などの非線形関数を経て、新たなベクトル表現 h^1 に変換される。この h^1 が隠れ層の最初の状態である。次に、同様に「hungry」がベクトル表現 emb_{hungry} に変換され、さらに行列により変換される。この変換結果は、隠れ層 h^1 が行列により変換された結果と足し合わされたうえで、非線形関数を経て、新たなベクトル表現 h^2 に変換される。これが入力文の文末まで繰り返され、得られた隠れ層の最終状態（この場合は h^3 ）に、入力文の意味が表現されていると考える。出力開始記号[開始]を入力し、先ほどと同様の計算を行う。ただし今度は得られた隠れ層 h^4 から単語の生成確率分布を計算する。確率最大の単語（この場合は「私」）を出力し、この単語をさらに次の入力とする。このように単語を一つずつ生成していき、文末記号が生成されるまで繰り返す。これが基本的なsequence-to-sequenceモデルの挙動である。

学習の際は、各単語の分散表現や、変換のための行列などを求めることになる。word2vecなどで別のコーパスから求めた分散表現を使うこともできる。sequence-to-sequenceモデルに対しては、注視機構を追加するなど、様々な精度向上の試みがなされている[6]。chatbotに利用可能な質問に対する応答生成の場合は、入力が質問、出力がその応答となる。ただし、訓練用の質問応答対データは異なる営業所や店舗のものである可能性もあり、その場合間違った情報を答えてしまう可能

性がある。そのような場合は、営業時間、店舗の場所、商品の値段など、外部データを参照する機構を組み込む必要があるだろう。

機械翻訳、文要約、質問に対する応答生成などの場合は、出力だけでなく入力も文であった。しかし、入力側に適切なニューラルネットワークを用いることで、画像を入力として文を生成する画像キャプション生成や、数値データを入力として説明テキストを生成するdata-to-text生成などにも同様のモデルが適用可能である。このようにsequence-to-sequenceモデルを一般化した場合、encoder-decoderモデルと呼ばれる。

◆参考文献

- [1] T. Mikolov et al., "Distributed representations of words and phrases and their compositionality" Neural Information Processing Systems, pp.3111-3119.
- [2] 岡崎直観「<特集>ニューラルネットワーク研究のフロンティア「言語処理における分散表現学習のフロンティア」『人工知能(人工知能学会誌)』vol.31 No.2, 2016.3, pp.189-201.
- [3] 工藤拓、「形態素解析の理論と実装」、2018、近代科学
- [4] 渡辺太郎、今村賢治、賀沢秀人、Graham Neubig、中澤敏明「機械翻訳」、2014年1月、コロナ社
- [5] Philipp Koehn, "Statistical Machine Translation", 2009年12月, Cambridge University Press.
- [6] Thang Luong, Hieu Pham, and Christopher D. Manning.
Effective approaches to attention-based neural machine translation. In EMNLP, pp. 1412-1421, 2015

2.4 ▷ 知識処理とデータ

AIが有意な結果をもたらすには、背景となる大量のデータ、大量の知識が必要になる。データを生データとすると、ここでの知識とは、データを整理、加工・抽象化して形式を整え体系化し、推論により組み合わせて、有意な結果を導出する源になるものと捉えることができる。しかし、データと知識の境界は必ずしも明確であるわけではなく、特に昨今のビッグデータ時代には、データと知識の中間的なものも増大している(例えば自然言語テキストデータ)。

本節ではAIの背景となるデータと知識に関して、以下について記す。

- ・ AIとデータ及び知識の関わりの経時的俯瞰
- ・ ビッグデータの状況と課題
- ・ 知識を巡る状況

2.4.1 AIとデータ及び知識の関わりの経時的俯瞰

コンピューターによって人間の知的機能の実現を目指す人工知能(AI)の考えの起源をたどると、万能計算機械としてのコンピューターの原理とほぼ同じ1930年代に芽生えたといえる。コンピューターの基礎を構築した偉大な科学者(Aran Turing、John von Neumann)などが、AIという言葉が生まれる前のコンピューターによる知能についても思考を巡らせている。

AI(Artificial Intelligence)という名称が生まれ、AIという研究分野が陽に形成されたのは、1956年のダートマス大学(Dartmouth College、米国ニューハンプシャー州)で開かれた研究集会からである。

その後、1950年代後半から1960年代にかけてのAI研究(第1次AIブーム期)は、主としてゲームなど規定しやすく結果の評価も容易な、いわゆる閉じた世界の問題を対象にして、知能発現の源は探索にあるとし、探索の効率化が中心課題とされてきた。探索の組み合わせ的爆発を防ぎ、効率化を図るために、ヒューリスティックス(強いて日本語訳すると発見的知識)の利用が探求された。

このヒューリスティックスは知識の一種であるが、2種の形態がある。AIの代表的な最適経路(最小コスト経路)探索法であるA*(エースター)探索で用いられるヒューリスティック関数はゴールまでのコストの(内輪の)推定値であり、系統的な知識と言える。一方、ある状態において探索で次に進む筋道を直接的にガイドする知識(経験的知識とも称され、多くの場合ルール型)も重要な役割を担い、知識重視の次のAIの第2期で中心的な役割を果たすことになる。

1970年代後半に“Knowledge is power”といったように知識の重要性が唱えられ、実用的AI指向の「知識工学」が提唱され、1980年代にかけて知識ベースにもとづく多くのエキスパートシステムが作成された(第2次AIブーム期)。この時の知識は対象とする問題解決に向けての推論に役立つ(専門的あるいは経験的)知識の集合体であり、形式としては大部分ルール型であった。一部に階層構造を持つフレーム型や、論理型、制約型も用いられた。知識の形式はともかくとして、この1980年代の知識の大半は(専門家へのインタビューや資料参照を介して)人が書き下したものであり、今日のビッグデータ時代に比べて小規模であり、スケールアップすることが難しいのが大きな問題であった。

人手による知識獲得の問題に対処すべく、1980年代後半から機械学習、データマイニングの研究が活発になり、今日に至っている。データマイニングといってもWebが普及する以前は関係データベースが主なソースで、そこからの規則性発見(知識発見)の研究が多く行われた。

ところで、知能(Intelligence)には、①記号化された知識とその(推論/思考による)活用の側面と②知覚系に相当するパターンの認知(あるいは認識/識別)による側面とがある(他にもいくつかの側面があるが)。以上に述べたAIは主に①の(記号化された)知識の活用の側面であるのに対し、②の知能の側面はAI分野とも言えるが、やや異なる面があるパターン認識の分野として研究、発展してきた経緯がある。今日の深層ニューラルネットワーク(Deep Neural Networks; DNN)の関連で、その経緯を振り返っておく。

人工ニューラルネットワーク(ANN: Artificial NN)のモデルは最初に1943年にWarren S. McCullochとWalter J. Pittsにより提案された。その後、1958年にFrank Rosenblattにより3層(入力層、中間層、出力層)から成るパーセプトロン(Perceptron)が提案され、入力パターン識別の学習ができることが示された。第2次AIブーム期の中の1986年に発刊されたJ. L. McClelland and D. E. Rumelhart(著)“Parallel Distributed Processing”(MIT Press; 略してPDP本; 邦訳[PDPモデル] <甘利俊一、他訳、産業図書、1988>)は、記号処理とは異なるニューラルネットワーク(NN)による分散表現であるコネクショニズムを喚起し、小ブームになった。バックプロパゲーション(誤差逆伝播法)は、それ以前から研究はあったが、この時以降にNNの学習法として定着した(後のDNNにおいても変わらずに主要な学習法である)。この当時はDNNの学習は可能になっておらず大ブームになることはなかったが、Geoffrey E. Hintonはこのころから活躍しており(上記PDP本にも共著論文あり)、後にDNNの学習を可能にする中心的役割を果たすことにつながっている。

訓練データにより学習されたDNNも(代表的にパターンを識別する)一種の知識と言えるが、上記①の記号化された知識とは異なる形態となり、使われ方も異なる。記号化された知識は多くの場合、要素的知識の集合体の形態(知識ベースに蓄えられる)となるが、学習済みDNNは不可分で一体化された形態で、一体として代表的には入力パターンの識別/認識するのに使われる。人間の脳機能に対応づけると、DNNは感覚器の部分で入力パターンを認知するのに用いられ、記号化あるいは言語化された知識は概念レベルでの思考/推論に用いられると言えよう。

データと知識のかかわりの歴史的俯瞰の話題に戻ると、情報化の進展につれて社会のデータ量は増加の一途をたどっているが、1990年代中ごろからのWebの登場と拡大、2000年代にはIoTやCPS(Cyber Physical System)などと呼ばれる物理空間とサイバー空間の情報を連携、融合させる動きが顕著になってきた。これにより物理空間も含めて多種大量のデータがもたらされ、新サービスに活用されるようになってきている。そして2000年代中ごろより、ビッグデータの時代と言われるようになってきた。ビッグデータを分析し価値を見出す方法として、統計的手法を主とするデータサイエンスによる活用が図られたが(担当者はデータサイエンティストと呼ばれる)、2012年のDNNの興隆以後はDNNも主力のアプローチになった。DNNの学習には大量のデータを要することから、ビッグデータとAIの関りは深くなった。

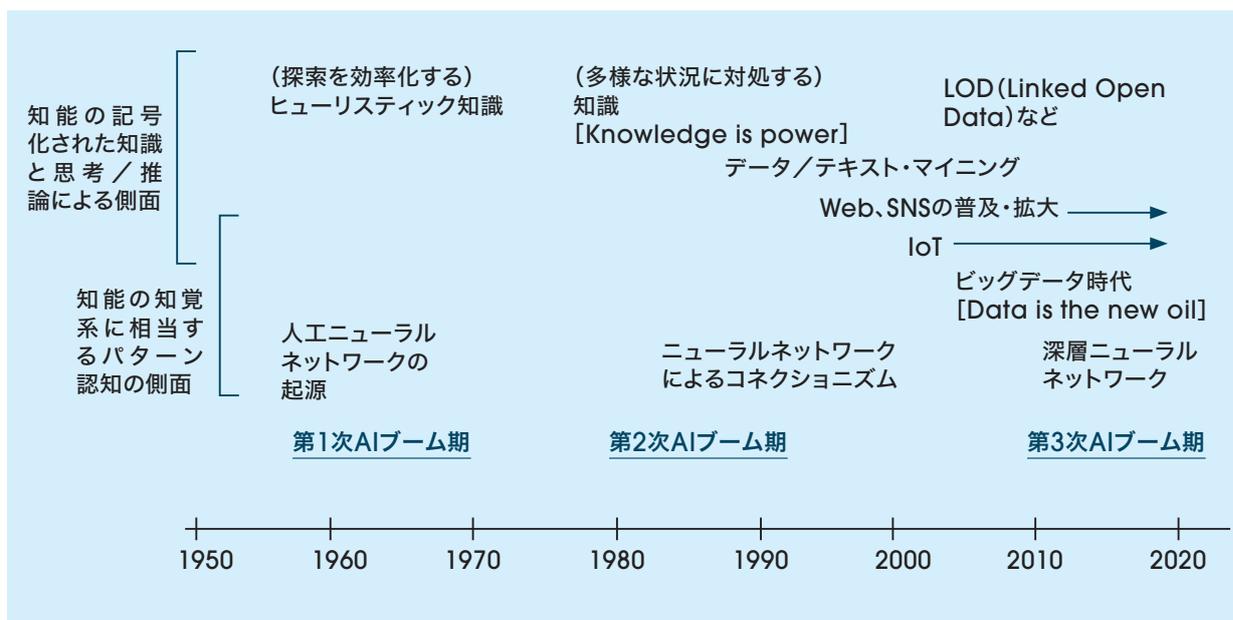
データサイエンスとAIは技術的に異なる領域と見なされるが、パターンの識別/認識の技術は両者に共にかかわって扱われることが多い(ただし、DNNはデータサイエンスに含まれることは通常なく、AIの範疇として扱われる)。

DNNを中心として第3次AIブーム期となったのであるが、この第3期のAIではビッグデータの利活用が大きな関心事になり、今日に至っている。今日、データの重要性は“Data is the fuel for AI”、“Data is the new oil”などとよく喧伝される。また、データ駆動型意思決定、データ駆動型経営、データ駆動型社会といったように、データの役割は今後増大すると予想されている。

DNNの新技术と、ビッグデータによるDNN学習(前述のように知識の生成でもある)とその利用が注目されることが多い現在であり、記号的知識の面は相対的に注目度が下がっている感がないでもないが、知能の側面として必要であり、重要性は変わらない。身近な領域として、チャットボットやスマートスピーカー(Amazon Echo、Google Homeなど)の対話では、記号的知識の利用は不可欠である。次の世代のAIは(人間の知能のように)、①記号化された知識と、②DNNを中心とするパターン認知機能を合わせて利用する枠組みが一つの重要な方向となろう。

図2-4-1は以上に記したAIをデータと知識の観点で経時的に俯瞰した概観を示している。以下にはビッグデータと知識に分けて、それぞれの状況を記すことにする。

■ 図2-4-1 AIをデータと知識の観点で経時的に俯瞰し、各時期の中心的技術項目の概観



2.4.2 ビッグデータの状況と課題

データ量は増加の一途をたどっており、IDCの調査によると全世界でデジタルデータの年間生成量は、2016年には16ZB(ゼットバイト)^{※38}あったが、2025年には10倍の163ZBになると見積もられている(監視カメラ・データのように、エッジで処理され圧縮された結果だけデータセンターに送られる形態も増えることから、このようなデータも含めればさらに増えることになる)。

2000年代中ごろからビッグデータ時代と称されるようになったが、このビッグデータは単に量が大きいというだけでなく、次のような3つのVで表される特徴をもつ。

- 1) Volume (データ量) : 量が大
- 2) Velocity (速度/更新頻度) : データの生成・収集・分析の速度、頻度が高い
- 3) Variety (多様性) : 構造化データだけでなく、テキスト/画像・映像/音声/センサー情報等の多様な非構造化データも含む

※38 1GB(ギガバイト)= 10^9 B, 1TB(テラバイト)= 10^{12} B, 1PB(ペタバイト)= 10^{15} B, 1EB(エクサバイト)= 10^{18} B, 1ZB(ゼットバイト)= 10^{21} B, 1YB(ヨタバイト)= 10^{24} B.

社会、個人生活、産業のあらゆる活動からデータは生み出されるのであるが、現在、利活用が図られているのは(必ずしも網羅しているわけではないが)以下のような領域である。

健康・医療、移動・交通、金融・保険、小売、ターゲット広告、流通・運輸、サービス業、製造業、一次産業、バイオ・製薬、化学・材料、旅行、教育サービス、エネルギー・インフラ、防災・防犯、公共・行政

これらの領域とはいくぶん趣を異にするが、データ中心科学で扱われるビッグデータ(気象や天文、バイオなど)もある。

Web情報、一部SNS、後述するオープンデータのように、オープンにアクセス可能なパブリック・データも増大しているが、世界のデータ総量の70～80%は企業が保有するプライベート・データであるといわれている。

企業の保有するデータは、

- a-1) インターナル・データ(社内のオペレーション・データ)
 - a-2) エクスターナル・データ(社外の顧客データ)
- に大別できる。

別の観点で、次のような分類の意識も必要である。

- b-1) エssenシャル・データ(自社の競争力として外に出せないデータ)
- b-2) 業界シェア・データ(業界等でシェアすることにより価値を高められるデータ)
- b-3) パブリック・データ(公共の利益に役立てるべきデータ)

また、Velocity(速度/更新頻度)の点から、次の分類もある。

- c-1) 変化のない/少ないデータ
- c-2) 更新頻度が高いデータ

このようなデータからDNNをはじめとする機械学習によりパターンや状況の認知/判定を可能にし、価値を生み出すことになる。それを可能にするためには、まずソースとなるデータが必要である。好ましいのは日々のオペレーションから大量データを収集でき、利用できることである。Google(Alphabet)、Facebook、Amazon(いわゆる国際的プラットフォーマー)はこのようにして大量のデータを収集し、ターゲット広告やリコメンデーションのようなビジネスに活用している(最近ではEUを中心に「個人データは本人の同意の下で収集し、利用する」という意識が高まってきており、このような動きは一定のブレーキがかかる動きも生まれている)。中国のAlibaba、Tencent、Baiduも同様にして大量データを収集、活用している。このような米国、中国のプラットフォーマーの規模と比べると、日本では匹敵する規模のインターネット/Webサービスの主体はなく、残念ながら量的なデータ収集力で対抗できない状態である。

一方、上に挙げたようないろいろな社会や産業活動において生まれたデータは記録されている(記録はされていても必ずしも機械学習に適するような形式や内容でないことも多く、利活用には苦勞す

る場合が多い)。今後は「データは価値を生む資産」との考えの下、収集と利活用を意識した蓄積を図るようになる必要がある。

自社あるいは自組織でのサービス／活動からデータ収集できない場合には、他所から収集する必要があり、およそ次のような方法が取られる(表2-4-1)。

■表2-4-1 自組織以外からのデータ収集の方法

| 利用の分類 | 備考 |
|-------------|--|
| オープンデータの利用 | 基礎的参照データとしては有用であっても、他と差別化した特徴を出すには、これだけでは不十分なことが多い |
| Web等から独自に収集 | Webのクローリング、スクレイピング等による |
| SNSデータ等の購入 | Twitterデータなど、有料のものが多い |
| 他企業からの提供 | 双方あるいは複数社間での協業によるデータ・シェアの枠組みも追求されている |

研究用途に企業等から提供されているデータセットがあり、例えば国立情報学研究所(NII)では以下のようなデータセットを研究用に公開している^{*39}。

- Yahoo!データセット(yahoo!知恵袋データ)
- 楽天データセット(楽天市場商品データとレビューデータ、楽天トラベルの施設データとレビューデータなど)
- ニコニコデータセット(ニコニコ動画コメント等データ)
- リクルートデータセット(ホットペッパービューティーデータ)
- クックパッドデータセット(レシピ・データなど)
- LIFULL HOME'Sデータセット(賃貸物件データなど)
- 不満調査データセット
- Sansanデータセット(サンプル名刺データ)
- インテージ・データセット(i-sspデータ;TV、PC、スマホでのメディア接触データなど)
- その他

スタンフォード大学では、主に研究用にインターネット／Webのネットワークに関するデータをStanford Large Network Dataset Collection^{*40}で公開している。これらは研究目的用に供与されているのであり、商用利用は制限されていることが多い(商用利用にはこれらだけでは独自性などの点で不十分なことが多い)。

オープンデータについて触れておくと、官民データ活用推進基本法(2016年12月成立・施行)において、国及び地方公共団体はデータのオープン化への取組みが義務づけられた。これによりオープンデータ化は進んできており、社会問題の解決、新サービスへの利用による経済活性化が期待されている。オープンデータの重点8分野(電子行政、健康・医療・介護、観光、金融、農林水産、ものづくり、インフラ・防災・減災、移動)が定められ、整備が進められている。

※39 NII提供中のデータセット<<https://www.nii.ac.jp/dsc/idr/datalist.html>>

※40 Stanford Large Network Dataset Collection<<http://snap.stanford.edu/data/index.html>>

必要なデータは利用すべきである(データカタログサイト^{※41}によると2018年7月現在で21,647データセットが公開されている)。情報処理推進機構(IPA)はオープンデータの利活用性の向上を目指して、「共通語彙基盤」を整備している^{※42}。

以下ではビッグデータ利活用に関するいくつかの課題に関して記すことにする。

①プライバシー問題

ビッグデータの何割かは個人情報であり、プライバシー上で特別の配慮を要する。日本では改正個人情報保護法が2017年5月30日に施行され、これに従う必要がある^{※43}。その要点を記すと次のようになる。

◇個人情報の定義の明確化

- ・「個人情報」とは氏名、生年月日、その他の記述等により個人が識別できるのに加え、以下の個人識別符号も含む。
- ・「個人識別符号」とは、身体の一部の特徴を表す符号(DNA、顔、虹彩、声紋、指紋、手指の静脈など)と、サービス利用や書類において対象毎に割り振られる符号(公的番号、旅券番号、マイナンバー、住民票コード、免許証番号、基礎年金番号、各種保険番号など)。
- ・「要配慮個人情報」とは、人種、思想、信条、政治的見解、病歴など、社会的差別を受けられる恐れのある個人情報。本人の同意を得なければ取得できない。
- ・「匿名加工情報」は、特定の個人を識別できないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報。本人同意やオプトアウト手続きなしに第三者に提供できる。受領の第三者は、本人識別を目的として他の情報と照合してはならない。

◇個人情報の第三者提供

- ①目的外利用や第三者提供には本人同意が原則
- ②匿名加工情報にすれば本人同意なしで第三者提供可

[提供者の義務]

- ・提供先に関する記録の作成と一定期間の保存
- ・復元に繋がる情報の安全管理措置
- ・匿名加工情報に含まれる情報項目の公開

[受領者側]

- ・提供の記録の作成と一定期間の保存
- ・本人識別のために他の情報と照合することを禁止
(業務の委託、事業の継承、共同利用は第三者利用に当たらない)

◇外国の第三者への提供制限

外国の第三者が以下に該当する場合、本人同意を得て提供できる

- ・日本と同等水準にあると認められる個人情報保護の制度を有している外国(個人情報保護委員会で定める)
- ・個人情報保護委員会規則で定める基準に適合する体制を整備している外国企業

※41 データカタログサイト<<http://www.data.go.jp/>>

※42 IPA、共通語彙基盤<<https://www.ipa.go.jp/osc/kyoutsu>>

※43 個人情報保護委員会/法令ガイドライン等<<https://www.ppc.go.jp/personal/legal/>>

医療分野に関しては研究開発の促進に資するため、次世代医療基盤法(2017年4月成立、2018年5月施行)が制定された。この法律では、改正個人情報保護法で要配慮情報に該当する医療情報も、オプトアウト方式により第三者提供を可能としている。

プライバシー、個人情報保護についての規制は各国で異なるが、EUは最も厳しい部類になる「一般データ保護規則(GDPR)」を2018年5月に施行した。GDPRの主目的は、市民と居住者が自分の個人データのコントロールの主権を取り戻すことであり、国際的ビジネスの規制を定めることである。以下にいくつかの要点を抜粋して記す。

- ・名前、識別番号、住所、メールアドレス、IPアドレス、クッキー、クレジットカードやパスポート情報といった個人データの収集には個人の明確な同意が必要。
- ・償いを済ませた後の犯罪歴といった過去のデータの消去を求める「忘れられる権利」を認める。
- ・収集された個人行動や購買の履歴等の個人データを、個人が自分の意思で異なるサービス提供者に移転できるデータ・ポータビリティの権利。
- ・プロファイリングに服さない権利(GDPRにおけるプロファイリングとは、個人の側面<業務実績、経済状態、健康、嗜好、興味、信頼、行動、所在または移動>の分析や予測をするためになされる個人データのあらゆる形態の自動的な処理)。
- ・EU規則と同じレベルの規則を課しているという十分性が認定されない限りEU市民のデータをEU域外に持ち出せない(日本政府はEUからこの十分性を認める合意を得ている)。
- ・違反した場合には巨額の制裁金(全世界のグループ売上高の4%か2000万ユーロのいずれか高い方)。

背景として、EUはGAFA(Google、Apple、Facebook、Amazon)等の米国プラットフォームに対する市場寡占に異を唱えていることも関係している。それに関連した制裁の動きもみられるようになってきており、プラットフォームの無制限に近かったデータ収集活動が今後変化する可能性もある。

個人データの扱いに関しては、以上のような法規や規則に十分配慮して対処することが不可欠である。

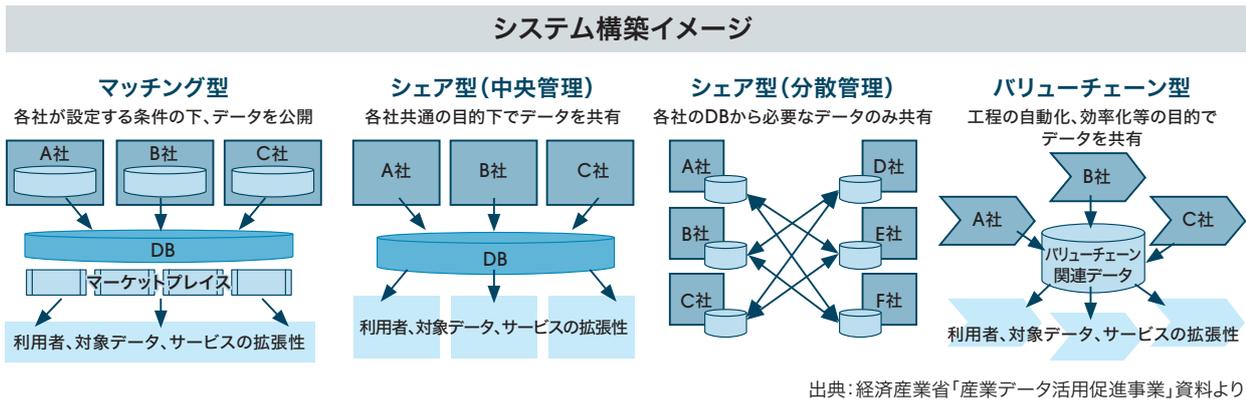
なお中国については、国民のプライバシー意識は西欧先進諸国と事情が異なっており、国家主導も含めて国民の個人データ収集と利用が進んでいる状況である。

②データの共有・共用の課題と、情報銀行、MyDataの動き

国際的プラットフォームGAFA(Google、Apple、Facebook、Amazon)と比べると、日本企業の1社で保有するデータ量はかなり低いレベルである。この課題を克服する一つの有効な方策は、複数企業でデータの共有・共用を可能にすることである。

この考えの下、経産省では2018年に「産業データ活用促進事業」を開始した。データ共有・共用を可能にする基盤構築と実用的運用、データ標準化・互換性、API連携の実現を狙いとしている。図2-4-2はこのような複数企業によるデータ共有・共用のいくつかの形態を示している。公募により企業から提案を受け、事業が開始されている。

■ 図2-4-2 複数企業によるデータ共有・共用のいくつかの形態



民間では、一般社団法人データ流通推進協議会^{*44}で取組みが行われている。

上記は企業間のデータ共有・共用の枠組みであるが、個人から（同意を得て）個人データの預託を受け、個人が許可したデータを必要とする企業に仲介、提供する「情報銀行」も課題の検討と並行して、具体的事業も始まっている。この場合の個人データは以下のようなものが対象になる。

購買データ、移動データ、健康データ（装着センサーデータ）、食事データ、WebやSNSアクセスデータ、金融データなど。

データを提供した個人は対価（ポイントや特別なサービスのこともあり）を受けることができる。政府もこの動きを推進しており、データ流通、利活用促進の枠組みとして期待される。

情報銀行は「個人が自分の個人データのコントロール権をもつ」ことを前提とし、その実現が図られたときにデータの範囲は大になる。この権利はEUのGDPRの中心理念であり、具体的にはデータ・ポータビリティの権利と関わる。EUのGDPRをはじめとする「個人が自分の個人データのコントロール権をもつ」との思想は最近ではMyDataとも称されている。MyDataと称するイベントは最初2016年にヘルシンキで行われ、日本でも2017年、2018年に行われた。

このMyDataの思想に深く関係するのが Personal Data Storage (PDS) であり、個人が自分の個人データを自分で保持し管理するストレージである。情報銀行とも深く関係する個人データの管理形態であり、情報銀行は個人から同意を得たPDSの個人データの預託を受けることになる。

このように、ビッグデータの収集は各企業で進むのと並行して、企業間、個人—企業間のデータ流通の枠組みも整備が進もうとしている。

③データバイアス問題

人間に代わってデータから学習したデータ駆動型意思決定が行われるようになることで、収集したデータに内在する（不当な）偏りや偏見が判定に影響することが起こりうる。これは、データバイアス問題と呼ばれる。

例えば、採用審査時に応募書類をAIが（予備）審査する、あるいはローンの与信審査でまだ返済履歴がない人の場合などにAIが審査するようなことが始まっている。これらのAIはデータから機械学

※44 一般社団法人データ流通推進協議会<<https://data-trading.org/>>

習(代表的にはDNNの学習)によって得られたものであるとき、元の学習データに偏りがあるとそれを反映した判断となり、公平な判断になるとは限らないことになる。

難しいのは、偏りや偏見が社会に存在するとき、それらがデータにも含まれ、AIが学習してしまうことである。表2-4-2にデータがもたらす偏りや偏見に関する例を示す。

■表2-4-2 データがもたらす偏りや偏見の例

| 偏りの種類 | 概要 | 例 |
|-----------------|--|--|
| 1)データサンプリングの偏り | 特定の地域や年齢層などのデータを偏ってサンプリングすると、事実との差異が生じる。 | 台風の被害状況をTwitterの投稿をもとに把握しようとしたところ、投稿が多かったのはスマートフォンの所有率やTwitter利用率が多い地域であった。 ^{※45} |
| 2)データに含まれる偏り | ネット上のデータ自体に思想的な偏りが含まれている可能性がある。 | 米国の調査では、45%の回答者がメディアに政治的バイアスがあると回答(過去最高) ^{※46} |
| 3)意図的な偏り | 開発者や学習させる者が、意図的に偏見をもたせる学習を行う可能性がある。 | Microsoftが公開したユーザーとの会話で学習するAIが不適切な発言を連発するようになり、公開停止に。 |
| 4)統計的データがもたらす偏見 | 統計的データが受け取り手に偏見をもたらし可能性がある。 | ニューヨーク市警察が公表しているレポートでは殺人事件の被害者も容疑者も黒人が50%を超えている。 ^{※47} |

特にDNNの判断結果の根拠の説明を得ることが(現状では)難しいので、公平な判断結果か否かを検証することが難しい。そもそも上表の2)の例では、回答者である個々の国民の思想にも偏りがありうるため、何が中立かの定義すら難しい。また、4)の犯罪レポートのように、正確な統計データを学習させるとAIに偏見を持たせるように見え、学習させなければ分析に支障をきたしうるようなケースもある。

このデータバイアス問題に対しては、できるだけ偏りや偏見のない学習データを用意すること、学習内容をユーザーに開示すること、AIが明確な偏りを持っていないかをチェックする仕組みを設けることくらいしか、現状では良い解決策は見出されていない。

④ 学習に大量データを要する課題

DNNの学習には大量の訓練データを要することが、実用上の課題になることが多い(教師付き学習用には判定ラベル<教師データ>をもつ訓練データを必要とするが、ラベル付けを人手で行わなければならない場合は大変である)。このデータ量の課題への対処法を簡単に記す。

データ拡張(Data Augmentation)は、存在するデータに変形、変換を加えて、データを水増しする方法である。画像データの場合は、以下のような変形、変換した画像を生成して、訓練データに加える。

左右・上下の反転、回転、移動、拡大・縮小、ノイズ付加、コントラスト調整、ガンマ変換、色変化

※45 Harvard Business Review “The Hidden Bias in Big Data”<<https://hbr.org/2013/04/the-hidden-biases-in-big-data>>

※46 A GALLUP/KNIGHT FOUNDATION SURVEY “AMERICAN” VIEWS: TRUST, MEDIA AND DEMOCRACY <<https://knightfoundation.org/reports/american-views-trust-media-and-democracy>>

※47 New York City Police Department “Crime and Enforcement Activity Reports” <<https://www1.nyc.gov/site/nypd/stats/reports-analysis/crime-enf.page>>

データ量が少ない場合には過学習が生じやすくなるが、データ拡張は過学習対策としても効果を持つ。データ拡張は画像認識においては効果が確認されており、標準的な方法になりつつある。

DNNの転移学習(Transfer Learning)は、大量訓練データで学習済みのDNNを利用し、類似性はあるが別の新しい認識対象に対して学習済みのDNNの最終層近くの数層のニューラルネットワーク部分のみを微調整(fine tuning)する学習を行う。この場合、微調整部分以外の部分(低レベル、中レベルの特徴部分に相当)は学習済みDNNと同じパラメーターをそのまま使い、最終層近くのニューラルネットワーク部分は比較的少量の新たな対象物データで微調整(学習)することにより、新たな対象の認識/識別を行うDNNを得ることができる。

この転移学習も画像認識/識別ではよく利用されるようになっている。VGG16(オックスフォード大で開発された16層から成る畳み込みDNNで、2014年のILSVRC<ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge> 画像認識で2位であった)は、転移学習用の学習済みDNNとしてよく利用されている。

人間は過去に学んだ何らかの関連知識を利用している面はあるものの、画像認識/識別における対象物の学習にDNNのような大量データはなしでも行っている。この点に着目し、少数データで可能な機械学習法(DNNには限定せず)は、日本も含め世界で活発に探究されている。

2.4.3 知識を巡る状況

ビッグデータ時代において、AIで価値を生み出すソースとしてデータの注目度は高まっているのに対し、(記号的)知識への注目度は相対的に下がっている感もあるが、前述のように知能の思考/推論の側面を支える知識は重要であり、着実な歩みを見せていると言える。WebやSNSではテキスト部分は非構造化データでもあるが、テキストマイニングにより知識を抽出して利活用が図られるので、データと知識の中間的な位置になると言えよう。ここではこのようなものも含めて、知識に関する状況を記す。

Webは情報共有、流通のプラットフォームとして登場し、1990年代半ばからのその普及と拡大は検索エンジンを伴うことで、情報環境に革命的变化をもたらした。2000年代になると、BlogやSNSも登場し、いわゆるCGM(Consumer Generated Media)によって、各個人のバラエティに富む情報発信も増大した。

知識の点で注目すべきは2001年に始まった共同執筆のWebオンライン百科事典であるWikipediaである。2018年7月時点で英語版は記事数で567万、日本語版で記事数111万となっている。内容は中立的観点から記述すべきとの方針がとられており、情報の質も2005年の百科事典エンサイクロペディア・ブリタニカとの比較で大差はなかったという調査結果も示された(その一方で、査読制度がなく、問題ある記述はコミュニティでの管理に委ねられているので、信頼性の担保が弱い部分もあるとの意見もある)。Wikipedia情報をコンピューターによる意味把握を容易にするLOD(Linked Open Data)形式にしたのがDBpedia^{*48}である(LODについては後述する)。

Webの発明者であるTim Berners-Leeは1999年にセマンティックWebを提唱した^{*49}。通常のWebは人が読む文書情報をHTML形式で表すのに対し、セマンティックWebはコンピューター(機械)が意味内容を判読できるようにすることを目標とする次世代Webの構想である。セマンテ

※48 <<https://wiki.dbpedia.org/>>

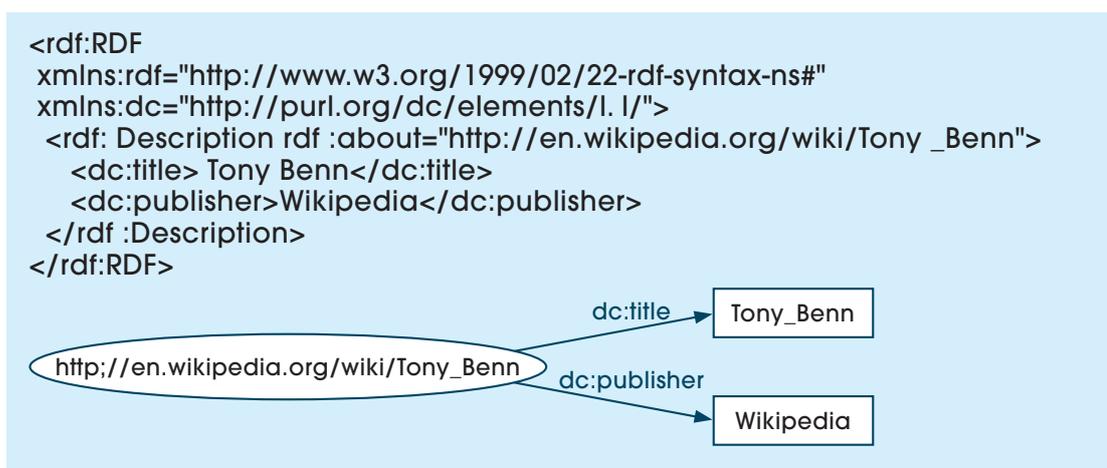
※49 Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by Its Inventor., Tim Berners-Lee, with Mark Fischetti. Harper San Francisco, 1999.

ィックWebの上位目標(Proof、Trustなどあり)は高く、研究開発や標準化は継続しているものの、なかなか普及するまでに至っていない。

セマンティックWebの基礎となるデータ記述形式はRDF (Resource Description Language) であり、これにもとづいてコンピューターに意味が判読でき、Webのようにオープンにアクセスできるようにしたのが、2007年からLODと呼ばれるようになったデータのWebである。データであるものの、概念や事物間を豊富な関係で結んでおり、知識化されているとも言える。

記述形式のRDFは主語(subject)、述語(predicate)、目的語(object) の三つ組(triplet) でデータ/知識を表す。図2-4-3にRDFの例を示すが、下がグラフ表示であり、上がNotation3 (N3) というXMLをベースとするRDFのシリアル化記述形である(他のシリアル化記述形も存在する)。

■ 図2-4-3 RDFの例—下がグラフ表示で上がNotation3 (N3) 記述



出典: Wikipedia記事「ファイル:Rdf-graph-example-TonyBenn.png」より作成

図2-4-3下のグラフの楕円ノードはURI (Uniform Resource Identifier) であり、これはWeb空間でユニークなIDとなる。上のNotation3記述の2行目、3行目はそれぞれrdf とdc (Dublin Coreという書誌情報メタデータ記述用の関係語彙セット) のXML名前空間(xmlns) が = の右側のURIで定められることを記している。4行目の <rdf:Description rdf:about=" …… " > はRDF三つ組構造データの主語(subject) 項目を記し、その下の2行で dc:title と dc:publisher (dc名前空間のtitleとpublisher) の述語関係をもつ目的語に当たるリテラル(文字列か数値) Tony_Benn と Wikipedia に関係づけている(ここでの目的語の位置はリテラルでありURIではないが、URI を記述することもできる。また同一性を示す owl:sameAs (owlはXML名前空間) の関係述語でリテラルをURIに結び付けることができる)。このようにして概念や事物がWeb上でユニークなURIと結び付けて表されることにより、多くのLODセットが関係づけられて連携し、大きなLOD空間を形成することになる。なお、普通のWebのリンクは単に参照先のURIを示すだけであるが、RDF(あるいはLOD)のリンク(述語)は意味をもつ関係を示すという違いがある。

LODをはじめとして知識記述に必要なオントロジーにも触れておくと、オントロジーは哲学用語としては「存在論」を意味するが、AI(あるいは情報科学)では対象世界の「概念体系」あるいは「基本語彙体系」を表す^{※50}。記述に用いる概念/語彙を定義し、それらの間の階層も含む必要な関係記述を

※50 Tom Gruber, "Ontology. Entry in the Encyclopedia of Database Systems", Ling Liu and M. Tamer Özsu (Eds.), Springer-Verlag, 2008.

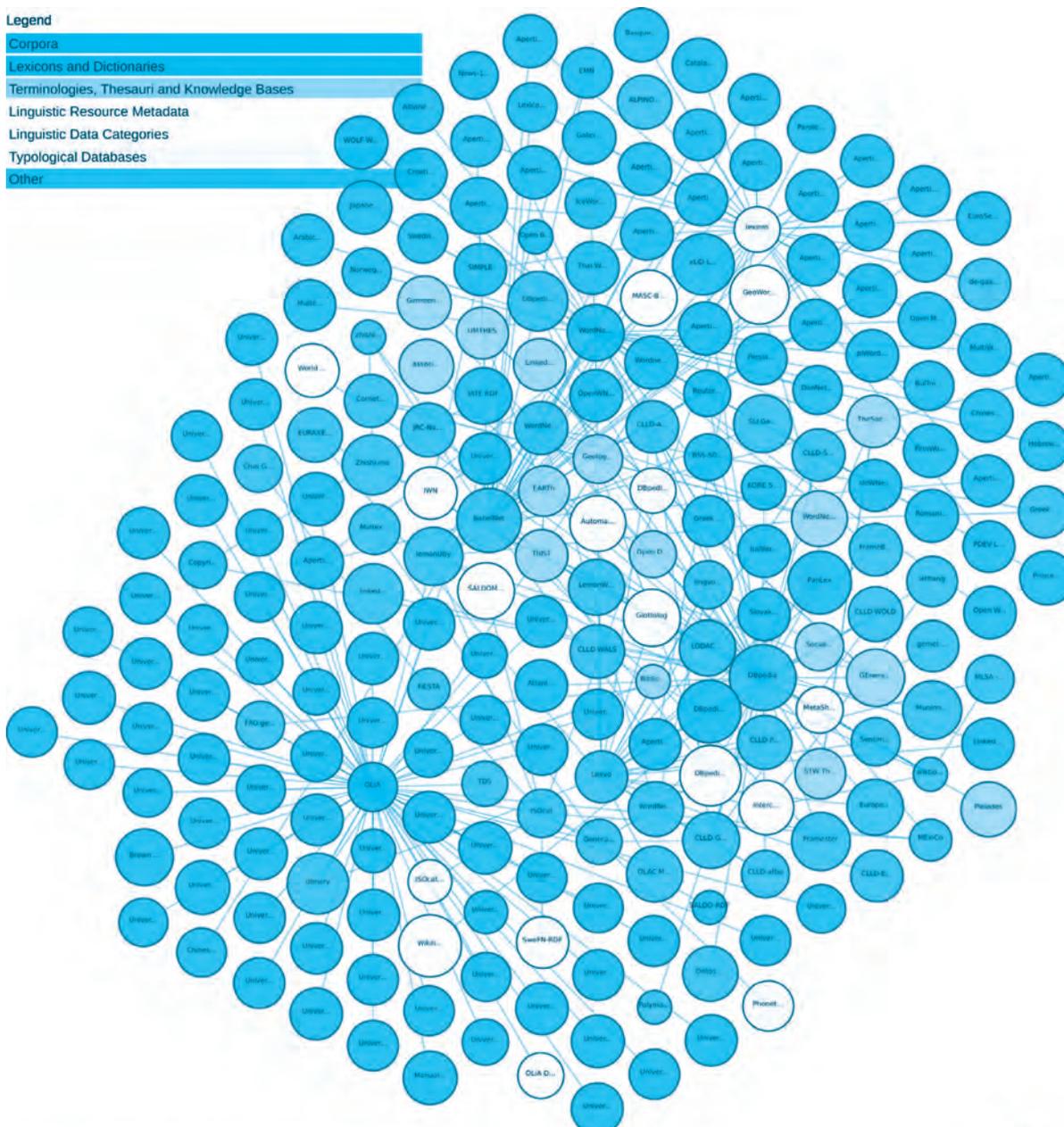
定める。ここでは深くは立ち入らないが、図2-4-3の例ではXML名前空間にはこのような体系化された基本語彙(オントロジー)が定められており、RDFの関係記述に使用されている。

LODは2018年6月時点で1,205データセットが公開されており、総体としてLinked Open Data (LOD) Cloud と呼ばれる。どのような対象領域があるかと言うと、大別すると以下のようなサブドメインである。

Cross-Domain(領域間共通)、Geography(地理)、Government(政府)、Life Science(生命科学)、Linguistics(言語学)、Media、Publication(出版)、Social Networking、User-Generated(ユーザー生成コンテンツ)

LOD全体では1,000データセット以上にもなり込み入ってしまうので、図2-4-4にはLinguisticsサブドメインのLODを例示する。各ノードがデータセットを表し、関係づけがあるノード間にリンクが張られている。

■ 図2-4-4 Linguistics(言語学)サブドメインのLOD(コーパス、用語と辞書、専門用語・シソーラス・知識ベース、言語リソースメタデータ、言語データカテゴリ、印字学データベース、その他が含まれている)



出典:The Linked Open Data Cloud「LinguisticsサブドメインのLOD」のグラフ(クリエイティブコモンズライセンス:表示4.0国際)<<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>

代表的で最も規模が大きいLODは DBpediaであり、2018年で英語版は458万項目を含んでいる。主にWikipediaのInfobox（右上のボックス部分）の情報がRDF形式で記されている（DBpedia Japanese も存在しているが^{*51}、規模は大きくはなく範囲も限定されている）。

WikipediaをもとにしたLODにWikidata^{*52}も存在する。DBpediaがWikipediaの主にInfoboxから情報抽出しているのに対し、WikidataはWikipediaの内容に関して共同編集されたRDFを集積している（DBpediaはBerlin自由大学とLoipzig大学で始められ2007年に公開されたが、WikidataはWikimedia財団で2012年から開始された）。

WordNet^{*53}は（英語の）上位・下位語、同義語等を定義した語彙データセットだが、このWordNetもLODとして公開されている（日本語WordNet^{*54}も存在し、LOD化が図られている）。

RDFのクエリ言語として SPARQL^{*55}があり、RDFにより記述されたLOD空間は、SPARQL Endpoint（LODの標準検索API）からSPARQLによって検索可能である。

なおここではLODの記述形式としてRDFを記したが、RDFはオープンでないプライベートな三つ組構造で関係付けられたデータ／知識の集合を表すのにも用いられる（その場合はLinked Data と呼ばれる）。RDFという規格化された表現形と、それに付随する各種ツールも利用できることが利点となる。

RDFではデータ／知識は三つ組 (triplet) 及びノードと関係リンクによるグラフで表現される。同じようにデータ／知識をグラフ表現したものであるが、RDF表記は用いない知識グラフ (Knowledge Graph) がある。

キーワード検索の検索エンジンはWeb情報空間利用に不可欠のツールであるが、雑多な情報の選別など、アクセスには不十分な点も多い。GoogleのKnowledge Graphは、Web等から抽出したオブジェクト（事物）間の関係を意味ネットワーク形（オブジェクトをノードとし、ノード間を意味的關係を付したリンクで結んだグラフ）で知識化して表したものである。これにより単なるキーワードでなく、オブジェクト間の意味的關係も考慮した検索を可能にしている。このGoogle Knowledge Graphは2012年の発表時点で5.7億件のオブジェクトと、それらオブジェクト間の180億の意味的關係を有していた。2016年には700億件のファクト関係に拡大しており、検索と共に機械翻訳の品質向上にも利用されている。これはGoogle Knowledge Graph Search API^{*56}から検索で利用することができる。

2016年に発表があった Microsoftの Concept Graphは、テキスト理解に必要な概念をやはりノードとし、ノード間を確率を伴う関係で結ぶグラフとしている。この概念ノード数は540万程であり、テキスト文の常識に照らした確率的解釈に役立つ。

Microsoftはこの他にもGoogle Knowledge Graphのような知識グラフ Satoriも、検索エンジンBing用や対話システム用に開発している。Satoriは2012年時点で3.5億項目、8億

*51 DBpedia Japanese<<http://ja.dbpedia.org>>

*52 Wikidata<https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Main_Page>

*53 Word Net<<https://wordnet.princeton.edu/>>

*54 日本語Word Net<<http://compling.hss.ntu.edu.sg/wnja/>>

*55 SPARQL<<http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>>

*56 Google knowledge Graph<<https://developers.google.com/knowledge-graph>>

の関係記述をもつ。

FacebookもEntities Graphという仮称で、膨大な利用者のプロフィール情報をノードとそれらと関係のリンクで結ぶグラフ形状のデータ／知識ベースで管理して活用している^{*57}。

データが膨大になることで、グラフ形状のデータ／知識ベースの処理の高速化も、解決すべき課題になっており、米国防高等研究計画局 (DARPA) は、「Hierarchical Identify Verify Exploit ; HIVE」と呼ばれる高速化の研究に取り組んでいる^{*58}。

1980年代半ばから常識 (common sense knowledge) の知識ベース化の先駆的活動であり、主として人手に頼って構築が進められた CYC^{*59}は、上記のようなテキスト・ビッグデータからオブジェクトや概念を自動抽出している知識グラフに比べると、(質はともかくとして) 量の面では対抗できないようである。

WebやSNSとは別の知識源として重要になってきているのが科学論文であり、テキストマイニングにより知識を抽出し、活用が図られている。代表的な例としては医学／医療論文データベース (代表としてMEDLINE—PubMedを介してアクセスされる) は、医療や創薬等によく活用されている。背景には多数公表される科学論文は専門家でもとてもフォローし読み取ることができない量になってきている状況がある。

類似な例としては特許文書などもある。企業での文書や資料もテキストマイニング等により加工、整理され、知識化しての利用が進むことが期待されている。

知識の使い方として近年目立ってきているのは質問—応答 (Q&A) 用の知識である。コールセンターでの対話応答 (オペレーターの応答支援と自動応答あり)、スマートスピーカーでの対話、チャットボットでの対話などを、正しくかつ円滑に行うための知識の蓄積 (知識ベース) である。企業内での様々な知識 (ファクト型知識とknow-how的あるいは手続き型知識あり) の共有と流通 (問合せに回答する等の形式) も近い形態といえる。

第2次AIブーム期の知識ベースはルールを主体にして、一部は構造をもつフレーム、論理、制約等の形態で知識が集積されたが、今日ではルールは用いられるものの (高速化のReteアルゴリズム^{*60}を有する) プロダクション・システムの使用などはあまり聞かなくなっている。制約は知識の基本的なものであり、随所に使われ、充足可能解あるいは最適解を導出するアルゴリズム (一種の推論) が使われる。フレーム名のオブジェクトが関係をもつ要素をスロットして表すフレームの機能は、前述した三つ組 (triplet) 表現をとるRDFやその類似形で代替されてきている感がある。

データ利活用の観点からは、オープンデータは誰でも自由に活用できることがその骨子であり、技術の民主化、すなわちLODとその活用技術の普及をボトムアップに応援する活動も多く存在する。代表的なものはLODチャレンジJapan実行委員会が主催する、「LODチャレンジ」であり、コンテスト形式で評価し合うイベントを通じて、LODの技術情報を発信するとともに、データやアイデアに関する情報交換や共有を行うコミュニティづくりが行われている^{*61}。

*57 Facebook Entities Graph<<http://www.facebook.com/notes/facebook-engineering/under-the-hood-the-entities-graph/10151490531588920>>

*58 HIVE<<https://www.darpa.mil/program/hierarchical-identify-verify-exploit>>

*59 Cycorp/Cyc<<http://www.cyc.com>>

*60 Rete Algorithm<https://en.wikipedia.org/wiki/Rete_algorithm>

一方、データの重要性が注目されている中でいわゆる知識ベースの形態や実体では、LODなど標準化されオープン化されているものは把握できるが、企業内のもの等は様々な形態であり、全体像を把握しにくくなってきている。

先にも述べているように、深層学習(DL)等の機械学習によって得た、認識/識別の用途に代表的に使われる学習済みDNN等是一種の知識であり、これらの獲得した知識の流通・共有の枠組みは、データの流通・利用と並行して今後の課題である。学習済みDNNについては、訓練データとは違うが類似性のある新たな認識対象に対して、転移学習による利用が可能ではある。しかし、実際に転移学習に利用されるのはImageNet で学習されたVGG16を代表とした限られた範囲である。学習済みDNNをはじめとするデータから学習によって得た知識の広範囲な利用を可能にする枠組みは、適用範囲や品質の保証をどうするかなど、今後の課題である。

※61 <<http://2018.lodc.jp/>><<http://2017.lodc.jp/>>等々

2.5 ▷ 身体性とロボティクス

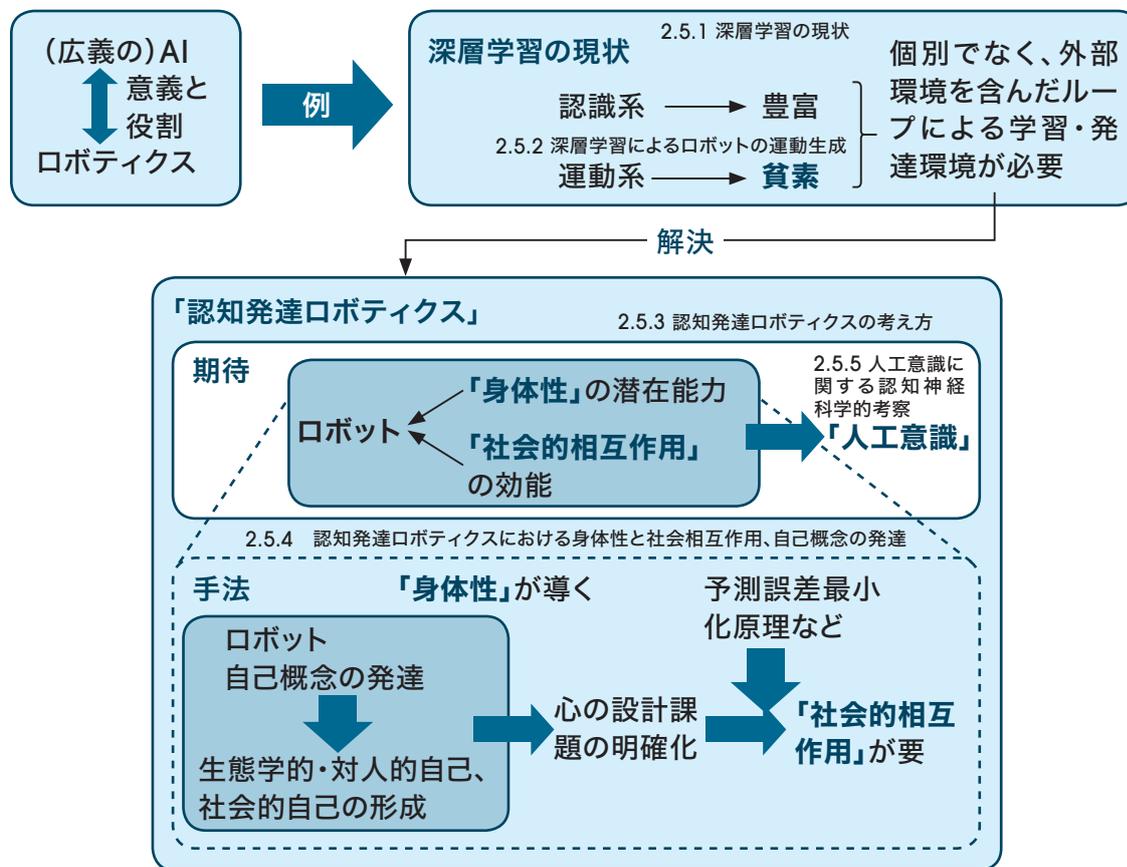
本節では、近年、目覚ましい進展を遂げ、分野を拡張しつつある広い意味でAIの観点からロボティクスの役割と意義の説明を試みる^{*62}(図2-5-1)。この観点から、最初に現状の深層学習の状況を再認し(2.5.1)、認識系のデータ量、結果、応用範囲の豊富さに比して、運動系が量的にも質的にも貧素であることを指摘する。そして、それを打破する可能性を示す例を紹介し、残された課題等を列挙する(2.5.2)。

これを解決する一つとして、認知発達ロボティクスの考え方を導入する(2.5.3)。次に認知発達ロボティクスの思想的背景である人間の心と身体や事物との関係に関する歴史的流れを概説する。それは、ロボットを持つ身体性や社会的相互作用の能力が、AIの一つの究極的課題である人工意識に結実されるのではないかという期待からである。それにより心の設計課題が浮き彫りになると予想される。

そして、認知発達ロボティクスのゴールである人間の認知発達過程の理解の一つの側面として、ロボットが自己という概念を持つ可能性を検討する。自己概念の発達の形態として、生態学的自己、対人的自己、社会的自己を形成する機構を検討する(2.5.4)。

それぞれの段階での課題を列挙し、ロボットの身体性にもとづく、身体表象、自己感覚、共感などの社会的相互作用に関連する認知発達ロボティクスのアプローチを紹介する。前半は計算神経科学的側面が中心であり、後半は、認知発達過程の計算原理としての予測学習規範を紹介し、その可能性を検討する。そして、最後に人工意識の在り方を議論する(2.5.5)。

■図2-5-1 本節の全体像

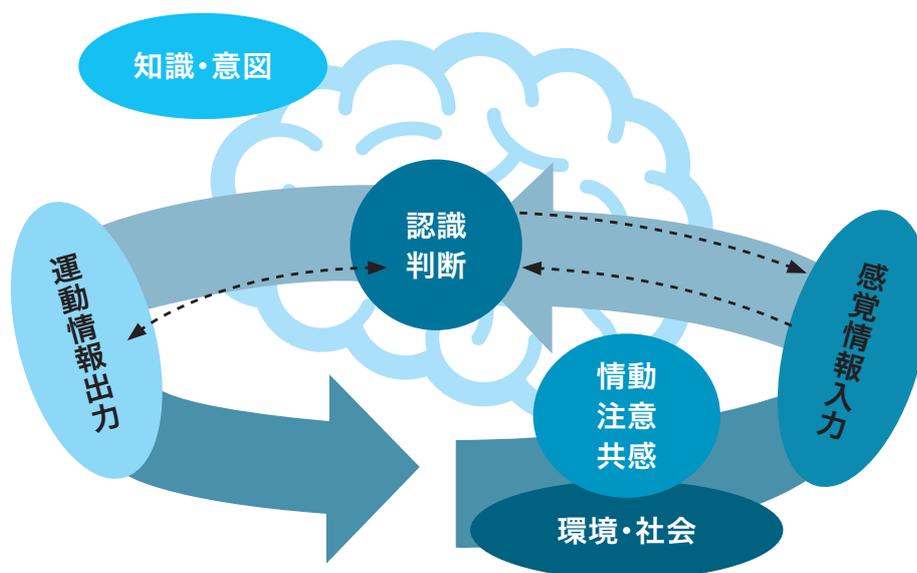


※62 ロボティクス分野一般の在り方に関しては、やや古いですが、別の成書[1]を参照していただきたい。

2.5.1 深層学習の現状

深層学習の現状の適用範囲を図2-5-2に示す。随時、更新改良がなされているので、すぐに古くなることを覚悟で示す。深層学習は、もともとヒトの視覚システムのモデル化から始まっているので、音声も含めたマルチモーダルな感覚情報からの認識・判断が得意であり、言語データとも組み合わせた音声や画像の出力も可能である。片や運動出力に関しては、その厚みがない。理由は、画像の場合、数千万枚のデータが利用可能であるが、ロボットの試行回数には限界があるからである。運動出力とのパイプが太くなることで初めて、環境を含んだループが完成し、入力(感覚)から出力(運動)への即応的な応答(自動的かつ無意識的な行動)が可能になる。最近、やっとロボットの行動生成への適用が出始めている。これらに関しては、次項で触れる。

■ 図2-5-2 深層学習の現状の適用範囲



2.5.2 深層学習によるロボットの運動生成

「2.2 ディープラーニング」で触れた深層学習では、主に多様な感覚情報からの認識・判断の学習がメインであり、優れた成果が出ていることから、これをロボットの運動生成に応用する際に、以下の2つの考え方がある。

- ①これまで困難と想定されていた視覚情報処理の部分に適用し、正確な物体認識や分割領域情報を用いて、従来のロボティクスの枠組みで解決する場合
- ②図2-5-2に示したように、ロボット学習の枠組み、すなわち感覚・運動ループの中で深層学習の手法を適用する場合

前者の例としては、Lenzら [2]は、深層学習により対象物の距離画像から把持ベクトル(ロボットハンドの位置と方向)を出力した。また、Redmon and Angelova[3]は、RGB-D画像から、畳み込みニューラルネットワークを利用し把持ベクトルを予測した。さらに、Pinto and Gupta[4]は、700時間ロボットを駆使して5万回の試行データにもとづき把持の学習を行った。これはロボットの把持を対象としてはいるものの、物体画像から把持ベクトル、把持領域などのマッピングのみを問題としており、純粋なコンピュータビジョン研究で、実際の動作自体は、把持ベクトル

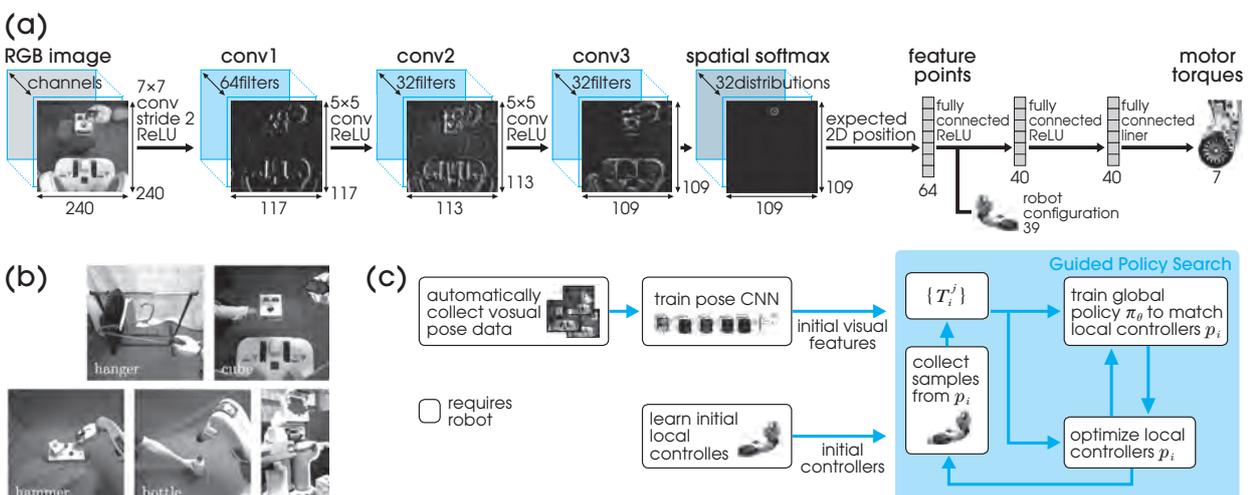
ルの情報を受けて逆運動学などの従来のロボット制御で実行されることを前提としていた。把持ベクトルが画像から得られたとしても、実際にどのような動作をすることで把持可能なかを学習対象にするには、動作を生成する身体の構造も含まれる必要があるが、それらは対象となっていない。このように、単に視覚モジュールを取り替えたにすぎず、ロボットの行動制御は伝統的な手法に依存している。これは、既存手法が、入力から出力まで概念的に複数の段階の処理が必要な場合には、個々の処理をステップバイステップで学習した後にそれらを統合するという手順を踏襲しているからで、深層学習を便利で有用な視覚モジュールとみなしている。

これに対し、もともと深層学習は、入力から出力までを一つのネットワークとして表現し、全体を“End to End Learning”する形態をとって、ロボットの動作を学習する機構で、入手可能な高次の入力データ（画像や映像）から、必要な高次の出力（複数の関節時系列出力）を直接得るパラダイムである。ただし、先にも述べたように、画像認識の場合、数千万枚の画像データが利用可能であるが、実際のロボットには、そこまでの試行回数を求められない。なんらかの工夫やバイアスが必要である。

(1) 視覚運動方策のエンド・ツー・エンド学習

Levineら[5]は、PR2と呼ばれる双腕ロボットプラットフォーム(図2-5-3(b)右下)に深層強化学習による行動探索を行わせ、現時刻の1枚の視野画像入力から次時刻のロボットの複数関節出力(7軸のトルク指令)を直接CNN(畳み込みニューラルネットワーク)で出力(図2-5-3(a))させ、一連の動作を実現する手法を提案し、複数の動作について、物体位置変化などがあっても安定的に動作させることに成功した(図2-5-3(b))。ポイントは図2-5-3(c)に示すアプローチで、画像から姿勢を決めるCNNと局所コントローラーを事前にトレーニングし、それらを用いて、Guided Policy Searchと呼ばれる方法で、大局的な方策を求めることである。初期トレーニングによるバイアスと探索手法に工夫がある。画像特徴は、単なる画像上の特徴点(エッジや孤立点など)ではなく、タスクを遂行するうえで必要な特徴点を抽出可能であり、それはロボットの身体に拘束された注意点でもある。目標点は画像上の座標で指定され、視覚サーボによりロボットを制御するが、そのためのカメラキャリブレーションは、CNNの学習に内包されている。ちょうど、構造やパラメーターに関する事前知識を必要としない適応型ビジュアルサーボシステム[6]のように振る舞う。

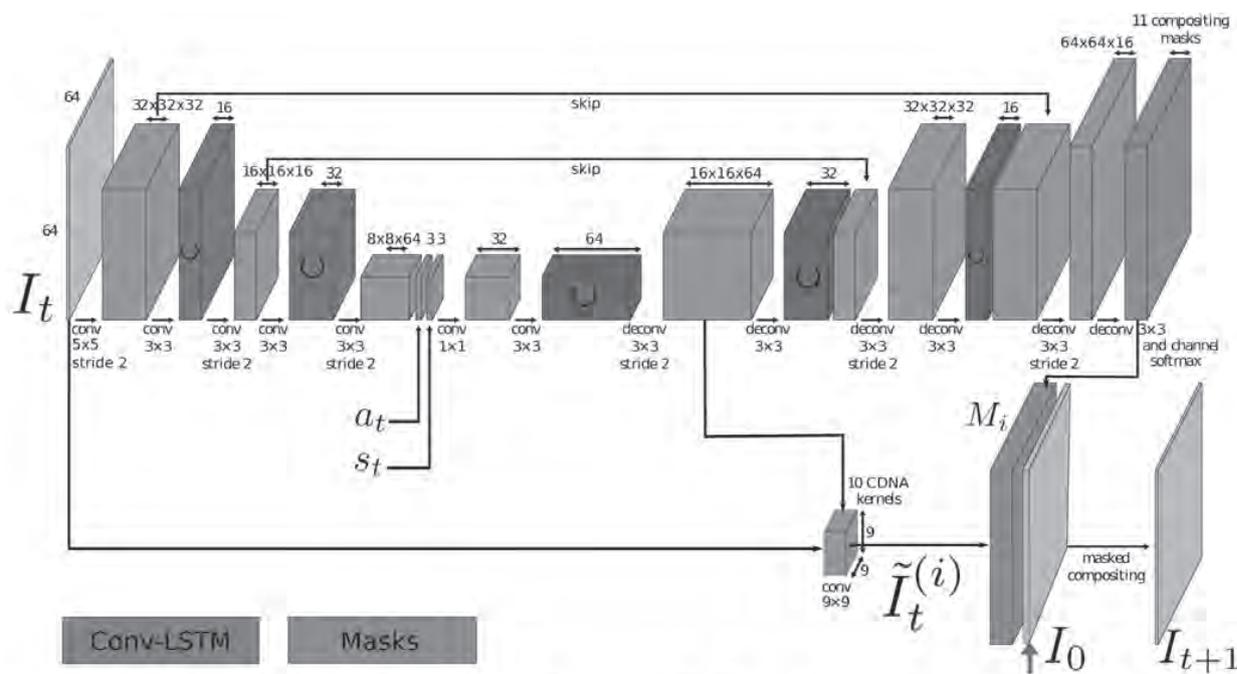
■ 図2-5-3 深層学習による視覚運動方策のエンド・ツー・エンド学習: (a) 視覚運動方策アーキテクチャー、(b) 様々なタスクへの応用 (ハンガー掛け、ブロックの挿入、ハンマーによる釘抜き、キャップの締め) とロボットプラットフォーム PR2、(c) 探索アプローチ



(2) 長短期記憶構造と報酬関数を組み込んだ深層学習による時系列画像の予測と行動生成

(1)で紹介した視覚運動方策学習では、現在の画像から現在の状態を推定し、必要なモータコマンドを生成していたが、様々な応用や3次元空間での隠蔽などの状況に対応するために、同じ研究者グループは、7自由度ロボットアーム10台による5万回のプッシングの試行のビデオデータをもとに、時系列ビデオ画像の予測による行動生成(プッシングのみ)を実現した[7]。図2-5-4にそのアーキテクチャーを示す。

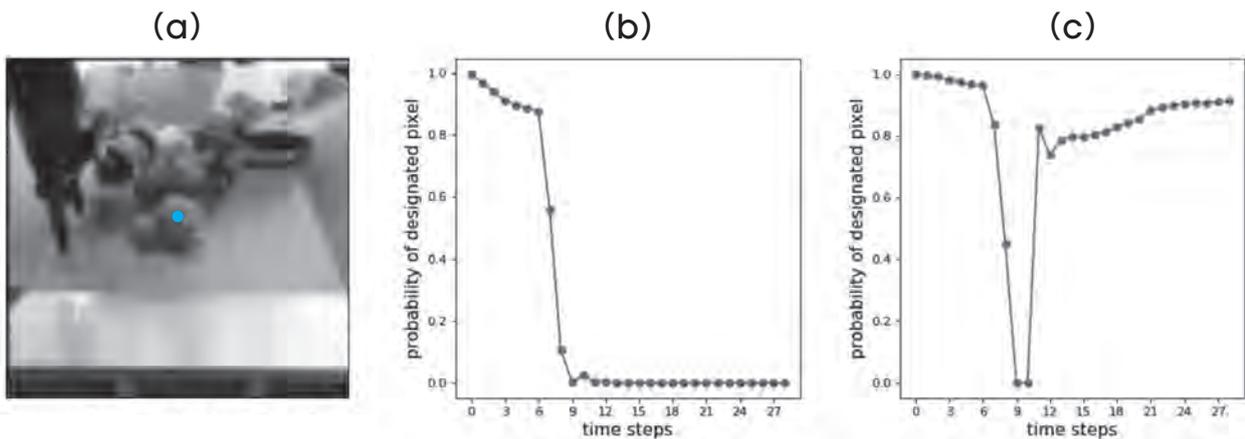
■ 図2-5-4 時系列ビデオ画像の予測による行動生成のアーキテクチャー



出典: 論文[7]より引用

時系列ビデオ画像の予測自体は、Taniらの研究(書籍[8]の8、9章辺り)でも行われており、彼らの先行研究でも達成している[9][10]。2.2節で示したように、RNN(リカレントニューラルネットワーク)は時系列信号の記憶と予測に使われるが、その能力を高めたLSTMと呼ばれる長短期記憶構造を有するニューラルネットワークを多層利用している。画素ごとの予測であり、物体の切り出しなどは一切ない。先行研究では、隠れが生じない場合は、ほぼ正しく予測できたが、ロボットアームによる隠蔽が一旦生じると、隠蔽がなくなっても、それ以降の画素の予測が正しくできなかった(図2-5-5(b))。それに対し、ロボットアームの動きによる画素の明度変化が予測される際に、時系列予測の対象区間をスキップする構造を入れると、隠蔽がなくなり、隠された物体が現れたときに正しく画素の明度を予測できた(図2-5-5(c))。ポイントは、マスキング画像(M_i)で画素ごとの出現確率を保持し、隠蔽の現象の有無を判断し、最初の入力画像(I_0)とマスク画像の積で次の時点の画像(I_{t+1})を予測している点である。当然のことながら、予測の時間窓の幅(τ)により判断の精度が異なる。まさに「目に入らないものは、意識されない」Out of sight, out of mindである。

■ 図2-5-5 隠蔽の予測



(a) 対象画素 (青の点)、(b) 隠蔽後、画素値が正しくない、(c) 隠蔽後、ほぼ元の画素値に戻っている

出典: 論文[7]より引用

発達的な視点で考えると、記憶幅の容量が少ない、すなわち、ワーキングメモリが働かないと、隠蔽の判断ができず、見えないものは存在しない羽目になる。記憶幅の容量が増えると、隠蔽が正しく判断でき、結果として、物体の永続性の概念が獲得されることになる。画素ごとの予測という徹底した画像のみによる処理で、通常の特徴抽出や物体の切り出しはないので、画像から画像の end-to-end の学習法である。ロボットの状態は 3 次元の位置と姿勢で 6 次元であるが、ロール軸は固定されているので、残りの 5 次元ベクトルで表現され、現在と目標の 2 つのベクトル (s_t, a_t) が画像系列と一緒に入力されて、ロボットの状態と画像との関係が学習される (キャリブレーション過程とみなせる)。これにより、運動指令は画像内の座標として与えられ、視覚サーボにより目標に移動する。さらに、ゴール到達はゴール地点への画像上の移動のコスト関数で定義され、障害物回避は、障害物がそこに留まる (プッシュされない) ことをゴールとする別のコスト関数を設定し、マルチタスクとすることで、結果として自動的に障害物回避の軌跡が生成された。今回はプッシングという単純な作業で画像上での画素の単純な移動で表現できたが、今後、様々なタスクを想定した場合、タスクごとのデータセットによる学習に加え、それらを取りまとめるメタレベルの行動の構造化学習が必要である。

(3) 直接教示バイアスによる折り畳みタスクの深層学習

乳幼児の発達の視点で考えると、先に示したワーキングメモリの容量という物理的な制約に加え、社会的環境の中で養育者をはじめとする他者が明示的/非明示的に乳幼児に対して教示していると考えられる。乳幼児からすれば、模倣学習である。なぜ模倣が可能かに関しては、以降の項でより詳細に議論するので、これ以上、ここでは踏み込まないが、いずれにしろ、この種のバイアスが、無限の試行を回避し、運動学習の効率を上げているのは確かであろう。

2.5.3 認知発達ロボティクスの考え方

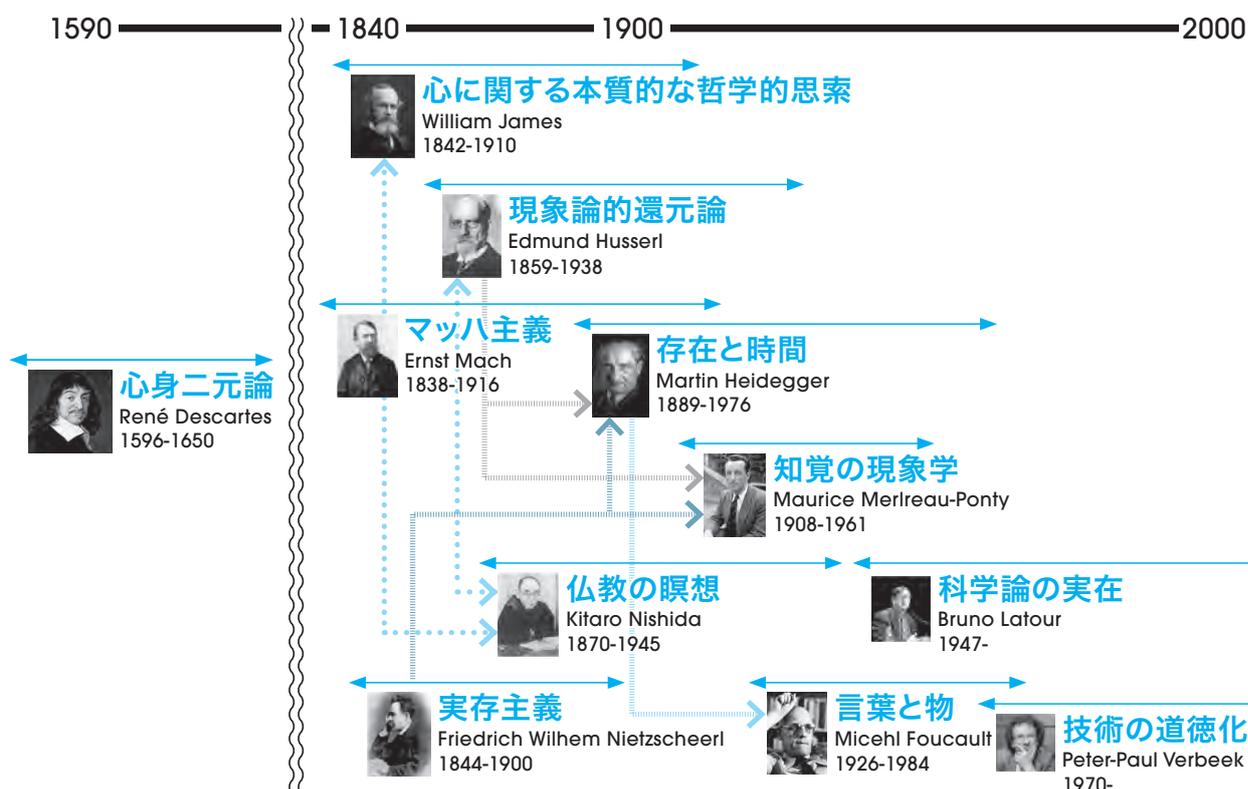
「2.5.1 深層学習の現状」で示したように、感覚運動ループによる学習は、環境内での行動学習の基本であると同時に、知識・意図の拘束条件が加わることで、専門家のスキル（経験知による行動規範）として獲得される。また、身体が環境にさらされることで、限られたリソースの下で、実時間の応答の要求に応じるために、関連しないものを処理対象としない注意が必要になり、さらに、社会的な環境の中での他者とのやり取りを通じ、情動、そして共感などのメンタルな機能が人工システムにも芽生える可能性がある。この課題を追求してきたのが、認知発達ロボティクスである。その目的は、ロボットや計算モデルによるシミュレーションを駆使して、人間の認知発達過程の構成的な理解と、その理解にもとづき人間と共生するロボットの設計論を確立することである。その中核となるのは、ロボットの身体性とそれにもとづく社会的相互作用である。その発展形が構成的発達科学であるが、目指すところはほぼ同じである。基本的な神経構造から始まり、身体性や社会的相互作用にもとづき、学習手法を介して、機能分化が段階的に生じる過程を描いている（詳細は、『AI白書2017』を参照）。以下では、まず、その思想的背景から見ていこう。

(1) 人工物との共生社会への思想的背景

ここでは、ものと人間の関係の哲学的視点から、もの（ロボット）自身が心のような機能が実現可能かを論じ、その過程の中で身体性の意味を再考する。

心の課題を考察にするに当たって、すべての思想的背景を網羅的に探ることは不可能に近く、以降に紹介する事項に絞って、意識・人間や事物（技術）の課題の思想的背景の概略を示す。前半はTaniの書籍[8]で紹介されている流れを、後半は、稲谷の文献[11]にもとづきながら紹介していく。

■ 図2-5-6 意識・人間や事物（技術）の課題の思想的背景の概略



心と身体、もしくは事物の関係に関して、心身二元論^{*63}を唱え、近代哲学の基礎を築いたのはデカルトであろう。その後、多くの批判にさらされ、いくつかのバリエーションも存在しているが、後に述べる法制度では、根強く生き残っているようである(図2-5-6)。

デカルトを超えて超越論的現象学へと進む「新デカルト主義」を主張し、現象論的考察を与えたのは、フッサールである(例えば、[12]など)。主観と客観の狭間の間主観性の考え方を展開し、後世に多大な影響を与えた。自然界の解析は、個人の意識経験にもとづくと言く。フッサールの現象論を拡張・進化させたのが、ハイデガー(『存在と時間』[13][14])やメルロ＝ポンティ(『知覚の現象学』[15][16])である。

ハイデガーは、主観と客観を分けずに実存を問い、「現存在」は、個々のエージェントの将来の可能性とその過去の可能性との間の動的相互作用によって生まれていると主張する。また、それぞれの個々が目的をもっていかに相互作用しているかという事前の理解のもとに個々が相互に存在しようという、ある種の社会的相互作用の重要性を指摘している。

メルロ＝ポンティは、主観と客観に加えて身体性という次元が創発し、そこでは、同じ肉厚の身体が、触れたり見たりする主体と同時に触れられたり、見られたりする物体にも与えられうるとし、主観と客観の2つの極の間の繰り返される交流の場を身体が与えると主張する。すなわち、客観的物理世界と主観的経験を結ぶメディアとしての身体の重要性を指摘している。これは、後に紹介する認知発達ロボティクスにおける「身体性」の基本概念の根幹である。

ラトゥール[17]は、主体と客体とを厳格に区分する近代的な思考法(人間存在の在り方を本質化するヒューマニズム)のせいで、我々は、我々が現実生活しているところの主客が入り混じったハイブリッドな世界を適切に取り扱うことができなくなっていると警告する。また、フェルベーク[18]は、「技術は、我々の行為や世界経験を形成し、そうすることによって、我々の生活の仕方に能動的に関わっている」と主張する。彼らの考え方は、高度に発展した人工システムとの関わりが、これまでとは異なるステージに入っていることを指摘し、そのための規範づくりの重要性を指摘している。AIやロボットはその急先鋒であり、研究者自身が技術的側面だけではなく、社会的な意味や価値を考慮して設計しなければならないことと、受け入れる一般大衆もそれに対する準備が必要であると指摘する。これについては、以降では触れない。解説[19]などを参照されたい。

2.5.4 認知発達ロボティクスにおける身体性と社会的相互作用、自己概念の発達

(1) 自己と他者の概念を確立する発達過程

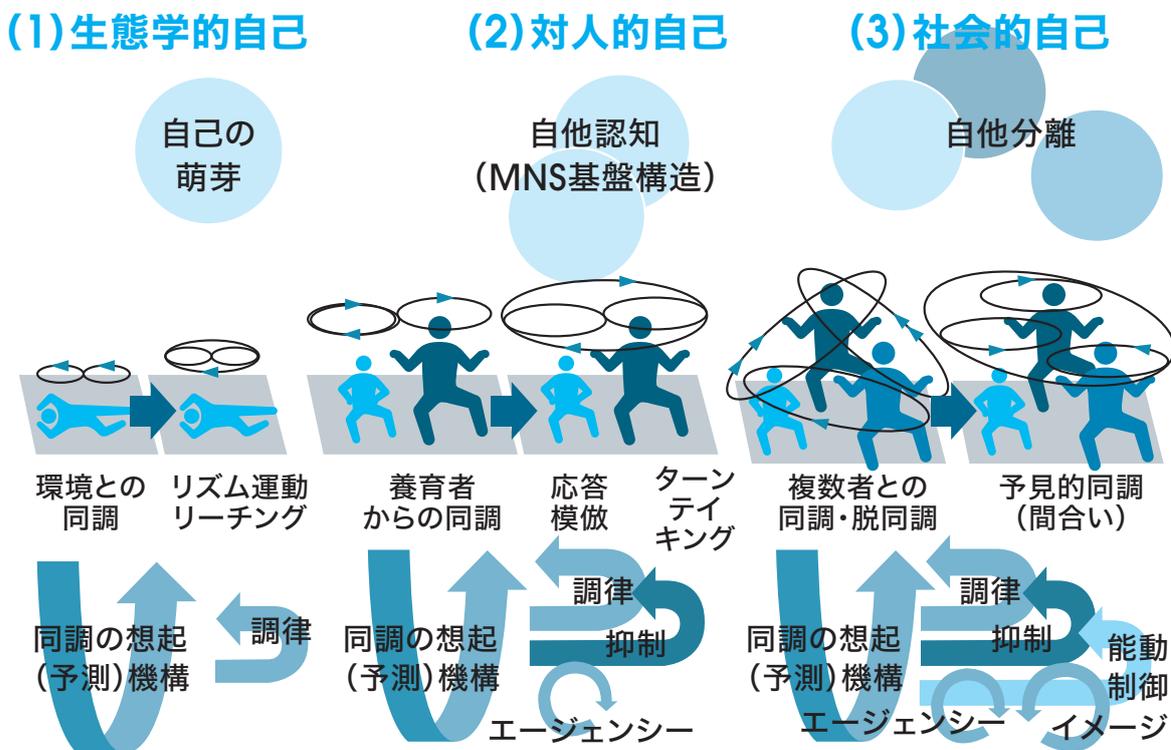
認知発達ロボティクスの基本構成概念である身体性や社会的相互作用に関しては、『AI白書2017』を参照していただくとして、ここでは、メルロ＝ポンティの身体性概念[20]を発展させていくことで、各種身体表現や自己の概念などが獲得され、ミラーニューロンシステムを通じて、情動感染から情動的共感、認知的共感に至る過程において、社会的相互作用が見出されることを示していく。これと並行して、自他認知の発達もみられる。

図2-5-7の上段は、Neisserの自己の定義[22]を部分的に利用した自己と他者の概念形成の発達過程を表している。同調という用語は、他者を含む外界との相互作用を通じて、この概念がどのように発達したかを説明するキーワードである。図2-5-7に示しているように、同調のターゲットは、

*63 実体二元論、物心二元論、霊肉二元論、古典的の二元論などともいわれているようである。<<https://ja.wikipedia.org/wiki/実体二元論>>

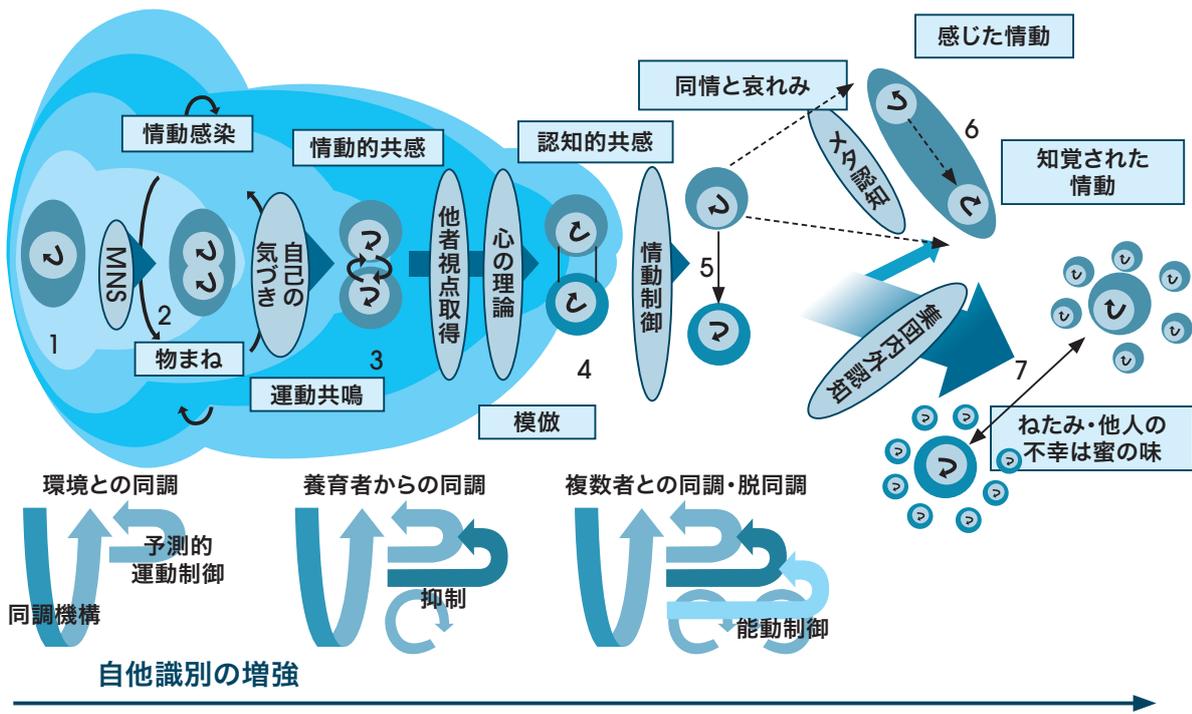
物理的物体から始まり、他者の動き、そして最終的に他者の心的状態と変化する。従って、行動も初期のリズミックな運動のプリミティブから、それらが構造化されたもの、さらには、心的状態によって引き起こされる共感的／同情的な顔表情や利他的行動にまで至る。自己の発達三段階は、実際はシームレスにつながっていると想定される（詳細な議論は、文献[23]を参照）。

■ 図2-5-7 自己と他者の概念を確立する発達過程（上）とそこに期待される機構（下）



自他認知過程は、共感の発達（進化）とも強く関連する。共感の発達（進化）過程をまとめると図2-5-8になる。左から右への流れは、自他認知と情動制御の発達と進化の方向を示している。小円の中のカーブ矢印は、エージェントの内部状態を表し、自他を識別できない状態(1)から、完全に分離し、異なる情動状態をもつケース(7)までに至る。カーブ矢印の向きは、情動状態の位相を示し、情動的共感(EE)や認知的共感(CE)(4)までは、同位相で同調している。EEとCEまでに必要な基本となる構造は図2-5-8の左下に示すように調和すべき他者を含む環境との同調である。しかしながら、これ以降は、情動制御応力により、非同調(異なる情動)状態になりうる。

■ 図2-5-8 共感発達モデルとしての自他認知過程



出典:文献 [21] の Fig.6 を改変

同情や哀れみは、このように自他で異なる情動状態を持つ(5)。直感的には、同情は、おもにEE寄りで、哀れみは、主にCE寄りと考えられる。なぜなら、同情はより情動的であり、哀れみは、他者の情動状態を論理的に理解したあとに実感されると考えられるからである。しかしながら、ともに他者の情動状態を知覚し、その要因を理解する必要があり、実際にその差は少ないと察せられる。同調の基本構造に加え、知覚された情動に対する同調への抑制が、エージェンシーの確立(自他識別)にもとづき、必要である(図2-5-8下段中央参照)。

上記の自他における情動状態の不一致(非同調)は、内的と外的の2つの異なる方向に進展する。内的進展は以下である。自己の情動空間が2つに分離し(6)、一つは主観的情動(上)であり、もう一つは客観的情動(仮想化された自己の情動:下)であり、これは、一般的な他者の情動状態の投影と考えられる。客観的自己の情動状態の知覚(知覚された情動)は、客観的な判断なのでCE主体に映る。それに対し、それを感じる自己は、より主観的である(感じられた情動)。外的進展は、自他がそれぞれ集団化することで、各集団内では、すべてのメンバーが同期するが、集団間では異なる。進化の淘汰圧により、集団間が競争的になると、敵対心が生まれる。集団は拡張された自己(もしくは他)である。両方のケースとも、仮想化された自己の創造能力(6)や、図2-5-8の下段右に示す機構にもとづき、自己情動のより強力な調整(7)が、様々な情動を創発するために必要である。

(2) 身体表現の獲得

自分の身体や運動をどのように表現したり、認識するのといった身体表現の問題は、自己という概念や自分の運動の所有感覚とも関連する重要な課題である。自分の身体の位置や姿勢などの感覚は、内受容感覚や固有感覚とも呼ばれ、自らの手足や他の身体部分の位置を感知する能力として定義されている。ボディスキーマと呼ばれる身体表現は、生物学的及び人工的なエージェントが固有感覚にもとづいて行動を実行することを可能にする。ロボットなどの人工エージェントによって使用される固有感覚情報は、主に姿勢(及びその変化)に関連し、従来のロボティクスでは、リンク構造の関

節角(及び関節角速度)からなる。これに生物学的に対応する表象は、ボディスキーマやボディイメージと呼ばれ、その区別や定義は定かではなく、論争的である。これらのシステムの基礎をなす神経構造は、現在のイメージング技術の進展により、解明が進んでいるものの、完全ではない。そこで、認知発達ロボティクスアプローチにより、新たな洞察と理解を求める研究が進んでいる。それを紹介しながら、ミラーニューロンシステムの話へとつなげる。

① 身体表現の生物学的原理

固有感覚の本来の意味は「自分自身」、または「個々の」という意味のラテン語 *propius* に由来し、また、*capoi*は把握を意味する。したがって、神経科学のみでなく、心理学、また身体の無意識の認識や意識の間の区別と関連して、時には哲学の課題にもなりうる。また、「固有受容」を明確に定義することは困難であり、身体表現、特にボディスキーマやボディイメージの区別も同様である。Head and Holmes [24] は、マルチモーダルな感覚データが統一されている無意識の神経マップとしてボディスキーマを定義し、身体とその機能の明示的な精神的表現としてボディイメージを定義している。前者はしばしば行動と見なされ、後者は知覚のためと見なされている。生物学的システムにおける身体表現は柔軟であり、異なる感覚様式からの情報の時空間統合によって獲得されるという一般的な合意があるが、その構造及び機構の詳細は明らかではない。

可塑性は、身体表現の最も重要な特性の一つである。その起源は、自己身体に触れる反復運動がしばしば観察される子宮内の胎児発達の時期から来る可能性があり、胎児はその運動と結果的感覚との間の関係を知ると考えられている [25]。この初期の表現は、身体の所有感覚や主体感覚(エージェンシー)などの重要な概念とリンクしており、発達後期にボディスキーマやボディイメージに分かれる前の混合体と考えられる。

身体表現における柔軟性及び適応性は、神経可塑性によって引き起こされる望ましい特徴であり、道具使用の場合に観察することができる。Maravita and Iriki [26] は、熊手で食料を取っていたマカクザルによる道具の使用中にボディスキーマが拡張することを発見した。体性感覚刺激と視覚刺激の両方に反応するバイモーダルニューロンと呼ばれるニューロンの活動を脳内皮質から記録した。彼らは、手の体性感覚刺激と手の近くの視覚刺激に応答する「遠位型」と、視覚受容野が手を中心にしていないが手の届く範囲全体に及ぶ「近位型」の2種類のニューロンを見いだした。両方のタイプのニューロンは、道具の使用の経験にも、ツールを使用するサル自身のモチベーションにも適応する。

神経心理学的異常の研究は、ボディスキーマの構築の基礎となるメカニズムと、これらが損傷によってどのように影響されるかを理解するのに役立つ。最も興味深い例の一つは、Ramachandran and Blakeslee [27] によって記述された、いわゆる「幻肢」現象である。四肢欠損のために幻肢の痛みを苦しむ患者は、鏡の箱の無傷の反対側の肢の観察を通じた視覚フィードバックによって痛みを和らげることができ、この経験を通して体の皮質的表現が再構成された可能性があることを示した。ボディイメージとボディスキーマ、障害、及び身体所有とエージェンシー、フォワードモデルなど、他の重要な概念の定義と役割に関するより多くの議論は文献 [28] を参照されたい。

② 身体表現の認知発達ロボティクスアプローチ

ロボットのような人工エージェントの場合、一連の動作を実行することによって所定のタスクを達成するためには、身体表現が不可欠である。典型的な(そして伝統的な)状況は、テーブル上のいくつかの物体に到達して把持するために必要とされる関節の数(典型的には3~6)に対応する多数の関

節を電気モーターによって駆動するロボットアームである。対象物のピックアンドプレースの場所とそのサイズ(重量)が固定されて与えられている場合、事前に計画された経路に従ってロボットの肩、上腕、前腕、グリッパーを動かす作業が必要だった。ほとんどの場合、解析的解が与えられ、経路計画は難しくない。ボディスキーマは、各リンクの長さ及び可動範囲情報を用いて、ロボットアームの構成要素がどのように接続されているかを示すリンク構造に対応する。これらのパラメーターは事前に与えられ、関節角が測定され(通常、エンコーダーが使用される)、固有感覚の関数として追従する経路をモニターする。このアプローチは明示的モデル型と呼ばれる。一方で、認知発達ロボティクスアプローチでは、環境との相互作用を通じてこれらのパラメーターを非明示的に推定する。

生物学的な規範は従来のロボティクスの事例とは、以下の点で異なる。

- ロボットのリンク構造は一般的に固定であるのに対し、生物学的なものは柔軟性があり、環境と自己身体の両方の変化に適応する。
- 従来のロボティクスでは、パラメーターを推定するための知識が外部から与えられるのに対し、認知発達ロボティクスアプローチでは、非明示的に推定する。
- マルチモーダルな知覚情報の統合は、生物学的には当然だが、従来ロボティクスは一般的にクロスモーダルの関連づけが含まれていない。

認知発達ロボティクスでは、コンピューターシミュレーションや実際のロボット実験を用いて、神経科学や発達心理学などの分野からの知見をモデル化し、それにもとづいて仮説を検証する。認知発達ロボティクスのアプローチで研究されている身体表現に関連する神経科学的知見の例がある。それは、腹側頭頂間溝領野(VIP、LIP)などの脳領域と神経相関や多様な感覚の連関に関係する時空間偶発性(期待)、不変性、目/頭/頸部間の座標変換などのトピックである。

(a) 自己身体の発見

身体表現の課題を扱う前提として、表現の対象となる物理的部位や部分を同定していることが前提となるが、まずは、どのようにして、自己の身体を発見するのであろうか? 強化学習のマルチエージェントへの拡張[29]では、局所予測モデルを用いて、自分の運動指令によるものも含めて環境の変動を予測するモデルを構築し、状態空間を構成している。その際、センサー空間における自己身体部分の発見アイデアは、「自身が生成した運動指令と相関を持つセンサーデータ部分は、静止環境か自身の身体部に対応する(例えば、手を動かしたときの手の視覚映像、頭を右に振れば、画面全体が左に流れるなど)」であった。静止環境との区別は、重力方向などの事前知識などにより可能とされていた。

(b) 道具使用による適応的身体表現

Hikitaら[30]は、マカクザルの道具使用による適応的な身体表現の計算モデル化を試みた。視覚、触覚、及び固有感覚からクロスモーダル身体表現を構成する方法により、適応的な身体表現を可能にした。ロボットが何かに触れると、触覚の活性化は、顕著性マップにもとづいて視覚的に見いだされ、結果としてエンドエフェクターとみなされる身体部分の視覚受容野の構築過程を引き起こす。同時に、固有感覚情報が、この視覚受容野に関連づけられて、クロスモーダルの身体表現を構成する。コンピューターシミュレーションと実際のロボット実験の結果は、マカクザルに見られる頭頂のニューロンの活動[31]に対応する活動を示した。

(c) VIPニューロンの働き: 頭部身体周辺空間の表現の獲得

Maravita and Iriki [26] は、道具使用時に、頭頂葉の腹側頭頂間溝領野 (VIP、LIP) に視覚と触覚に反応するバイモーダルニューロンの活動の知見を紹介したが、これは、生物の身体表現が動的に構成されている可能性を示している。よって、人間は、随時経験から視空間内に存在する物体の位置を表現するための様々な参照枠 (身体中心参照枠、物体中心参照枠) の概念を獲得し、さらにはそれらにもとづいて表現された位置と触覚や体性感覚などの異種感覚を柔軟に統合することで、身体表現を獲得していると考えられる。Fukeら [31] は、エージェントが自身の視触覚経験を通して頭中心参照枠での視空間表現だけでなく、自身では直接観測不可能な顔部位の視触覚表現を学習するモデルを提案している。

③ 身体表現の課題

身体表現は、現実世界で働く自然システムと人工システムの最も基本的な問題の一つであるが、これまで、それぞれ個別に考えられてきた。近年、義肢義足などのハイブリッドシステムとして動作することもあり、今後、より親密に関連し合うだろう。本項では、生物学とロボット学の両方における身体表現の研究を簡単に概説した。しかし、身体表現がどのようなメカニズムの下でどのように作用するかは、完全には明らかではなく、さらなる研究推進が望まれる。

生態学的自己の次は対人的自己の形成であるが、ここが社会的相互作用を通じた認知の発達過程である。図2-5-9に示すように、対人的自己の形成には、ミラーニューロンシステム (以降、MNSと略記) が重要な役割を果たす。このMNSの発達過程も含めて、社会的相互作用による認知発達のモデル化を試みる予測符号化によるアプローチを次節では紹介する。

■ 図2-5-9 予測学習にもとづくロボットの認知発達モデル



出典: 長井志江「認知発達の原理を探る: 感覚・運動情報の予測学習に基づく計算論的モデル」[32]を改変

(3) 予測誤差最小化原理による社会的相互作用創発

社会的認知機能の発達を統一的に説明する理論として、感覚・運動情報の予測学習にもとづく計算モデルが導入されている [33]。認知発達の様々な側面を統一的に扱おうとする試みである (図2-5-10)。

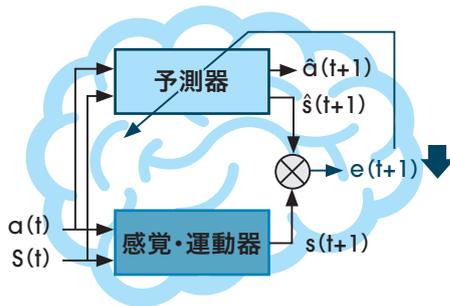
予測学習とは、身体や環境からのボトムアップな感覚信号と、脳が内部モデルをもとにトップダウン

ンに予測する感覚信号の誤差を最小化するように内部モデルを更新したり、環境に働きかけたりすることである。認知発達過程に適用する際、2つの過程が考えられる。一つは、自己の感覚・運動経験を通じた予測器の更新による予測誤差の最小化過程で、自他認知、目標指向動作などが含まれ、認知発達初期過程に対応する(図2-5-10(a))。それに対し、社会的な環境では、予測した運動の実行による他者運動起因の予測誤差の最小化が課題で、模倣や援助行動などが対象である(図2-5-10(b))。以下では、前者の例として、ミラーニューロンシステムの発達を、後者の例として、他者行動の予測から利他的行動に至る過程を紹介する。

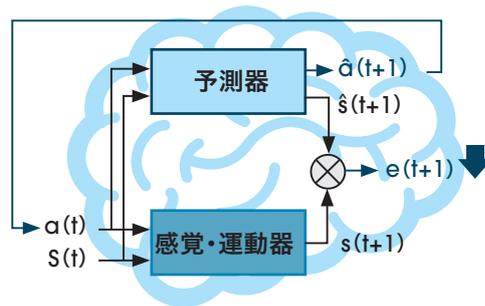
■図2-5-10 予測誤差学習



(a) 自己の感覚・運動経験を通じた
予測器の更新による予測誤差の最小化
→ 自他認知、目標指向動作など



(b) 予測した運動の実行による
他者運動起因の予測誤差の最小化
→ 模倣、援助行動など



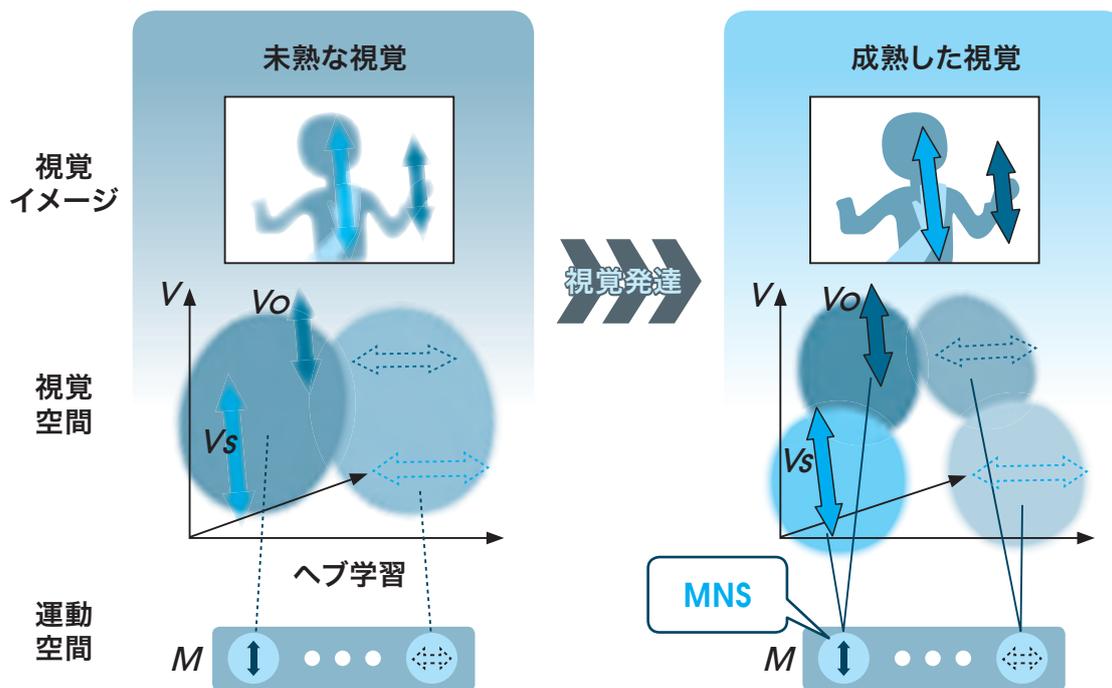
① MNSの発達

MNSについては、『AI白書2017』の「1.3.3.2 ミラーニューロンシステムと社会性発達基盤」に詳しい。簡単に言えば、自身の行為の実行と他者による同一行為の観測を同一のニューロンが符号化しており、これがマカクザルのF5と呼ばれる運動前野で発見された[33]ことに由来する。人間も同様のシステムを有しているのではないかと、システムと称されている。

MNSが生得的か生後の環境での学習・発達によって獲得されるかの議論は尽きない。認知発達ロボティクスの立場としては可能な限り後者の立場をとり、説明可能なモデルを構築してきた。MNSについては、Kawaiら[34]が、発達モデルを提唱している。視覚発達を伴う感覚運動学習がMNS発達を促進するという仮説の下に、未熟な感覚の時期には自他が混同されるが、発達に伴い自他分離が起り、これがMNSの基盤となっているという主張である。言語の習得をはじめとして、乳幼児が未熟であるがゆえに、様々な認知機能の学習を促進していることが示唆されているが[35]、その計算モデル化の一つと言えよう。もう一つ、養育者側がそれを明示的・非明示的にサポートしていることも忘れてはならない。MNS創発の場合、他者(養育者)が、赤ちゃん(ロボット)の真似をしてくれることが前提となっている。

図2-5-11に基本アイデアを示す。他者運動の観測で得られるオプティカルフローベクトル(両矢印)は、ガウス関数を用いて空間的にフィルタリングされる。フィルターの幅は視空間 V における自己組織化の進展によって決定され、徐々に狭まる。発達の初期段階(左)では、ロボットはモーションコマンドとオプティカルフローとを関連づけるが、画像が粗いため、自身のフローと他者のフローを区別できない。発達後期(右)では、狭いフィルターにより、自己と他者のフローの区別が可能になり、これがMNSの基盤をなす。

■図2-5-11 視覚発達による MNS 創発モデル:(左) 発達初期, (右) 発達後期



出典: Yukie Nagai「Emergence of Mirror System Immature vision leads to self-other correspondence」のFig.3を改変

② 他者視点取得の困難さ

MNSが発達したことで、相手の行動観察から、自己の運動が励起され、そのことにより相手の行動の目的と意図が理解可能になると期待される。上記の例では、簡単な運動に限っていたので、識別が容易であったが、複雑な動きに対しては、どのように考えられるだろうか。自他分離が可能になったことで、図2-5-8にある「自己の気づき」の段階に入ってきた。そして次の段階として「他者視点取得 (Perspective Taking)」の課題が上がってくる。すなわち他者の視点に立てるかという課題である。同一行動の主体の差異(自己運動か他者運動)による観察の見かけの違いの吸収で、座標変換の課題とも捉えられる。頭頂葉で自己座標系と他者座標系の変換が行われているようだ[36]が、発達の観点から、生得的と考えるよりも生後の学習の結果として変換プログラムが構築されたと見なしたい。とすれば、いかにして可能か。サルの場合のゴール指向の他動詞的動作であれば、強化学習のスキームで報酬獲得による価値の等価性[37]により、同一行動の異なる視点からの観察による見かけの違いばかりでなく、実現方法が異なる行動でも等価とみなすことで、結果として、座標変換が可能と考えられる。ただし、これはサルの場合に対応し、ヒトの場合は、より一般的なスキームが必要かもしれない。例えば、物体操作など学習や発達を通じて、半ばゴール指向、半ば視触覚融合の連

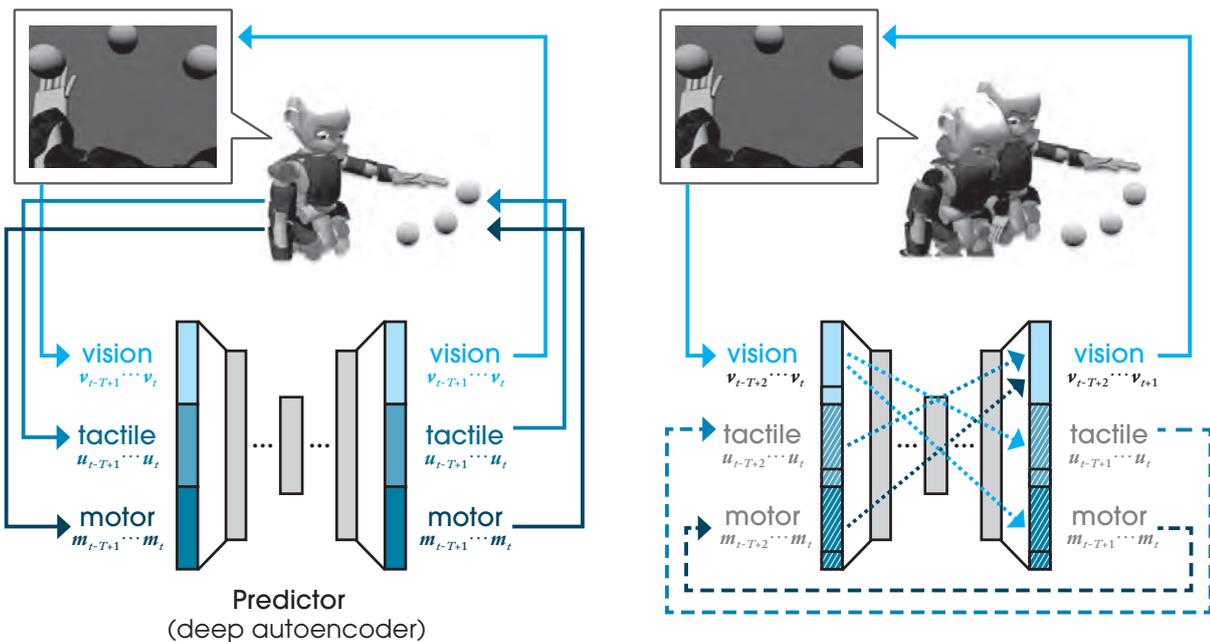
統的表象構築により、結果として座標変換が可能かもしれない。その際には、並行する他の認知機能の発達との兼ね合い(独立か、相互促進か、干渉か)も、構成的手法の観点から興味深い課題である。

③ 他者運動に起因する予測誤差の最小化による援助行動やターンテイキングの創発

まず、自己の運動生成経験にもとづく他者運動の予測課題では、最初に自己の運動生成経験を通じた感覚・運動信号の予測学習を実施し、その後、自己の運動経験にもとづく他者運動の予測が可能になる。オートエンコーダーを用いた手法を図2-5-12に示す [38]。左が前者で右が后者である。後者の過程では、先に示した他者視点取得を前提としており、今後、この課題をどのように解決するかが課題である。

次に、社会的行動の一種である利他的行動の創発について考えよう。発達心理学の分野では、14カ月の乳幼児が利他的行動を示すといわれている [39]。そこでは、乳幼児は社会的信号(視線や発話)や、利他的行動に対しての報酬を受けずに、自発的に実験者を助けようとする。この過程が先に示した自己の予測器を利用した他者運動の予測と、他者起因の予測誤差を引き金とした運動の生成に対応し、これが結果として利他的行動に映ると考えられ、その過程の計算モデル化が行われた [40]。

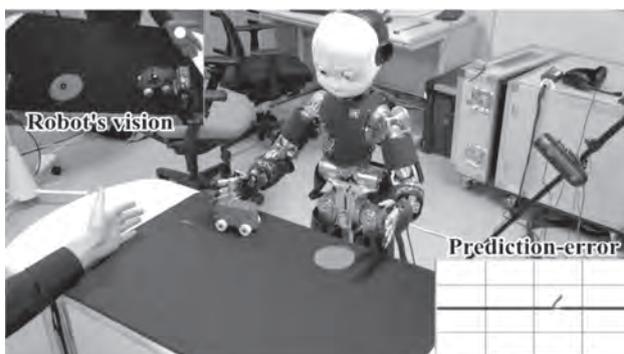
■ 図2-5-12 深層型オートエンコーダーを用いた複数感覚・運動信号の予測学習



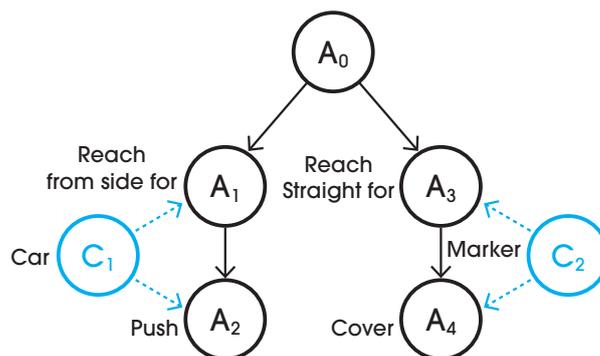
出典:文献 [38]をもとにJorge L.Copete,Dr.Yukie Nagaiが作成

図2-5-13 (a) に実験の様子を、(b) に感覚・運動の確率遷移モデルで表現したロボット内部モデルを示す。最初に青い車に対しては左側にプッシュ、赤い円盤に関しては、それを手で覆って隠す行為をそれぞれの物体に対するアフォーダンスとして学習する。学習後に実験者が青い車を押そうとするが押せずにいると、アフォーダンスから生じる誤差が増大し(図2-5-13 (a) の右下)、その誤差を解消しようとして、青い車を押す行為が生じる。その結果、ロボット自身が意図せず(意図したものは誤差の解消のみ)、他者への利他的行動を創発したことになる。

■ 図2-5-13 利他的行動の創発



(a) ロボットによる利他的行動の創発実験



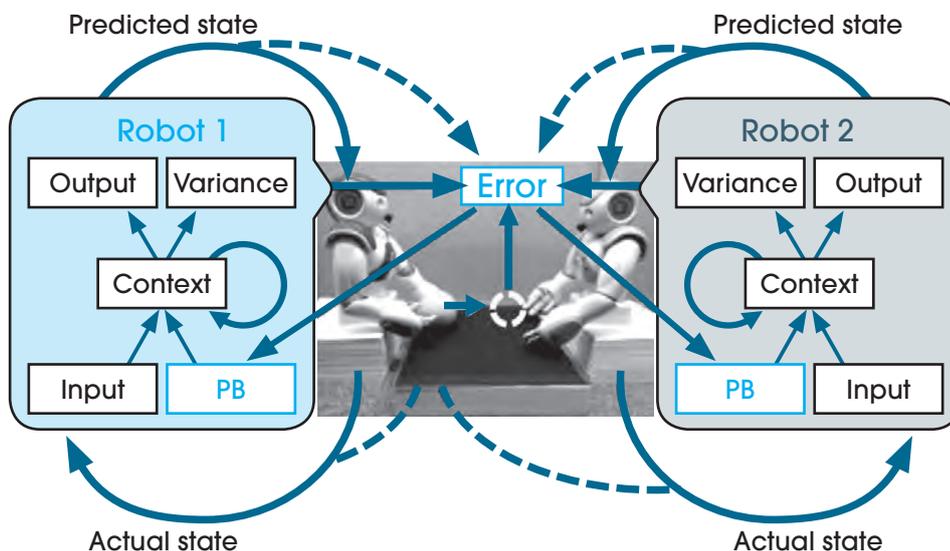
(b) 感覚・運動の確率遷移モデルとして表現されたロボットの予測器

出典:文献 [40]より引用

尾形らは、予測誤差最小化原理によるコミュニケーション創発実験を行っている [41]。運動学習を終えた2体のヒューマノイド間でボールのやり取りを通じて、時系列を覚える再帰型NNによる予測誤差最小化が、ターンテイキングなどの社会的相互作用を自律的に生じさせた (図2-5-14)。

上記の例は、予測誤差最小化原理の一般性を強く示しており、構成的発達科学の学習規範として有望であり、後者では二者間でのプロセス共有がコミュニケーションの大きな要素であるが、そのことや自己・他者などへの気付きが、今後課題となろう。図2-5-8に示したこれらの心的機能の総体が意識として捉えられるのではないかと考えられる。次項では、本節の締めくくりとして、人工意識の設計に関して神経科学的側面からの見方を紹介し、最後に今後の展望を述べる。

■ 図2-5-14 実験構成:実線は体性感覚、破線は視覚



出典:文献 [41]より引用

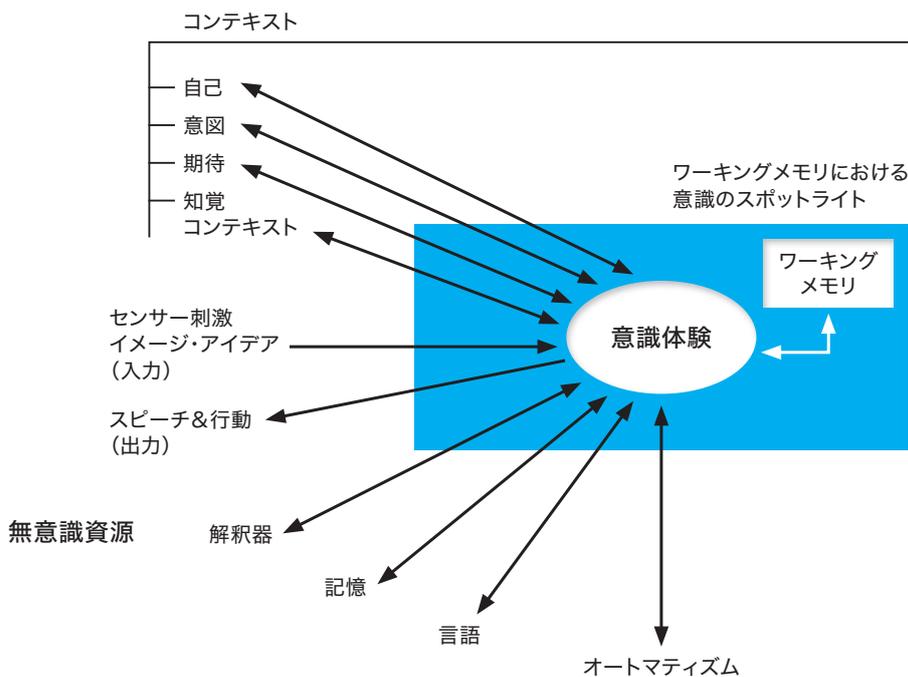
2.5.5 人工意識に関する認知神経科学的考察

具体的に人工意識を実現しようとするとき、まずは、人間の意識の機構的な構造の解明は設計指針のみならず、検証の意味でも重要である。ここでは、認知神経科学者のDehaeneの著書[42]や彼らの論文[43]を交え、人工意識をどのように捉えるかを議論する。

Dehaeneは、認知神経科学的に、意識と無意識を定義し、それらの関係から、主観的な現象を尊重することで、意識的知覚を実験によって操作できるということを発見し、様々な実験を通じて意識の解明を目指してきた。無意識を分類し、意識に最も近い前意識が数多く並列で作動しており、注意のボトルネックを通じて、ポップアップされる機会(バイズ推定)を窺っている。一旦ポップアップされて意識レベルに昇ると、系列的処理の集中を受け、その他の無意識の知覚がマスクされる。この構造はBaars[44]が提案した大局的作業空間理論(Global workspace theory、以降GW理論と略記)と合致し、グローバル・ニューロナル・ネットワークとして提案されている。GW理論は、AI分野で著名なNewellらのブラックボードアーキテクチャーに基盤がある。分散した一連の知識ソースから構成され、単一の構成要素だけでは解決できない問題を共同で解決することを示した。GW理論は、知覚、感情、動機づけ、学習、作業記憶、自発的制御、及び脳における自己システムの意識的側面について明示的な予測を生成する。これは、神経ダーウィニズムや脳機能の力学理論などの生物学的理論と類似している。図2-5-15にその概念図を示す。意識内容は、ワーキングメモリ上のスポットライトに対応し、無意識の脳領域(意識経験を直接サポートしないと考えられる皮質領域、海馬、及び基底核)と関連する。意識的認知そのものは、常に無意識の文脈によって形成され、エグゼクティブ・ファンクション(自己)は、そのようなコンテキストの一つのセットと考えられる。

Dehaeneの定義に従えば、原理的には乳幼児や霊長類、さらには、他の哺乳類や動物にも意識は生じる。ただし、ヒトの場合、言語がコミュニケーションシステムとしてよりも、表象装置として進化し、考え出す能力を与えたとして、表象レベルが他の動物に比べ抜き出ているという。

■ 図2-5-15 GW理論の概念図



出典:文献[44]のFig.1を改変

Dehaeneら [43] は、機械の意識を検討するうえで、明確に意識を所有していると思われるヒトの脳について再考し、機械が創発する意識のありさまを議論している。脳の中には、2つの情報処理計算が存在すると主張する。それらは、以下のとおりである(図2-5-16)。

1. 大局的情報伝達のための情報選択 → それを計算と報告に柔軟に利用可能にすること(第一センスの意味でC1意識と呼ぶ)。
2. 上記の計算の自己モニタリング → 確信かエラーかの主観的感覚への導入(第二センスの意味でC2意識と呼ぶ)。

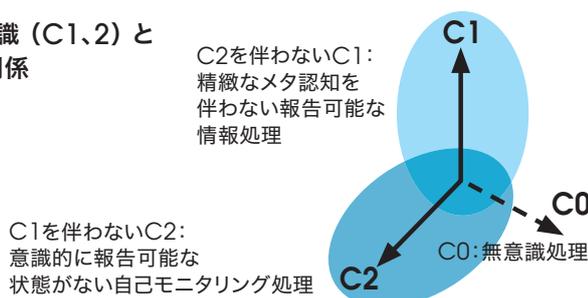
現状の機械は、脳の中でいうところの無意識処理(C0意識と呼称)に対応しているとみなす。C0は、心ない自動的な応答により、精練された情報処理を行っている。顔や音声の認識、チェスのゲーム評価、構文解析などを無意識に、すなわち大域情報伝達や自己モニタリングなしに行っている。それらは、独立したモジュールであり、個々の深層学習ネットワークに対応する。

C1は大局的に情報収集し、単一モジュールでは解決できなかった課題に対して、柔軟に対応可能であり、先に挙げたGW理論が対応する。C1が外界の情報収集に専念していたことに対し、C2では、自己の内部を反映する情報処理構造が特徴であり、それゆえ、彼らは、C1とC2が直交していると考えている。当然、我々の日常生活では、C0、C1、C2すべてが混在するのであるが、C2を伴わないC1やC1を伴わないC2が存在することで、その直交性を担保している。

現状の多くのシステムがC0状態であるとする、機械の意識を実現するうえでは、C1やC2レベルの実現を検討しなければならない。C1レベルはすでに紹介したGW理論に則ったものが構築中であるが、C2レベルではどうであろうか。Dehaeneらは、一つの有力なメカニズムとして、敵対的生成ネットワーク(Generative Adversarial Networks、略称: GANs)を挙げた。これは、生成ネットワーク(generator)と識別ネットワーク(discriminator)の2つのネットワークから構成され、前者の出力を後者がその正否を判定する。生成側は識別側を欺こうと学習し、識別側はより正確に識別しようと学習する。これは、自己モニタリングの機能に相当すると考えられたからである。結論として、意識は情報計算の産物であり、C1とC2の能力を持つ機械であれば、何かを見、それに対する自信を表明し、他者に報告できることを知っている。そのため、モニタリング機構が故障すると幻覚状態に陥り、人間と同じような錯覚を経験するとしている。

これまで見てきたように、認知神経科学の側面からの意識の脳内現象の構造的理解は進んできたと思われるが、C2レベルのより深い構造、すなわち自己の内省のみならず、2.5.3(1)で示した主観と客観が混在し、自他が混じり合った状況で垣間見られる心のダイナミクスの機構には触れられていない。それに対し、2.5.4などで議論されている身体性やその身体に痛み回路が想定されることで、共感や倫理観の創発の可能性も議論可能である[19]。

■ 図2-5-16 直交する二種の意識(C1,2)と無意識(C0)の関係



出典: 文献 [20] の図3

2.5.6 おわりに

本節では、「身体性とロボティクス」と題し、ロボティクスの学術分野としての意味合いをAIのコンテキストから論じた。深層学習を核とする現在の人工知能の分野の流れを考えると以下の2つが浮き上がる。

- 1.現在の深層学習を徹底的に突き詰め、ビッグデータをベースにend-to-endの学習機構により、意味をグランドすることなく、使えるシステムをどんどん社会に出していき、有用なツールとして磨きをかける。
- 2.本節で論じた身体性、最後に言及した痛みの神経回路をロボットに賦与することで、MNSを通じた共感行動生成、さらには、倫理観の創出など、人間自身の認知発達過程のミステリーを構成的に解きほぐすことで、よりグランドした人工システムの設計から実証実験を繰り返す。

前者がやや工学的、後者がやや科学的アプローチと言えなくもないが、現実や将来は、互いに影響を及ぼし合いながら、突き進んでいくものと察せられる。未来共生社会を描くとき、これらが新たな社会創造の価値観につながると期待する。

◆参考文献

- [1] 日本ロボット学会(編)『新版ロボット工学ハンドブック』コロナ社, 2005.
- [2] Ian Lenz, Honglak Lee, and Ashutosh Saxena. Deep learning for detecting robotic grasps. CoRR, Vol. abs/1301.3592, 2013.
- [3] Joseph Redmon and Anelia Angelova. Real-time grasp detection using convolutional neural networks. CoRR, Vol. abs/1412.3128, 2014.
- [4] Lerrel Pinto and Abhinav Gupta. Supersizing self-supervision: Learning to grasp from 50k tries and 700 robot hours. CoRR, Vol. abs/1509.06825, 2015.
- [5] Sergey Levine, Chelsea Finn, Trevor Darrell, and Pieter Abbeel. End-to-end training of deep visuomotor policies. CoRR, Vol. abs/1504.00702, 2015.
- [6] 細田、浅田。「構造やパラメーターに関する先験的な知識を必要としないフィードフォワード補償器を持つ適応型ビジュアルサーボ系の構成」。日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 159-165, 1996.
- [7] Frederik Ebert, Chelsea Finn, Alex X. Lee, and Sergey Levine. Self-supervised visual planning with temporal skip connections. Proc. of 1st Conference on Robot Learning (CoRL 2017), 2017.
- [8] Jun Tani. Exploring Robotic Minds: Actions, Symbols, and Consciousness as Self-Organizing Dynamic Phenomena. Oxford University Press, 2016.
- [9] Chelsea Finn, Ian J. Goodfellow, and Sergey Levine. Unsupervised learning for physical interaction through video prediction. In Neural Information Processing Systems (NIPS), 2016.
- [10] Chelsea Finn and Sergey Levine. Deep visual foresight for planning robot motion. Proc. of 2017 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2017.
- [11] 稲谷龍彦. 技術の道德性と刑事法規制. 松尾陽(編)『アーキテクチャと法』第4章, pp. 93-128. 弘文堂, 2017.
- [12] エトムント フッサール (著), 浜渦辰二 (翻訳)『デカルト的省察』岩波文庫, 2001.
- [13] マルティン ハイデッガー (著), Martin Heidegger (原著), 細谷 貞雄 (翻訳)『存在と時間〈上〉』ちくま学芸文庫, 1994.
- [14] マルティン ハイデッガー (著), Martin Heidegger (原著), 細谷 貞雄 (翻訳)『存在と時間〈下〉』ちくま学芸文庫, 1994.
- [15] モーリス メルロ=ポンティ(著), 竹内 芳郎 (翻訳), 小木 貞孝 (翻訳)『知覚の現象学 1』みすず書房, 1967.
- [16] モーリス メルロ=ポンティ(著), 竹内 芳郎 (翻訳), 木田 元 (翻訳), 宮本 忠雄 (翻訳)『知覚の現象学 2』みすず書房, 1974.
- [17] ブルーノ ラトゥール (著), Bruno Latour (原著), 川崎 勝 (翻訳), 平川 秀幸 (翻訳)『科学論の実在一バンドラの希望』産業図書, 2007.
- [18] ピーター=ポール フェルベーク (著), Peter-Paul Verbeek (原著), 鈴木 俊洋 (翻訳)『技術の道德化: 事物の道德性を理解し設計する』法政大学出版局, 2015.
- [19] 浅田稔「痛みを感じるロボットの意識・倫理と法制度」人工知能学会誌, Vol. 33, No. 4, pp. 450-459, Jul 2018.

- [20] M. Merleau-Ponty. *The Visible and the Invisible: Followed by Working Notes* (Studies in phenomenology and existential philosophy). Northwestern University Press., 1968.
- [21] Minoru Asada. Towards artificial empathy. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 7, pp. 19–33, 2015.
- [22] Ulric Neisser, editor. *The Perceived Self: Ecological and Interpersonal Sources of Self Knowledge*. Cambridge University Press, 1993.
- [23] Minoru Asada. Can cognitive developmental robotics cause a paradigm shift? In Jeffrey L. Krichmar and Hiroaki Wagatsuma, editors, *Neuromorphic and Brain-Based Robots*, pp. 251–273. Cambridge University Press, 2011.
- [24] H. Head and H. G. Holmes. Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain*, Vol. 34, No. 2–3, pp. 102–254, 1911.
- [25] Philippe Rochat. Self-perception and action in infancy. *Experimental Brain Research*, pp. 102–109, 1998.
- [26] A. Maravita and A. Iriki. Tools for the body (schema). *Trends Cogn. Sci.*, Vol. 8, No. 2, pp. 79–86, 2004.
- [27] V. S. Ramachandran and Sandra Blakeslee. *Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind*. Harper Perennial, 1998.
- [28] Matej Hoffmann, Hugo Gravato Marques, Alejandro Hernandez Arieta, Hidenobu Sumioka, Max Lungarella, and Rolf Pfeifer. Body schema in robotics: A review. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, Vol. 2, No. 4, pp. 304–324, 2010.
- [29] Minoru Asada, Eiji Uchibe, and Koh Hosoda. Cooperative behavior acquisition for mobile robots in dynamically changing real worlds via vision-based reinforcement learning and development. *Artificial Intelligence*, Vol. 110, pp. 275–292, 1999.
- [30] Mai Hikita, Sawa Fuke, Masaki Ogino, Takashi Minato, and Minoru Asada. Visual attention by saliency leads cross-modal body representation. In *The 7th International Conference on Development and Learning (ICDL'08)*, p. to appear, 2008.
- [31] Sawa Fuke, Masaki Ogino, and Minoru Asada. Acquisition of the head-centered peri-personal spatial representation found in vip neuron. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, Vol. 1, No. 2, pp. 131–140, 2009.
- [32] 長井志江. 認知発達の原因を探る: 感覚・運動情報の予測学習にもとづく計算論的モデル. *ベビーサイエンス*, Vol. 15, pp. 22–32, Mar 2016.
- [33] Rizzolatti G., Camarda R., Fogassi M., Gentilucci M., Luppino G., and Matelli M. Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: II. area f5 and the control of distal movements. *Exp. Brain Res.*, Vol. 71, pp. 491–507, 1988.
- [34] Yuji Kawai, Yukie Nagai, and Minoru Asada. Perceptual development triggered by its self-organization in cognitive learning. In *Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 5159–5164, 2012.
- [35] E. L. Newport. Maturational constraints on language learning. *Cognitive Science*, pp. 11–28, 1990.
- [36] K. Ogawa and T. Inui. Lateralization of the posterior parietal cortex for internal monitoring of self-versus externally generated movements. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 19, pp. 1827–1835, 2007.
- [37] Yasutake Takahashi, Yoshihiro Tamura, and Minoru Asada. Mutual development of behavior acquisition and recognition based on value system. In *Proceedings of the 10th international conference on simulation of adaptive behavior (SAB08)*, pp. 291–300, 2008.
- [38] Jorge L. Copete, Yukie Nagai, and Minoru Asada. Motor development facilitates the prediction of others' actions through sensorimotor predictive learning. In *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Development and Learning, and Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob 2016)*, pp. (CD-ROM), 2016.
- [39] Felix Warneken, Frances Chen, and Michael Tomasello. Cooperative activities in young children and chimpanzees. *Child Development*, Vol. 77, No. 3, pp. 640–663, 2006.
- [40] Jimmy Baraglia, Yukie Nagai, and Minoru Asada. Emergence of altruistic behavior through the minimization of prediction error. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, Vol. 8, No. 3, pp. 141–151, 2016.
- [41] 尾形哲也. 神経回路モデルとコミュニケーションの創発. *日本ロボット学会誌*, Vol. 35, No. 3, pp. 195–198, April 2017.
- [42] スタニスラス・ドゥアンヌ (著), 高橋 洋 (翻訳) 『意識と脳—思考はいかにコード化されるか』 紀伊國屋書店, 2015.
- [43] Stanislas Dehaene, Hakwan Lau, and Sid Kouider. What is consciousness, and could machines have it? *Science*, Vol. 358, pp. 486–492, 2017.
- [44] Bernard J. Baars. Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience. *Progress in Brain Research*, Vol. 150, pp. 45–53, 2005.

2.6 ▷ AIと社会

2.6.1 社会システムデザインの必要性

インターネットの誕生は社会の在り方を根本的に変えつつある。広範囲の情報を即座に入手できるということが利便性だけではなく、情報処理技術 (IT) の適用範囲を飛躍的に増大させている。しかしながら、ITの潜在能力はフルには発揮されていない。今後はこれにAI技術が加わり能力はさらに向上することが期待されているが、使う側が全く追いついていないのが現状である。

公的機関への申請手続きに関しては、オンライン化、マイナンバーによる添付書類の削減などが進められているものの十分とはいええず、特に個人の負担は大きい。例えばマイナンバーカード。個人認証はオンラインで可能なのに、講演料や謝金が発生した場合に、ほとんどの組織が郵送でマイナンバーの提出を求めている。そして年度末には紙の源泉徴収票が送られてくる。こちらもオンラインで処理ができるはずである。すべての収入にマイナンバーが紐づけられている職業 (ホワイトカラー中心) では確定申告も自動化できるはずである (現状では源泉徴収票を個人が書き写して申請するという原始的なシステムが採用されたままである)。これは国全体としては膨大な資源と時間を無駄にしていることになる。年金についても制度や請求手続きは複雑極まりないし、指定難病患者への医療費助成制度の申請はマイナンバーにより住民票や課税証明書の添付が省略されたものの難病を抱えた本人が行うことは到底困難である。近年のAIによる音声認識や言語生成を活用することで、複雑な制度や手続きや、高齢者や難病・障がいを抱えた個人の申請に対して会話方式で補助・支援することが期待される。

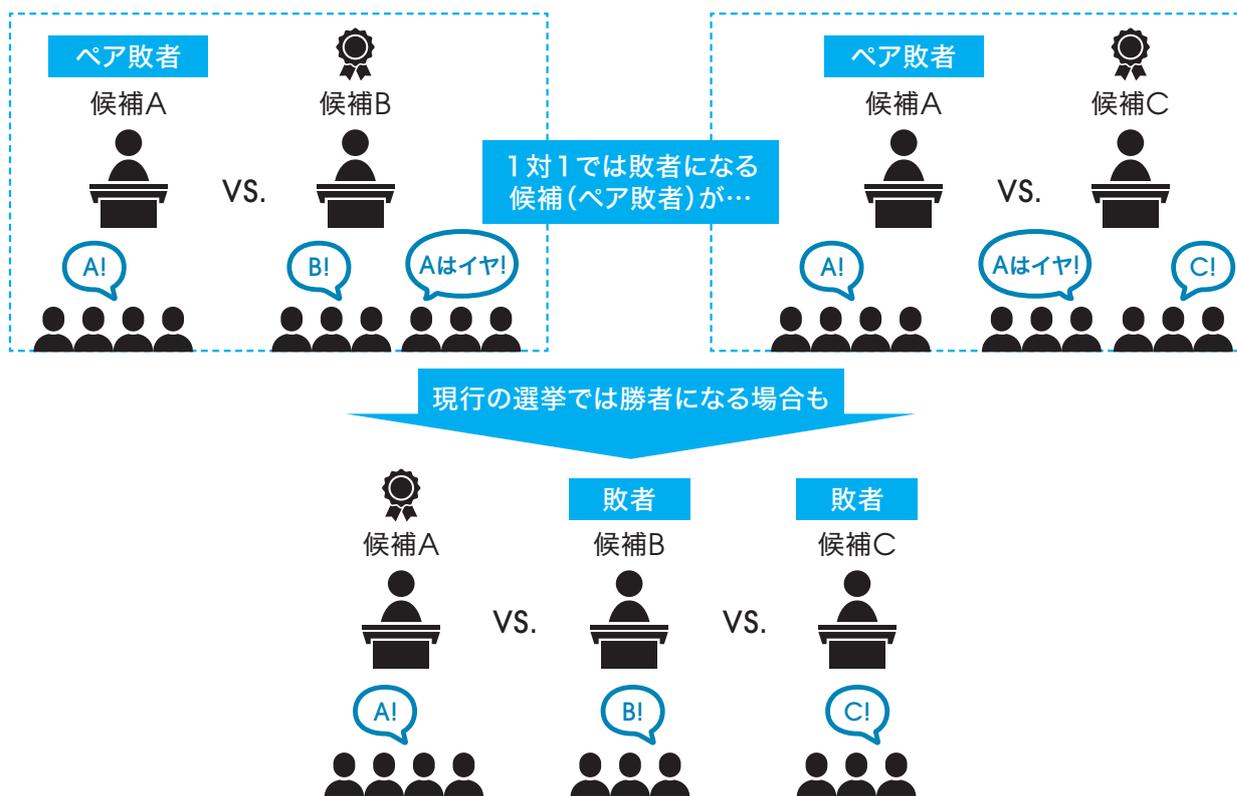
以下の節ではAI技術応用で変革できる様々な社会システムのデザインを例示したい。ただし、これは可能性の列挙であって、実際にそうするのが良いかは専門家 (社会学者等) の研究と判断を必要とする。

2.6.2 社会的意思決定システム

民主主義のための仕組み (投票システム、代議員制等) はインターネット以前の形態がそのまま使われている。例えば現在の選挙システムは必ずしも民意を反映しないということは理論的には分かっている [1] にもかかわらず改善されない。投票所に足を運び、投票用紙に記入させるから、投票用紙に政治家が一人しか書けない、小選挙区でも政党一つしか書けない。この方式では、例えば票割れにより民意を反映しない人や政党も選ばれうるため、様々なシステムが研究されている。ITを使えば様々な工夫が可能である。

ベストの投票方式というのは自明ではないが、これだけは避けたいということが自明な方式は分かっている。例えばペア敗者という概念がある。候補者2人を比べ、どちらが良いかと比べた場合に他のすべての候補に負ける候補のことであり、これを選ばないことが重要である。ところがこれが選ばれる可能性のある投票方式がいくつかあって、現在行われている多数決はその一つである (図2-6-1)。

■ 図2-6-1 民意の反映という観点での現行システムの課題



ボルダールールという方式はN人を選ぶ場合に、各投票者が1位にN点、2位にN-1点、N位に1点というように点数をつけ、その合計点で争うものだが、この方式だと少なくともペア敗者が選ばれることはない。逆にペア勝者がいるなら文句なく選びたいところであるが、ペア勝者がいない場合(通常は明らかな勝者はいない)でも通用するような良い方式はなかなかないようである。

政党を選ぶときにマニフェストを判断基準にする。しかし、これは様々な政策が抱き合わせで書いてあるわけなので、個々の政策に対して個別に投票できるわけではない。これは商法で規制されている抱き合わせ販売と何ら変わらない。

AIを使えばもっと良い方法が実現できるはずである。代議士に頼らない方法も考えられる。学問的に新しい、ダイレクトに民意を反映できるようなシステムというのが考えられるべきである。可能性の一つは直接民主制で、インターネットで全国民が議論するというものだ。(現状ではまだ無理であるが)議長はAIが行い、現状の意見や対立点、それぞれの長所と欠点などの明示も可能である。

このように、技術は可能性を広げるが、それらの可能性の中から良いものを選ぶには技術以外の判断基準が必要で、社会学あるいは社会の制度設計をしている人たちが社会デザインに参加すべきである。

2.6.3 会社組織と働き方

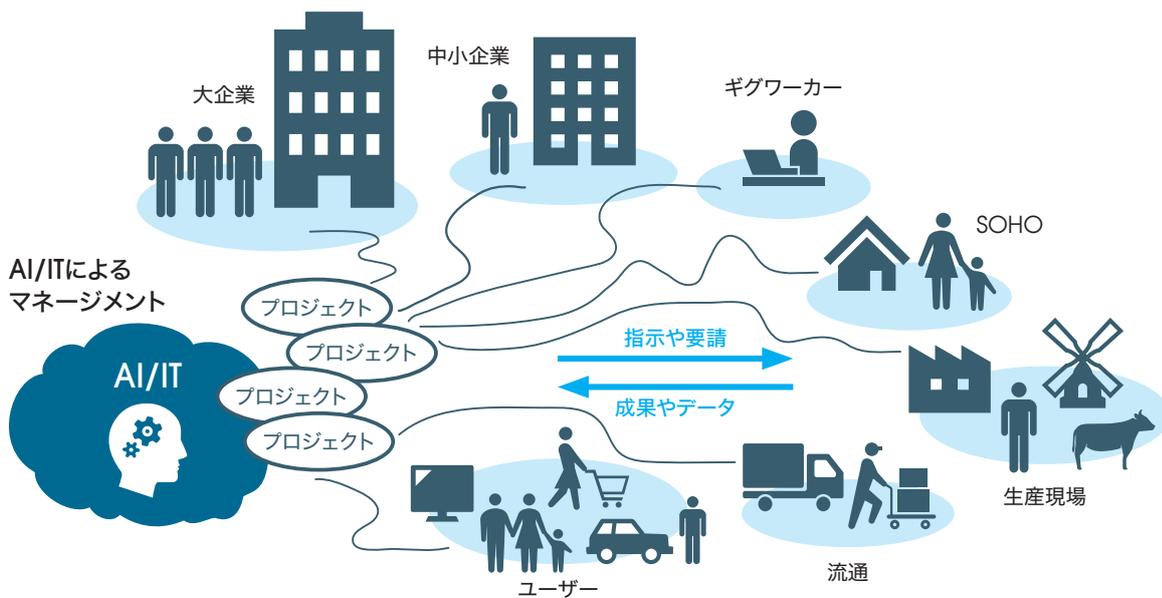
企業ではAIを新しいサービスや製品に取り込むことを検討しているが、企業の仕組みそのものに適用しようとする例はまだ少ない。一部採用面接などにAIを使い始めた企業はあるが、人事全般(メンタルケアなどの部分は除く)、経理、あるいは戦略策定の補助などに使い始めたという話は聞かれない。

組織のマネージメントはAI利用で大幅に変えられるし、変えねばならない。カーツワイルが言う

ように技術の進歩は加速している。これからは破壊的イノベーションがいつ起こるか分からない時代になる[2]。そのような大きな変化に対応するためには現在の、固定の社員が、部とか課という固定の組織に属して仕事をしているような固定の組織では追いつかない。組織やメンバーを必要に応じて組み替えることが必須となろう[3]。社員は自分の所属する部署で仕事をするというのが今の企業形態であるが、AIを使えばその必要がなくなる。ミッション(仕事)ができたときに、それにかかわる人材をその場で、インターネットで集めて管理するということが可能になる。報酬の体系、命令伝達系統など様々な問題はコンピューター(AI)で管理したほうが良い。ある人の仕事やグループを変更することによる影響は大局的なので人間が管理するには限界がある。AI/ITで管理することによって柔軟なマネジメントができる。複雑なシステムの整合性を維持するというのはITの得意分野の一つである(図2-6-2)。

働く側から見た場合にも自由度が増える。会社組織に属することなく様々なプロジェクトに参加し、自分の技能を活かすのだ[4]。現在働き方改革として、育児休暇とかワークシェアとかが議論されている。柔軟な組織体制を導入することによって、フルに働いている状態と育児休暇の間の制度的区別というのはなくなって、単に1日のうち、何時間どこで働くかという問題にすぎなくなる。

■ 図2-6-2 AI/ITによるマネジメントが変える働き方の変化



いずれにしても今の形態の企業というのは、近いうちになくなるであろう。カリフォルニアではすでに始まっているが、日本の大企業のほとんどは組織体制を変えようとしていない。時代の変化に追従できない組織は数年で(早ければ2020年ごろ、遅くとも2030年ごろまでに)なくなるであろう。

2.6.4 経済システム

資本主義は、歴史的に見ると富の集中を促しており、その傾向は近年ますます顕著になっているという趣旨の本が世界中でベストセラーになった[5]。富の再配分をするシステムを作らなければならない。

最近、AIに仕事を奪われるという議論がある。しかし、仕事と収入が1対1に対応しているからこういう議論になるのであって、奪われて困るのは収入のほうだ。仕事をしないで収入を得られるの

なら、あるいは、仕事をしないで暮らせるなら、そのほうが良い人も少なくないであろう。AIを導入すれば全体の生産効率は上がる。経営者は効率が上がる場合しか使わない。そうすれば基本的には我々が働かなければならない総時間は減るはずである。一部の人が総取りをするという今の資本主義のままだと、生活が立ち行かない人が多出して困る。再配分システムのデザインが必要で、ベーシックインカムというのもそういう制度の一つである[6]。最低収入を保証されていると、様々なことにチャレンジできる。起業して、それが失敗しても生活だけは保証されるので、リスクを冒すことができる。

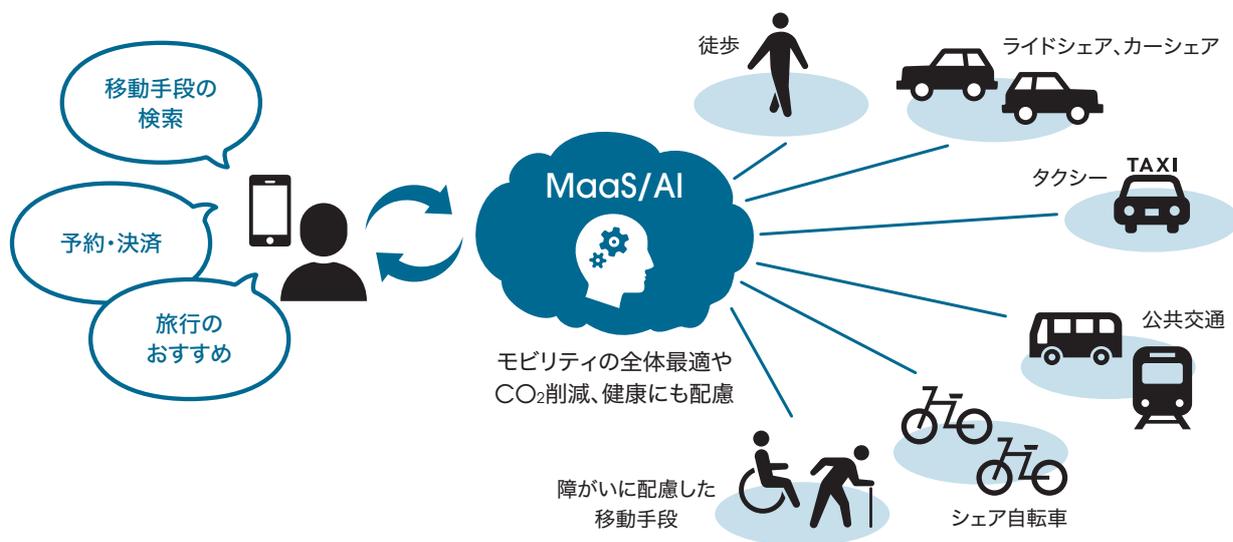
インターネットの出現によって、サービスを提供するためのコストがどんどん安くなっている。フィンテックもその一つである。IoTによるC2C基盤がUberやAirbnb等の「共有型経済」を実現し、そこでは消費者の既存資産(家や車)やインターネットを活用しているためサービスコストが限界的にはゼロに近づくような社会ができてくる。それによって今の資本主義から共有型の経済に変わることが必然になるという主張がある[7]。インターネットですべてのものを結び付ける(IoT)ことによって、シェアリングエコノミーが可能になる。経済の仕組みが根本的に変わるかもしれない。

2.6.5 モビリティ

シェアリングの流れは交通の世界にも変化を与えている。新しい公共交通への取組みは北欧が先進的である。ユーザーに移動というサービスを提供するMobility as a Service (MaaS) と呼ばれる概念が提唱されている。コンピューターサービスのクラウド化と同様、MaaSとは、提供される移動サービスとそれを提供するハードウェアを独立にする仕組みのことと理解すれば良い。UberやDiDiの配車システムが有名であるが、これらは現在のタクシーシステムを前提とした仕組みであり、MaaSとは呼び難い。

MaaS導入の先進事例として有名なヘルシンキ市では、タクシー、バス、鉄道、飛行機などの輸送機関が互いに協力、情報交換するための情報システムと仕組み作りを行っている。その象徴的なアプリとして、ベンチャー企業MaaS Global社がWhimと呼ばれるスマートフォン向けアプリを提供している(図2-6-3)。

■ 図2-6-3 MaaS(Mobility as a Service)のイメージ



Whimにメンバー登録しておく、利用者はタクシー、レンタカー、公共交通、シェア自転車などに自由にアクセスできるようになる。Whimは、利用者の利用傾向を学習し、予定表と連動してその日の目的地への最も効率的な移動法を提案してくる。多様な移動サービスを単一のインターフェースで効率よく利用可能としている。

トヨタもe-Palette Conceptを提唱しているが、これはコマツのIoTモデル(全世界のコマツの重機をインターネットで管理する)と似たもので自動車を売るのはなく、車同士を情報的につないだ「コネクテッドカー」を使ったサービスモデルである。

公立はこだて未来大学発ベンチャーの未来シェアはさらに別のMaaSを提唱している。個人にとって移動は手段であって目的ではない。目的は医療であったり、飲食であったり、観光であったりする。インターネット上に様々なサービスが載っているがごとく、移動プラットフォーム上にこれらのサービスを載せることを目指して、AIによる移動の最適化を行っている。

2.6.6 医療

IBMのWatsonの医療応用が実用化されている。新薬、症例、治療法などの最新知識をアップデートしておくのは人間よりAIのほうが得意である。Deep LearningによるX線画像の分析も人間の診断医より高い精度で行える例も出てきた。

da Vinciなど、手術用の遠隔操作ハンド(手術支援ロボット)も開発されているが、これらもどんどん知的になっていくであろう。例えば操作する医師のミスにより対象外の血管を切るのを防ぐなどの制御ができよう。自動手術も視野に入る。

新薬開発において、標的となるタンパク質の同定や、新薬候補の化合物のスクリーニング及び臨床試験などの分野にAIを使う企業も増えてきている。

看護の世界でもAIやロボットが活躍するに違いない。精神面をケアするのは人間が主となろうが、見守りにはAIが使える。また、意思表示の困難な患者とのコミュニケーション支援もAIでできる。入浴介助や下の世話などはロボットの出番である。

理化学研究所では健康脆弱化予知予防コンソーシアムを立ち上げ、ビッグデータからの健康脆弱化予知(「未病」よりさらに前の段階で発見)することを試みているが、医療データの入手は個人情報保護法などがあり、容易ではない。東北大学はビッグデータメディスンセンターを設立し、大量の医療データの蓄積と利用による未来型医療を目指している。

2.6.7 教育

今後はCBT(Computer-Based Test)が普及すると考えられる。問題の提示と採点をコンピューターが行うというだけでなく、受験者のレベルに合った問題を提示することにより、従来より正確に受験者のレベルを判定できるようになる。IRT(Item Response Theory)を使い、解答を見ながら受験者のレベルに近い問題に絞り込んでいく。

現状では無理だが小論文の採点もできるようになるだろう。

IRTは教育にも使える。知識の全体系をAIが把握していて、学習者に最適なレベルの知識を与えていくのだ。昔あった「プログラム学習」のAI版である。

AIなどの技術発展が加速していくと専門知識もどんどん更新される。あるいは新しい専門分野ができたり、逆に特定の専門分野がなくなってしまうということも起こるだろう。大学で身につけた専門知識で一生仕事ができる時代はすでに過去のものである。

一方でAIが専門知識を学ぶことを考えると、人間が身につけなければならない知識とAIに頼れば良い知識の区別が必要になる。基本的には専門知識は(適宜必要な知識を人間に教育することを含め)AIに任せ、人間はリベラルアーツを身につけることになろう。リベラルアーツとはギリシャ・ローマ時代に端を発し、市民であるために必要な教養として教えられた文法、修辞学、論理学、算術、幾何学、天文学、音楽の7科目のことである。参考文献[8]は現代の教養(リベラルアーツ)として7科目(宗教、宇宙、人類の旅路、人間と病気、経済学、歴史、日本と日本人)を提案している。現在はこれに「情報技術」を加えねばならない(7つに収めるなら、最後の「日本と日本人」を歴史に入れればいい)。このように必要なリベラルアーツは時代とともに変わるが、重要なのはこれらが考え方の枠組みを作り上げるものであって、個別の専門知識ではないということである。従ってこれらの科目は(AIではなく)人間が教えなければならない。

◆参考文献

- [1] 坂井豊貴『「決め方」の経済学 ―「みんなの意見のまとめ方」を科学する』ダイヤモンド社, 2016.
- [2] 富山和彦『AI経営で会社は甦る』文藝春秋, 2017.
- [3] Harvard Business Review 2018年7月号「特集:アジャイル人事 俊敏な組織に進化する」ダイヤモンド社, 2018.
- [4] ダイアン・マルケイ(門脇弘典訳)『ギグ・エコノミー 人生100年時代を幸せに暮らす最強の働き方』日経BP社, 2017.
- [5] トマ・ピケティ(山形浩生、守岡桜、森本正史 訳)『21世紀の資本』みすず書房, 2014.
- [6] 井上智洋『AI時代の新・ベーシックインカム論』光文社新書, 2018.
- [7] ジェレミー・リフキン(柴田裕之訳)『限界費用ゼロ社会 <モノのインターネット>と共有型経済の台頭』NHK出版, 2015.
- [8] 池上彰『おとなの教養 私たちはどこから来て、どこへ行くのか?』NHK出版新書, 2014.

2.7 ▷ AI人材の育成

2.7.1 AI人材育成の全体イメージ

経済産業省の2016年度調査「IT人材の最新動向と将来推計に関する調査結果」では、今後特に大幅な市場拡大が予想される「ビッグデータ」、「IoT」、「人工知能」を担う人材（先端IT人材）については2020年に約4.8万人不足するという予測が出されている。IPAが2017年度に実施したアンケートでも、AIベンダー側の「AIビジネス推進上の課題」として「自社にAIに関する人材が不足している」がトップとなっている（第5章参照）。一般的に人手不足である状況に加え、新しい技術・知識を要することから、AI開発現場におけるAI関連人材の獲得は急務と想定される。

このような状況に対して2017年6月に閣議決定された「未来投資戦略2017」の中でも、Society 5.0に向けた横割課題の一つとして「教育・人材力の抜本強化」が挙げられており、AIやデータ活用を含む「IT力」により目指すべき社会像を実現するための項目が示されている。また、2018年6月に閣議決定された「未来投資戦略2018」では「AI時代に対応した人材育成と最適活用」として、学校教育におけるAI・データ活用を含むIT人材の育成などの施策がさらに提言されている（表2-7-1）。

■表2-7-1 未来投資戦略2017/2018における人材関連項目

| 戦略 | 項目 | 概要 |
|----------------|-----------------------------|--|
| 未来投資戦略 2017 | 「何を学ぶべきか」の羅針盤の提示 | IT人材需給を把握する仕組みの構築、ITスキル標準改訂等 |
| | 産学官連携による実践的教育 | 大学協議体、専修学校等との産学連携の取組み、官民コンソーシアムの設立等 |
| | 大学の数理・データサイエンス教育の強化、工学教育改革等 | 数理・データサイエンス教育センター整備、小学校でのプログラミング教育等 |
| | 誰もが学び直しできる社会 | 第四次産業革命スキル習得講座認定制度創設、学び直しの支援策等 |
| 未来投資戦略 2018 | AI時代に対応した人材育成と最適活用 | 小学校でのプログラミング教育に向けた環境整備等 |
| | | 大学入学共通テストでの「情報」の必修科目化、大学での数理・データサイエンス一般教養化等 |
| | | AI人材の育成のための分野横断的で実践的な人材育成を行うための「学位プログラム」の実現等 |
| | | デジタル・トランスフォーメーション、AI・データリカレント教育、AI人材の高待遇化等 |
| | | 副業・兼業を通じたキャリア形成を促進するための実効性のある労働時間管理等の在り方の検討等 |

出典：未来投資戦略2017、2018より作成

また、2018年6月に閣議決定された「統合イノベーション戦略」では、「AI技術」の目指すべき将来として、

- ・ これからの「読み・書き・そろばん」であるAI技術を使いこなすITリテラシーを誰もが持ち、ヒューマンフレンドリーなAI技術を活用することで、ニーズに合った物・サービスの提供、病気になるないヘルスケア、自由で安全な移動等を実現
- ・ サイバーセキュリティが確保され、AI技術の社会受容が進み、産業から生活まで様々な分野で活用されることで、質の高い新たな雇用やサービスを創出

が挙げられており、そのための「人材基盤の確立」として、以下の目標が掲げられている。

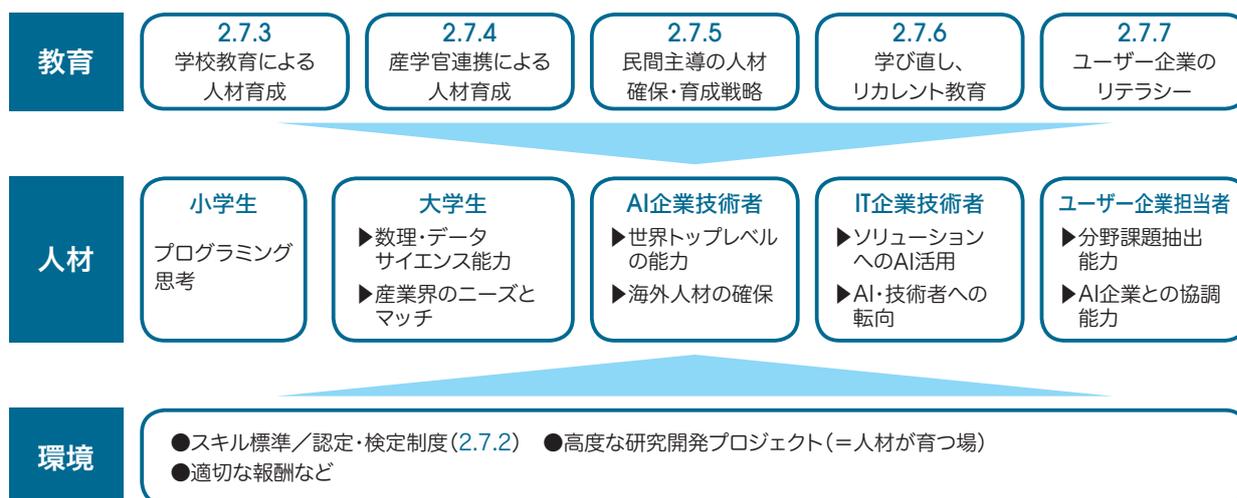
- ・2025年までに先端IT人材を年数万人規模、IT人材を年数十万人規模で育成・採用できる体制を確立(関係府省庁の施策での育成規模を2018年度中に設定)
- ・2032年までに初等中等教育を終えたすべての生徒がITリテラシーを獲得

上記を整理すると、AI・データ関連人材の育成には、スキル標準の整備によりスキルセットやキャリアパスを明確にしつつ、

- ・初等中等から大学までの課程における一般教養としての位置づけ
- ・産学官連携による産業ニーズを踏まえた学校教育
- ・高度な研究開発プロジェクトによる場の提供
- ・社会人のAI・データ人材への学び直しやリカレント教育

などの育成システムの充実を図る必要がある。また、産業へのAI導入を推進するためには、産業・自社特有の課題を洗い出したり、データを収集・活用したりするためのユーザー企業担当者のAIリテラシーも重要と考えられる。図2-7-1に全体イメージを示す。

■図2-7-1 AI・データ関連人材育成の全体イメージ



本節では、2.7.2で「スキル標準／認定・検定制度」、2.7.3で「学校教育による人材育成」、2.7.4で「産学官連携による人材育成」、2.7.5で「民間主導の人材確保・育成戦略」、2.7.6で「学び直し、リカレント教育」、2.7.7で「ユーザー企業のリテラシー」について整理する。

2.7.2 スキル標準／認定・検定制度

(1) IPA 「ITSS+ (プラス)」

IPAでは、各種IT関連サービスの提供に必要とされる能力を明確化・体系化した指標であり、産学におけるITサービス・プロフェッショナルの教育・訓練等に有用な「ものさし」(共通枠組み)を提供しようとするものとして2002年に経済産業省が策定した「ITスキル標準(ITSS)」の普及・活用促進を図っている。

2017年4月には、第4次産業革命に向けて求められる新たな領域の“学び直し”の指針として「ITSS+(プラス)」を策定している。「ITSS+」は「データサイエンス領域」及び「セキュリティ領域」を対象とした形で2017年4月に公開、2018年4月には「IoTソリューション領域」及び「アジャイル領域」

を追加している。ITSS+のうち、AIに関連する「データサイエンス領域」は、企業等の業務において大量データを分析し、その分析結果を活用するための一連のタスクとそのために習得しておくべきスキルを取りまとめたものであり、タスクはIPAと「一般社団法人データサイエンティスト協会 スキル委員会(委員長：安宅和人 ヤフー株式会社 CSO)」の協業で策定している。

(2) 一般社団法人日本ディープラーニング協会「G検定／E資格」

日本ディープラーニング協会(2017年6月設立)は、「ディープラーニングの基礎知識を有し、適切な活動方針を決定して事業応用する能力を持つ人材」すなわちディープラーニングを含むAIの知識・リテラシーを持ったビジネスサイドの人材と、「ディープラーニングの理論を理解し、適切な手法を選択して実装する能力を持つ人材」すなわちエンジニア人材の双方の育成が必要との考えから、それぞれについて「G(ジェネラリスト)検定」「E(エンジニア)資格」なる試験を開催している。G検定の第1回試験結果は2018年1月に発表され、1,448人の受験者のうち、823人が合格している(合格率56.8%)。G検定とE資格にはそれぞれシラバスが定義されており、Web上で以下のとおり公開されている(表2-7-2、表2-7-3)。

■表2-7-2 G検定のシラバス(2018)

| 項目 | 概要 |
|------------------|---|
| 人工知能(AI)とは | 人工知能の定義 |
| 人工知能をめぐる動向 | 探索・推論、知識表現、機械学習、深層学習 |
| 人工知能分野の問題 | トイプロブレム、フレーム問題、弱いAI、強いAI、身体性、シンボルグラウンディング問題、特徴量設計、チューリングテスト、シンギュラリティ |
| 機械学習の具体的な手法 | 代表的な手法、データの扱い、応用 |
| ディープラーニングの概要 | <ul style="list-style-type: none"> ニューラルネットワークとディープラーニング、既存のニューラルネットワークにおける問題、ディープラーニングのアプローチ、CPUとGPU ディープラーニングにおけるデータ量 |
| ディープラーニングの手法 | <ul style="list-style-type: none"> 活性化関数、学習率の最適化、更なるテクニック、CNN、RNN 深層強化学習、深層生成モデル |
| ディープラーニングの研究分野 | 画像認識、自然言語処理、音声処理、ロボティクス(強化学習)、マルチモーダル |
| ディープラーニングの応用に向けて | 産業への応用、法律、倫理、現行の議論 |

■表2-7-3 E資格のシラバス(2018)

| 項目 | 概要 |
|------|---|
| 応用数学 | 線形代数、確率・統計 |
| 機械学習 | 機械学習の基礎、実用的な方法論 |
| 深層学習 | 順伝播型ネットワーク、深層モデルのための正則化、深層モデルのための最適化、畳み込みネットワーク、回帰結合型ニューラルネットワークと再帰的ネットワーク、自己符号器、生成モデル、強化学習 |

出典：一般社団法人日本ディープラーニング協会 Webページより

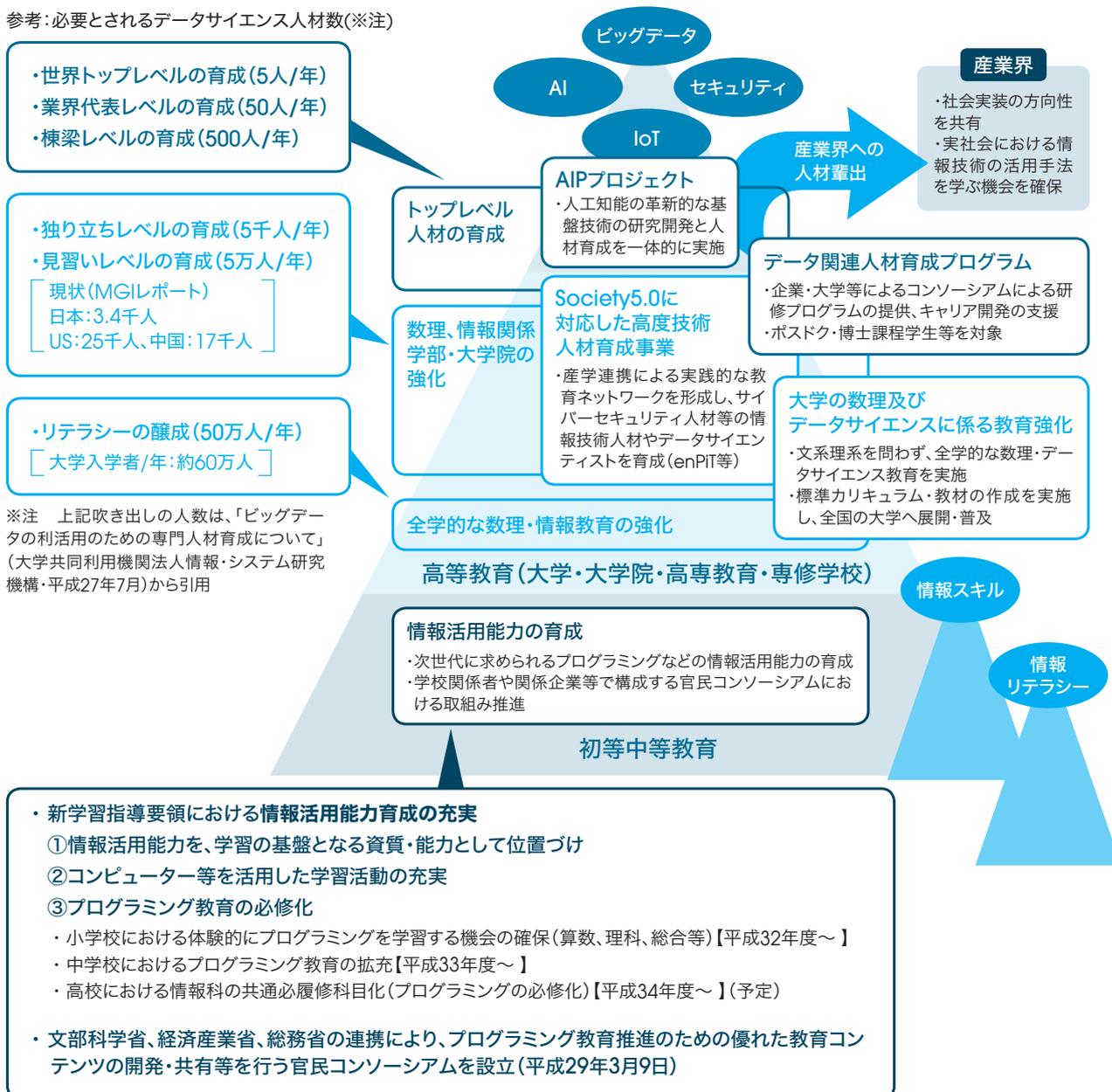
E資格については、協会のシラバスに沿った講義とプログラミング演習を行う「JDLA認定プログラム」の受講が受験申込条件となっている。この「JDLA認定プログラム」の枠組みは、プログラミングスキルやモデルチューニングのスキルなど短時間のペーパーテストだけでは測れないスキルの育成と、ディープラーニングを学べる場を増やすことを目的としている。

2.7.3 学校教育による人材育成

文部科学省では小学校からプログラム教育や大学での数理及びデータサイエンスなど、学校教育におけるIT活用能力の育成に注力している(図2-7-2)。

■図2-7-2 Society 5.0の実現に向けた総合的な人材育成の概念図

参考:必要とされるデータサイエンス人材数(※注)



出典:総合科学技術イノベーション総会議「Society 5.0実現に向けた戦略的重要課題について」文部科学省資料

(1) 情報活用能力の育成

小学校段階でのプログラミング教育必修化(2020年度~)に向け、学校現場での楽しみながら学べるデジタル教材の活用・評価とさらなる改善等の産業界と教育現場が連携した取組みを2018年度秋から開始、2019年度から本格展開する。

(2) 大学の数理・データサイエンスに係る教育強化

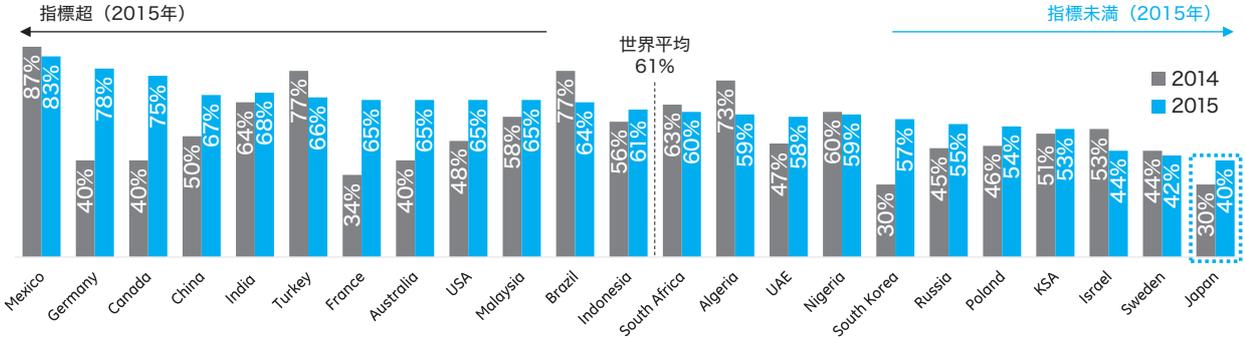
文部科学省では2016年12月、数理やデータサイエンス教育の強化に関する懇談会において大学の数理・データサイエンス教育強化方策を公表している(図2-7-3)。

■ 図2-7-3 大学の数理・データサイエンスに係る教育強化(概要)

- 現状**
- 膨大なデータが溢れる時代において、諸外国と比較すると企業では意思決定におけるデータとアナリティクスの活用に遅れをとっている状況
 - 世界に先駆けた「超スマート社会」の実現(Society5.0)に向けて、我が国の産業活動を活性化させるために必要な数理・データサイエンスの基礎的素養を持ち、課題解決や価値創出につなげられる人材育成が必要不可欠

○我が国の企業幹部におけるデータの分析・活用の戦略的価値への認識は、世界の主要国に比べて非常に低い

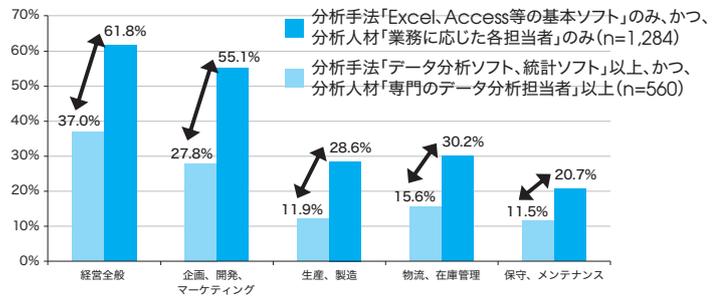
●企業幹部におけるデータとアナリティクスを用いた意思決定割合



出典:「GEグローバルイノベーション・バロメーター2016」世界の経営層の意識調査

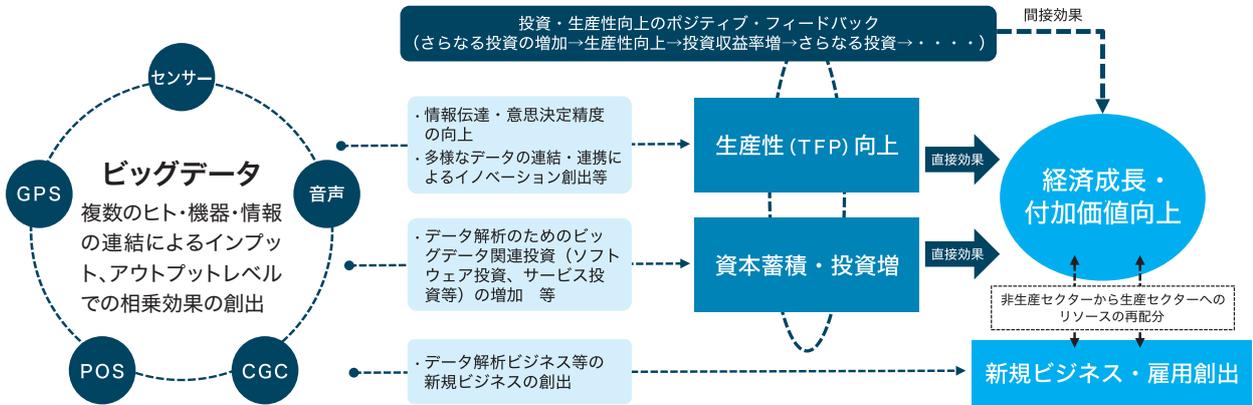
○数理的思考やデータ分析・活用能力を持つ人材が戦略的にデータを扱うことによる経営等への効果は大きい

●分析手法・分析人材の違いによる効果割合



出典:総務省「ビッグデータの流通量の推計及びビッグデータの活用実態に関する調査研究」(平成27年)

●データの流通・蓄積・活用による産業活動の活性化

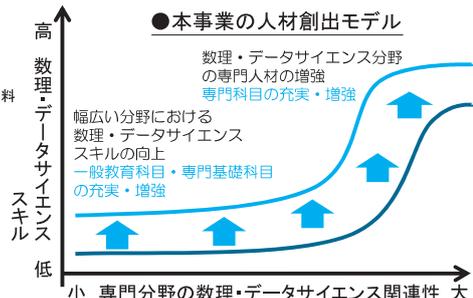
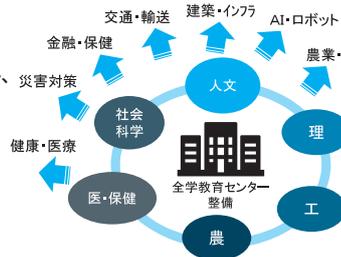


出典:総務省「情報流通・蓄積量の計測手法の検討に係る調査研究」(平成25年)

専門分野の枠を超えた全学的な数理・データサイエンス教育機能を有するセンターを整備し、専門人材の専門性強化と他分野への応用展開の双方を実現し、相乗効果を創出

実現に向けたシナリオ

- 文系理系を問わず、全学的な数理・データサイエンス教育を実施
- 医療、金融、法律等の様々な学問分野へ応用展開し、社会的課題解決や新たな価値創出を実現
- 実践的な教育内容・方法の採用
 - ・企業から提供された実データ等のケース教材の活用
 - ・グループワークを取り入れたPBLや実務家による講義等の実践的な教育方法の採用
- 標準カリキュラム・教材の作成を実施し、全国の大学へ展開・普及



出典:文部科学省/数理及びデータサイエンス教育の強化に関する懇談会「大学の数理・データサイエンス教育強化方策について」(2016年12月)

これを受けて、2017年12月、北海道大学、東京大学、滋賀大学、京都大学、大阪大学、九州大学の6校が拠点校として選定されている。また、当該6校により、数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアムが設立されており、国際的なモデルとなる標準カリキュラム・教材の作成、他大学への普及方策などの検討が行われている^{*64}。

2.7.4 産学官連携による人材育成

ここでは、産業界のニーズに応じた人材を大学で育成したり、産業界の即戦力を大学の場を活用して育成したりする文部科学省の施策を示す。

(1) 大学協議体と産業界による意見交換

大学協議体は、産業界のニーズを継続的に把握しつつ、産業界の代表との実務レベルでの情報共有等を行うことを目的として、「未来投資会議2017」にもとづいて国公私立大学の学部長等により組織された。具体的な取組み内容は以下のとおりである。

- ・教育機関側と産業界側それぞれに対する要望について、大学協議体と産業界の実務レベルによる意見交換
- ・産学協働による教育プログラムの構築・実施や調査等にもとづく政策提言の取りまとめ

2018年3月には、「産学連携による科学技術人材育成に関する大学協議体と産業界による意見交換(第1回)」が開催され、「産業界のニーズと高等教育のマッチング方策」、「産学連携教育の推進」、「リカレント教育(技術者の継続教育)の推進」といった論点で議論が行われている。資料の中では、今後不足が見込まれるIT分野としてデータ・AI人材が挙げられる部分もあるが、現段階では基本的には枠組みの検討が中心である。この枠組みを通じて、AI・データ関連業界のニーズが大学側に伝われば、リカレント教育を含めた人材育成の推進が期待される。

(2) 専修学校による地域産業中核的人材養成事業

地域産業の発展を支える中核的な人材養成機関としての専修学校の役割の充実等を図るため、社会人向けの教育プログラムや特色ある教育カリキュラムの開発、効果的な産学連携教育の実施のためのガイドラインの作成、分野に応じた中長期的な人材育成に向けた協議体制の構築に係る事業の委託を行う制度である。2017年度の採択テーマの中には、ビッグデータやAIも一部含まれている(2018年度事業は公募中)。

(3) Society 5.0に対応した高度技術人材育成事業

産学連携による実践的な教育ネットワークを形成し、産業界のニーズに応じた人材を育成する取組みを支援する事業であり、2018年度は以下の2事業を公募。

- 超スマート社会の実現に向けたデータサイエンティスト育成事業
- 科学技術の社会実装教育エコシステム拠点の形成事業

前者では、産学官による実践的な教育ネットワークを構築し、文系理系を問わず様々な分野へデータサイエンスの応用展開を図り、それぞれの分野でデータから価値を創出し、ビジネス課題や社会課題に答えを出す人材(データサイエンティスト)を育成する大学を支援する。

※64 数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム<<http://www.mi.u-tokyo.ac.jp/consortium/index.html>>

(4) データ関連人材育成プログラム

第4次産業革命を勝ち抜くうえで求められるAI、IoT、ビッグデータ、セキュリティ等を高度に駆使する人材(高度データ関連人材)について、発掘・育成・活躍促進を一貫して行う企業や大学等における取組みを支援することで、データ利活用社会のエコシステム構築への貢献を目指す。

- ・ 研究活動を通じて高度なデータの扱いに親しんだ博士課程学生や博士号取得者等を対象
- ・ 企業や大学等が人材の発掘・育成・活躍促進を目的としたコンソーシアムを形成
- ・ インターンシップやPBL(課題解決型学習)等の実践的な研修プログラムを開発・実施

2.7.5 民間主導の人材確保・育成戦略

(1) 人材確保戦略

産業界におけるAI人材関連動向としては、社内にAI研究開発部門を設けて人材を集約したり、複数企業の共同で人材を含めたリソースを連携させたり、AI研究開発拠点を海外に設置することで国外のAI人材を活用したりする戦略が見られる。

○国内の動向

『AI白書2017』では、大手企業におけるAI開発に関する人材確保や組織体制強化に関する動向を紹介しているが、この流れは現在も継続している。以下に例を示す。

- ・ トヨタ自動車株式会社、アイシン精機株式会社、株式会社デンソーは2018年3月、知能化ソフトウェアの研究から開発を一気通貫で担う新会社「Toyota Research Institute Advanced Development」を東京に設立することを発表。1,000名規模の体制とすることを目標とし、アクセス面や採用面で魅力のある新たなロケーションを選定。「新会社の狙い」の一つに、「国内外トップ人材採用により開発力を強化しつつ、トヨタグループ内の知能化人材を育成」が含まれている^{*65}。
- ・ 日立製作所はデータサイエンティストをグローバルに育成・強化するため、スキル要件と育成プログラムを整備するとともに、プロフェッショナル・コミュニティを立ち上げ、国内外のグループ会社におけるデータサイエンティストを現在の700名から2021年度までに3,000名にすることを目標に増強すると発表^{*66}。
- ・ NECは2018年4月26日、AIを活用した新たなデータ分析事業の展開として、データ分析ツールの開発及び販売、コンサルティングを事業とする新会社を米国シリコンバレーに設立すると発表。シリコンバレーの高度人材の雇用を狙うとのこと^{*67}。
- ・ 株式会社安川電機は2018年3月1日、AIソリューション開発の子会社を設立。同時にAIベンチャー企業のクロスコンパス社と戦略的提携も公表しており、外部のAIリソースを活用^{*68}。
- ・ 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、株式会社グリッド、TIS株式会社、富士通株式会社など11社は2017年12月13日、「AI ビジネス推進コンソーシアム」を設立。ノウハウを相互に共有、連携を図り、ビジネス利用を促進することを目的としており、AIエンジニアの人材育成にも力を入れる^{*69}。

※65 トヨタ自動車ニュースリリース<<https://newsroom.toyota.co.jp/jp/corporate/21313423.html>>

※66 日立製作所ニュースリリース<<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2018/06/0621.html>>

※67 NECプレスリリース<https://jpn.nec.com/press/201804/20180426_01.html>

※68 安川電機のお知らせ<<https://www.yaskawa.co.jp/newsrelease/news/45421>>

○国外の動向

AI開発に関する人材確保や組織体制強化については海外企業が先行している印象があるが、この1年においても国内外に研究所を設置し、AI研究者を確保しようという動きがみられる。

- ・米IBMとMITは2017年9月7日、「MIT-IBM Watson AIラボ」を共同で設立し、今後10年間で2億4000万ドル(約272億円)を投資すると発表。およそ100人のAIを専門とする研究者や学生、専門家が参加の見込み^{*70}。
- ・米Microsoftは2017年7月12日、AI専門研究ラボ「Microsoft Research AI」の設立を発表。同社は前年9月にも5000人規模の「Microsoft AI and Research Group」を設立しており、本ラボはより汎用的な学習システムの構築を目的とする。100人以上の研究者が取り組む見込み^{*71}。
- ・米Googleは2017年12月、北京にAIセンター「the Google AI China Center」を設立。中国のトップエンジニアを雇用し、AI研究チームを構成する模様^{*72}。
- ・中国のアリババ・グループ・ホールディングは、AIやIoT、量子コンピューティング等の研究のために、全世界に7カ所の研究所を設置し、研究員を100人採用すると電子メールを通じて発表した。研究開発費を今後3年で150億ドル(約1兆6,900億円)とする^{*73}。
- ・韓国のサムスン電子が2017年の韓国ソウル、米シリコンバレーに続き、2018年5月に英ケンブリッジ、加トロント、露モスクワにAIセンターを設置、世界のAIの専門家を確保することによって、高度なAI研究者を2020年までに1,000人に拡大する計画^{*74}。

(2) 人材育成戦略

・先端人工知能学教育寄付講座

ディープラーニングを含む先端AI技術と、その理論基盤に関する体系的教育プログラムの構築・実施による人材育成を目的として、2016年6月、東京大学に開設された。2021年5月までの5年間の活動を予定している。トヨタ自動車、ドワンゴ、オムロン、パナソニック、野村総合研究所、DeNA、みずほフィナンシャルグループ、三菱重工業の計8社から合計9億円の寄付により実現した。約50人の大学院生に対して先端AI技術に関する高度な教育を行っている。

・AIを活用した素材開発

東レ、昭和電工、積水化学、富士フイルム、三井化学など素材大手が、東京大学や一般社団法人日本ディープラーニング協会と連携し、ビッグデータや機械学習を素材開発に活用できる人材の育成事業を始める。5年間で1,500人の育成を計画している。

※69 AIビジネス推進コンソーシアム<<http://Albpc.org/>>

※70 IBMニュースリリース<<https://www-03.ibm.com/press/jp/ja/pressrelease/53130.wss>>,IBM THINK Business<<https://www.ibm.com/think/jp-ja/watson/pressrelease/mit/>>

※71 アイティメディアリリース<<http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1707/13/news061.html>>,Microsoft Research AI<<https://www.microsoft.com/en-us/research/lab/microsoft-research-AI/>>

※72 Reuters Business News<<https://www.reuters.com/article/us-google-china/google-launching-artificial-intelligence-research-center-in-china-idUSKBN1E70A3>>,Google Careers<<https://careers.google.com/stories/opening-the-google-AI-center-in-china/>>

※73 Bloomberg News<<https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2017-10-11/OXN1C56S972901>>

※74 Samsung Newsroom<<https://news.samsung.com/global/samsung-opens-global-AI-centers-in-the-u-k-canada-and-russia>>

2.7.6 学び直し、リカレント教育

AI人材の不足を補うためには、既存の社会人のスキルチェンジも重要である。

(1) リカレント教育

経済産業省では、「人生100年時代の社会人基礎力」として、社会人が学び直しを通じたアップデートや新たなスキルの獲得を継続することが必要不可欠として、基礎能力(OS)を身につけつつ業界特性等に応じた能力(アプリ)を新規獲得及びアップデートしていく必要性を提言している(図2-7-4)。

■ 図2-7-4 「人生100年時代の社会人基礎力」を伸ばすためのリカレント教育

- ◎平成30年度に、中小企業が中核人材に①求める能力(キャリア・オーナーシップ、社会人基礎力)や②求めるスキル(専門スキル)に関する講座(コンテンツ)を、従業員の業務内容やステージ(役職)に応じて作成。
- ◎これまでの一方通行型の座学のみならず、Ed-Techを活用した多様な学びのスタイルで提供する。
- ◎加えて、受講前後のスキル診断と、受講後の反復学習を併せて行うことにより定着度を高めるとともに、各講座の受講履歴等を一元的に管理することで、理解度を可視化する。

| | 【コンテンツ(何を学ぶのか)】 | 【提供スタイル(どのように学ぶのか)】 |
|--------------|--|--|
| OS (能力) | 1. キャリア・オーナーシップ ○スキルの棚卸し・キャリアプランの見直し等 2. 社会人基礎力 ○問題解決型思考の獲得 ○リーダーシップの構築/自律性の獲得 (主体的な意思決定・行動)等 | 1. 双方向簡易型スタイル【ウェブ型】 ※時間がない社会人でも「すきま時間」を活用した学びが可能 ○受講時間：いつでも ○受講場所：どこでも ○受講方法：PC・スマホ・タブレット 2. 双方向ライブ配信スタイル【ライブ型】 ※オンライン機能を活用し、双方向型の学びが場所を選ばず可能 ○受講時間：ライブ日時は固定・録画はいつでも・どこからでも ○受講場所：どこでも ○受講方法：PC・スマホ・タブレット |
| アプリ (スキル) | 3. 専門スキル ○IT活用(リテラシー)講座 ○中小企業からのニーズの高い「営業・販売・サービス」や「生産現場」等に関するマネジメント講座等 | 3. ワークショップスタイル【対面型】 ※一度に集中して学ぶことが可能 ○受講時間：固定 ○受講場所：指定された教室等 ○受講方法：集合・座学 |

出典：経済産業省 我が国産業における人材力強化に向けた研究会「人生100年時代の社会人基礎力」と「リカレント教育」について

(2) 第四次産業革命スキル習得講座認定制度

経済産業省は2017年7月に「第四次産業革命スキル習得講座認定制度」を創設している。同制度は、IT・データを中心とした将来の成長が強く見込まれ、雇用創出に貢献する分野において、社会人が高度な専門性を身につけてキャリアアップを図る、専門的・実践的な教育訓練講座を経済産業大臣が認定する制度である。厚生労働省が定める一定の要件を満たし、厚生労働大臣の指定を受けたものは、「専門実践教育訓練給付」の対象となる。本制度で対象となる分野は、AI、IoT、データサイエンス、クラウドの他、セキュリティなども含む。表2-7-4に、AI・データサイエンス関連の認定講座を示す。

■表2-7-4 第四次産業革命スキル習得講座認定制度 認定講座一覧(AI・データサイエンス関連)

| AI関連(講座名は仮称を含む) | | |
|-----------------------|------------------------|---|
| 第一回 | 株式会社チェンジ | 「AI活用コンサルタント」育成トレーニング～Aler 育成プログラム～ |
| | 株式会社ウチダ人材開発センタ | AI活用講座 |
| | 日本マイクロソフト株式会社 | ディープラーニングハンズオンセミナー |
| | 株式会社富士通ラーニングメディア | Fujitsu Digital Business College/AI・データ分析を活用するイノベーター |
| 第二回 | 株式会社北海道ソフトウェア技術開発機構 | AIエンジニア講座 |
| | AI TOKYO LAB株式会社 | AIエンジニア講座 |
| | 学校法人金沢工業大学 | AIビジネスアドミニストレータ養成講座/AI技術アドミニストレータ養成講座/AIジェネラリスト養成講座/AIエヴァンジェリスト養成講座 |
| | エッジコンサルティング株式会社 | 機械学習講座 |
| | 株式会社エナジャイズ | デザインシンキング講座/AIエンジニア講座 |
| | 株式会社DIVE INTO CODE | エキスパートAIコース |
| | 学校法人先端教育機構 | AIエンジニア講座 |
| | トレノケート株式会社 | ディープラーニング ハンズオンセミナー |
| データサイエンス関連(講座名は仮称を含む) | | |
| 第一回 | 株式会社efftax | データ分析教育講座白・茶・黒帯編 |
| | 株式会社ブレインパッド | データサイエンティスト入門研修 |
| | 株式会社ブレインパッド | データサイエンティスト入門研修(アドバンスド) |
| | 株式会社アイ・ラーニング | データサイエンティスト育成講座 |
| | 株式会社チェンジ | データサイエンティスト養成コース |
| | 株式会社日立インフォメーションアカデミー | データ利活用技術者育成講座 |
| | フューチャー株式会社 | データサイエンティスト養成講座 |
| 第二回 | 一般財団法人リモート・センシング技術センター | リモートセンシングデータ解析技術者養成講座 |
| | 株式会社データミックス | データサイエンティスト育成コース パートタイムプログラム |
| | 一般財団法人日本海事協会 | 海事データサイエンティスト育成講座【機器計測データの解析】 |
| | 株式会社アルベルト | データサイエンティスト養成講座(R言語 上級編)/データサイエンティスト養成講座(Python 上級編) |

出典:経済産業省公表資料より

(3) AI即戦力人材育成講座「AIデータフロンティアコース」(NEDO、東京大学/大阪大学)

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は2017年下期にAI即戦力人材の育成を目的に「AIデータフロンティアコース」を開講した。同コースは、社会人技術者及び研究者を主な対象としており、2018年度から本格スタート、2019年度まで実施される。

本コースでは、講義でAI知識を体系的に習得するとともに、製造現場や顧客行動等の実社会における様々なデータセットを用いた演習を通じてデータの構築方法や解析手法など、半年間でAI技術を身につけることができる。

本コースの拠点は大阪大学と東京大学であるが、これらの拠点を中心に受講者参加型のシンポジウムやワークショップを開催することで、多方面の人材の交流を図るとともに、関連技術を含めたAI分野の新たな技術シーズの発掘や技術の応用・発展に資する取組みを行い、当該技術を担う人材が育つという「好循環」を事業終了後も継続的に形成することを目指している(表2-7-5)。

■表2-7-5 NEDO/AIデータフロンティアコース事業内容

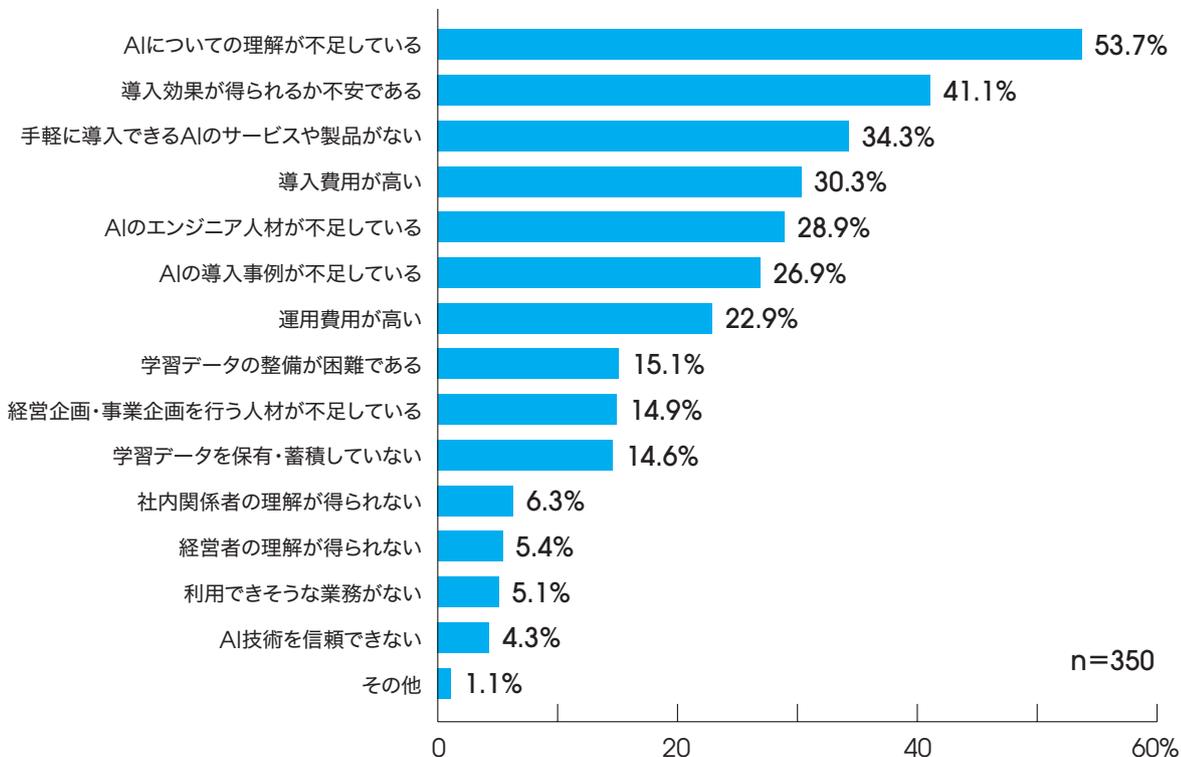
| 項目 | 概要 |
|----------|---|
| 人的交流等の展開 | コンピューターサイエンスの基礎学力テストと補習、AIに関するトップレベル講義、リアルコモンデータを扱う演習、演習終了時の能力評価を通じて、即戦力人材の育成を行う。 |
| 人材育成要請講座 | 人材育成拠点と受講者の所属企業、大学、関係機関等の人的交流を促進するため、受講者参加型のシンポジウムやワークショップを実施する。 |
| 周辺研究 | 効果的かつ継続的なAI人材育成を実施するため、実社会・実環境で収集し、教育目的において汎用的に活用できるデータセットの作成に取り組む。また、産業界のニーズを踏まえた最先端のAI知識と活用スキルを持つ人材を短期間で育成するための人材育成カリキュラムの開発も進める。 |

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)ニュースリリース「即戦力となるAI分野の人材を育成—NEDO特別講座を大阪大学と東京大学の2拠点で開講へ—」(2017年7月28日)に加筆

2.7.7 ユーザー企業のリテラシー

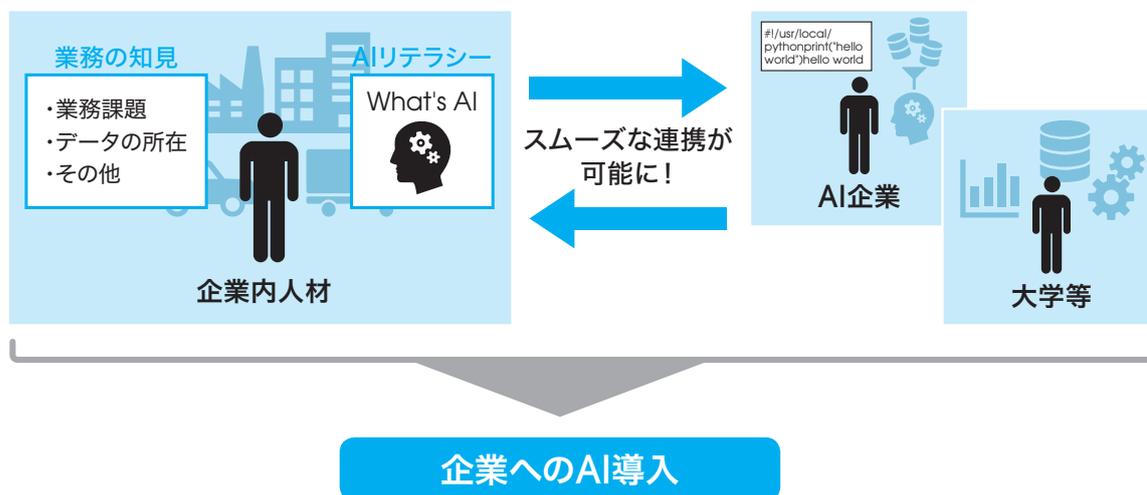
IPAが2017年度に実施したAI社会実装推進事業におけるアンケート調査では、ユーザー企業側の「AI導入検討上の課題」として「AIについての理解が不足している」が突出(図2-7-5)、AIベンダー側でも「ユーザー側のAIへの理解が不足している」が50%となっている。

■図2-7-5 ユーザー側におけるAI導入検討上の課題



製造業やサービス業などの一般企業がAIを導入する場合、必要なAI開発については専門企業への委託等に対応可能であるが、AIで解決可能な現場の課題を洗い出したり、データの有無の確認や収集・蓄積を行ったりすることは、当該産業の特性や社内業務を熟知している企業内人材が行うほうが効率的である。この企業内人材が、AI開発の委託・協業先の技術者とスムーズに取組みを進めるためには、AI専門用語やAI手法の概略などの「AIリテラシー」を身につける必要がある(図2-7-6)。

■ 図2-7-6 ユーザー企業内人材のAIリテラシーの必要性



しかしながら、社内業務を熟知している人材は企業内でも需要が高いため、AIリテラシーを身につけるための大学での学び直しやリカレント教育の時間確保は困難と想定される。大企業では社内に講師を呼んで研修を行うケースも見られるが、中堅中小企業においては容易ではない。平成30年6月に閣議決定された「統合イノベーション戦略」では、「AI技術」の目指すべき将来として「これからの「読み・書き・そろばん」であるAI技術を使いこなすITリテラシーを誰もが持ち、……」とあり、そのための初等中等教育でのITリテラシー教育が挙げられているが、現在のユーザー企業内人材のAIリテラシー習得も課題と想定される。

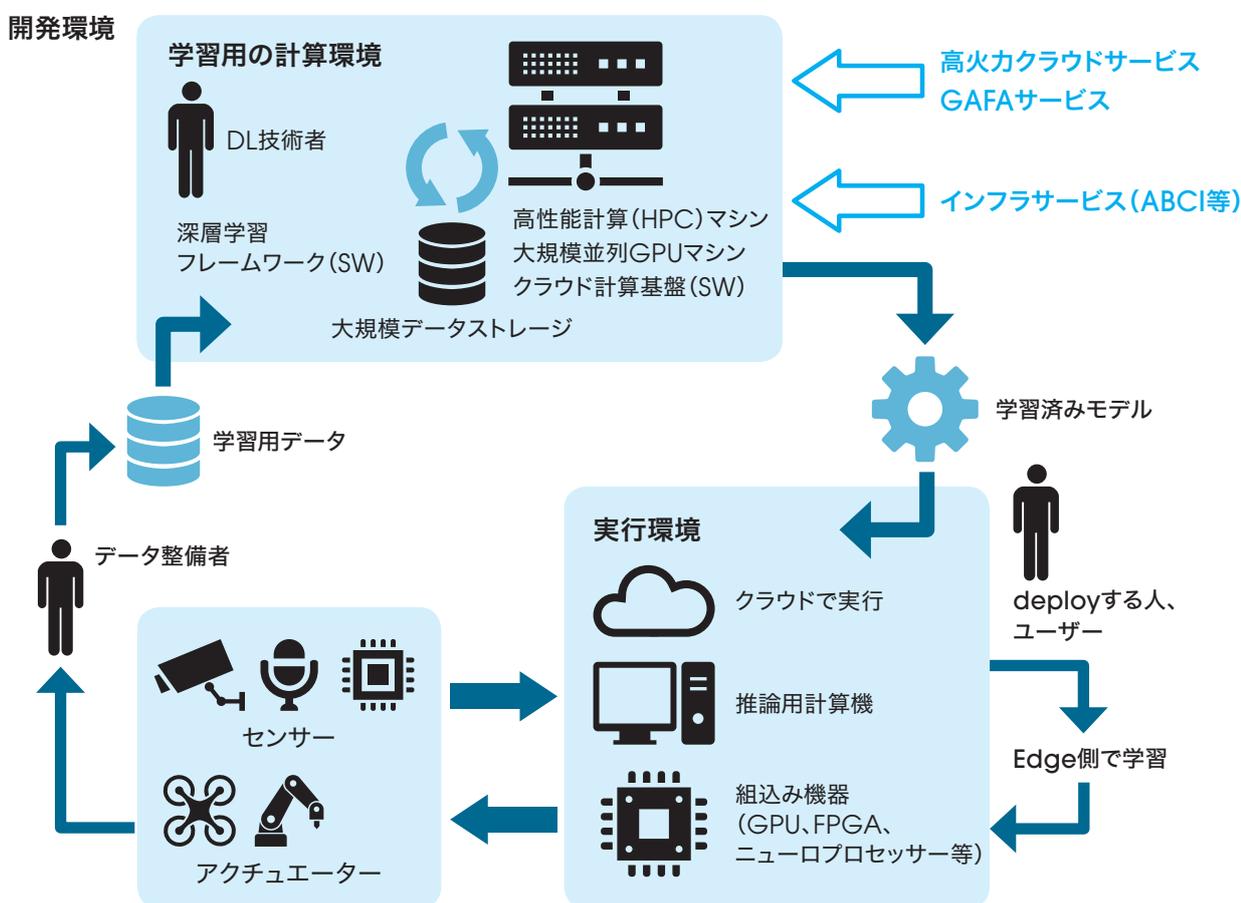
なお、一般社団法人日本ディープラーニング協会が実施するビジネスサイドのAI人材育成を目指す「G検定」(2.7.2参照)の合格者アンケートでは、「人工知能関連の知識を体系的に整理できた」、「AIベンダーやエンジニアとの会話が成り立つようになった」、「AI関連の製品や展示会の内容がわかるようになった」などの意見があったとのことであり、ユーザー企業内人材のAIリテラシー向上がAI導入推進につながることを期待される。2017年の合格者からは、実際に案件が立ち上げられた、ビジネスにつながったという声もあったという。ただし、「合格しても周囲でG検定を知っている人がいなかった」という意見も少なくないとのことであり、企業内人材の努力が適切に評価されるようAIに関する認定・検定制度の周知を図ることも必要と考えられる。

2.8 ▷ 開発基盤

AI、特にディープラーニング(深層学習)に代表される機械学習の利用においては、①データから学習によってモデルを作成するフェーズ、②学習後のモデルを用いて新たなデータに対し推論を行うフェーズに分けられる。学習フェーズでは、大量のデータをメモリにロードし、反復しながら精度を高めていく計算が必要であるため、膨大な計算能力が要求される^{*75}。一方、推論フェーズでは、個々の入力データに対し、比較的少数回の演算を行えば結果が得られることから、計算性能に対する要求は学習時ほど高くないが、データの入出力や格納、転送に関して高い能力が求められる。

以下ディープラーニングに関わる開発環境を中心に、インフラやハードウェアの開発状況について説明する。ディープラーニングの利用者は、上記①、②各々のフェーズに合わせて計算機資源や推論環境を切り替えながら開発を行う。図2-8-1は典型的な開発・利用の例である。

■図2-8-1 典型的なディープラーニングの開発・利用フロー



データ整備者は、センサーからのデータ、アクチュエーターのデータを集めて、整形やアノテーション(正解ラベルの付与)を行い「学習用データ」を作成する。ディープラーニング技術者は、「学習用データ」に対して、学習フレームワーク(SW)やクラウド計算基盤(SW)を利用して、分析しながら学習用のプログラムを作成する。プログラムが完成したら、GPU等の学習に適切なハードウェア資

*75 例えばAlphaGo(碁)においては、戦略決定用のCNNはパラメーター数は400万、畳み込みの足し算回数には14億回を要する。3,000万局面の学習を行うのに50GPUで3週間かかるとすると、CPU単独ならば300週(6年弱)はかかる計算になる。

源を潤沢に持ち並列計算に優れた高性能計算 (High Performance Computing ; HPC) マシンを利用して学習モデルを作成する。この高性能計算機は、ローカルに整備してもよいし、クラウドサービスを活用したり、外部のインフラサービスを活用するなど複数の選択肢がある。

「学習モデル」ができると、ローカルの実行環境にモデルの適用 (deploy) を行い、センサーデータを入力した推論を行って、結果を出力したり、アクチュエーターを操作するなどのアクションを行う。実行環境では、ローカルPCの利用、クラウド計算の活用などで推論を実行するが、組み込み機器に直接モデルを転送して、FPGA (Field Programmable Gate Array) やGPU (Graphics Processing Unit) を使って推論計算なども行う。また近年ではローカルの計算機環境の性能向上により、エッジ側で学習処理ができるようになる等の学習と実行を同一の環境で実行するような利用例もある。

学習フェーズにおいては高性能計算が必要であり、ディープラーニングと相性のよいGPUを用いたいわゆる高速計算が簡単に利用できるようになったことが、近年のディープラーニングの発展につながっている。一方、HPCにおいては我が国には長い研究開発の蓄積がある。AIの研究開発や実用化に際して、HPC技術ベースのクラウド的な共有計算環境を整備していくことが、我が国における新たなプレイヤーの参入ハードルを下げ、AIの今後の普及を支える基盤の一つとなる。

一方、推論時には、計算性能への要求よりもむしろ性能や性能/電力比への要求が高まる。特に、実用化の際には、推論の比重が高まる。そのため、クラウド・フォグ・エッジという階層構造の中で、エッジ側に近づくほど、低消費電力、低メモリ、短レイテンシーに対する要求が高まり、機械学習に特化したFPGAや専用チップの開発が有利になる可能性がある。

本節では、ディープラーニングで要求される演算の基本と、HPCによる並列化とその課題について紹介し (2.8.1 (1))、GPUに代表されるディープラーニング向けのプロセッサ技術の動向 (2.8.1 (2))、学習時での高性能計算機インフラストラクチャーと、国レベルで本格的に実施する計算のための大規模環境の整備の動向として、産業技術総合研究所 (AIST) の「AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)」を紹介する (2.8.2)。そして、推論用、特にエッジ向けのFPGA、システムオンチップ (SoC) などの最新動向を紹介し (2.8.3)、最後に新世代のAIインフラストラクチャーとして、従来のノイマン型コンピューターと異なる計算原理である非ノイマン型コンピューターや、デジタル計算ではなくアナログ計算可能なデバイスを利用するニューロモーフィックコンピューティング、量子計算等の発展について紹介する (2.8.4)。

2.8.1 基本原理

(1) ディープラーニングで要求される演算の基本

ディープラーニングの学習・推論に使われる演算のうち代表的なものとして、フィードフォワード (feed forward) 計算 (前向き計算) とバックプロパゲーション (back propagation) 計算 (後ろ向き計算) のそれぞれについて示す。

①フィードフォワード計算 (前向き計算)

1) 全結合層

全結合層は各ニューロンが前のレイヤーのすべてのニューロンに独立したシナプスで接続されているレイヤーである。全結合層のフィードフォワード計算は本質的に行列(パラメーター・重み)、ベクトル(活性)積である。この計算を効率的に行うためには、複数のサンプルに関する活性ベクトルを行方向に連結して行列、行列積として計算する方法が広く用いられており、この計算は線形代数演算のAPIであるBasic Linear Algebra Subprograms (BLAS)のGeneral Matrix Multiply (GEMM)カーネルを用いて行われることが一般的である。

2) 畳み込み層

畳み込み層は各ニューロンが前のレイヤーの近傍とパラメーターを共通するシナプスで接続されているレイヤーであり、主に画像処理(2次元)で用いられる。畳み込み層はレイヤーの境界の扱いやフィルターのスライド幅(stride)に関して様々な変種が存在する。畳み込み層のフィードフォワード計算に関しては計算内容を変えない範囲で様々な計算アルゴリズムが存在する。

● GEMMを用いる手法：

パラメーターと前のレイヤーの活性の畳み込みをベクトル同士の内積と解釈することでGEMMを用いて畳み込みを行うことができる。行列積計算を行うためには活性を行列の形状にコピーする必要があるが、十分に大きい行列サイズの場合はGEMMの実行時間が支配的となる。一方でこの行列は重複する値を多数含むため、メモリを圧迫する可能性がある。この手法ではよく最適化されたBLAS実装を用いることで高効率な計算を行うことができる。

● WinogradのMinimal filtering algorithm：

Minimal filtering algorithm[1][2]は、入力サイズ・畳み込みサイズによって定まる定数行列を用いて適切に加減乗除を行うことにより乗算回数を入力サイズとフィルターサイズの和に比例する計算量で1次元の畳み込みを行うアルゴリズムであり、これを2次元に拡張することでナイーブな実装と比較して少ない乗算回数で畳み込み層の計算を行うことができる。このアルゴリズムは十分に大きいフィルターサイズが必要なFFT (Fast Fourier Transform)と比較してフィルターサイズが小さい場合に特に有効である。

● FFTを用いる方法：

2つの関数 f 、 g について、フーリエ変換を F とすれば $F(f * g) = F(f) F(g)$ が成り立つ(ただし $f * g$ は2関数の畳み込み)。よって畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network; CNN)の畳み込みについても入力とフィルタを離散フーリエ変換し、積を逆変換することで畳み込みを行うことができる。

● cuDNNのアルゴリズム：

米国NVIDIAが開発するディープラーニング向けライブラリであるcuDNN^{*76}では前述のアルゴリズムを含めた複数の畳み込みアルゴリズムが実装されており、ユーザーが選択できるようになっている。これにより、ユーザーが(多大なメモリを使用する)GEMMによるアルゴリズムよりも高速かつ使用メモリ量が小さいアルゴリズムを使用できる余地があるとしている。

*76 GPUに特化したプログラミング言語であるCUDA (Compute Unified Device Architecture)を用いて書かれた深層ニューラルネットワーク (Deep Neural Network; DNN)用のライブラリ。

②バックプロパゲーション計算(後ろ向き計算)

ディープラーニングは与えられたデータセットに対して深層ニューラルネットワーク (Deep Neural Network; DNN) のパラメーターを最適化する最適化問題に帰着される。パラメーターの最適化には確率的勾配降下法 (Stochastic Gradient Descent; SGD) が最も広く用いられる。(図2-8-2参照)

SGDではパラメーターの更新ごとにランダムに選択された少数個のデータを用いるため1回の更新当たりの計算量を低く抑えることが可能である。大規模なデータを学習(特に教師あり学習)する場合には、SGDの利用が標準的である。一方、バッチ(データセット全体)を使った最急降下法では1回反復に必要な計算量が多大となり大規模データの学習には現実的ではない。よってSGDを用いることでほどよい反復当たりの計算量と収束性で学習を行うことができる。

バックプロパゲーションとはDNNの出力に対する誤差を出力レイヤーから順にフィードフォワードとは逆方向に伝播させることで各パラメーターに対するコスト関数の勾配を計算する手法である。

■ 図2-8-2 DNNのパラメーターの最適化に用いられる確率的勾配降下法(SGD)

*DNNのパラメーター θ を最適化する最適化問題

$$\theta^* = \operatorname{argmin}_{\theta} \sum_{i \in D} E_{\theta}(z^i, t^i)$$

ただし $D = \{(z^i, t^i)\}$ はデータセット(データ z^i とラベル t^i の組の集合)、 E_{θ} はコスト関数であり、DNNの出力 $DNN_{\theta}(z^i)$ とラベル t^i の何らかの距離として定義される。

*パラメーターの最適化に用いられる確率的勾配降下法SGDの反復式

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \eta \sum_{i \in M^{(t)}} \frac{\partial E_{\theta}(z^i, t^i)}{\partial \theta}$$

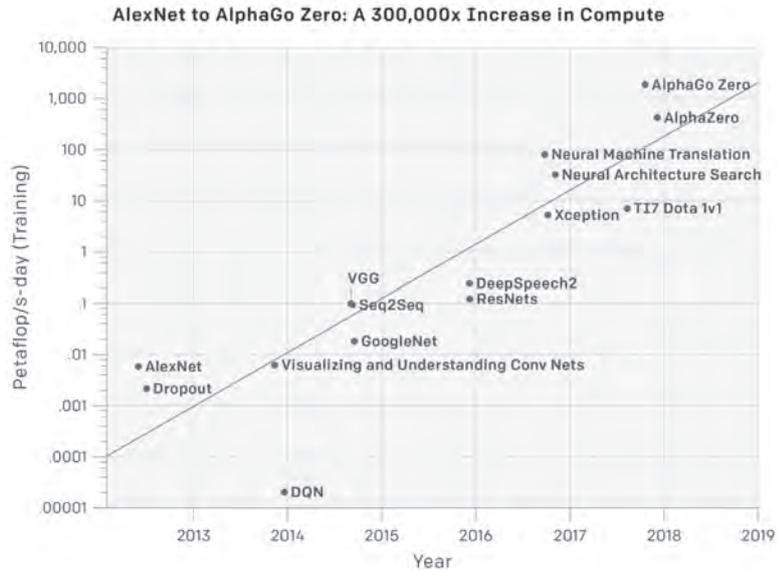
ただし $M^{(t)}$ はステップ目でデータセットからランダムに選択された部分集合(ミニバッチ)、 $\eta > 0$ は学習係数である。

③並列化

1) 大規模システムの背景と並列化

ディープラーニング用の計算需要の増加は、3.5カ月ごとに倍増している(図2-8-3)ともいわれている。また、ビッグデータ処理能力の大幅な増加も予想され、何ペタバイトにも上るデータを扱う必要がある。

■ 図2-8-3 急増するディープラーニングの計算需要



出典: "AI and Compute" OpenAI blog

すでにGPUの採用が進んでいるが、総合的に鑑みればハードウェアアーキテクチャーとして最適であるものは、現代の超並列アーキテクチャー型のスーパーコンピューターである。世界の上位ランクのトップスーパーコンピューターは、数千～数万個のマルチコアやメニーコア型のプロセッサを数十～数百ビット/秒の超高速ネットワークで密結合し、さらにテラバイト/秒の超高性能のI/Oを備えており、このようなシステムを用いた計算はHPCと呼ばれる。

HPCにおける速度向上のテクノロジーの最も基本となるのは処理の並列化にあるが、ディープラーニングでは学習の大規模化に伴い、学習の演算自体ではなく、途中経過である学習パラメーターの勾配情報等の通信処理が全体の実行時間の過半を占めるようになり、これらへの対策も検討されている。例えば、SqueezeNet^{*77}のようにネットワーク中のフィルターやそこに通すチャンネル数(色数)を削減することで演算数を削減する試みや、半精度浮動小数点数やブール値を含む低精度演算を用いることで、演算・メモリ使用量・通信量を大幅に削減する手法などである。

2) ディープラーニングの大規模並列化とその課題

スーパーコンピューター技術を利用した様々な形態の並列化が試みられている。

第一の並列化は、プロセッサ内部の並列化である。HPCの分野では並列化・高性能化の研究や実装が長年行われてきた分野であるが、いくつか深層学習に特化するべき部分がある。例えばCNNの行列演算では多くのHPCアプリケーションの場合と異なり、幅が狭く長さが長い密行列演算が畳み込み演算時に頻出し、その効率の良い並列演算アルゴリズムが開発競争の最先端となっている。

次に、プロセッサあるいは計算ノードをまたぐディープラーニングの分散並列化手法は、主に「データ並列」と「モデル並列」に分類される。ここでの「データ」とはデータセットに含まれるサンプル(例: 画像認識タスクにおける画像)やそれらを処理することによって得られるデータ(例: feed forward計算で生じる活性化等)のことを表し、「モデル」とはDNNそのものを表す。

*77 "SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size", F.N. Iandola, et.al <<https://arxiv.org/abs/1602.07360>>

- データ並列：

複数の計算機が同一のDNNのパラメーターを持ち、異なるデータについて並列に計算を行う手法。DNNのパラメーターを同期するための通信が必要となる。

- モデル並列：

複数の計算機が同一のデータを分割して持ち、異なるモデルの箇所について並列に計算を行う手法。高頻度な通信が必要となるが、計算機同士でDNNのパラメーターを重複して持つ必要がないため、パラメーター数が大きく単一の計算機のメモリに入らない場合にも有効である。

データ並列とモデル並列のどちらがより有効であるかどうかはDNNの構造により異なる。一般に、畳み込みレイヤーはパラメーター数が小さいためデータ並列が適しているのに対し、全結合レイヤーはパラメーター数が大きいいためモデル並列が適しているといわれる。また、GPUクラスタ（スーパーコンピューター）で学習を行う場合は、GPU内では多数の内蔵コアを用いてモデル並列を利用し、GPU間では後述する集団通信等を用いたデータ並列を用いるなど、これら2つの手法を併用することが一般的である。

これらの並列化手法を応用した学習手法としては、GoogleのDist Belief、MicrosoftのProject Adamが採用した「パラメーターサーバー」や、BaiduのDeep ImageやDeep Speech、MicrosoftのCNTKで採用された「集団通信による手法」などがある。

3) 超並列化に向けた課題

ディープラーニングにおいて超並列化を阻害する一番の原因は確率的勾配降下 (SGD) が逐次的な計算と更新を必要とする点である。これにより、同期学習での並列数は (ミニバッチサイズ) × (モデルの分割数) 以下に制限される。さらにデータ並列、モデル並列、非同期学習 (パラメーターサーバーを含む) のいずれの並列数を増加させる場合でも以下のような問題が発生する。

- データ並列：

多大なミニバッチサイズを用いる場合、収束性及び収束後の推論性能が悪化する

- モデル並列：

レイヤーごとに全対全通信が必要となるので、通信時間の増加が課題となる。

- 非同期学習：

非同期学習ではコスト関数の勾配の計算途中でパラメーターが更新されてしまい、勾配が古くなる staleness と呼ばれる現象が発生し、収束性能が悪化する。

一方、ディープラーニングの高速化を考えるうえで重要なことは、ディープラーニングでは厳密・高精度な計算は必ずしも必要とされないという点である。例として非同期学習は厳密には同期学習とは計算内容が異なるものの、特定の条件では同期学習と遜色ない学習がより高速に行えることが報告されている。また、計算精度を単精度よりも低い精度で行う試みも盛んに行われている。性能の指標としても、従来の計算性能 (1 エポック^{※78}の学習を行うために必要な計算時間; time-to-epoch) と同時に学習性能 (十分な条件に収束するために必要なエポック; epoch-to-convergence) の両者を同時に考慮する必要がある。

※78 データセット全体を使った1回分の学習のこと。

(2) ディープラーニング向けプロセッサ技術の動向

ディープラーニングの学習・推論に使われる計算のうち代表的なものとして、フィードフォワード計算とバックプロパゲーション計算がある(2.8.1項参照)。これらの計算においては、大量のデータ列に対する積和演算などに要する計算量が支配的であり、ディープラーニング向けプロセッサはこうした計算を高速実行することを意図した設計がなされている。

①ディープラーニング向けGPU

グラフィックス処理においては、ピクセル値などの大量のデータ列・パラメーターに対して同一の計算を適用することが多く、グラフィックス処理用のプロセッサとして開発されたGPU(Graphic Processing Unit)はこうした計算の実現に特化した設計となっている。画面中のたくさんの頂点に対する座標変換や、ポリゴンへのテクスチャマッピングを高速処理するためにSIMD(Single Instruction Multiple Data)並列計算する機能を備えている。General-Purpose computing on GPU(GPGPU)は、かつてのFPUと同様、こうしたGPUを汎用の拡張計算機能として利用するためのプログラミング環境であり、NVIDIAのCUDA(Compute Unified Device Architecture)、AMD(米国)のAMD Stream、クロノス・グループによる標準規格OpenCL(Open Computing Language)などが広く知られている。GPUは、頂点の座標変換のための積和演算が得意な構造をしている。すなわち、条件分岐が混ざらない低精度の浮動小数点演算でよい性能を上げる。前述のとおり、低精度の積和演算は、ニューラルネットワークの主要な演算であるため、ニューラルネットワークシミュレーションの高速化にも大きな効果を発揮する。

具体的には、数千個の演算コア(CUDAコア、またはストリーミングプロセッサなどとも呼ばれる)と広帯域メモリをパッケージ化することで、SIMD的な処理の性能を追求する一方、仮想メモリの実現や複雑な分岐処理などの性能は犠牲にしている。これらの工夫により、大量のデータに対して同一の演算を行う並列性の高い処理については同時代のCPUの5～10倍の性能を示す。

ディープラーニング向けのGPUとしては、すでにデファクトとしての地位を確立したNVIDIAのTeslaのほか、AMDのRadeon Instinctがある(表2-8-1)。

■表2-8-1 ディープラーニング向けGPUのスペック

| メーカー | NVIDIA | | AMD |
|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 製品名 | Tesla P100 for NVLink | Tesla V100 for NVLink | Radeon Instinct MI25 |
| FP16 / FP32 混合 | | 125 TFLOPS | |
| FP16 | 21.2 TFLOPS | | 24.6 TFLOPS |
| FP32 | 10.6 TFLOPS | 15.7 TFLOPS | 12.3 TFLOPS |
| FP64 | 5.2 TFLOPS | 7.8 TFLOPS | 0.8 TFLOPS |
| HBM2 容量 | 16 GB | 16 GB / 32 GB | 16 GB |
| HBM2 帯域 | 732 GB/s | 900 GB/s | 484 GB/s |
| 演算コア数 | 3,584 | 5,120 | 4,096 |
| マイクロアーキテクチャ | Pascal | Volta | VEGA |

出典:各種公開資料より作成

NVIDIAは、ディープラーニング向けの大型のGPUとして2016年4月にTesla P100、2017年5月にTesla V100をそれぞれ発表した。Tesla P100(Pascalマイクロアーキテクチャー採用)では、従来の演算ユニットであるCUDAコアをディープラーニング用途に利用する。つまり、FP32(単精度、32ビット)の積和演算を学習に、FP16(半精度、16ビット)の積和演算を推論に利用することを想定している。Tesla V100(Voltaマイクロアーキテクチャー採用)では、従来のCUDAコアの他に、ディープラーニングの学習と推論の両方に対応したTensorコアと呼ばれる新しい積和演算ユニットを640基搭載する。Tensorコアは、4x4行列A、B、Cを入力として $A \times B + C$ のテンソル計算を1サイクルで行う(A、BはFP16、C及び計算結果はFP32となる混合精度)。Tensorコアは、125 TFLOPSと従来のCUDAコアよりも一桁近く高いピーク性能を持ち、このTensorコアを有効活用したアプリケーションの開発が今後の課題となる。

NVIDIA Tesla P100/V100のもう一つの特徴は、GPU間的高速通信を実現するNVLinkと呼ばれる高速インターフェースを装備していることである。それまでのGPUでは、GPU間の転送速度はPCIバスに律速され、32GB/secが上限であったのに対し、Tesla P100では双方向160GB/sec、V100で双方向300GB/secの転送が行えるようになった。NVLinkは、ディープラーニングの計算処理を、計算サーバーに搭載した複数のGPUで並列化して高速実行可能にした。また、NVIDIAはNVLinkで結合されたTesla P100/V100を8基搭載したディープラーニング専用サーバーDGX-1、Tesla V100を16基搭載したDGX-2を開発し、多くの人工知能技術の研究開発の現場で小中規模の学習プラットフォームとして用いられている。

一方、NVIDIAは、リアルタイム推論用途に特化したGPUもシリーズ化している。2016年9月にはPascalマイクロアーキテクチャーをベースとしたTesla P4、2018年10月にはVoltaマイクロアーキテクチャーの後継となるTuringマイクロアーキテクチャーをベースとしたTesla T4をそれぞれ発表している。Turingマイクロアーキテクチャーの特長の一つはTensorコアを拡張した多精度Tensorコアの採用であり、INT4(整数、4ビット)、INT8(整数、8ビット)の積和演算の高速化が図られている。これにより、INT8精度ではTesla T4はP4の6倍近い性能を示す。これらの製品は、Tesla P100/V100の4分の1、75Wの低消費電力で駆動するため、データセンターにおけるスケールアウト構成にも適している。

AMDは、ディープラーニング向けGPUとしては後発だが、2017年にRadeon VegaシリーズのGPUとしてRadeon Instinct GPUシリーズを発表した。このうち、学習向けの製品であるMI25はFP32で12.3 TFLOPS、FP16で24.6 TFLOPSと、TeslaシリーズのCUDAコア性能と同等の性能となっている。

開発環境の点では、従来GPUで動作するプログラムを作成するには、CUDAやAMD Stream、OpenCLなどGPUに特化した開発環境を用いる必要があった。しかし、近年ではGPUに最適化された各種ライブラリの充実や、既存プログラムに「ディレクティブ」と呼ばれる記述を付加するだけでGPU用のコード生成を行うOpenACC(Open Accelerators)の導入により、習得コストの低いプログラミング言語・方式で、GPUが実用可能となっている。

②その他ディープラーニング向けプロセッサ

Intel(米国)は、HPC向けに高性能メニーコアプロセッサであるXeon Phi Processorシリーズを数年来開発している。2016年に発売された72X0(Knights Landing、KNL)プロセッサは、米国エネルギー省Sandia国立研究所のTrinityや同Lawrence Berkeley国立研究所

のCori、我が国では東京大学OakForest-PACSなどに採用されている。2017年に発売された72X5 (Knights Mill、KNM) プロセッサは、KNLをベースに作られたディープラーニング向け高性能メニーコアプロセッサである。KNMは、KNLのFP64 (倍精度、64ビット) の演算パイプラインを半分の1本、FP32の演算パイプラインを2倍の4本、さらにVNNIパイプラインを4本新設したものである。VNNIはINT16 (16ビット整数) とINT32 (32ビット整数) の混合精度の演算を行うもので、Tensorコアなどがサポートする仮数部を表現するビット数に制限があるFP16/FP32の混合精度演算に比べて、より高い学習性能が得られるとIntelは主張している。

また、Intelは、2016年にNervana Systems (米国) を4億ドルで買収し、開発されていたディープラーニング専用チップを製品ラインアップに加えている。その第1弾であるLake Crestは2017年に特定顧客向けにサンプル出荷され、ソフトウェアスタックを含めた評価が行われているという。2019年末までにはその後継として開発しているSpring CrestをNervana NNP-L1000という製品名で製品化するとしている。

日本では富士通が、ディープラーニング専用プロセッサであるDeep Learning Unit (DLU) を開発している。DLUは、ディープラーニングの計算に適した演算精度DL-INTを導入すること、ディープラーニングに必要な機能に絞ってマイクロアーキテクチャーを簡素化すること、複数のDLUを接続するためのインターコネクトとしてTofuを応用したネットワークを採用することなどが特徴であるとされる。第1世代のDLUについては、2019年3月までのリリースを目標としているとのこと。

Googleは、自社サービスで利用することを目的として2015年にTensor Processing Unit (TPU) v1、2017年にTPU v2、2018年にTPU v3を開発し、導入を進めている。TPU v1はINT8 (8ビット整数) の積和演算器をシストリックアレイ状に256×256基搭載した推論専用のプロセッサであり、検索のランキング、音声認識、テキストやスピーチの翻訳、写真の検索などのWebサービスに利用されている。

TPU v2は、v1で課題となっていた外部メモリからのデータ呼び出しのバンド幅を改善するため16GBの広帯域メモリを搭載した。また、Google独自のBrain Floating Formatと呼ばれる16ビット浮動小数点数形式 (bfloat16) による128×128シストリックアレイを2基搭載しており、推論だけでなく学習も実行できるプロセッサとなっている。bfloat16は、同じ16ビットの浮動小数点数形式FP16が指数部に5ビット、仮数部に10ビット割り当てているのに対し、指数部に8ビット、仮数部に7ビット割り当てており、FP16に比べると数値の精度は低いが、数値の範囲は広いという設計となっている。TPU v2の性能は単体で180 TFLOPS、TPU Podと呼ばれる4ラック構成、64基のTPU v2を搭載した機械学習向けスーパーコンピューターで11.5 PFLOPSに達する。2018年に発表されたTPU v3の詳細は明らかになっていないが、液冷システムを導入することで実装密度を2倍とすることを可能にした結果、8ラック構成、256基のTPU v3を搭載したTPU Podで100 PFLOPSの性能を実現するという。

2.8.2 クラウド側基盤 (ディープラーニング向け計算インフラストラクチャーの動向、ABCI)

(1) ディープラーニング向け計算インフラストラクチャーの動向

ディープラーニング向け計算インフラストラクチャーの整備は、民間のメジャーなクラウドベンダーが先行している。特に米国や中国において、GPUや高速ネットワークなどのスーパーコンピューター由来の技術を取り入れたAI向けのクラウド型計算インフラストラクチャーを急速に拡充している。一方、公的なスーパーコンピューター側も従来のシミュレーション利用一辺倒から、データ解析やAIに少しずつ主軸を移し始めている。しかしながら、GPUや汎用のメニーコアで構成されたマシンはデータ解析やAI利用への対応が進んでいるが、専用プロセッサで構成されたマシンではハードルがまだまだ高い。これらが公的なディープラーニング中心のAI研究における阻害要因となっている。

HPCにおいては、1,000万プロセッサコア数を超える世界のトップランクの公的なスーパーコンピュータがシミュレーション研究等に供されているのに対して、AI向けにおいては、民間のインフラストラクチャーのほうが豊富であり、広範に利用されている。しかしながら、後者の利用コストは非常に高く、裾野の広い研究の阻害要因となっている。2017年3月現在、Google、AmazonなどのGPUの計算ノードのTFLOPS当たりの単価は月額2万円以上と高額であり、そのほかの付加コストも相まって我が国の情報基盤センター等の同様の単価と比較すると数倍のコストがかかる。つまり、現在のAI研究においては、基礎研究の段階でさえ民間の計算インフラストラクチャーを使う必要があり、競争力のある研究を行おうとすれば数千万円単位のコストがかかる状況にある。その一方で、欧米の公的スーパーコンピュータ全般の利用権や、日本でもHPCI (High Performance Computing Infrastructure) などの全国組織から割り当てられるスーパーコンピュータの利用権は、審査ベースで割り当てられており、基本的には無料で利用できる状況にある海外と比較すると、AI研究の置かれている研究環境は極めて貧弱と言うほかない。特に大規模な計算インフラストラクチャーを自前で保有し、競争力のある研究が行えているGoogleやBaiduなどの附属研究所は、AIや機械学習などの国際会議やジャーナルに多くの研究成果を発表している。計算インフラストラクチャーのアクセシビリティが彼我の差を生んでいると言っても過言ではない。

このような状況を打開するために、公的なインフラストラクチャーの整備も行われ始めている。特に、我が国では、表2-8-2に示すとおり、国立のAIの3つのセンターやその協力機関などにおいて、AI向けの公的な計算インフラストラクチャーの整備が急ピッチで進んでいる。

■表2-8-2 我が国のAI専用・AI向け公的インフラストラクチャー

| 導入年月 | システム名 | システム概要 | 理論性能値 (深層学習向け精度) | 研究機関 |
|----------|-------------------------------|---|---------------------|--|
| 2017年4月 | AAIC (AIST AI Cloud) | NVIDIA Pascal P100 × 8 GPUサーバー × 50台 | 8.4 PFLOPS | 産業技術総合研究所 AI 研究センター (AIST-AIRC) |
| 2017年4月 | ディープラーニング解析 システム | NVIDIA DGX-1 (Pascal P100 × 8 GPU サーバー) × 25台 | 4 PFLOPS以上 | 理化学研究所 革新知能統合研究センター (Riken AIP) |
| 2017年8月 | TSUBAME3.0+2.5+KFC (HPC共用) | NVIDIA Pascal P100 x 2160 + K20X × 4080 × K80 × 168 | 65.8 PFLOPS | 東京工業大学 学術国際情報センター (Tokyo Tech. GSIC) |
| 2018年6月 | ABCI (AI 橋渡しクラウド) | NVIDIA Tesla V100 × 4GPU サーバー × 1088 基 | 550 PFLOPS | 産業技術総合研究所 |
| 参考 2017年 | 高火力コンピューティング | NVIDIA TitanX + Pascal P100 | 不明 | さくらインターネット |

残念ながら、現状では表2-8-2に掲載した以外では、公的なスーパーコンピュータセンターにおいては、新規の設計・調達に2カ年近い時間がかかり、かつ既存のユーザーベースをないがしろにすることも困難であるため、HPCとデータサイエンスが両立するような戦略を長期にわたって積み上げてきた東京工業大学学術国際情報センター (GSIC) を例外として、即時の対応は困難である。また、民間のクラウドベンダーにおいても、機械学習に供する大規模な計算インフラストラクチャーを実現するには実質的にスーパーコンピュータをIDCに導入する必要があり、電源供給・冷却・ネットワークの高密度実装、さらには運用面における対応が大変困難である。例えば、AI・

ビッグデータ指向のスーパーコンピューターである東京工業大学TSUBAME3.0では、1ラック当たりの熱密度が最大61kW、国立研究開発法人 産業技術総合研究所(以降、産総研という)のAI橋渡しクラウドでは最大67.33kWであるが、これは一般IDCのラック当たりの熱密度3~6kWと比較すると10~20倍にも相当し、このような計算インフラストラクチャーを通常のIDCに入れるのは困難である。

産総研のAI橋渡しクラウド(AI Bridging Cloud Infrastructure; ABCI)のミッションの一つは、こうした事態を打開することにある。ABCIの目標としては、①我が国に米国の民間クラウドベンダーにも匹敵するような550PFLOPS以上の、ディープラーニングを中心とした人工知能処理向けの大規模かつ超省電力な計算インフラストラクチャーを整備し、官民のAI研究者に提供すること、②そのような計算インフラストラクチャーの構築・運用のシステム技術を研究開発すること、③その計算インフラストラクチャー技術を迅速かつ継続的に民間移転し、我が国のAI技術の全般的な研究開発のハブとして機能すること、などである。東京大学柏IIキャンパスに新たなAI向けのデータセンターを構築し、日本の民間IDCのAI施設導入の模範的なショールームとする取組みを進めている。

米国でも、各研究機関と民間クラウドベンダーとの協業も進む一方、国立科学財団(National Science Foundation; NSF)、エネルギー省(Department of Energy; DoE)などがAI・ビッグデータ指向のインフラストラクチャーの整備を進めている。オークリッジ国立研究所(Oak Ridge National Laboratory; ORNL)のSummit、ローレンス・リバモア国立研究所(Lawrence Livermore National Laboratory; LLNL)のSierraはともにABCIとほぼ同時期、2018年に運用を開始している。

(2) ABCI

AI橋渡しクラウド(以降、ABCIという)は、人工知能に関する「グローバル研究拠点整備事業」の一環として、東京大学柏IIキャンパス(千葉県柏市)の産総研柏サイトに新たに建設されたAIデータセンター棟[3]に導入された、AI・ビッグデータ処理向けの大規模かつ省電力な計算インフラストラクチャーである。ABCIの実効性能・省電力性能の高さは、HPLベンチマークの結果が示している。2018年6月のTOP500 List[4]において19.9 PFLOPSを記録し、世界5位かつ国内最高性能となった。また、電力最適化を行っていない段階ではあるものの12.054 GFLOPS/Wを記録し、Green500 List[5]の世界8位となった。2018年8月より本格運用を開始している。

ABCIは、我が国の人工知能技術開発のためのオープンなリーディングインフラストラクチャーとして、人工知能分野の最重要課題への挑戦。特に画像認識、音声認識、自然言語処理、種々の機械学習アルゴリズムやデータモデルの高度化、自動車/ロボットの自動運転/制御、創薬向け化合物推定、音声対話、自動翻訳等、幅広い分野での新たなアプリケーションの創出や、これらを支えるクラウド型計算システムの設計・運用ノウハウの民間への技術移転等、人工知能技術の社会実装の推進を目的としている。

① ABCIシステム

ABCIの外観を図2-8-4に示す。ABCIは、AIデータセンター棟が提供する電源、冷却システム、48Uラックを用いて導入された。

■ 図2-8-4 ABCIシステム外観

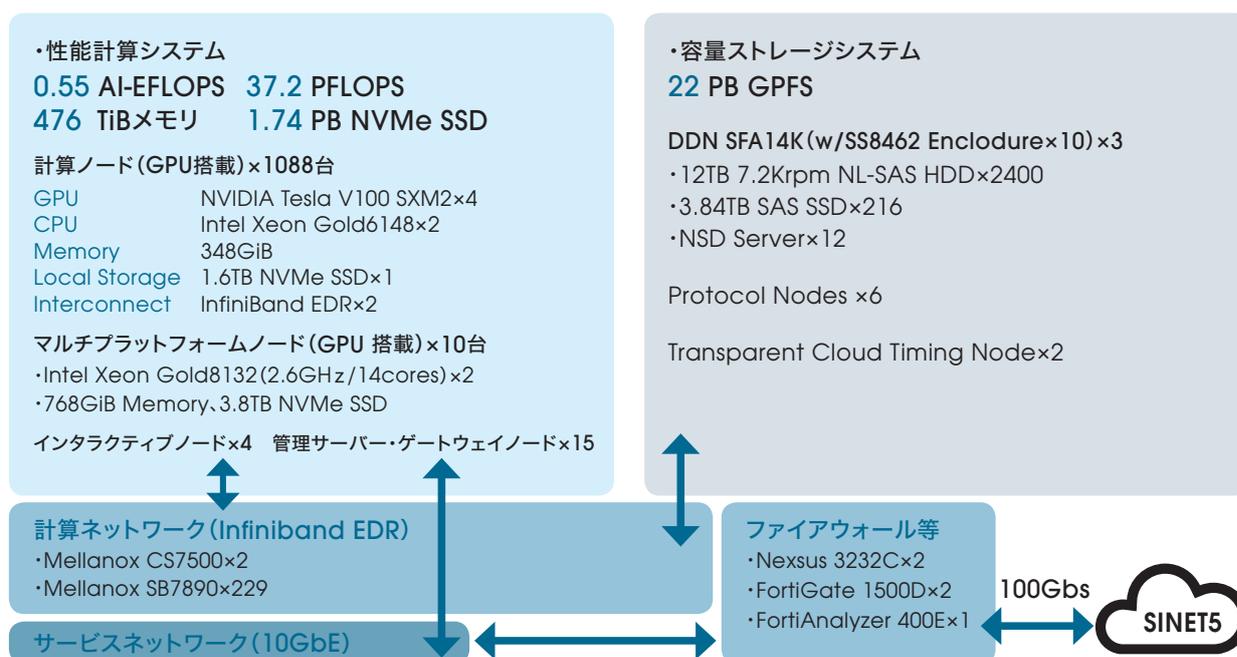


提供：産業技術総合研究所

ABCIシステムは、高性能計算システム、大容量ストレージシステム、計算ネットワーク、サービスネットワーク、管理ネットワーク、それらの補助的機器から構成されるハードウェアと、システムを最大限活用するためのソフトウェア群からなる。ハードウェアの概要を図2-8-5に示す。

計算ネットワークは、高性能計算システム及び大容量ストレージシステムを相互に接続する。サービスネットワークは、高性能計算システム及び大容量ストレージシステムの外部アクセスを必要とする機器群を接続するとともに、SINET5 100Gbpsに接続する。管理ネットワークは、各機器を管理・運用の用途のため接続する。

■ 図2-8-5 ABCIハードウェア構成



出典：産業技術総合研究所作成

以下、主要な構成要素である高性能計算システムと大容量ストレージシステムについて述べる。

② 高性能計算システム

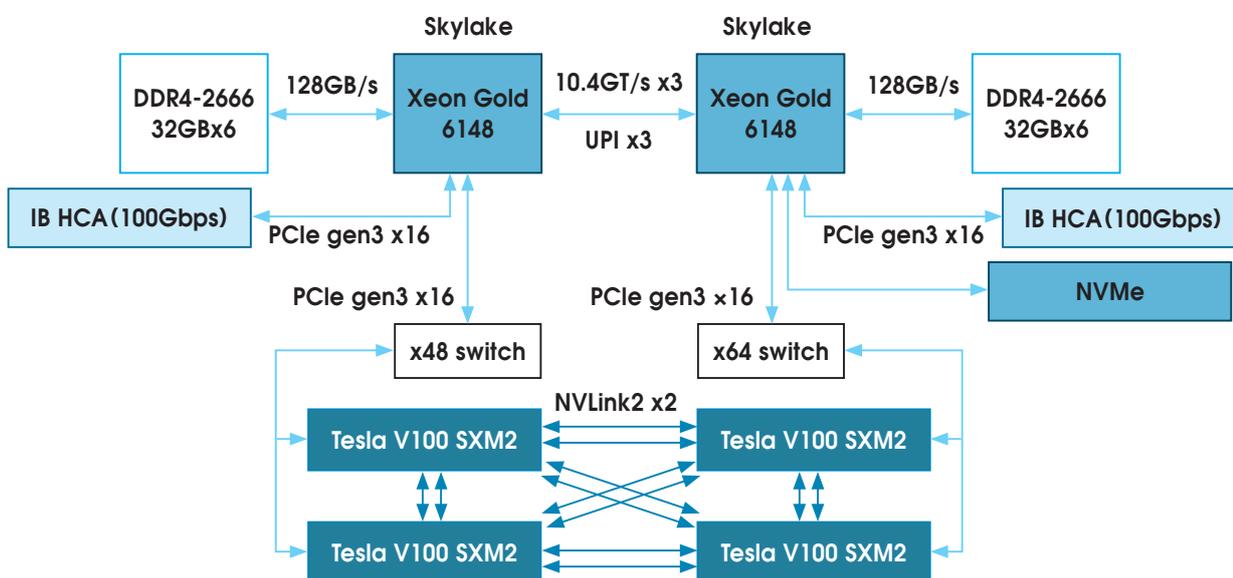
高性能計算システムは、計算ノード1,088台、マルチプラットフォームノード10台、インタラクティブノード4台、管理サーバー・ゲートウェイノード15台等からなる。以下では、計算ノードとそのインターコネクトを中心に説明する。

1) 計算ノード

ABCIの計算ノードは1,088台あり、そのすべての構成が同一である。FUJITSU Server PRIMERGY CX400 M4をベースとした2Uシャーシに、PRIMERGY CX2570をベースとした計算ノードを2台ずつ搭載した構成を基本とし、17シャーシ34ノードを48Uラックに搭載し、全体では32台のラックから構成される。

計算ノードの主要な構成は以下のとおり。ブロック図は図2-8-6に示す。

■ 図2-8-6 ABCI計算ノード構成



- CPU
Intel Xeon Gold 6148 Processor (Skylake-EP、27.5MB Cache、2.40GHz、20 cores、1.536TF@FP64) × 2
- メインメモリ
DDR4 2666MHz RDIMM (ECC) 384GiB (32GiB × 12) メモリバンド幅: 128GB/s × 2
- GPU
- NVIDIA Tesla V100 SXM2 (5120 CUDA cores、16GiB HBM2、900GB/s、7.8TF@FP64、15.7TF@FP32、125TF@FP16) × 4
- ローカルSSD
Intel SSD DC P4600 1.6TB u.2 × 1
- インターコネクト
InfiniBand EDR (100Gbps) × 2

出典:産業技術総合研究所作成

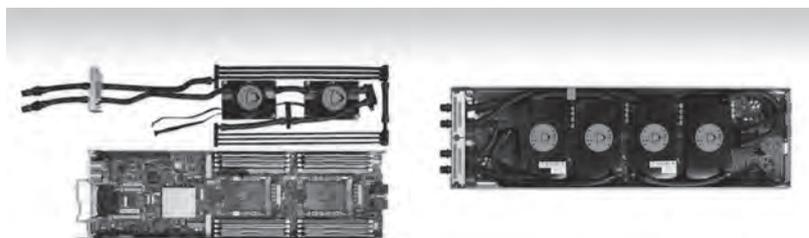
計算ノード全体では、NVIDIA Tesla V100 SXMが4,352基、Intel Xeon Gold 6148 Processorが2,176基、メモリ476TiB、メモリバンド幅4.19 PB/s、NVMe SSD 1.74PBとなる。また、理論ピーク性能では37.2 PFLOPS (FP64)、75PFLOPS (FP32)、0.55EFLOPS (HP)に相当する。

この計算ノード構成は、2017年8月に運用開始したTSUBAME3.0[6]の計算ノードを、約1年後の技術を用いて(すなわち、Skylake-EP、Voltaアーキテクチャーの恩恵を受けて)より安価で汎用性の高いPCサーバーをベースとした高密度パッケージングで再構成したものとも言える。

2) 計算ノードの冷却

参考文献[3]にあるようにAIデータセンター棟は、計算ラックまで32℃の冷却水を提供しており、CDUを介してラック内の計算ノードに分配される。計算ノードでは、高温になるCPU、GPU、メモリ等の基幹部品に取り付けられたコールドプレートを通じて冷却する。冷却しきれなかった熱はホットアイルに排出され、ラック上部に設置された(上記と同じ冷却水を利用する)ファンコイルユニットを用いて35℃程度まで冷却され、コールドアイルに排出される(図2-8-7)。

■図2-8-7 ABCI計算ノード



提供:産業技術総合研究所

③ その他システム

ディープラーニングを含む機械学習においては、大量のファイルI/Oが発生するため、しばしば学習処理スループットのボトルネックとなる。大容量ストレージシステムでもSAS SSD領域の一部を高速領域として利用しているが、容量とI/O性能の点で不十分である。このため、Burst Bufferのようなシステムの導入によりI/O性能をエンハンスすることは極めて重要である。

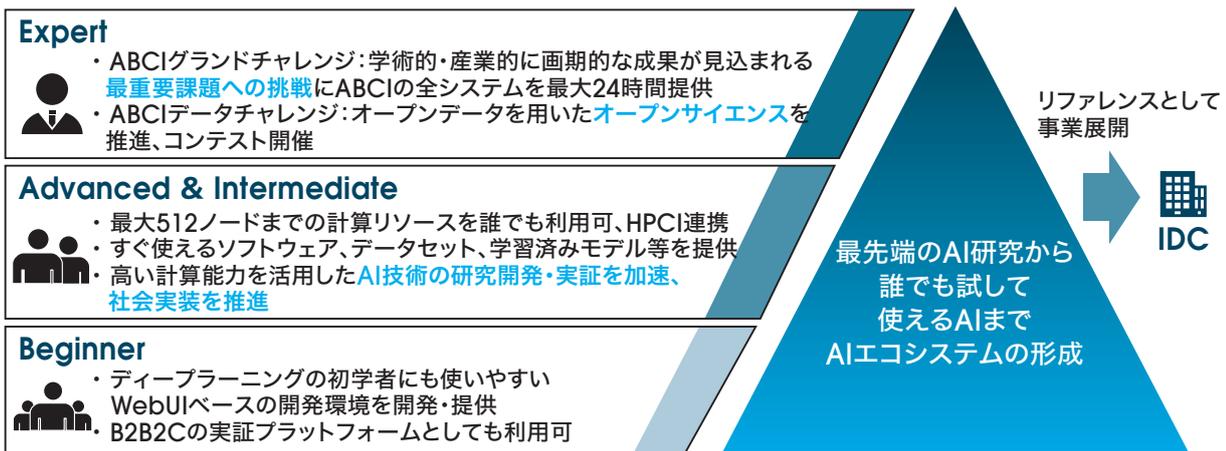
ABCIでは、BeeONDを用いて計算ノードのローカルSSDを用いたグローバルスクラッチ領域を構築できるようにした。また、今年度後半にはI/O性能に特化して、SSDのみで構成された「高性能キャンペーンストレージ」を導入し、現在の大容量ストレージシステムに代わるグローバルスクラッチ領域を構築する予定である。

また、人工知能技術の開発や応用に用いられるデータはしばしば非公開であり、機微な情報を含む場合が多い。2018年度後半をめどに、法令及び国際的なセキュリティ基準に沿ってデータを安全に管理することで産総研のみならずユーザー企業を含む他機関の保有する非公開データ等の保管を可能にする「セキュアオブジェクトストレージ」の導入も計画している。

④ ABCIのサービス設計・運用

ABCIは我が国の人工知能技術開発のためのオープンなリーディングインフラストラクチャーとして、人工知能分野の最重要課題への挑戦から、種々のアルゴリズム・データモデル開発、アプリケーション開発、はてはディープラーニングの初学者にいたるまで、幅広いレンジのユーザーとユースケースに対応し、人工知能技術の社会実装、実社会への橋渡しを推進する必要がある。

■ 図2-8-8 ABCIのユーザー・サービス階層



出典: 産業技術総合研究所作成

図2-8-8は、ユーザーのスキルレベル・使い方とその割合を想定したイメージである。Expertには、ABCIの全系を用いてトップノッチ成果を産出していくトップグループが位置する。産総研は、後述するABCIグランドチャレンジプログラムを主宰し、自らも国際的にも競争力の高い成果の蓄積を目指していく。

Advanced & Intermediateは、512ノードまでの中程度の計算リソースを利用した、画像認識、音声認識、自然言語処理、種々の機械学習アルゴリズムやデータモデルの高度化、自動車/ロボットの自動運転/制御、創薬向け化合物推定、音声対話、自動翻訳等、幅広い分野での新たなアプリケーションの創出に取り組むグループである。従来のHPCシステムのターゲットに近く、我々がサービスのベースラインと考えるグループでもある。

Beginnerは、NVIDIA DIGITSやSONY Neural Network Consoleなどoff-the-shelfの統合開発環境やトレーニングプログラムを通じてこれからディープラーニングに習熟していくグループで、ユーザー比率としては最大となる。また、ABCIを用いてエンドユーザー向けにB2Cサービスの提供を行う事業者に対しては、サービス実証のためのプログラムを用意することで、より使いやすい開発環境やアプリケーション実行環境の開発を促進することで、国内発のイノベーションの加速を支援している。

ABCIでは、先進的なシーズ開発や運用に向けた様々な取組みを進めている。以下では、推進中あるいは推進予定の運用に関わるプロジェクトについて述べる。

⑤ ABCIグランドチャレンジ

産総研は、莫大な演算能力によりはじめて可能になる人工知能分野の最重要課題への挑戦を支援するため、グランドチャレンジプログラムを実施している。本プログラムは、ABCIの全1,088ノード(4,352GPU)を最大24時間、1研究グループでの占有利用を可能にする公募型プログラムである。今年度は3回の実施を予定しており、いずれの回も2課題程度(第1回は3課題を採択)を採択する予定としている。採択課題については、チャレンジ実施前に小規模実行によるリハーサルを行う機会を提供する。また、利用料金はリハーサルを含めて無料としている。

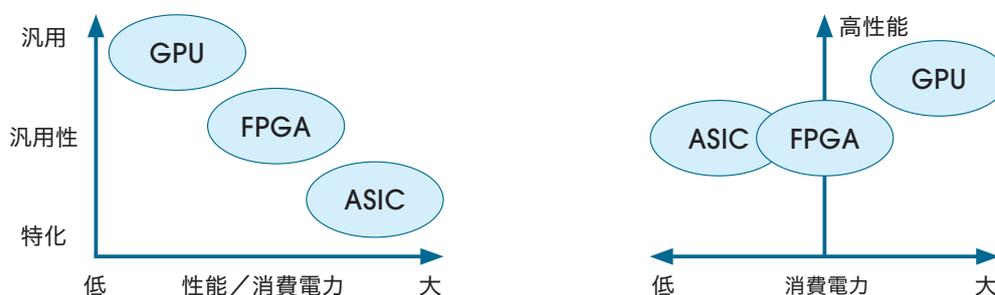
2.8.3 エッジ側基盤（推論用のプロセッサ技術と計算デバイスの動向）

ディープラーニングでは、インフラストラクチャーや計算デバイスに求められる性能と性能/電力比は、推論時と学習時で大きく異なる。特に、ネットワーク上のデータのトラフィックコストや、処理の時間的遅れ（レイテンシ）、使用可能なメモリ量、消費電力に対する制約等が、学習時とは異なる形で要請される。送付データ量が少なく、かつある程度の時間が許容できる場合、クラウド側の推論環境を利用したセミリアルタイムのアプリケーションが成立する。例えば、GoogleやBaiduのスマートフォンでの「リアルタイム」の音声認識・自動翻訳などが挙げられる。しかしながら、自動運転やスマートシティ、ロボット制御などのリアルタイム系のIoT系アプリケーションでは、クラウドにデータを送付することなく、学習済みのネットワークを用いた画像や音声の推論・認識をエッジ側で行うことが求められる。エッジ側のプロセッサ・デバイスに対する要求として、電力制約に関しては、数十mW～数Wのレンジが要求される。もう一点のリアルタイム性に関しては、数msec～数十msecのレンジでレスポンスタイムが要求される。

（1）各計算デバイスの特徴

GPU、FPGA、専用チップ（ASIC）の違いを、性能対汎用性、性能対電力でそれぞれ可視化したものを図2-8-9に示す。互いの関係は、新技術の登場により容易に逆転する可能性がありうるので、あくまで以下に述べる説明の目安として見てほしい。

■ 図2-8-9 GPU、FPGA、専用チップ（ASIC）の特徴

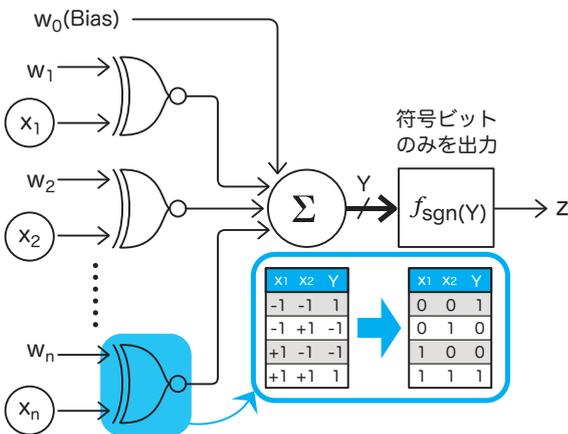


エッジで利用される推論用の計算デバイスには、学習用の計算デバイスと比較して、低消費電力であることが求められる場合が多い。従って、消費電力の大きいGPUではなく、搭載する計算ロジックを書き換えることができるFPGAや専用チップ（ASIC）のニーズが高まると考えられる。Intelは、FPGAを主力製品とするAlteraを買収し、CPUとFPGAを同一パッケージや同一ダイに統合した製品の開発を行っており、Xilinxは画像処理に特化した開発環境reVisionを発表している。これらはFPGAで推論に特化した回路を想定しており、学習までには対応していない。同様なツールはサードパーティからも発表・リリース予定があり、例えばTERADEEP（米国）、DeePhi Tech（中国）はすでにFPGAを採用した推論アクセラレーターをリリースしている。モデルを実装までつなげる開発環境や、LeapMind（日本）のようにFPGA向けのソリューション提供も盛んに行われている。

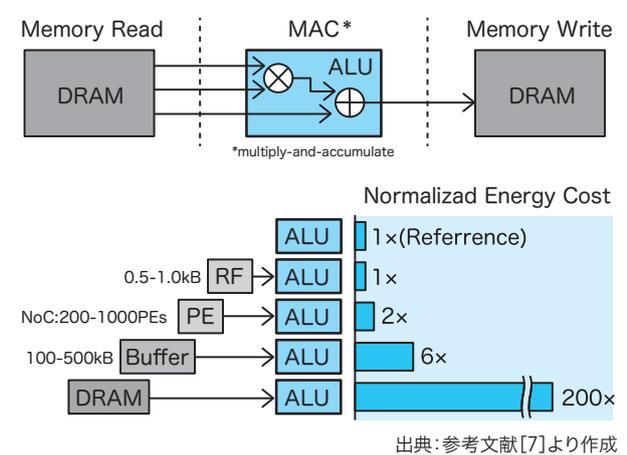
ディープラーニングの学習や推論において、必ずしも32ビットや64ビットの倍精度計算は必要なく、8ビット、4ビット、さらには1ビット(2値化) / 2ビット(3値化)での計算も可能との研究結果が相次いでおり、消費電力や計算性能の観点からFPGAを用いたプロトタイプの研究開発が進んでいる。

図2-8-10に2値化ニューラルネットワークの概要を示す。通常、GPUやCPUではニューラルネットワークの基本演算である積和演算を8ビットや16ビットの精度で行う。2値化、すなわち1ビット精度でこれを行うと、最も電力・面積を必要とする乗算回路をXNORゲートで実現できる。従って、大量の積和演算回路を1チップ上に集積することができる。もう一つの利点は、ニューラルネットワークの重みと計算結果を格納するバッファ(メモリ)のサイズを大幅に小さくできることである。ニューラルネットワークの構成によってはすべてのバッファを1チップに格納できるので、DRAM(Dynamic Random Access Memory)のような追加電力コストが生じる、オフチップは不要になる(図2-8-11)。

■ 図2-8-10 2値化ニューラルネットワークの概要



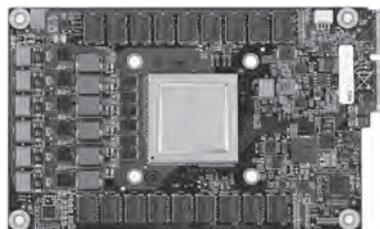
■ 図2-8-11 演算器と各種メモリの電力コスト



低精度によるオンチップ化は今後ますます研究開発が進むとみられている。画像の物体認識を行う際、GPU (NVIDIA Tesla K40) では235Wかかるところ、2値化を導入したFPGAでは4.7Wで可能になる。また、モバイルGPU (NVIDIA Jetson TK1) と比較して2値化を導入したFPGAは15倍高速に処理できることが報告されている [8]。

学習時と推論時で必ずしも同じデバイスを利用する必要はなく、むしろそれぞれの用途に特化したデバイスとすることにより高い計算性能や低い消費電力を実現する試みもある。Googleのディープラーニング用専用チップであるTPU(図2-8-12)では、「計算精度の最適化」と「行列演算に特化した設計」により、従来のデバイスに比べ電力性能が30 ~ 80倍(TPU v1)であるとしている。また、

■ 図2-8-12 TPUボード



出典: Google Cloud Platform Japan Blogより

Googleのディープラーニング向けオープンツールであるTensorFlowとの親和性を高め、開発者はハードウェアの違いを意識せずに利用できるようになってきているとしている。また異なる開発フレームワーク間で、学習済みモデルを相互変換できるONNXのような標準化が進んだことにより、学習・推論の用途に応じて適切な開発フレームワークとデバイスの組み合わせを選択するといった流れが加速している。

以上をまとめると、組込みシステム・IoT向けの推論が汎用性の高いGPU型(SoCを含む)になるのか、あるいはASICのように専用化するのか、あるいは中間的なものになるのかの決着はついていない。エッジデバイスは大量生産される可能性が高いため、通常では他のIT分野同様にASIC化によるコストメリットや省電力化が非常に効果的なのははずである。

しかしながら、現状では、学習アルゴリズムの高度化・高速化の発展が非常に目覚しく、特定のASICを開発してもそれらの進化に追従できず早期に陳腐化してしまう可能性が高いため、FPGAやGPUの出番が続くと予想される。これらを巧みに組み合わせたSoCという方向性もあり、特に自動運転ではNVIDIA DRIVE Pegasusプラットフォームが注目されている。ここ数年は、主に上記3つの組込み型プロセッサが切磋琢磨する状況が続くと予想される。

(2) 組込み型プロセッサ：推論の高速化・省エネルギー化

機械学習における推論に適したエッジ側の計算資源としては、5～15Wといった組込み系レベルの低消費電力でフィードフォワード計算を行う用途に最適化された専用チップ(ASIC)、GPU等の機械学習アクセラレーターを搭載したSoCや、DNNで必要とされる積和演算と相性のよいFPGAによる実装の研究開発が進められている。

●SoCによる実現

DNN用のGPUとCPU及び周辺回路を1チップ化(SoC)することで低消費電力、高性能な推論機能を実現する。本稿執筆時点でエッジ側でディープラーニングによる予測を行うと考えた場合に、有力な候補になるのは、NVIDIA社のシステムオンチップ(SoC)のTegraである。Tegraはモバイル/IoT向けのプロセッサシリーズであり、ARMアーキテクチャーのCPUにNVIDIAのGPGPUを統合したSoCである。Tegraの利点は、ディープラーニングのデファクトスタンダードとなっているCUDAを用いたプログラムをそのまま実行できる点にある。最新のTegra X2(コード名Parker)は、半精度で1.5TFLOPS程度である。TDPは15Wである。SoCの応用例としては、同社の自動運転用プラットフォームである「NVIDIA DRIVE Pegasus」では、最新のVoltaコアを搭載したSoCであるTegra(Xavier)チップを2基組み込んで、複数のカメラやセンサーからの入力を、最大320TOPSの性能で処理できるとしている。

●FPGAによる実現[9]

FPGAは、プログラミング可能なハードウェアデバイスである。ディープラーニングは積和演算が主である計算であるために、特に有効である。FPGAは後述するASICに比べると配線資源に柔軟性を持たせているため本質的に低速かつ高消費電力であり、同じアルゴリズムがASICで実現可能であれば利用する意味はない。しかし、現在のニューラルネットワークのように、アルゴリズムの研究が日進月歩で進展している場合、即座に実装して展開が可

能なFPGA実装に一定の価値がある。また、アプリケーションに完全に特化した回路構成を採用できるのもGPUに対するFPGAの利点であると考えられる。

FPGAで特に注目すべき手法として、低ビット幅精度の演算が挙げられる。ディープラーニングにおいては、高ビット幅を用いた浮動小数点演算は不要であることは古くから知られており、上述のArm MLのように離散化した整数値での演算が広く用いられつつあるが、一般にASICとして実装されているのは4～8ビットが多い。これに対し、研究レベルでは1ビットもしくは2ビット(2値化もしくは3値化)での学習・推論が可能なが示されている。しかし、これらの手法は、学習データセットやアプリケーションに対する汎用性が不明なため、現時点では、ASIC作成は陳腐化リスクが高い。これに対し、FPGAであれば有効であるアプリケーションに対してのみ利用することを前提に専用回路を設計できる。2値化や3値化に丸めると、乗算を小規模な論理回路で実現でき、回路面積の大幅な圧縮が可能だけでなく、重み行列のデータ量が小さくなりオフチップメモリへのアクセスが不要になる。従って、この技術はデータ依存性が強いディープラーニングでは、FPGAとの相性がよいと考えられ、活発に研究開発が進められている。日本でも、FPGA向けの開発ツールやキット販売を行っているLeapMindが米国調査サービスCB Insightsの「AI100」社に選出されるなど、活発な活動を行っている。

●専用チップ(ASIC)による実現

GPUベースのSoCは汎用性が高く、様々なネットワークやアルゴリズムが容易に適用できるが、それらがある程度固定化した場合は、やはり専用のASICの電力効率性はGPUを凌駕する。多くの研究やスタートアップなどが早くから組込み専用のASICを提案している。GoogleのTPUや、Intelが買収したMovidius(米国)の画像処理専用チップ等がある。

●機械学習用のプロセッサ IPによる実現

組み込み用のプロセッサ IPに機械学習推論に適したDSP(Digital Signal Processor)を付与する動きは従前から各方面でなされているが、Arm(英国)のArm Machine Learning Processor(以下 Arm ML)もその一つである。Arm MLは、Arm社が提供を予定している機械学習向けのプロセッサで、メインとなるCPU、GPU、DSP等に対するアクセラレーターとして機能する。内部にSRAMを持ち、計算の大半をアクセラレーター内部で行うことで、計算の効率化と消費電力の低減を図っている。

Arm MLは、複数のCompute Engine(以下CE)と呼ばれるユニットで構成される。CEは、内部のSRAMを共有するとともに専用の内部ネットワークで結合される。CEは、MAC(Multiply-Accumulate) Engineと、PLE(Programmable Layer Engine)とで構成される。

MAC Engineは高速な積和演算を行い、PLEはアクティベーションの計算などのその他の操作を行う。汎用性の高いPLEを搭載することで、単純なCNNだけでなく、今後開発されるだろう新たなネットワークモデルへの対応を可能としている。

Arm MLの性能は16CEで4.6TOPs、7nmプロセスで実装した場合の電力比性能は、3TOPs/W以上とされている。上述のTegra X2は、単純に計算すると0.1TFLOPS/Wであり、これと比較すると非常に高いといえる(ただし上述のとおり、行う演算が異なる)。現在公開されている製品は、比較的小規模な監視カメラやスマートフォンなどのデバイスをターゲットにしたものだが、より大規模な製品への展開を予定している。

2.8.4 次世代AIインフラストラクチャー・ハードウェア

ディープラーニングによるAIが大きな成功を収めつつあることを背景として、ディープラーニングに向けたアーキテクチャーを備えたプロセッサ、あるいは脳型コンピューターと呼ばれるアーキテクチャーを構想し、実装しようとする動きが各所で起こっている。この項では、主に、脳を参考にしたモデルにもとづいて構築されるディープラーニングのためのニューラルネット計算向きアーキテクチャーや、量子コンピューターについて述べる。

(1) AIプロセッサの分類

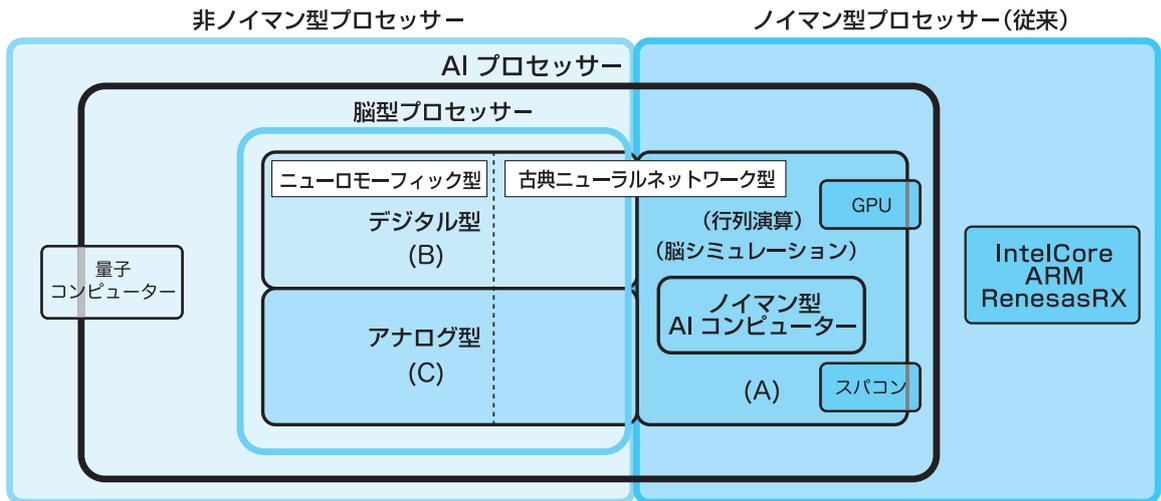
従来型のコンピューターに対するAIコンピューター、脳型コンピューターの位置づけをノイマン型、非ノイマン型コンピューターの区別とともに図2-8-13に示す。AIの情報処理に向けたコンピューターをAIコンピューターとして黒枠で示している。この中には、ニューラルネットワークだけでなく、例えば論理計算に向けたコンピューターも含まれる。LispやPrologに代表される論理プログラミング処理に特化した計算機もノイマン型のAIコンピューターと位置づけられる。

現在注目を浴びているAIコンピューターは、ニューラルネットワーク型、あるいはニューロモフィック型である。現代のコンピューターは、計算論的に万能マシンであるので、ディープラーニング計算をPCやスーパーコンピューター、あるいはGPGPUで実行させることが可能である。特にGPGPUは、数千を超えるコアを備えて高い並列性を発揮できるので、ノイマン型の中でも非ノイマン型に近いアーキテクチャーを持つ。

脳型プロセッサでは、シナプス結合の強度が、記憶の役割を果たす。その記憶の実現方法には、デジタルコンピューターと同様にDRAM等のメモリを用いるデジタル型と、メモリストあるいはReRAM^{*79}のような電気抵抗変化を記憶できるデバイスを用いるアナログ型がある。両者のシナプスとニューロンの細胞体に対応するアナログとデジタルでの実現回路例を図2-8-14に示す。

*79 抵抗変化型メモリ (Resistive Random Access Memory)。電気抵抗の変化を利用したメモリ。

■ 図2-8-13 AIコンピューター、脳型コンピューターの位置づけ



【語句定義】

ノイマン型プロセッサ：一つのメモリにデータとプログラムを内蔵、メモリから命令を逐次取り出しプロセッサで実行

非ノイマン型プロセッサ：ノイマン型以外

AI プロセッサ：機械学習、深層学習の演算処理を行うハード（プロセッサ、メモリ等の集合体）

ノイマン型 AI プロセッサ：【図中 (A)】

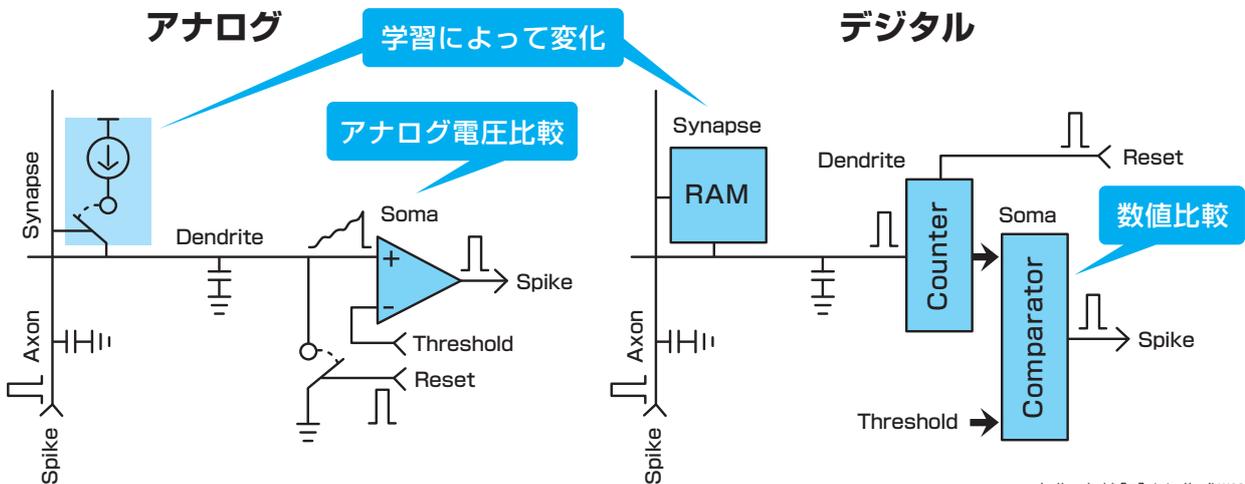
脳型プロセッサ：AI プロセッサの中で、ニューロン・シナプスのような脳機能を使った演算処理を行う

デジタル型脳型プロセッサ：ニューロン機能をデジタル素子で模擬する脳型プロセッサ【図中 (B)】

アナログ型脳型プロセッサ：ニューロン機能をアナログ素子で模擬する脳型プロセッサ【図中 (C)】

出典：NEDO技術戦略センター作成

■ 図2-8-14 シナプスとニューロン細胞体の実現回路例



出典：文献[7]より作成※80

※80 <http://www.riken.jp/pr/topics/2013/20130802_2/>

(2) デジタル型のニューラルネットワークプロセッサ

本項では、ニューラルネットワーク計算のために設計、試作されたプロセッサチップについて述べる(表2-8-3)。データフロー型のアーキテクチャーを採用するものが多い。

■表2-8-3 ニューラルネットワーク計算のためのプロセッサチップ(非ノイマン型)

| 開発者 | 国 | 名称 | アーキテクチャ | 特徴 | 出荷時期 |
|----------------|----|-----------|---|---|----------------|
| IBM | 米国 | TrueNorth | データフロー型ニューロン100万個、シナプス結合2.56億個、54億トランジスタ、SRAM | 順方向認識処理のみチップ当たり70mW、16チップ接続可能 | 2014年発表 |
| Wave Computing | 米国 | DPU | 独自のデータフロー型、16nm FinFET、16,000コア、32GB、512GB DDR4 | TensorFlowを初期状態でサポート | 2018年中出荷予定 |
| Intel | 米国 | Loihi | データフロー型ニューロン13万個1.3億シナプス | ・自己学習機能 ・プロセスは14nm FinFET | 2017年9月発表 |
| トプシステムズ | 日本 | SMYLEdeep | データフロー型 8コア 75MHz | 低い動作周波数で消費電力を抑えつつ、最大480fpsで超高速画像認識処理が可能 | 2017年2月プレスリリース |

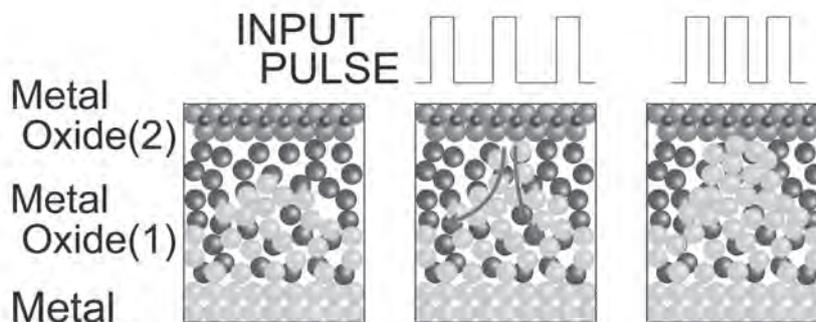
出典:各種公開資料より作成

表2-8-3の中では、IBMの「TrueNorth」が傑出している。4,096個のプロセシングエレメントによって100万個のニューロン、2.56億個のシナプス結合の並列処理を実現し、28nmプロセスで1チップに集積した。16個を組み合わせることが可能である。省電力性能も高く、400×240のビデオを30fpsで認識するのに要する電力は63mWにすぎない。

(3) アナログ型のニューラルネットワークプロセッサ

デジタル型ニューラルネットワークでは、シナプスの結合強度の表現と記憶にDRAM等のデジタルメモリを使用するが、アナログ型ではアナログメモリを使用する。2008年にHPが「メモリストア」(memristor)を発見し、通過する電荷量に応じて変化する電気抵抗値をメモリに応用する研究が行われた。

■図2-8-15 電気抵抗メモリの変化



出典:「Aidevice」semiconportal Webサイト^{※81}より

※81 「Aidevice」semiconportal Webサイト<http://www.semiconportal.com/aist_aidevice/>

この電気抵抗メモリは、特に不揮発性に注目されたが、ニューラルネットワークへの応用では、電気抵抗値が連続に変化することに価値がある。産業技術総合研究所で研究が行われているRAND (Resistive Analog Neuro Device) では、電荷が流れることで、物質内に図2-8-15に示すような物理的変化が引き起こされ、電気抵抗が変化するとされている。

フラッシュメモリがマルチレベル化で集積度を上げたように、アナログ方式では、一つのメモリ素子にデジタルでいう多ビットを重畳できるので、小型化に適していると考えられる。しかし、アナログ回路は、デジタル回路のように極端な微細化に適していない。デジタル回路は、閾値に幅を持たせてノイズやばらつきを許容することができるが、アナログでは、広い動作範囲での応答の線形性やノイズ耐性を求められるからである。

表2-8-4に掲げたアナログ型ニューラルネットワークプロセッサは、シナプス結合強度の表現に、次世代メモリとして研究されていた不揮発メモリ素子を活用している。これらのメモリは、長期間研究が続けられているが、対抗する従来型のメモリであるDRAMとNANDフラッシュメモリも高集積化が続いているので、世代交代を果たせていない。次世代メモリに関する企業や研究者が、ニューラルネットワークプロセッサという新たな可能性を見出して殺到していると解釈できる。

この中で、東芝のTDNN (Time Domain Neural Network) は、シナプス結合強度をバイナリで表現するため、デジタルとアナログの違いよりも、係数を電圧ではなく時間遅れで表現する点に特色がある。

これによって従来の試作品の6分の1の消費電力を達成している。一般に、アナログは、デジタルよりも大きな省電力効果が得られる可能性がある。

■表2-8-4 アナログ型ニューラルネットワークプロセッサ

| 開発者 | 国 | 発表時期 | 可塑性 | 概要 |
|--|-------|-------------------|---------------------|--|
| IBM | 米国 | 2016年5月 | PCM (GeSbTe) | シナプスをPCMで構成、integrate-and-fire型ニューロンの挙動を再現し1チップ上に400万セルを集積化 |
| パナソニック | 日本 | 2013年6月 | FeMEM | CMOS型ニューロンの配線層にシナプス |
| Posteck SK Hynix 等 | 韓国 | 2015年12月 | メモリスター (TiN/PCMO) | ニューロンとシナプスを別々のチップに実装 |
| デンソー、University of California, Santa Barbara | 米国/日本 | 2015年12月 | メモリスター (Al2O3/TiO2) | CMOSニューロンの上に12×12クロスバー構造のシナプスを形成 2030年、車載用実用化目標 |
| HP、University of Utah、University of Michigan | 米国 | 2016年12月 | メモリスター | 32nmプロセスを用いた場合チップ面積85.4mm ² メモリスターを用いた画像認識への取組み |
| 東北大学 | 日本 | 2016年12月 | スピントロニクス素子 | スピントロニクス素子36個とFPGAとの組み合わせ |
| 産業技術総合研究所 他 | 日本 | 2016年6月 開発開始 | アナログ型抵抗変化素子 | 対TrueNorth電力効率100倍、チップ面積1/20 28nmプロセス、100万個以上のシナプスを集積化する技術を開発 |
| NEC、東京大学 | 日本 | 2016年9月 共同開発発表 | 未公表 | ブレインモルフィックAI技術 東京大学合原教授が中核 |
| 東芝 | 日本 | 2016年11月 に学会発表 | SRAM/ReRAM | 時間領域アナログ信号処理技術による小型/省電力化、消費電力1/6 |

出典:各種公開資料より作成

(4) 次世代ニューラルネットワークプロセッサの方向性

ニューラルネットワークより生物脳に忠実なニューロモーフィックコンピューティングは、専用マシンによらずとも、現代のコンピューターで実行することが可能である。これに対し、応用先を限った専用機は、必ず苦戦することは先に記述した。それにもかかわらず、ニューラルネットワークプロセッサを開発する価値は、ノイマン型アーキテクチャーからの脱却と、大規模なニューラルネットワークを構築することにある。半導体産業に陰りの見えた日本にとって、新たなチャンスとなるかもしれない。

ノイマン型アーキテクチャーとは、プログラムとデータを同じメモリに内蔵すること、メモリからの命令に従って演算器を逐次的に動作させることでハードウェア量を減らすこと、プログラムをデータのように操作することができるコンピューターであり、現在主流となっている。このアーキテクチャーでは、メモリからのプログラム(命令)の読み出しとデータの読み書きが輻輳し、フォン・ノイマン・ボトルネックと呼ばれる情報伝達の隘路が生じることが問題視されてきた。

その解決は、多数の演算器を用意し、その近傍に専用のメモリを置く方法が考えられるが、ニューラルネットワークアーキテクチャーは、まさにそのような構造になっている。

大規模なニューラルネットワークを目指す動きは、人間の脳のニューロン数(大脳皮質で140億個程度、小脳などすべての脳細胞を足すと1,000億個近いとされる)に大きな意味があるのだとする立場から生じている。脳細胞数を増やす重要なアプローチは微細化であるが、前述したようにムーアの法則には陰りが見えていると同時に、消費電力の増大が問題となる。例えば、人間の脳は、消費エネルギー 20Wであるが、AlphaGo(碁)の消費電力は25万kWであるという。

すでに、バイナリ(2値)のニューラルネットワークであっても、ニューロン数をそれに応じて増やせば、より高精度のニューラルネットワークと遜色ない性能を出せることが示されている。IBMの「TrueNorth」は、演算精度と速度を落とすことで、100万ニューロンで70mWという高い性能/電力比を示している。すなわち、人間の脳に近いレベルのニューロン数をリーズナブルなエネルギー性能で実現するには、現在のコンピューターハードウェアは不適當であり、より生物の脳に近い脳型コンピューターに勝機があると推測できる。

現在のニューラルネットワークプロセッサ、あるいはニューロモーフィックプロセッサは、推論時の計算の加速には大きな効果を発揮するが、学習能力は持っていない。誤差逆伝播学習は、計算量としては、推論時計算の数倍程度であるが、最適なニューロンの結合係数を求めるための繰り返し回数が多いため高速性が求められる。また、誤差逆伝播学習では、ニューロンの興奮度から結合係数の変化量を決める際に係数の微分値が必要になり、微分値の計算にある程度の計算精度が必要となる。順方向計算のように1～16ビットの係数精度では不足するので、現在は、GPU以上のプロセッサでないと実装が難しい。そのため、学習は、データセンターなどのサーバーに任せ、エッジ側のプロセッサでは順方向計算に割り切るといった分担ができています。しかし、今後はAIも順方向計算と逆伝播学習を同時に並行して進めたいという要求は出てくるであろう。学習機能をハードウェア化できれば、リアルタイム学習のような道も開けると思われる。

(5) 脳に忠実なモデルと工学的に単純化したモデルとのバランス

脳型コンピューターは、人を超える知的能力を目標に発達していくと想定されるが、現在行われている単純なニューロンモデルでよいのかどうかは議論が分かれる。ディープラーニングは、特にパターン認識を中心に人間を超える計算能力を発揮しているが、ニューラルネットワークのさらなる多層化や、ニューロン数を増やすだけで言語、計画、論理、創造など広範な人間的知能を獲得できると思われにくい。

このようなニューラルネットワークの限界を克服すべく、シナプス結合強度を単に積和で計算するのではなく、脳の中の信号の同期性や揺らぎに注目するニューロモーフィックな考え方が注目されている。

また、ニューロンのグループがベイジアンネットワークを構成していることなどニューロンの大局的構造に注目した研究や、リカレントニューラルネットワーク (RNN)、LSTM (Long Short-Term Memory)、Reservoir コンピューティング^{※82}、オートエンコーダーのような生物脳由来ではない工学的な情報表現法、学習法の研究の成果が上がりつつある。

(6) AIコンピューターの今後の研究開発の方向性

AIプロセッサは、ニューラルネットワークの単純なアーキテクチャーを活かすことで、従来のロジックCPUに比べて集積度を上げやすいこと、ReRAMやメモリスターのようなアナログ素子を使用することにより一つの素子が数ビットの情報量を蓄えることが可能となることから、従来のCPUにおける微細化の壁に打ち勝つことができる可能性を持っている。さらに、ノイマン型アーキテクチャーから非ノイマン型への変更により、メモリとプロセッサを小さく切り分けて近接した場所に置き、極端な高並列型のアーキテクチャーとすることが可能である。これらの考えにもとづき、大規模なニューラルネットワークを省電力で実装する試みが続けられている。

ディープラーニングにおける今後の課題の一つであるパターン認識と記号的処理 (論理、言語、記号、計画、創造など) の解決に向けた研究開発においても、AIプロセッサの発展が寄与する可能性がある。例えば、米国防総省国防高等研究事業局DARPAは、「Hierarchical Identify Verify Exploit ; HIVE」と呼ばれるグラフ形状のデータ／知識ベースの処理のHWによる高速化の研究に取り組んでいる。Webに代表される膨大な知識情報と連携した人工知能の実現には高速化は必須になるであろう。単純なニューロンモデルでなく、脳科学・神経科学の研究からもたらされる示唆を工学的にモデル化した、脳とは異なる構造としての発展も考えられる。

※82 力学系的な定式化にもとづくニューラルネットワークの一種。EchoState NetworkやLiquid-state Machineなどの種類がある。

(7) 量子計算機

さらに長期的には、量子計算の動向にも注目しておく必要がある。量子計算とは、量子論的な物質のふるまいを利用して高速な計算を実現しようとする試みである。深層学習の高速化に関連する。

量子計算の方式には主に3つに分類できる(表2-8-5)。

■表2-8-5 代表的な量子計算方式

| | 量子ゲート方式 | 量子アニーリング方式 | 量子ニューラルネットワーク | |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 計算原理 | 状態ベクトルのユニタリ回転(閉鎖系) | ハミルトニアン of 断熱変化(閉鎖系) | 測定フィードバック系の量子相転移(開放系) | |
| 開発機関 量子ビット数 結線数 | IBM / Google 50ビット/72ビット —/— | D-WAVE 2,000ビット 3,300 | Nil-Stanford 100ビット 1万 | NTT 2,048ビット 400万 |
| 動作温度物理系 | 極低温(10mK) 超伝導量子回路 | 極低温(10mK) 超伝導量子回路 | 室温(300K) 光パラメトリック発振器ネットワーク | |
| 応用範囲 | 因数分解(暗号解読)、量子シミュレーション | 組み合わせ最適化、サンプリング(人工知能) | 組み合わせ最適化、サンプリング(人工知能) | |

出典:各種資料より作成

量子計算のハードウェア及び利用環境の開発も活発に行われ、実用化も始まっている。例えば量子アニーリング方式の代表的な例として、2011年5月にD-Wave Systems(カナダ)が、世界初の商用量子コンピューター「D-Wave One」(128量子ビット)を発表した、2017年には2,000量子ビットまで性能向上を行った(「D-Wave 2000Q」)。NASAや国防総省でプロジェクトが開始されており、民間での利用も始まっている^{*83}。日本でも東北大学と東工大協同の研究拠点に2019年秋に導入予定である。

AIと量子計算の関係としては、教師なし学習において有名な一手法である「ボルツマンマシン」に、量子コンピューターを利用するという提案(Quantum Deep Learning)がある。また、量子アニーリングは、最適化問題を高速に解くことができ、この特徴を利用して、深層学習の確率勾配法の中の最適化処理を量子計算で実現するなどが報告されている[10]。

◆参考文献

- [1] Fast Algorithms for Convolutional Neural Networks, < <https://arxiv.org/abs/1509.09308> >
- [2] Shmuel Winograd. "Arithmetic complexity of computations," volume 33. Siam, 1980.
- [3] 「AI橋渡しクラウド—AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)—の構想」情報処理学会研究会, 2017-HPC-160
- [4] TOP-500 List < <https://www.top500.org/lists/top500/> >
- [5] Green500-List < <https://www.top500.org/green500/> >
- [6] <<http://www.gsic.fitech.ac.jp/tsubame3>>
- [7] Massachusetts Institute of Technology, Energy-Efficient Multimedia Systems Group, The Eyeriss Project, "Tutorial on Hardware Architectures for Deep Neural Networks"
- [8] R. Zhao et al., "Accelerating Binarized Convolutional Neural Networks with Software Programmable FPGAs," ISFPGA2017.
- [9] 中原啓貴「FPGAを用いたエッジ向けディープラーニングの研究開発動向」人工知能学会誌 Vol. 33 No. 1, pp.31—38, 2018.
- [10] Ben Varkey Benjamin et al., "Neurogrid: A Mixed-Analog-Digital Multichip System for Large-Scale Neural Simulations," Proceedings of the IEEE, Vol.102, No.5, pp.699-716.

※83 「VW、量子コンピューターで大都市の交通量を最適化」日経新聞2017/3/16

2.9 ▷ 標準化・オープンプラットフォーム

2.9.1 標準化

標準化とは、「もの」(製品)や「事柄」(サービス)に関して、社会生活上必要とされる「品質・性能の確保」、「安全性の確保」、「互換性の確保」、「試験・評価方法の統一」等を目的に、一定の基準を定める活動である。近年は、広大な市場を獲得するための企業そして国レベルの新たな戦略的ツールとして国際標準化が積極的に活用されてきている。

AIについても例外ではなく、AI自体に関わる標準化活動の他にも、社会や産業への影響度の大きさから、様々な応用分野でのAIの活用としての標準化が並行して進んでいる状況である。本項では、国際標準化機構 (ISO)、国際電気標準会議 (IEC) 及び米国電気電子技術者協会 (IEEE) の標準化活動を中心に紹介する。

(1) ISO/IEC JTC 1/SC 42 Artificial Intelligence

ISOとIECは情報関連の技術委員会の範囲が重なるため、1987年、合同の技術委員会であるISO/IEC JTC 1を発足し、それぞれの技術委員会を副委員会(SC)に移行した。欠番を含め、2018年9月現在、SC 42まで設置されている^{※84}。各SCはユーザーインターフェース、セキュリティ技術、バイオメトリクスなど情報分野の要素技術を対象としており、重複を避けるために、あるSCでセキュリティ技術の標準化が必要となった場合にはセキュリティ技術のSCで扱うといった調整も行われる。2017年10月にロシア連邦のウラジオストクで開かれたISO/IEC JTC 1総会において、SC 42 Artificial Intelligenceの設置が決定された^{※85}。2018年4月には北京において第一回総会が開催され、以下のWG(Working Group)及びSG(Study Group)の設置が決定されている。

- ・WG 1 Foundational Standards : 「AIのコンセプトと用語」及び「機械学習を用いたAIシステムのフレームワーク」の規格開発を行う。
- ・SG 1 on Computational approaches and characteristics of artificial intelligence systems : 異なる技術や既存の特殊なAIシステムなどを調べることによりAIシステムのアプローチや特徴を明らかにする。
- ・SG 2 on Trustworthiness : AIシステムの信頼性(透明性、検証性、説明性など)、工学的な問題や脅威・リスクの評価、AIシステムの堅牢性、精度、安全性、セキュリティ、プライバシーなどに向けたアプローチの調査などを行う。
- ・SG 3 on Use cases and applications : AI適用領域の同定や代表的なユースケースの収集などを行う。

また、SC 42の設置の際にJTC 1総会ならびに上位の委員会において十分な賛成が得られなかったJTC 1/WG 9 Big DataのSC 42への移行及び、“societal concerns”(アルゴリズムによるバイアスなど)の取扱いについて再検討・再提案されており、両方とも上位の委員会において承認さ

※84 “ISO/IEC JTC 1 Information technology”<<https://www.iso.org/committee/45020.html>>

※85 人工知能に関わる国際標準化がスタート(一般社団法人 情報処理学会)<https://www.ipsj.or.jp/release/20180110_itscjnews.html>

れている。

なお、2018年10月に米国で開催された第二回総会において、JIC 1/WG 9、SG 2、SG3は、それぞれWG 2、WG 3、WG 4となること、及びSG 1が継続となることが決議された。

(2) IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems

IEEEは、AIや自律システムの倫理的配慮に関する国際イニシアティブ(IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems)を設置し、すべての技術者がAIや自律システムの設計や開発において倫理的配慮を行うことの優先度を高めるための活動を行っている。「倫理的に調和した設計(Ethically Aligned Design)」として知的な機械システムに対する恐怖や過度な期待を払拭すること、倫理的に調和や配慮された技術を作ることによって、イノベーションを促進することを目的とした、指針を発表している^{※86}。

具体的な標準化活動としては、IEEE P7000(システム設計における倫理的懸念に対処するモデルプロセス)からP7013(自動顔分析技術の包括的ガイドライン)までの14のワーキンググループ(2018年8月時点)を設立し、設計や開発の倫理的配慮に関わる標準化の議論を進めている^{※87}。またOpen Community for Ethics in Autonomous and Intelligent Systems(OCEANIS)というSDO(Standards Developing Organizations)間で作るフォーラムの設立を主導し、AIや自律システムを始めとするイノベーションにおける標準化の役割や、技術、倫理や価値に関する問題についてSDO間での対話を開始した^{※88}。

(3) その他の標準化活動

以上のように、国際標準化団体では、AIの枠組みの標準化や応用領域の中での標準化が進んできているが、昨今のディープラーニングの急速な発展に伴う、学習済みモデルの相互運用性などの技術面からの標準化活動も別途進んでいる。

ディープラーニングにおいては、GoogleのTensorflowやPreferred Networks(日本)のChainerに代表される主要IT企業が開発したオープンなフレームワークにもとづく開発が広く行われており、これらのフレームワーク間での開発された学習モデルすなわちニューラルネットワークのデータとしての相互運用性を確保する動きが広がっている。代表的な標準化活動としては、並列計算、グラフィックス、メディア用APIのオープンな標準規格を作成することを目的とする技術コンソーシアムであるクロノスグループ(Kronous Group)により策定された交換フォーマットNeural Network Exchange Format(NNEF)、Facebookなどが中心となって開発しオープンな仕様として公開されているネットワーク交換フォーマットOpen Neural Network Exchange Format(ONNX)がある。

NNEFの目的は、ディープラーニングの開発用のフレームワークで開発したモデルを、推論用チップ等のハードウェアベンダーのエンジンに橋渡しをすることであるとされており、一方、ONNXはもともとはPyTorchとCaffeの2つの研究コミュニティの間の学習モデルの相互運用性を確保する活動からスタートしたものである。NNEFは2017年12月にversion1.0がリリースされ、規格と同時に、CaffeやTensorflowで開発されたモデルからのコンバーターが公開された。一方ONNX

※86 Ethically Aligned Design <<https://ethicsinaction.ieee.org/>>

※87 「倫理的に調和した場の設計：責任ある研究・イノベーション実践例として」江間有紗、人工知能32巻5号(2017年9月)

※88 OCEANIS<<https://ethicsstandards.org/about/>>

もAmazonやMicrosoftの参加など広がりを見せている。

今後、あらゆる分野でAIの実用化や普及が進むことが期待される中、AIを利用するために必要となる標準の策定の重要性が増す。学習のためのインターフェース、学習精度の評価・保証制度、データ流通・利用のためのAPI、データ生成から利用における個人情報やセキュリティなどのそれぞれで並行して標準化が進むと想定される。内閣府の「人工知能技術戦略会議」がとりまとめた「人工知能技術戦略」^{※89}でも示されているとおり、AIに関わる国際的な標準化の議論に我が国企業等も積極的に関与し、競争優位な市場環境を形成・拡大することが重要である。

2.9.2 オープンソース

以上のように国際標準化を巡り様々な活動がなされる一方、機械学習やディープラーニングはアルゴリズム、学習済みモデル、学習用データ、ソフトウェアコードなど開発した技術やデータ等を公開・共有することで、多様なプレイヤーを巻き込む連鎖的な技術開発が加速度的に進むとされている。それにもとづき、大手AI企業においては、機械学習やディープラーニングで用いられるフレームワークやライブラリをオープンソースソフトウェア(OSS)として公開し、ユーザーの集合知を集めたり、データやモデルやノウハウを参加者が自由に交換し互いに協力し合うエコシステムやプラットフォーム^{※90}を構築する動きがある(表2-9-1)。

プラットフォームを利用することで、AIの最新研究成果を誰でも簡単に利用できる環境が整備されつつあり、いわゆる「AIの民主化^{※91}」の一翼を企業活動の一環として担っているともいえる。

■表2-9-1 機械学習やディープラーニングに関わる主要なOSS

| フレームワーク名 | Caffe | TensorFlow | Chainer | CNTK | MXNet |
|----------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------|
| 言語 | C++/Python/ Matlab | C++/Python | Python | C++ | Python他 |
| 開発元 | Berkeley | Google | PFN | Microsoft | Apatch財団 |
| 特徴 | ・画像認識向き、 高速 | ・ユーザー数最多 | ・使いやすい | ・RNNに強い | ・AWSと相性良い |
| | ・コーディングは 面倒 | ・DNNの構造が 分かっている人 向き | ・動的 ネットワーク構築 (define by run) | ・豊富なモデル ライブラリ | ・高速で柔軟性の 高いライブラリ |

出典:各種公開資料より作成

Caffeは、カリフォルニア大学バークレー校の研究センターであるBVLICが中心となって開発しているPython言語向けの代表的なディープラーニングライブラリである。C++で実装され、GPUに対応しているため、高速な計算処理が可能である。“Caffe is a community”というキャッチコピーもあるようにコミュニティにより活発に開発が行われている。

GoogleのTensorFlowは同社のMachine Intelligence研究所が機械学習やディープラーニングの研究を行う目的で開発されたものであり、その成果がApache 2.0オープンソースライセンスの下で、学生、研究者、エンジニア、開発者等に向けて広く公開されている。複数のGPUへの対応

※89 「人工知能技術戦略(平成29年3月31日)」<<http://www.nedo.go.jp/content/100862413.pdf>>

※90 「個人や企業などのプレイヤーが参加することではじめて価値を持ち、また参加者が増えれば増えるほど価値が増幅する、主にIT企業が展開するインターネットサービス」『ザ・プラットフォーム』尾原和啓、NHK出版、2015。

※91 専門家がいらない企業でも、個人としてでも、「誰もがAI技術を使えるようになること」を「AIの民主化」と呼ぶ。GoogleのAI部門の開発責任者であったFei-Fei Li氏の発言が源流とされている。

やPCやモバイル端末でも動作する点が特徴的であり、最も人気のあるフレームワークとなっている。

日本では、Preferred Networksが中心となって開発しているChainerフレームワークがあり、動的計算グラフの主要なニューラルネットワークフレームワークとして様々な長さの入力が可能なネットワークという特徴を持つため、自然言語処理作業に人気が高い。

MicrosoftのCNTK (Computational Network Toolkit) も社内用に開発されたライブラリを公開したもので、当初はC++言語のインターフェースのみを提供していたが、version 2.0からはAI分野でよく用いられるPython言語へのAPIを提供し、またモデルの相互運用性のための標準であるONNXにもversion 2.5から正式に対応するなど、積極的にオープンソースコミュニティへの参加をアピールしている。

AmazonはもともとDSSTNEというライブラリを公開していたが、ワシントン大学とカーネギーメロン大学で開発されたライブラリMXNetを自社クラウドの推奨フレームワークとして採用しオープンな開発を進めている。MXNetがスケーラブルであることと、学習済みモデルが軽量で比較的处理能力の低いデバイスでも利用できるという特徴を持っている。

他にも、Intelによる「BigDL」と称する分散型ディープラーニングライブラリのOSS公開、中国のBaiduが自社の検索ランキングやターゲット広告、画像検索、翻訳等に搭載されている分散型ディープラーニングのためのフレームワークPaddlePaddle (Parallel Distributed Deep Learning) を公開している。

このように、大手IT企業、スタートアップ企業等が、自社で開発したフレームワークやライブラリをOSSとして外部に公開している。学習用データや学習済みモデルなども合わせて公開することで、外部の企業や研究者を巻き込んだエコシステム、集合知のプラットフォームの形成を狙っている。

2.9.3 クラウドを利用したAIと開発環境

ここでは、Google、Azure、Amazonに代表されるクラウドサービスを活用した、クラウドベース開発環境について紹介する。

企業等が機械学習やディープラーニングを利用するためには、学習のための膨大なデータを管理するストレージ、その膨大なデータを計算処理するためのサーバー資源等を確保することが必要となる。ディープラーニングでは膨大なデータを高速に処理するために、GPUを大量に搭載した計算機環境が必須であるが、これを単独の企業でそろえることは難しい。またGPUや学習用のソフトウェア技術の進展が速いので、企業の通常の設定導入サイクルに従っていると導入時にすでに旧式、最悪の場合は最新のソフトウェアが動作しないという事態も生じかねない。そこでクラウドの利用機会が増える。クラウドサービスを提供する各社も、AI開発向けのハードウェアや開発環境を整備してサービスを提供している。サービスにはIaaS型、SaaS型の2種類がある。

(1) IaaS型クラウドによるAI開発

IaaS型クラウドは仮想化したハードウェアそのものを提供する。クラウドをAI開発に活用する利点は、最新のアクセラレーター (GPU) を時間単位の課金で利用できることにある。また、多くのクラウドベンダーは、AI開発環境に適したOSイメージのひな型を提供しているため、これらを利用することで、ソフトウェアスタックのセットアップコストを低減することができる。

一般に、クラウドの利用価格は、保有する場合と比較すると電気代を考慮に入れても高額だが、複数台を同時に利用することでハイパーパラメーターチューニングのターンアラウンドタイムを短くす

ることができる、常に最新のアーキテクチャーを利用できる、初期投入コストが小さい、などのメリットがある。

表2-9-2に2018年7月現在利用可能な、AIに適したアクセラレーター (GPU) を持つIaaSサービスの例を示す。主要なクラウドベンダーの多くがAIに適したCUDAやNVIDIA社製の最新GPUを利用できるノードを提供している。事業者によっては高速なネットワークも併せて提供しており、効率的な並列機械学習が可能となっている。

■表2-9-2 代表的なAIに適したIaaSサービス

| サービス名 | タイプ名 | GPU機種 | GPU数 |
|-----------------------|------------|------------|---------|
| Amazon Web Services | P2 | Tesla K80 | 1/2 - 8 |
| | P3 | Tesla V100 | 1 - 8 |
| Google Cloud Platform | K80 | Tesla K80 | 1/2 - 4 |
| | P100 | Tesla P100 | 1 - 4 |
| Microsoft Azure | NCv2 | Tesla P100 | 1 - 4 |
| | NCv3 | Tesla V100 | 1 - 4 |
| さくらインターネット 高火力 | Tesla P40 | Tesla P40 | 1 |
| | Tesla P100 | Tesla P100 | 1 |
| | Tesla V100 | Tesla V100 | 1 |

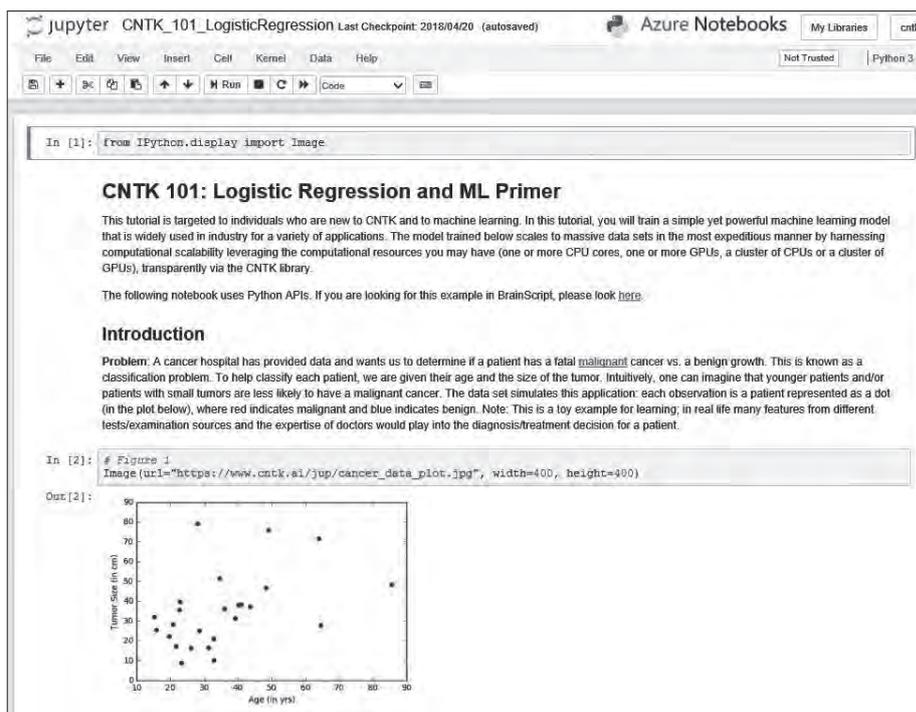
(2) SaaS型クラウドによるAI開発

さらに、計算資源のほかに、機械学習やディープラーニング等のミドルウェア (機能) を組み合わせて活用するスキルが求められ、これは企業ですでに使っている企業内開発環境の整備に必要なスキルとは異なったものである。そこで、自前で計算機環境を整備して利用する形態から、機械学習等のAI機能を搭載したクラウドサービス (ここではクラウドAIと呼ぶ) を利用する形態への乗り換えが広がっている。

クラウドAIには、音声認識や画像認識、言語翻訳等のディープラーニング等を用いた機能のAPI (Application Program Interface) が搭載されており、利用企業は必要なAPIを通じて必要な機能を扱うことができる。従量課金制度への支払いルールが社内に整備できれば、従量課金の特性を活かして、PoC (Proof of Concept) などスモールスタート用途にも適しているともいえる。

さらにこれらのクラウドサービスでは、初学者がAIに関わるデータやPythonなどの基盤ソフトウェア・AIライブラリに簡単に触れられるように、限定された範囲 (ディスク容量や利用時間で制限) で利用できるインタラクティブなAI実行環境を無償で提供している。例えば、MicrosoftはAzure Notebooksとして、AI開発者に人気のあるPythonを手軽に利用できるJupyter Notebook環境を提供している。Jupyter NotebookはWebブラウザからページを編集するようにPythonをインタラクティブに入出力できる環境であり、計算過程および結果をWebページとして保存できるので好きなときに保存し好きなときに継続でき、できあがったWebページを技術ドキュメントとして活用することもできる (図2-9-1)。

■ 図2-9-1 notebookの例



出典: Microsoft Azure Notebooks

Azure NotebooksはこのWebページをMicrosoftアカウントを持つすべてのユーザーに開放し、当該Webページにアクセスするとクラウド側でAIライブラリが整備された専用の仮想サーバーが起動し、チュートリアルなどの例題をすぐに試すことができる。さらにオープンソースプロジェクトの最大の開発リポジトリであるGitHubとも連携し、相互利用が可能となっている。

Webブラウザとネットワーク接続さえあれば専用のPCを持たなくてもタブレットやスマートフォンから利用できるのも、誰でもAI技術を使えるようになるという意味で、「AIの民主化」に寄与している。また、クラウドベンダーからすると開発者のすそ野を広げることによる、エコシステムの拡大戦略でもあり、SaaS型クラウドの無料サービス提供を通じて自社APIへ誘導している。表2-9-3に代表的なクラウドサービスとAPIを整理する。

■表2-9-3 主要なAIクラウドサービス

| 組織名 | サービス名 | 概要 |
|-----------|-------------------------------|--|
| Google | Google Cloud Machine Learning | 機械学習用途のクラウドサービス。事前学習済みモデルも提供。Speech API (音声認識)、Vision API (画像分析)、Translate API (翻訳)、Natural Language (テキスト分析)、Jobs API (仕事検索機能) ・機械学習サービス: Machine Learning Engine ・対話型ツール: Google Colaboratory |
| Amazon | Amazon AI | AI利用のための以下の機能が提供されている。 ・Amazon Rekognition (画像認識)、Amazon Polly (文章から音声への変換) ・機械学習サービス: Amazon Machine Learning ・対話型ツール: Amazon SageMaker |
| Microsoft | Azure Machine Learning | 視覚や言語、音声、認知、検索などを扱うコグニティブ関連サービス「Microsoft Cognitive Services」は29種類のサービスを用意。視覚の分野では、画像分析 (Computer Vision API)、顔認識 (Face API)、感情認識 (Emotion API) など8種を提供。言語・音声の分野では、意図解釈 (Language Understanding)、テキスト翻訳 (Translator Text API)、リアルタイムの音声翻訳 (Translator Speech API) などが日本語対応として提供 ・機械学習サービス: Azure Machine Learning ・対話型ツール: Azure Notebooks |
| IBM | Watson Data Platform | 高速なデータ取り込みエンジン (100GB / 秒) や機械学習機能を提供するIBM Cloudベースのデータプラットフォーム。データ活用に関わる4つの専門職 (データエンジニア、データサイエンティスト、ビジネスアナリスト、アプリケーション開発者) のコラボレーションを可能にするデータ分析基盤を提供 ・機械学習サービス: IBM Watson Data Platform ・対話型ツール: Data Science Experience |

出典:各種公開情報より作成

2.9.4 共有データセット・共有モデル

前項でも述べたように、機械学習やディープラーニングはアルゴリズム、学習済みモデル、学習用データ、ソフトウェアコードなど開発した技術やデータ等を公開・共有することで、多様なプレイヤーを巻き込む連鎖的な技術開発が加速度的に進むというエコシステム上の好循環が有効に働く。本項では、学習用データの公開・共有 (共有データセット) や学習済みモデルの公開・共有 (共有モデル) に関わる動向等について述べる。

共有データセット・共有モデルに関する公的なAI用クラウドに対する具体的な要件や機能については、『AI白書2017』(「2.3.5 共有データセット・共有モデル」)を参照されたい。

(1) 共有データセット

① 既存の共有データセット

現在、使用可能な共有データセットとしては、画像認識用データセットの「ImageNet」、手書き数字認識用の「MNIST」、画像をピクセル単位で意味づけし、領域を識別する画像セマンティックセグメンテーション用の「MS COCO」などがある。AIの性能を決定づけるのがデータセットであり、そのため世界中の様々な研究機関がデータセットを公開している。表2-9-4に主要な共有データセットを示す。

■表2-9-4 主要な共有データセット

| データセット名 | 説明 |
|--------------------------------|--|
| ImageNet | スタンフォード大学がインターネット上から画像を集め分類したデータセット。一般画像認識用に用いられる。ImageNetを利用して画像検出、識別精度を競うThe ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (e ILSVRC) などコンテストも開かれる |
| MNIST | ニューヨーク大学のYann LeCunらがまとめた手書き数字を集めたデータセット。機械学習の入門用データセットとしてよく用いられる |
| MS COCO | Microsoftが作成した画像セマンティックセグメンテーション用データセット |
| Pascal VOC | 欧州のAI関連研究コミュニティのPattern Analysis Statistical Modeling and Computational Learning (PASCAL) がまとめた画像セマンティックセグメンテーション用データセット |
| WMT15 | 機械翻訳に関する国際会議のWorkshop on Statistical Machine Translation (WMT) がまとめた英語と仏語、独語、チェコ語、ロシア語、スペイン語、フィンランド語などの対訳集 |
| Cornell Movie-Dialogs Corpus | コーネル大学 (Cornell University、米国) が600以上の映画の字幕をまとめたデータセット |
| VGG Face Dataset | オックスフォード大学Visual Geometry Groupがまとめた顔画像のデータセット |
| Human Pose Estimate Dataset | オックスフォード大学Visual Geometry Groupがまとめた人間のポーズ推定を学習するためのデータセット |
| Oxford Buildings Dataset | オックスフォード大学Visual Geometry Groupがまとめた建物画像のデータセット |
| BBC-Oxford Lip Reading Dataset | British Broadcasting Corporation (BBC、英国) とオックスフォード大学がまとめた唇から言葉を読み取るためのデータセット |
| Text Localisation Dataset | オックスフォード大学がまとめた、写真の中にある文字の位置を学習させるためのデータセット |

出典：各種公開資料より作成

②既存の共有データセットの課題

現在広く頒布されているデータセットには、課題が2つある。一つは著作権や肖像権の課題である。現在はフェアユース（公正な利用）に近い形で運用されているが、これを企業が用いて学習させたものをデータセットとして、業務や製品に使うという問題への指摘がある。

GoogleやMicrosoft、Appleなどは、著作権などの知的財産権の処理をグレーゾーンとして捉え、自社のサービス用AIに共有データセットを学習させたうえで、有料のディープラーニングサービスの提供に踏み切っているが、コンプライアンス上問題があるという指摘がある。著作権などの知的財産権に関わる課題については、「4.2 知的財産」で説明する。

もう一つの課題は、データの地域依存性である。現在ある共有データセットはほとんど欧米で作られており、例えば交通標識や郵便ポストの色形など、日本の特徴に合わせたデータではないので、そのままでは日本では使えない。

(2) 共有モデル

① 既存の学習済みモデル(ニューラルネットワークモデル)

エコシステム上の好循環を生み出すもう一つの方法は、共有の学習済みモデル(共有モデル)を活用することである。学習済みモデルとは、すでに十分な時間、膨大な学習データセットを使用して学習(訓練)させたもので、米国ではカリフォルニア大学バークレー校の画像及び学習センター(Berkeley Vision and Learning Center ; BVLC)によるModel Zooで、多数の学習済みモデルが公開されている。Model Zooで公開されている主要な学習済みモデルを表2-9-5に示す。

■表2-9-5 BVLCのModel Zooで公開されている学習済みモデルの例

| モデル名 | 説明 |
|------------------------------------|---|
| AlexNet | 最初期の画像認識用ニューラルネットワークモデル |
| GoogLeNet | Googleが開発した画像認識用ニューラルネットワークをBVLCが独自に学習したもの |
| VGG-19 | ILSVRC2012のデータにおいて7.5%のTop5エラー率を達成した画像認識用ニューラルネットワークモデル |
| Places CNN | マサチューセッツ工科大学が開発、学習した写真から場所を推定するニューラルネットワークモデル |
| FCNs | セマンティックセグメンテーションを行う完全畳み込みネットワーク |
| Age and Gender | 年齢及び性別を認識するニューラルネットワークモデル |
| GoogleNet_cars | GoogLeNetを利用して自動車の種別を認識するニューラルネットワークモデル |
| SegNet | セマンティックセグメンテーション用のニューラルネットワークモデル |
| Holistically-Nested Edge Detection | 輪郭検出用のニューラルネットワークモデル |
| Video2Text_VGG | 動画からテキストを自動生成するニューラルネットワークモデル |
| VGG Face | VGGを使用した顔検出用のニューラルネットワークモデル |
| Emotion Recognition | 顔画像から感情を認識するニューラルネットワークネットワークモデル |
| ResNets | Microsoftが開発した152層に及ぶニューラルネットワークモデル |
| Deep Hand | 手の形を認識するニューラルネットワークモデル |
| DeepYeast | 顕微鏡写真から体内細胞を認識するニューラルネットワークモデル |

出典: 各種公開資料より作成

高性能なAIを作るためには、こうした公開されているモデルを元に、転移学習(ファインチューニングと呼ばれる)を独自のデータセットに対して適用するのが実用上効率的であることが知られている。

BVLCのModel Zooでは、BVLC自身が学習した学習済みモデルに加え、MITやMicrosoftなど、様々な研究機関が独自に学習させた学習済みモデルが多数公開されており、事実上のディープラーニング研究者たちのハブとなる役割を果たしてきた。「2.9.2 オープンソース」で紹介したフレームワークにおいても、各々の学習済みモデルが用意されている。

②学習済みモデル間の相互運用性の問題

モデル再利用の観点からは、フレームワーク間で学習済みモデルの相互運用性がないことが、従来から問題とされてきた。例えば、BVLC Model Zooで公開されている学習済みモデルは、BVLCが開発したディープラーニングツールである「Caffe」用のモデルに限られており、他のフレームワークからは直接再利用が困難な状況である。しかし各種フレームワークでも開発元あるいはOSSらしくユーザー有志により、モデルの移植が行われており、逆にフレームワークの得意とする領域のモデルの蓄積も個別に進んでいる。また前述のONNXやNNEFのようにモデル間の相互運用性を目指す活動も盛んであり、モデルの共有財産としての断片化はいずれ解消されると思われる。

2.9.5 オープンプラットフォーム、エコシステム

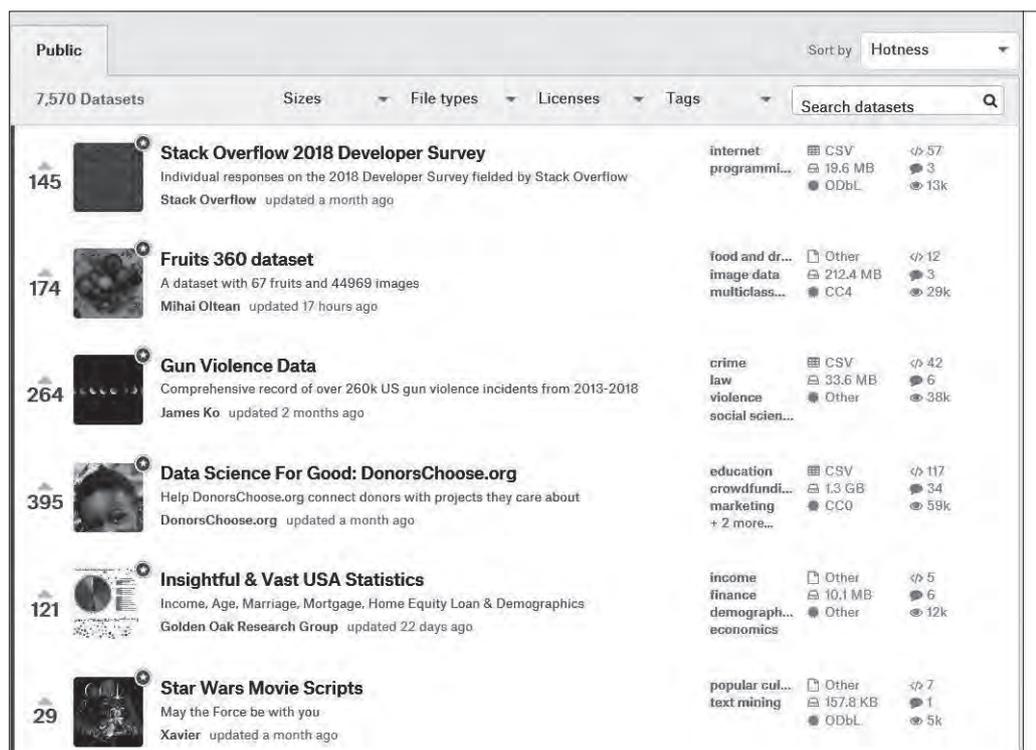
ここでは、クラウドファンディングのような環境でデータとモデルをコミュニティベースでそろえる、Kaggleについて紹介する。

Kaggleは2010年にアメリカで設立された、世界中の企業や研究者がデータやモデルを投稿するプラットフォームである。世界中の機械学習・データサイエンスに携わっている約60万人が集まるコミュニティであり、企業や政府などの組織とデータ分析のプロであるデータサイエンティスト/機械学習エンジニアをつなげるプラットフォームとなっている。単純なマッチングではなく、「Competition (コンペ)」と呼ばれる、企業や政府が課題を提示し、参加者がオープンな場で競争を行い、賞金と引き換えに企業がもっともすぐれたモデルを買い取るという仕組みを提供しているのが、Kaggleの大きな特徴となっている。

初心者向けのチュートリアルや、掲示板なども整備され、またKernelと呼ばれる予測されたデータのファイルだけでなく、ファイルの事前処理を含むすべてのモデルのコードが説明付きで公開され、これらを活用し、参加者間での切磋琢磨を支援することで、集合知のプラットフォームになっている。これらの活動を通じ、実課題に即したデータセット、だれでもアクセスできるデータセットが整備されることになる^{※92} (図2-9-2)。

※92 KaggleWebサイト<<https://www.kaggle.com/datasets>>

■ 図2-9-2 Kaggleのデータセットの例



出典: KaggleWebサイト

Kaggleへの参加実績は、世界的な企業への就職時の能力評価基準となっている。また逆に自社の能力の高さを宣伝するために、社員を就業時間中にKaggleに参加することを認めている会社もあり、Kaggleで腕を磨いた最先端のデータサイエンス人材は「Kaggler (カグラー)」と呼ばれて熱い視線が注がれている。Kagglerは実績に応じてランクづけ^{※93}されており、一部の先端的な企業ではKaggleのランクに応じて、Kaggleの業務時間内利用許可比率を定めており、トップ入賞5回の最高ランクではすべての業務時間をKaggleのコンペに使うことが認められる^{※94}。

※93 コンペ上位入賞者にメダルが授与されたり、メダル数に応じて、称号Grandmaster、master、Expert、Contributor、Novice等が与えられる。

※94 激化する「Kaggle人材」データサイエンティスト争奪戦<<https://www.businessinsider.jp/post-164895>>

2.10▷ 各国の研究開発

2.10.1 各国の研究開発の現状

我が国では、経済産業省、総務省、文部科学省にそれぞれ人工知能 (Artificial Intelligence ; AI) 研究のためのセンター (産業技術総合研究所、情報通信研究機構、理化学研究所) があり、それぞれAI研究を推進するとともに、連携して研究開発に当たることとなっている。民間企業でも、自動運転や生産ロボットなど一部の業界において本格的な研究開発に取り組み始めている状況である。我が国のAIに関わる研究開発の今後の発展に向けて、アルゴリズムの基礎研究、応用研究をさらに振興するとともに、ロボティクスや計算用のデバイスなどものづくりの強みを活かした研究開発が有効と考えられる。

海外については、主に米国の情報系企業の深層学習に関する取組みが早い段階から展開されている。2006年に深層学習の研究の発端となった論文を執筆したGeoffrey Hintonは、University of Toronto (トロント大学、カナダ) の教授であるが、現在Google (米国) と兼任している。そのほか、深層学習分野の著名な研究者の多くは、Microsoft Research (米国) や、Facebook AI Research (米国) 等のいち早く設立された民間情報系企業の研究所に移籍や兼任、アドバイザー等の形で関わっており、情報系企業のAIの研究開発戦略を担っている。また、中国はアカデミックの研究のほか、情報系企業もAIに力を入れており、中国社会におけるAI社会実装が進んでいる。

米国政府は、2015年にイノベーション戦略“A Strategy for American Innovation”を策定し、ニューロサイエンス、コネクテッドカーや自動運転車、先進マニファクチャリング、スマートシティといったAIに関連の深いテーマを重点分野として指定していた。2016年5月、米国政府は、“Preparing for the future of artificial intelligence”というレポートを発表し、AIの研究開発の方向性を示した。2018年5月、米国政府は“White House Summit on Artificial Intelligence”を開催し、①AIにおける米国のリーダーシップ維持、②米国労働者を支援、③公的研究開発の推進、④イノベーションへの障壁を取り除くこと、を目標とすることと、AI委員会を組織することを示した。そのほか、BRAIN Initiative (National Institutes of Health ; NIH)、Precision Medicine Initiative (同) や国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency ; DARPA) は、SyNAPSEプログラム等AIと関連の深い分野の研究開発を推進しており、今後も様々な分野でAIへの投資を継続すると予想される。

カナダは、2017年3月にいち早くAI戦略である“Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy”の中で、1億2,500万カナダドルを拠出することを公表した。同戦略では、優れた研究者の増員や研究能力向上を含むカナダのAIエコシステム構築を行うとした。

欧州委員会は、Framework Programme 7 (FP7)、その後のHorizon 2020の中で、AI技術関連プロジェクトを推進してきた。2018年4月、同委員会は“Communication on Artificial Intelligence”を採択し、研究投資額の増額にコミットするとともに、①EUの技術及び産業におけるAIの能力向上及び経済成長、②AIによる社会変革への準備、③AIに関する倫理及び制度設計の保証を目指す、との目標を示した。さらに、2018年末までに加盟国と調整して今後の計画を策定する予定である。

英国はケンブリッジ大学、オックスフォード大学において従来AI研究が盛んであるとともに、先端的な深層学習の研究開発を行っているDeepMind^{*95}の本拠地でもある。ドイツも、ドイツ人工

知能研究センター (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH ; DFKI) において民間企業との共同研究を多く実施しており、マックスプランク研究所 (Max Planck Institutes) や大学等を含めて、AIや脳科学まで含めれば研究人材が一定数存在している。深層学習への対応は米国に先を越されたと言わざるを得ないが、これまでHorizon2020^{*96}において、ヒューマン・ブレイン・プロジェクトを実施しており、脳のシミュレーションから応用まで幅広い範囲で研究を推進してきている実績もある。今後のAI研究に脳科学の知見が取り込まれる過程で重要な寄与をする可能性がある。

中国では、人材の豊富さも手伝って、AIの研究開発が加速している。2017年7月には政府は「次世代人工知能発展計画」を、2017年12月に「次世代人工知能産業の発展促進に関する三年行動計画 (2018～2020年)」を相次いで発表し、2020年までにAI重点製品の大量生産、重要な基礎能力の全面的強化、スマート製造の発展深化、AI産業の支援体制の確立等を通じた重点分野の国際競争力の強化、AIと実体経済の融合深化等を指すとの目標を達成するための4タスクが示された。また、Baidu、Alibaba、Tencent等の情報系企業はAIを活用したビジネスを積極的に進めている。

米国・中国・欧州の政策及びプロジェクトについては第4章にて詳細に紹介されるので、本節では特に我が国の政策・プロジェクトの現状、国防高等研究計画局 (DARPA) の研究プロジェクトや第3次AIブームの起爆剤でもある「ディープラーニング (深層学習)」の研究の起点である地の利を活かすカナダの政策・プロジェクトの概要について紹介し、さらに、各国の民間企業及び研究機関を中心としたAI技術の研究開発動向を紹介する。

(1) 各国の政策・プロジェクトの現状

① 我が国のAI研究開発政策

我が国では、「第5期科学技術基本計画」^{*97} (平成28年1月閣議決定) において、AIを「超スマート社会」を実現するための競争力向上のための基盤技術として位置づけ、その強化を推進することとなった。超スマート社会とは、「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」である。ICTを最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間 (現実世界) とを融合させた取組みにより、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」を未来社会の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組みをさらに深化させつつ「Society 5.0」^{*98}として強力で推進し、世界に先駆けて超スマート社会を実現していくこととした。

第5回「未来投資に向けた官民対話」(平成28年4月)において、安倍総理がAIの研究開発目標と産業化のロードマップを平成28年度中に策定することを表明した。それを受けて、AIの研究開発・イノベーション政策の司令塔となる「人工知能技術戦略会議」が平成28年4月に発足し、総務省、文部科学省、経済産業省の3省が連携してAI技術の研究開発と成果の社会実装の加速に当たることとなった。人工知能技術戦略会議の下に、上記3省のそれぞれが所管するAI研究のため

※95 2014年にGoogleに買収された。

※96 2014年～2020年まで7年間にわたって、EUの研究開発を促進するためのプログラム。

※97 内閣府Webサイト「科学技術基本計画」<<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>>

※98 狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続くような新たな社会を生み出す変革を科学技術イノベーションが先導していく、という意味が込められている。

のセンター(情報通信研究機構：NICT<総務省>、理化学研究所革新知能統合センター：API<文部科学省>、産業技術総合研究所人工知能研究センター：AIRC<経済産業省>)の研究の総合調整を行う場として研究連携会議を設置するとともに、人材育成、標準化・ロードマップ作成、技術・知財動向分析、規制改革等のテーマについて研究開発と産業の連携総合調整を図る産業連携会議を設置して議論を行っている^{*99}。平成29年3月には「人工知能技術戦略」^{*100}を公表するとともに、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」^{*101}を策定した。この中では、「生産性」、「健康、医療・介護」、「空間の移動」の3分野及び横断的分野として「情報セキュリティ」が重点分野とされ、3センターが連携して研究開発に取り組むとともに、産学官が有するデータ及びツール群の環境整備を行い(表2-10-1)、さらに内閣府のSIP(戦略的イノベーションプログラム)を含め、厚生労働省、国土交通省、農林水産省など出口産業を所管する関係府省のプロジェクトと連携、人工知能技術の研究開発について民間投資を促進することとした。

「未来投資戦略2018—『Society 5.0』『データ駆動型社会』への変革—」(平成30年6月15日)において、第4次産業革命の新たな技術革新として、AI、ロボット、IoT及び豊富なリアルデータの活用を挙げ、これらによる様々な社会課題の解決及び大きな付加価値の創造により「Society 5.0」を実現するものとしている。

■表2-10-1 センターの連携による研究開発テーマ

| 重点分野 | 研究テーマ概要 |
|----------|---|
| 生産性 | ハイパーカスタマイゼーションの実現を目指し、消費者の需要を反映させた適時適量・多品種少量生産を可能とする次世代生産技術の研究開発。 |
| 健康、医療・介護 | 予防医療の高度化による病気にならないヘルスケアの実現を目指し、認知症を含む疾患の早期発見、最適な治療法選択、対処を可能とするシステムの研究開発。 |
| 空間の移動 | SIPにおける自動走行システムと連携しながら、地図データの意味づけやユニバーサルコミュニケーション技術による移動空間の高付加価値化を実現するスマートモビリティの研究開発。 |

出典：人工知能技術戦略会議「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」より作成

経済産業省の産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会ではイノベーションを推進するための取組みについて議論が行われた。平成28年5月に公表した中間とりまとめ^{*102}では、AIを産業構造を一変させうる技術として位置づけ、国費による国家プロジェクトの研究開発の一部であるデータについて、オープンイノベーションによる利活用を促進するためのデータ戦略を検討することも重要とされた。

新エネルギー・産業技術総合開発機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization; NEDO)では、平成27年度から「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」をスタートし、次世代AI技術分野として①データ駆動型のAIと知識駆動型のAI

※99 人工知能技術戦略会議「資料1 人工知能技術戦略会議について」新エネルギー・産業技術総合開発機構Webサイト <<http://www.nedo.go.jp/content/100790387.pdf>>

※100 人工知能技術戦略会議「人工知能技術戦略(人工知能技術戦略会議 とりまとめ)」新エネルギー・産業技術総合開発機構Webサイト <<http://www.nedo.go.jp/content/100862413.pdf>>

※101 人工知能技術戦略会議「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」新エネルギー・産業技術総合開発機構Webサイト <<http://www.nedo.go.jp/content/100862412.pdf>>

※102 産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会「イノベーションを推進するための取組について」経済産業省Webサイト <http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/sangyougijutsu/kenkyu_kaihatsu_innovation/pdf/report01_01.pdf>

の融合や計算論的神経科学の知見を取り入れた脳型AIを目指した研究開発、②様々な次世代AIのモジュール化と、それを統合するためのフレームワークの研究開発、③注力するタスクを設定し、研究成果の集約と連携のための標準的ベンチマークやデータセットの整備、⑦人工知能に関するグローバル研究拠点を活用する等による次世代人工知能の社会実装、⑧米国の卓越した研究者を招へいする等により人工知能技術開発を加速するための日米共同研究開発を実施している(表2-10-2)。また、革新的ロボット要素技術分野として④革新的なセンシング技術、⑤革新的なアクチュエーション技術、及び⑥革新的なロボットインテグレーション技術の研究開発を実施している(表2-10-3)。また、「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」では、アナログ型抵抗変化素子を用いた脳型推論集積システムの開発や、革新的アニーリングマシンの研究開発等を実施している^{※103}。さらにAI技術の社会実装促進を目的とした「次世代人工知能・ロボット技術の中核となるインテグレート技術開発」及び「人工知能技術適用によるスマート社会の実現」を平成30年度から開始している。

■表2-10-2 「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」の次世代人工知能技術分野の研究開発項目

| No. | 研究開発項目 | 概要 |
|-----|--------------------------------|--|
| ① | 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発 | 最新の計算論的神経科学の知見を取り入れた脳型AI及びデータ駆動型のAIと知識駆動型のAIの融合を目指すデータ・知識融合型AIに関して、大規模なデータを用いた実世界の課題への適用とその結果の評価を前提とした目的基礎研究(大規模目的基礎研究)と、世界トップレベルの性能の達成を目指す先端技術の研究開発を実施する。 |
| ② | 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発 | 広範なAI応用の研究開発や社会的実用化に資するため、研究開発項目①の成果である脳型AI技術、データ・知識融合型AI技術、そのほか大学や企業が保有する様々なAI技術をモジュール化し統合するための次世代AIフレームワークと、次世代AI技術を統合し、多様な応用に迅速につなげるための核となる先進中核モジュールの研究開発を実施する。 |
| ③ | 次世代人工知能共通基盤技術研究開発 | 次世代AIの共通基盤技術として、AI技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証するための方法、そのために必要となる標準的問題設定や標準的ベンチマークデータセット等が満たすべき性質と構築の方法に関する研究開発を実施する。具体的には、生活現象モデリング 地理空間情報プラットフォーム構築と空間移動のスマート化、AIを基盤としたロボット作業、科学技術研究加速のためのテキスト情報統合の4つの共有タスクを設定している。また、それらを用いて、研究開発項目①、②の成果の評価を行う。 |
| ⑦ | 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発 | 次世代AI技術の社会実装が求められる領域として、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、「生産性」、「健康、医療・介護」、「空間の移動」の3領域において、関連する課題の解決に資するため、次世代AI技術の社会実装に関する研究開発を先導研究から実施する。なお、AI技術とものづくり技術との融合等を国内外の叢智を結集して、グローバルに行うことを考慮する。 |
| ⑧ | 次世代人工知能技術の日米共同研究開発(平成30年度より実施) | 「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」として、取り上げるべき重点分野として特定された、「生産性」、「健康、医療・介護」、「空間の移動」の3領域および横断的な分野としての「情報セキュリティ」の領域において、喫緊に解決すべき社会課題のうち、人工知能技術による貢献が期待され、経済波及効果が見込まれる課題の解決に資する次世代人工知能技術の研究開発を人工知能技術の先進国である米国から卓越した研究者を招へいすること等により実施する。研究開発においては、産学官連携により、日本の産業競争力の強化につなげ、アウトカムの最大化を目指す。 |

出典:NEDO「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」より作成

※103 新エネルギー・産業技術総合開発機構Webサイト「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」<http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100123.html>

■表2-10-3 「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」の革新的ロボット要素技術分野の研究開発項目

| No. | 研究開発項目 | 概要 |
|-----|--|--|
| ④ | 革新的なセンシング技術 (スーパーセンシング) | 屋外等の外乱の多い空間でも、的確に信号抽出ができる画期的な視覚・聴覚・力触覚・嗅覚・加速度センシングシステムやセンサーと行動を連携させて、検知能力を向上させる行動センシング技術等の研究開発を実施する。 |
| ⑤ | 革新的な アクチュエーション技術 (スマート アクチュエーション) | 人共存型ロボットに活用可能なソフトアクチュエーター(人工筋肉)、高度な位置制御やトルク制御を組み合わせるソフトウェア的関節の柔軟性を実現する新方式の制御技術や機構等の研究開発を実施する。 |
| ⑥ | 革新的なロボット インテグレーション技術 | 実環境の変化を瞬時に認知判断し、即座に対応して適応的に行動する技術や個別に開発された要素技術を効果的に連携させ統合動作させるシステム統合化技術等の研究開発を実施する。 |

出典：NEDO「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」より作成

経済産業省が所管する産業技術総合研究所では、平成27年5月に人工知能研究センター(Artificial Intelligence Research Center; AIRC)を設立した(表2-10-4)。主要な目的基礎研究として、①人間の脳の情報処理原理に関する最新の神経科学の知見を包括的に取り入れた人間の脳に近い脳型AIと、②実世界の大量のデータにもとづくデータ駆動型のAIとWeb上の大規模な知識グラフなどにもとづく論理的・形式的な知識駆動型のAIの2つを融合して、大量かつ多様な実世界のデータを深く理解し、人間の意思決定を支援するデータ・知識融合型AIの研究を行うことを目標としている(図2-10-1)。

■表2-10-4 AIRCのチーム構成

| 研究チーム | 研究の概要 |
|-------------------|---|
| 知識情報研究チーム | データに内包される意味を理解し、知識を抽出する技術の研究を実施。文章形式のデータのみならず様々な形式のデータを分析し、その中に記述されている出来事の因果関係や、登場する言葉の概念構造、情報の鮮度と客観性、情報間の矛盾などを、AIが認識し、データベース化する技術。 |
| 確率モデリング研究チーム | 様々なデバイスから得られる実世界の大量データ(ビッグデータ)と、人が持つ知識の両方を融合し、高度なタスクを実行するAIを学習させる確率モデリング技術の開発。 |
| 機械学習研究チーム | ベイジアンモデリング、カーネル法、深層学習などの先端的な機械学習技術の理論基盤、アルゴリズムの研究開発から、リモートセンシングデータ、医療データ、経済データ、ロボットの感覚・運動データ等の実データへの応用まで幅広く研究を実施。 |
| 人工知能クラウド研究チーム | 実世界から取得される多種多様な大量のデータ(ビッグデータ)を対象とした高度かつ高性能なデータ処理技術の確立と、これを基盤として、AI技術の容易かつ迅速な適用を可能にする次世代AIフレームワークの実現を目指した研究。 |
| 人工知能応用研究チーム | 機械学習にもとづく画像解析や音響データ解析による異常検知などをコア技術とし、社会インフラ診断及び医療診断・ヘルスケア支援に資する技術の実用化に向けた研究。 |
| サービスインテリジェンス研究チーム | 人の行動や身体動作の計測技術および情報共有技術により観察力を、知識構造化技術により判断力を、生活現象モデリング技術および新サービス設計技術により協働力を、各々高める各AI技術を開発し、コミュニティ内のインテリジェンス(観察、判断、行動力)を高めるための研究。 |
| 社会知能研究チーム | 人と人、人とサービスの相互作用を取り入れたシステム設計を工学的に支援するため、人々の振る舞いを継続的にセンシングする技術と、人を系に組み込んだシミュレーション手法を組み合わせ、サービス導入、改変の影響を都市規模で予測することを目指した研究。 |

(続く)

| | |
|-------------------------|--|
| 地理情報科学研究チーム | 多種多様かつ膨大な地理空間情報を知的に処理できる基盤を開発し、環境管理、資源開発、防災といった具体的な応用に結び付けた研究。 |
| 生活知能研究チーム | 多様な生活機能変化者に適合した安全な生活、自立した生活、高度な社会参加のある生活の実現といった社会的インパクトのある具体的課題を設定し、IoT技術、画像処理技術、生活データベース技術、ロボット技術などの研究を推進。また、大規模生活データからニューノーマル化した生活課題をいち早く見つけ、そのソリューションを開発可能にする「生活知識循環エコシステム」の創造も長期的な狙いとしている。 |
| オミクス情報研究チーム | すべての生物に共通するDNA、RNA、およびタンパク質を中心とした基盤技術、生物学における有意義な発見を目指す応用研究、バイオ実験自動化技術等に係る、バイオ産業分野に特化したAI技術を開発。 |
| インテリジェントバイオインフォマティクスチーム | ゲノム情報を始めとする多様で膨大な生命情報に関するデータから生体分子に関する知識発見を行うためのバイオインフォマティクス技術の開発と、疾病因子の推定や生体分子の機能解析などを通じた創薬などへの応用。 |
| データプラットフォーム研究チーム | 実世界のモノ・ヒト・コトから多種多様なビッグデータの収集・蓄積・管理・利用を行うスケールなAIデータプラットフォームの実現を目指し、高精度かつ高頻度なIoT生成データを効率的に収集・格納し、利活用促進を図るためのデータガバナンス基盤技術を開発。 |

出典：AIST人工知能研究センターWebサイト^{*104}

これらの目標のため、AIフレームワーク上で要素技術を統合した先進中核モジュールを実装して、製造業やサービス産業などの幅広い分野での産学連携による実サービスから得られる大規模なデータを使った実証研究、研究用データセットなど、AI技術の研究の基盤となるリソースを整備する。これを通じて、幅広い用途でのAI技術の有用性を提示し、産業競争力の強化と豊かな社会の実現に貢献することを目指している。具体的には、「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」^{*105}では医療・介護現場、住環境、工場等の模擬環境の整備と個別分野のデータの収集・管理、解析、2次提供を行うデータ基盤の構築等を実施するオープンイノベーション・ハブ拠点を構築、「人工知能・IoTの研究開発加速のための環境整備事業」^{*106}を実施した。また、深層学習の研究開発の基盤として構築した「AI橋渡しクラウド」(AI Bridging Cloud Infrastructure ; ABCI)は、2018年8月より運用を開始した。世界のスパコン速度性能ランキングTOP500 Listの5位、世界のスパコンの省エネ性能ランキングGreen 500 Listの8位を獲得している^{*107}。

さらに、2018年5月に、日本が取り組むべき今後のAI基盤技術の方向について、①人間と協調できるAI、②実社会で信頼できるAI、③容易に構築できるAIを提案し、意見を募集した。

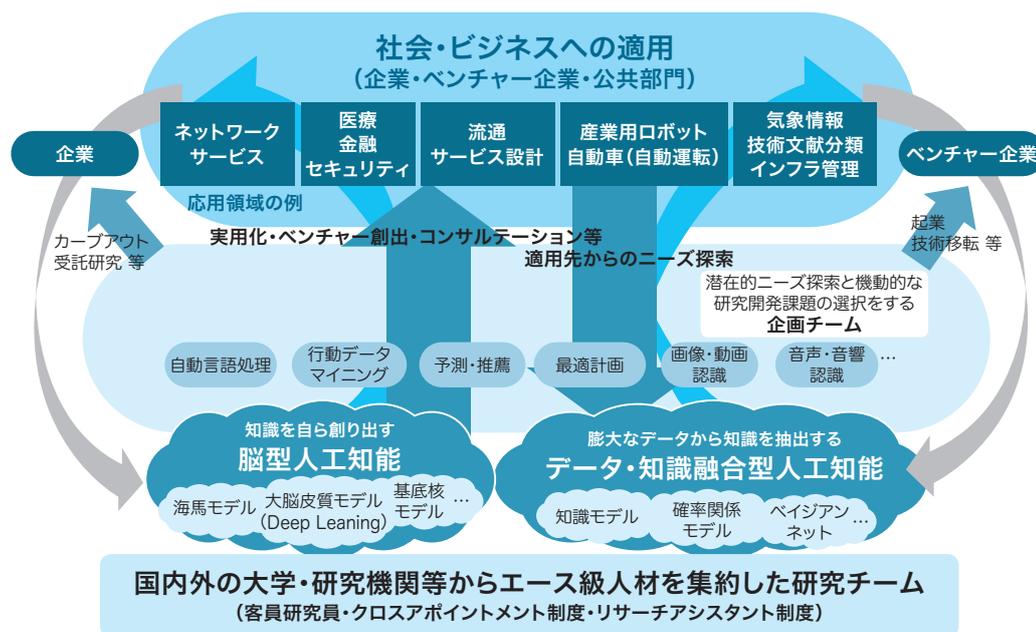
*104 産業技術総合研究所 人工知能研究センター Webサイト<<https://www.airc.aist.go.jp/>>

*105 「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業(平成28年度第2次補正予算額195億円)」経済産業省Webサイト<http://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/282jihosei/282ji_PR_10.pdf>

*106 「人工知能・IoTの研究開発加速のための環境整備事業(平成27年度補正予算額9.0億円)」経済産業省Webサイト<http://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/27hosei/27hosei_PR_15.pdf>

*107 「大規模AIクラウド計算システム「ABCI」がスパコン性能ランキング世界5位」<https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2018/pr20180626/pr20180626.html>

■ 図2-10-1 AIRCにおける研究開発の取組み



出典：産業技術総合研究所Webサイト※108

総務省では、総務大臣の諮問機関である「情報通信審議会情報通信技術分科会技術戦略委員会」において、平成28年7月に「次世代人工知能推進戦略^{※109}」を取りまとめた。本戦略では、我が国で注力していくべき研究開発分野として、8個のテーマが掲げられている(表2-10-5)。

■ 表2-10-5 「次世代人工知能推進戦略」の研究開発テーマ

| No. | 概要 |
|-----|---|
| ① | 小規模データしか得られない場合に、強化学習やスパースモデリングと呼ばれる技法を用いて学習を実現するAI技術の開発。 |
| ② | 深層学習の欠点(問題が複雑な場合に汎化能力が欠如するという本質的な課題や、入力と出力の関係がブラックボックスとなってしまう、システムに不具合が生じてその原因の究明や品質保証が困難になる課題)を克服した機械学習法の研究開発。 |
| ③ | 少量のデータしか得られない場合でも、多数の入力データを活用することによって汎化能力が高められる半教師あり学習など新たな機械学習法の研究開発。 |
| ④ | ロボット等の運動とAIの組み合わせにより、プランニングを行ったり、シンボルグラウンディングを行う問題に関する研究開発。 |
| ⑤ | 機械翻訳や音声翻訳などの自然言語処理技術と対訳コーパスの開発及び蓄積、並びにウェブやSNS、さらには学術論文や公的文書等の多種多様な知識を利用する技術、こうした知識をより効率よく人間に伝え活用するための手段として対話ロボット等の開発。 |
| ⑥ | ネットワーク上のクラウド等と自律的に処理を分担するとともに、システム間での情報共有が可能となる等、相互に通信し連携しながら自律的に判断、行動し、人の意思決定や行動を支援するための、IoT/ビッグデータ、AIを前提としたネットワーク型AI社会基盤の実現(例えば、異なる機械学習アルゴリズムの融合に基づいた通信の効率化や、情報のスパース符号化による通信量の削減、さらには脳の動的なネットワークの再構成を模倣した効率よいルーティングなど)。 |
| ⑦ | 脳活動計測データ自体の解析へのAIの適用。 |
| ⑧ | 人間の脳の情報処理メカニズムを参考にした深層学習の新たなパラダイムの創出など、脳科学の知見のAIへの適用。 |

出典：総務省「次世代人工知能推進戦略」より作成

※108 「人工知能研究センターを設立 -人工知能研究のプラットフォーム形成をめざして-」産業技術総合研究所Webサイト <http://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr20150507.html>

※109 「次世代人工知能推進戦略」総務省Webサイト <http://www.soumu.go.jp/main_content/000424360.pdf>

総務省所管の情報通信研究機構(NICT)では、脳情報通信、音声認識、多言語音声翻訳、社会知解析、革新的ネットワーク技術等の研究開発をかねてより進めている。例えば、高度言語情報統合フォーラム(ALAGIN)^{*110}では、自然言語処理の研究に資する言語資源・音声資源の整備を実施している。また、脳情報通信融合研究センターでは、システム神経科学、情報通信技術、ブレインマシンインターフェース、ニューロイメージング技術やロボット工学の研究を実施している。さらに、先進的音声翻訳研究開発推進センターでは、東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される2020年までに、国内の鉄道などの交通機関やショッピング施設、観光地、医療の現場などで活用される実用性の高い多言語音声翻訳技術や、企業などにおいて他国の特許を自動で翻訳できる多言語テキスト翻訳技術などを開発^{*111}するとともに、自動翻訳システムの様々な分野への対応や高精度化を進めるため、オールジャパン体制で翻訳データを集積する「翻訳バンク」の運用を開始した^{*112}。

次世代人工知能推進戦略では、このようなNICTがこれまで整備を進めてきた言語情報データや脳情報モデルを基盤として、全国規模で利用可能とする「最先端AIデータテストベッド」の整備、脳機能に学び知能を理解・創造する次世代AI技術の研究開発、IoT／ビッグデータ／AI情報通信プラットフォームの開発等を推進することとしている。

文部科学省は「人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト」(Advanced Integrated Intelligence Platform Project; AIPプロジェクト)^{*113}を推進しており、その研究開発拠点として、理化学研究所に革新知能統合研究センター(AIP)を平成28年4月に設置した。当センターでは、世界最先端の研究者を糾合し、革新的な基盤技術の研究開発や我が国の強みであるビッグデータを活用した研究開発を推進することとし、具体的には表2-10-6に掲げた3つの領域で研究開発を実施することとしている。

■表2-10-6 AIPプロジェクトにおける研究領域

| カテゴリ | 概要 |
|------|---|
| 汎用基盤 | 深層学習の原理の解明：現在のAI技術では対応できない高度に複雑・不完全なデータ等に適用可能な基盤技術の実現。 |
| 目的指向 | 日本の強みを伸長：AI×再生医療・モノづくり等。 社会課題の解決：AI×高齢者ヘルスケア・防災・インフラ検査等。 |
| 倫理社会 | AIと人間の関係としての倫理の明確化。 AIを活かす法制度の検討等。 |

出典：「人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト」より作成

2017年4月、AIPは、研究開発成果の実用化加速のために官業界等との連携を強化するため、東芝、NEC、富士通の3社各々との連携センターを開設し(設置期間は2022年3月31日まで)、各社が携わるソリューションを対象に、次世代人工知能基盤技術の開発から社会実装までの一貫した研究を担うこととした(表2-10-7)。

※110 「ALAGIN 言語資源・音声資源サイト」Webサイト<<https://alaginrc.nict.go.jp/>>

※111 先進的音声翻訳研究開発推進センター Webサイト<<http://astrec.nict.go.jp/research/index.html>>

※112 「『翻訳バンク』の運用開始」NICTWebサイト<<https://www.nict.go.jp/press/2017/09/08-1.html>>

※113 「『AIPプロジェクト(人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト)』に係る平成28年度戦略目標の決定について」文部科学省Webサイト<http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/28/05/1371147.htm>

■表2-10-7 理研AIP連携センターの研究課題

| 連携センター名 | 研究課題 |
|-----------------|---|
| 理研AIP-東芝連携センター | <ul style="list-style-type: none"> ✓ プラント生産性向上 ✓ 知的生産性向上 ✓ モビリティ自動化・ロボット化 |
| 理研AIP-NEC連携センター | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 少量の学習データで高精度を実現する学習技術の高度化 ✓ 未知状況での意思決定を支援する学習/AI技術の高度化 ✓ 複数AI間の調整に関わる強化学習の理論的解析 |
| 理研AIP-富士通連携センター | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 「ロバストな機械学習」：いかなる環境でも的確に未来を予測 ✓ 「シミュレーション・AI融合」：未知の環境の創出 ✓ 「大規模知識構造化」：より良い施策の立案 |

出典：理化学研究所Webサイト^{※114}より作成

科学技術振興機構 (Japan Science and Technology Agency ; JST) では、戦略的創造研究推進事業 (新技術シーズ創出) において、AIPプロジェクトに関連する研究領域をネットワークラボとして東ね、これをAIPと一体的に運営している (表2-10-8)。

■表2-10-8 ネットワークラボの構成領域

| 区分 | 研究領域 | 概要 |
|--------------------|------------|---|
| CREST | 共生インタラクション | 人間・機械・情報環境からなる共生社会におけるインタラクションに関する理解を深め、人間同士から環境全体まで多様な形態でのインタラクションを高度に支援する情報基盤技術の創出と展開を目指す。 |
| | 人工知能 | 実社会の膨大なデータを知的・統合的かつセキュアに収集・処理・学習・制御するためのイノベーション創発に資する技術の確立を目指す。 |
| | 知的情報処理 | 人間と機械の協働により新たな知を創出し、人・集団の知的活動の質向上を実現する知的情報処理システムを目指した研究開発を推進する。 |
| | ビッグデータ応用 | 個々の研究者や組織のみでは集積することが困難な大規模かつ多様な関連データを相互に関連づけて高度な統合的分析処理を行うことにより、これらのビッグデータに隠されている革新的知見や価値を抽出し創成することを実証的に研究開発する。 |
| さきがけ | 人とインタラクション | 人間と人間、人間と機械、人間と情報環境、人間と実世界環境などの多様な状況でのインタラクションの進展に資する人間の能力を拡張するための新たな技術や人間と環境が高度に調和する技術の創出、インタラクション理解のさらなる深化を目指す。 |
| | 社会デザイン | モビリティなどを含めた社会基盤、介護を含むヘルスケア、防災・減災、ロボティクスなど、あらゆる分野において、情報を知的・統合的に解析・処理・制御し、新しいサービスや社会構造の構築に貢献する基盤技術を創出する。 |
| | 社会情報基盤 | より良い社会の実現を目的とする情報基盤の要素技術の研究と、それらの技術を対象とする社会と調和させるために必要な制度や運用体制、ビジネスモデルまでも含めた総合的な議論と実践を行う。 |
| CREST、さきがけ 複合領域 | ビッグデータ基盤 | ビッグデータの複数ドメインに共通する本質的課題を解決し、様々な分野のビッグデータの統合解析を可能にする次世代基盤技術の創出・高度化・体系化を目指す。 |
| ACT-i | 情報と未来 | 情報学における研究開発によって未来を切り拓く気概を持つ若手研究者を支援するとともに、新しい価値の創造につながる研究開発を推進する。 |

出典：JST「AIPネットワークラボの構成領域^{※115}」より作成

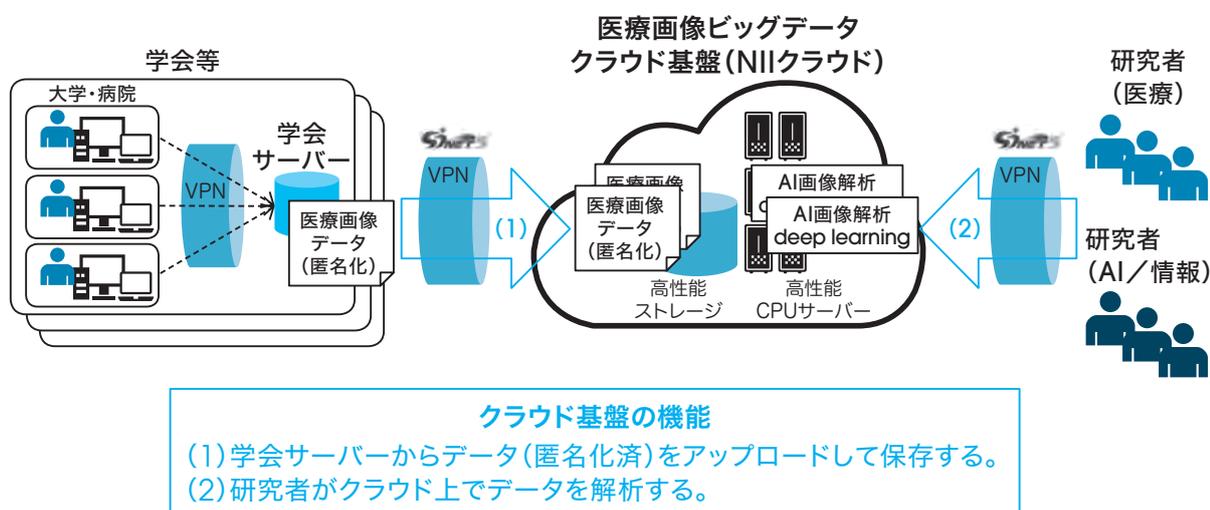
※114 「理研AIP-東芝連携センター」、「理研AIP-NEC連携センター」、及び「理研AIP-富士通連携センター」を開設 理化学研究所 Webサイト<http://www.riken.jp/pr/topics/2017/20170310_1/>

※115 AIPネットワークラボの構成領域<<http://www.jst.go.jp/kisoken/aip/ryoiki/index.html>>

国立情報学研究所 (NII) は、「AIが人間に取って代わる可能性がある分野は何か」といった問題を考える際の指標になりうるAIの客観的なベンチマークを指し示すことを目的として、大学入試問題をAIが解くことに挑戦した「ロボットは東大に入れるか」プロジェクトを、他機関のグループとともに2011年から推進した。2016年にはセンター試験模試で5教科8科目の合計で525点を獲得、偏差値は57.1に達し、国公立23大学、私立512大学で合格可能性80%以上との判定を得た^{※116}。

NIIは、2017年11月に、AIをはじめネットワーク、クラウド、セキュリティなどの最先端情報技術の活用により医療分野の課題解決を推進するため「医療ビッグデータ研究センター」を設置した^{※117}。本センターを基盤として、NIIが構築・運用する学術情報ネットワーク「SINET5」^{※118}を活用した医療画像ビッグデータのクラウド基盤の構築、AIによる医療画像解析の研究開発、匿名化した医療画像の収集に学会^{※119}の協力を得つつ取り組むとしている(図2-10-2)。

■ 図2-10-2 医療画像ビッグデータクラウド基盤のイメージ



出典: 国立情報学研究所ニュースリリース^{※120}

②米国における国防高等研究計画局 (DARPA) 関連プロジェクト

米国政府の政策については第4章にて紹介するが、ここでは主に国立機関プロジェクトとして、DARPAのプログラムを以下に列記する(表2-10-9)。これらは、DARPAが将来必要となると予想しているAI技術であると推測されることから、米国における今後のAI技術開発の方向性を示唆するものであるといえる。特に、「説明できるAI」は政府民間を問わない共通の関心事であり、MITやGoogleなどの民間分野でも、DARPAプロジェクトとは独立に、関連研究が行われている。

※116 NIIニュースリリース<https://www.nii.ac.jp/userimg/press_20161114.pdf>

※117 2017年12月25日ニュースリリース<<https://www.nii.ac.jp/news/release/2017/1225-2.html>>

※118 NIIが構築・運用している学術情報ネットワーク (Science Information NETwork)。2017年度末現在で、国立大学86校すべてを含む全国の大学や研究機関など889機関が加入しているのに加え、日米及び日欧も結ぶネットワークである。

※119 日本消化器内視鏡学会、日本病理学会、日本医学放射線学会と協力することとしている。

※120 NIIニュースリリース<<https://www.nii.ac.jp/news/release/2017/1225-2.html>>

表2-10-9 DARPAのプログラム

| 発表 | タイトル | 概要 |
|---------|-----------------------------------|---|
| 2017年夏 | 「説明できるAI (Explainable AI, XAI)」 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ XAIは、医療・法律・金融・国防など、透明性及びユーザーから“信頼”が要求される分野で活用できるよう、意思決定の理由を人に提示できる人工知能の開発を目指す。 |
| 2018年5月 | L2M | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 生物学システムからヒントを得て、新たな状況に継続的に対応する機械学習システムを開発する。 ✓ 2017年に公募が開始されており、2分野に取り組むチームを選出した。一つはシステム及びコンポーネントの開発を行う。もう一つは、生物有機体の学習メカニズムを研究し、これらをコンピューティングシステムに適用する。 |
| 2018年7月 | 学習・訓練用のデータ削減 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 現在の主要な機械学習システムは、人間によって個々にラベル付けされた膨大な教師データを必要とする。これが深層ニューラルネットワーク (DNN) の訓練に多くの費用と時間を要する原因となっている。また、機械学習システムは度々学習が不安定になる課題を抱えている。 ✓ そこで、機械学習システムの訓練と適合に伴う初期費用と時間を削減するため、「より少ないラベルで学習するプログラム」を開始する。 |
| 2018年7月 | AIE「第3の波 (Contextual Adaptation)」 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ AI技術領域における米国の優位性維持を目的として「人工知能探査 (Artificial Intelligence Exploration ; AIE)」プログラムを発表。 ✓ AI技術の進展を、「第1の波 (ルールベース)」、「第2の波 (統計的機械学習)」と捉え、それらの限界を認識。「第3の波」として“Contextual Adaptation”能力をもつAI、説明性やモデル (contextual model) を利用した適応性のあるAIの理論構築とアプリ開発を目指す。 ✓ 研究者は、助成受給から18カ月以内に新たなAIコンセプトの実施可能性を確立するための取組みを行う。 |
| 2018年9月 | 常識を持つ機械 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ AIアプリケーションが、人とより効果的なコミュニケーションをとるための常識を有する研究開発プログラムを発表。2つのアプローチをとる。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 子供のように経験から学ぶ基本的な認知の中核機能を模倣する計算モデルの開発 2. Webリポジトリなどのテキストデータから学び、常識を形作る知識リポジトリを構築し、質問応答を行う技術の開発 |

出典: DARPA Webサイト^{※121}より作成

③カナダにおけるAI政策とAIエコシステム

カナダは、第3次AIブームの火付け役となったAI研究者を次々と輩出し、「ディープラーニング (深層学習)」をはじめとするAI研究・開発の中心である。「深層学習」の理論で有名な、Geoffrey Hinton、Yann LeCun、Yoshua Bengioの3人(「カナディアン・マフィア」とも称される)が、トロント大学のカナダ先端研究機構「CIFAR」のニューラルコンピューティングプログラムに所属していたところに、「深層学習」理論を築き上げたことで知られている。この地の利を活かした戦略によりカナダはAI強国とされている。

カナダは、2017年3月にいち早くAI戦略である“Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy”を公表し、カナダのAI戦略^{※122}は、①優れたAI研究者と技術力のある卒業生の数をカナダに増やす、②エドモントン、モントリオール及びトロントにあるカナダの主要な3つのAI拠点の間に科学的に卓越した連携関係を構築する、③AI促進に伴う、経済、倫理、政策及び法律についての検討にリーダーシップを発揮する、④AIに関する国家的研究コミュニティを支援する、ことを目標としている。

※121 国防高等研究計画局 (DARPA) Webサイト<<https://www.darpa.mil/>>

※122 <<https://www.cifar.ca/ai/pan-canadian-artificial-intelligence-strategy>>

カナダでは、深層学習の著名研究者を中心に主要大学と民間企業を結び付けた地域クラスター(センター)を中心にした発展が顕著であるとされている。まず、トロント及びオンタリオ州ウォーターloo地区は最大のAIクラスターであり、「深層学習の創始者」として世界的に有名なGeoffrey Hintonトロント大学特別名誉教授が顧問を務めるMaRSディスカバリー・ディストリクト(MaRS)というイノベーションハブを中心に、革新的技術の研究開発を支援している。MaRSには、Facebook、Google、Paypalなどが入居している。

モントリオールは2番目に大きなクラスターで、深層学習の先駆者の1人であるYoshua Bengioモントリオール大学教授が所長を務めるモントリオール学習アルゴリズム研究所(MILA)が、学術機関やインキュベーター、新興企業、既存企業などと共同で高度AI研究を進め、カナダ全域でAI技術の導入と商業化推進を目指している。

アルバータ州都のエドモントンも最近注目されているAIクラスターである。University of Alberta(アルバータ大学)はAIと機械学習の論文数で世界トップ3に入り、アルバータ・マシン・インテリジェンス研究所(AMii)には、強化学習の父として知られるRichard S. Sutton教授が在籍し、ディープラーニング(深層学習)と強化学習を組み合わせた深層強化学習の研究が進んでいる。深層強化学習を用いたAlphaGo(碁)で有名なDeepMindもエドモントンに支社を設立しアルバータ大学と緊密に協力しながら、人間が介在せずに複雑な問題に対処できるAI研究に取り組んでいる。

カナダ政府は民間のベンチャー支援の一環として、2013～2016年の4年間で4億カナダドルを出資した。AIスタートアップ企業は120社以上ある。中でも最も注目されているのは、起業家Jean-François Gagnéと共にYoshua Bengioが2016年10月に設立したAIソリューションを提供するElement AIである。同社は、2018年1月にはロンドンに欧州本社を設立、5月末時点で従業員数は270人に達し、そのうち博士号保持者は70人に達している。またGPUの次のAI開発を加速する道具とされている、「量子コンピューティング」についてもカナダには、先行するD-Wave Systemsや1QBit社等のベンチャーの存在が注目される。

このように、AI研究開発拠点を中心に、企業・人材が国内・国外から集まるとともに、ベンチャーにとって起業しやすい環境を政府が整備し、新技術を開拓するベンチャーが次々と生まれるという、エコシステムが確立しつつあるといえる。

(2) 民間企業の研究開発の現状

AI技術は、新規産業を生む一方、幅広い産業に適用可能なものであり、AI企業と一口に言ってもその業種や業態が多様であることが特徴である。また、既存企業が活発に研究開発を行っている一方で、数多くのAIスタートアップ企業が生まれている。このプレイヤーの多様さと活発な投資活動及び企業買収活動が、人工知能技術産業のダイナミズムを生んでいるといえるだろう。

まず、AI研究開発を活発に行っている大企業についていえば、IBM Watsonを擁するIBM(米)、そしてGoogle(米)、Amazon(米)、Facebook(米)、Microsoft(米)などの巨大IT企業が挙げられる。そのほか、Samsung(韓)、NEC(日)、富士通(日)、東芝(日)、Siemens(独)といった総合電機メーカーや、NTT(日)、Qualcomm(米)、韓国電子通信研究院(韓)といった情報通信企業または研究機関、電力企業の国家电网(中)、印刷機器メーカーのXerox(米)等が挙げられる。このように、AI技術の研究開発が活発な企業の業種は多岐にわたっている。

次にAIスタートアップ企業についてみると、AIスタートアップ企業は多様かつ数多く存在するが、CB Insightsが2018“A.I. 100”を発表している^{*123} ^{*124}ので、このデータをもとに成

長力の高い地域と業種の傾向をみた^{※125}。

米国からは実に76の企業選ばれておりAIスタートアップ企業の活動が活発であることがうかがわれる(表2-10-10)。中国からは8つの企業選ばれているが、総資金額が米国に匹敵するほど巨大で企業あたりの規模が大きい傾向にあり多額の投資がなされている。また、総資金額が大きい業態は、ニュース及びメディア、横断的産業、フィンテック及び保険、ロボティクス、サイバーセキュリティなどである(表2-10-11)。

■表2-10-10 A.I.100企業国籍

| 国/地域 | 企業数 | 総資金額 (百万米ドル) |
|-------|-----|-----------------|
| 米国 | 76 | 6363.9 |
| 中国 | 8 | 5454.7 |
| 英国 | 5 | 446.7 |
| イスラエル | 4 | 113.6 |
| カナダ | 2 | 109.2 |
| 日本 | 2 | 126.2 |
| 台湾 | 1 | 81.5 |
| フランス | 1 | 39.7 |
| スペイン | 1 | 8.2 |
| 合計 | 100 | 12743.7 |

出典:CB Insights ai. 100 2018より作成

■表2-10-11 A.I.100 業種カテゴリ

| 業種カテゴリ | 企業数 | 総資金額 (百万米ドル) |
|------------------|-----|--------------|
| ニュース及びメディア | 2 | 3214.1 |
| 横断的産業 | 10 | 1688.7 |
| フィンテック及び保険 | 5 | 1399.2 |
| ロボティクス | 7 | 1124.4 |
| サイバーセキュリティ | 11 | 1064.3 |
| ヘルスケア | 8 | 746.6 |
| 企業内AI | 8 | 595.5 |
| オートテック | 5 | 593.1 |
| マーケティング、セールス、CRM | 6 | 512.8 |
| IoT | 5 | 378.4 |
| AIハードウェア | 4 | 315.8 |
| コマース | 5 | 240.4 |
| リスク及び規制コンプライアンス | 5 | 175.0 |
| 生命科学 | 1 | 174.0 |
| 教育 | 2 | 138.5 |
| 地理空間分析 | 2 | 117.2 |
| HRテック | 3 | 68.5 |
| 農業 | 2 | 56.2 |
| IT及び通信 | 1 | 52.9 |
| リーガルテック | 1 | 24.3 |
| 物理セキュリティ | 2 | 20.9 |
| 旅行 | 1 | 14.3 |
| ソフトウェア開発及びデバッグ | 1 | 10.5 |
| パーソナルアシスタンス | 1 | 8.2 |
| スポーツ | 1 | 7.2 |
| eスポーツ | 1 | 2.7 |
| 合計 | 100 | 12743.7 |

出典:CB Insights ai. 100 2018より作成

※123 CB Insights ai. 100 2018<<https://www.cbinsights.com/research-ai-100>>

※124 These 100 Companies Are Leading the Way in A.I.<<http://fortune.com/2018/01/08/artificial-intelligence-ai-companies-invest-startups/>>

※125 2,000以上のスタートアップ企業の中から、投資指数、技術革新、チーム力、特許活動、モザイクスコア(CB Insights独自の指数)、資金調達歴、評価、ビジネスモデルを含む基準で選ばれている。

2016年9月にFacebook、Amazon、Alphabet (Google)、IBM、Microsoftの5社は、共同でAIにおける新たな提携を行い、非営利団体“Partnership on AI”を設立した^{*126}。AI技術について、その研究開発に関するベストプラクティス構築について支援するとともに、普及活動等を行うことを目的としている。そして、安全が求められる重要用途AIや公正で透過的で説明可能なAIの実現、AIによる労働及び経済への効果、人と協調できるAIシステム、AIが社会に与える影響、AIと社会的な善について検討を行っている。現在、9カ国50以上の企業及び団体が参加している^{*127}。

①我が国の民間企業における研究開発動向

我が国の民間企業においては、特にディープラーニングに対する取組みについて現状では米国の情報系企業を中心とする取組みに比べスタートが遅れたことは否めない。そもそも国内のAI関連の人材は不足しており(「2.7.1 AI人材育成の全体イメージ」参照)、大手企業は米国への投資や直接研究所を開設することで研究開発を進めている事例が見られる。例えば、Toyota Research Institute(米国)は、シリコンバレーに研究所を開設し、スタンフォード大学等との共同研究を実施している。また、リクルートホールディングスは、データ分析の自動化技術を開発しているDataRobot(米国)に、トヨタ自動車及びファナックはPreferred Networksに、ソフトバンクはFlipkart(印)、Fanatics(米)等に、NVIDIAはABEJA等に、各々出資している。

NTTグループは、AI関連技術群の総称としてcorevoをブランド名としたサービスを展開している。corevoを構成するAI技術は、人の発する情報を捉えて意図・感情を理解するAgent-AI(コンタクトセンターや高齢者支援)、心身を読み書き深層心理・知性・本能を理解するHeart-Touching-AI(スポーツ上達やメンタルウェルネス)、人・モノ・環境を読み書き、瞬時に予測・制御するAmbient-AI(運転支援や災害予測・復旧)、複数のAIがつながり社会システム全体を最適化するNetwork-AI(ネットワークの故障予知や社会最適化)の4種からなる^{*128 *129}。

他の特許出願数上位企業としてNEC、富士通、東芝が挙げられ、既存サービスにAI技術を導入した製品展開がなされている。NECは、デジタルトランスフォーメーションを加速する最先端AI技術「NEC the WISE」を展開している^{*130}。富士通は、AIを活用したサービスZinraiを展開しており^{*131}、また、物質の構造など実世界のデータの関係(グラフ構造)を直接学習する「Deep Tensor」と学術論文など世界中に存在する膨大な知識を構造化したナレッジグラフを組み合わせAIが行った判断結果にいたる根拠を提示する技術を開発した^{*132}。東芝は、製造現場等に適用するAI技術SATLYSと人と人のコミュニケーションをサポートするAI技術RECAIUSを展開している^{*133}。

Preferred Networksは、Preferred Infrastructureからスピナウトして設立されたスタートアップ企業であり、リアルタイム機械学習技術をIoT領域に適用している。事例として、交通シス

*126 <<https://www.partnershiponai.org/>>

*127 2018年7月20日現在。

*128 NTTグループのAI技術「corevoTM」を実装した共通基盤にてデバイス連携システムの合同実証実験を開始
<<http://www.ntt.co.jp/news/2016/1607/160725a.html>>

*129 研究Q&A <<http://www.ntt.co.jp/svlab/activity/pickup/qa47.html>>

*130 デジタルトランスフォーメーションを加速する最先端AI技術群「NEC the WISE」 <<https://jpn.nec.com/ai/>>

*131 Zinraiトップ <<http://www.fujitsu.com/jp/solutions/business-technology/ai/ai-zinrai/>>

*132 AIの推定理由や根拠を説明する技術を開発「Deep Tensor」とナレッジグラフを融合
<<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/09/20-1.html>>

*133 人とモノが共働する世界を実現する東芝の2つのAI技術 <<https://www.toshiba.co.jp/iot/spinex/ai.htm>>

テム(2014年10月からトヨタ自動車と共同研究)、製造業(2015年6月からファナックと、2017年12月から日立製作所と共同研究)、バイオヘルスケア(2017年12月から国立がん研究センター棟と共同研究)を重点事業領域としている。同社はニューラルネットワークのフレームワークChainerを公開しているのに加え、海外学会においても積極的に発表を行っており、高く評価されている。LeapMindは、企業向けにディープラーニングエッジソフトウェア開発を行い、また、深層学習を実装したエッジデバイスの技術開発を行っている。

2017年6月に日本ディープラーニング協会^{*134}が設立され、ディープラーニングについて、①産業活動の促進、②公的機関や産業界への提言活動、人材育成、国際連携活動、社会との対話、等の活動を行っていくとしている。同協会は、ディープラーニングに関する知識普及と人材育成のため、ジェネラリスト向けのG検定及びエンジニア向けのE検定の2種類の資格試験を実施している(「2.7.2 スキル標準/認定・検定制度」参照)。

我が国では、昨今のAIの興隆への対応は少し遅れたものの、今後に関しては、AI及び脳科学等関連諸科学のアカデミックの研究者層の厚みを背景とした産官学連携の推進、リアル空間のデータを持つ製造業の強みを利用したビジネス開発など、既存の強みを活かした戦略が期待される。

②米国の民間企業における研究開発動向

2006年にディープラーニングの興隆の発端となった論文を執筆したGeoffrey Hintonは、トロント大学の教授であるが、現在はAlphabet(Google)と兼任している。このように、米国の場合、大学と民間企業の研究所の間の人材交流が大変活発であることが特徴である。Hintonのほかにも、Facebook AI ResearchのYann LeCun等、AI分野の著名な研究者が多く民間情報系企業の研究所に移籍や兼任、アドバイザー等の形で関わっており、情報系企業のAIの研究開発戦略を担っている。

Jeffrey Deanが率いるGoogle AI^{*135}は、1,700名弱(2018年7月現在)の研究者を擁する。特にディープラーニングに特化したGoogle Brain Teamは、深層学習の理論的研究から自然言語処理、機械翻訳等の研究を進めており、Neural Turing Machine等、パターンと記号処理の融合を目指す分野で本質的な研究を多く行っている。また、ディープラーニングのフレームワークであるTensorFlowをオープンソースとして公開している。

Amazonは、2017年中に米国企業中最大の230億ドル近い研究開発予算を投じ、これは2位のAlphabet(Google)を大きく引き離していることで話題となった^{*136}。同社は、AWS、Alexa、キャッシュレスのコンビニエンスストアAmazon Goといった野心的な技術に投資を行っている。なお、2017年の米国企業R&D投資額ランキング3位以降は、順にIntel、Microsoft、Appleであり、実に上位5位までをIT企業が占めている。

Facebookも、AI技術に投資を行っており、35億件もの一般入手可能な写真のデータセットに対し、ハッシュタグを付与する画像認識システムの訓練に成功したと発表した。また、オープンソースAIフレームワークPyTorchを公開している^{*137}。

※134 一般社団法人日本ディープラーニング協会Webサイト<<http://www.jdla.org/>>

※135 2018年5月にGoogle Researchから改称されたことが発表された。

※136 Amazon spent nearly \$23 billion on R&D last year — more than any other U.S. company <<https://www.recode.net/2018/4/9/17204004/amazon-research-development-rd>>

※137 開発者カンファレンス「F8」2018：2日目発表内容まとめ <<https://ja.newsroom.fb.com/news/2018/05/f8-2018-day2/>>

GAFAsの残る一角であるAppleは、これまで(Siriを提供していたものの)人工知能などの知的ソフトウェアの分野で立ち遅れていると目されていたが、Googleの人工知能及び検索の責任者であったJohn Giannandreaを迎えたこと^{*138 *139}から分かるように、AI技術分野を強化しているところである。

注目すべき点として、Amazon、Google、Microsoft、Appleは、スマートスピーカーを発売しており、各々特徴は異なるものの、音声認識技術、会話技術、パーソナルアシスタンス技術、スマートホーム技術を家庭に浸透させつつある。

IBMは、「Watson」を含むクラウドサービスを提供する企業である。「Watson」はIBMが研究開発する人間の認知に関わる情報処理(コグニティブ・コンピューティング)の総称であり、同社はWatsonを開発するプロジェクトに2006年から取り組んでいる。そして、IBMとMITは、2017年9月にMIT-IBM Watson AI labを設立するために10年間で2億4,000万米ドルに及ぶ契約に合意したと発表した。この研究所では、まず第1に、ニューラルネットワークにもとづく深層学習を用い、特定応用をさらに推し進めるAIアルゴリズムを開発、第2に機械学習と量子コンピューティングを結び付ける研究を行うとしている^{*140}。

アレン人工知能研究所(Allen Institute for Artificial Intelligence; AI2)は、Microsoftの共同創業者であるポール・アレンの出資を受け、人工知能に関する重大な問題を探求することを目的として、2014年に設立された非営利の研究所である。同研究所が推進する“common sense AI”プロジェクトは、ポール・アレンから新たに1億2,500万米ドルの出資を受けており、人工知能に常識を持たせることで大きなブレイクスルーをもたらすことを目指している^{*141}。DARPAの常識を持つ機械を目指すプロジェクトに対して、ベンチマークテストを提供することになっている。

Upstartは、貸付プロセスの自動化にAI技術を適用するスタートアップ企業であって、顧客の学歴や就労情報から将来の収入を予想しリスクを算出して貸し付けを行う。同社は銀行やクレジット会社等に当該サービスをSaaSとして提供している。

Cybereasonは、イスラエル軍でサイバーセキュリティに携わった共同創業者により創業されたスタートアップ企業であり、エンドポイントのログを収集してリアルタイムで監視して解析を行い、攻撃者の侵入を検知するプラットフォームを提供している。日本法人サイバーリーズン・ジャパン株式会社は、ソフトバンクとCybereasonの合弁会社である。

③ 欧州の民間企業における研究開発動向

英国は、ケンブリッジ大学、オックスフォード大学において従来AI研究が盛んであるとともに、DeepMindの本拠地でもある。深層学習と強化学習の組み合わせで囲碁においてトッププロ棋士に勝利したAlphaGoを作ったDeepMindの研究開発動向は、仮想的な3次元の迷路を解くエージェントの開発や、リカレントニューラルネットワーク(Recurrent Neural Network; RNN)、強化学習の一種であるQ学習(Q-learning)を用いたシステムの開発など、今後のAI開発の方向性を

*138 Apple、GoogleのAIトップを引き抜く<<https://jp.techcrunch.com/2018/04/04/2018-04-03-apple-steals-googles-ai-chief/>>

*139 ニューヨークタイムズ紙、2018年4月3日<<https://www.nytimes.com/2018/04/03/business/apple-hires-googles-ai-chief.html>>

*140 IBMとMITがAI研究パートナーシップを締結、10年間で2億4000万円が提供される<<https://jp.techcrunch.com/2017/09/07/20170906ibm-and-mit-pen-10-year-240m-ai-research-partnership/>>

*141 アレン人工知能研究所<<https://allenai.org/>>

見据えた取組みを多く実施している。

ドイツも、DFKIにおいて、Volkswagen(ドイツ)など民間企業との共同研究を多く実施しており、自然言語処理、知識処理、仮想現実、データマイニング等の研究を実施している。

ドイツのシーメンスは、2017年9月に中国の精華大学と協力して北京に自律ロボットの研究開発センターを設立すると発表した^{*142}。これは、国際ロボット連盟(IFR)のレポート^{*143}に、2019年には中国が世界最大のロボット市場になると見込まれたことを受けたものと考えられる。

Shift Technologyは、フランスのパリで設立されたスタートアップ企業であり、損害保険や生命保険などの保険金詐欺検出にAIを利用したソリューションを提供している。

Babylon Healthは、デジタルヘルスケアアプリケーションを提供する英国のスタートアップ企業である。ユーザーはこのアプリケーションを通じて一般開業医とビデオ面談をすることができる。後継バージョンでは、医師とのビデオ面談に先立ってAIによる医療アドバイスを受けることができる。このチャットボットを使うことで、不必要な通院を減らす効果がある。

④中国の民間企業における研究開発動向

中国では、Baidu、Alibaba、Tencent(3社を合わせて“BAT”と呼ばれることがある)等の情報系企業のAIへの取組みが先行している。

Baidu(百度)は、2000年に創業された中国最大の検索エンジンを提供する企業であり、全世界の検索エンジン市場においてGoogleに次いで第2位、中国国内では最大のシェアを占める。2013年に北京に、2014年にはシリコンバレーに人工知能研究所を開設し、3億ドルを投じている。同社は、検索サービスの向上につながる画像認識や音声認識、自然言語解析、機械翻訳などの研究に取り組んでいる。

Alibabaは、1999年の創業で、電子商取引サイトを運営している。ディープラーニングと推薦システム、マルチメディアデータ分析等の研究を行っている。

Tencentは、1998年に創業されたインターネット企業であり、ゲームの売上高では世界最大である。同社は、機械学習、コンピュータービジョン、音声認識、自然言語処理の研究を行っている。

国家電網は、世界最大の電力配送会社である。中国国内での特許取得件数で首位であり^{*144}、人工知能技術分野でも出願数で2位に大きく差をつけて首位になっている。

Bytedanceは、ニュースアプリで成長したスタートアップ企業であり、総資産額は31億米ドルを超えている。データマイニング技術とリコメンド技術をニュースアプリに応用している。

Face++は、顔認識クラウドサービスプラットフォームを構築するスタートアップ企業であり、顔認証サービスの提供に加えて顔決済サービスを実用化している。

(3) 特許・論文の動向

①特許動向

AIが様々な領域に影響を与え始めている変革期においては、広い範囲で特許権を取得できるケースは少なくない。また、AIの進展は著しく、自社技術として秘匿しても、優位性を維持できる

※142 シーメンス中国が国際自律ロボット開発を主導 <http://jp.xinhuanet.com/2017-09/15/c_136611930.htm>

※143 The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs <https://ifr.org/img/office/IFR_The_Impact_of_Robots_on_Employment.pdf>

※144 2017年の特許取得件数において国家電網が首位に <http://www.spc.jst.go.jp/news/180105/topic_3_03.html>

期間は短い。そのため、国内外の主要企業等では、開発した技術に関わる特許出願を進めている状況にある。

以下に、AIに関わる特許の動向を示す。調査対象は、優先権主張年が2000年から2018年の期間の特許・実用新案出願^{*145}（以下、この項では「特許出願」という）とし、データベースにクラリベイト・アナリティクスのDerwent Innovationを使用し、国際特許分類（International Patent Classification；IPC）の分類コード（「G06N（特定の計算モデルにもとづくコンピューター・システム）」及びその他の人工知能技術関連分類^{*146}）を用いて検索を行った^{*147}。

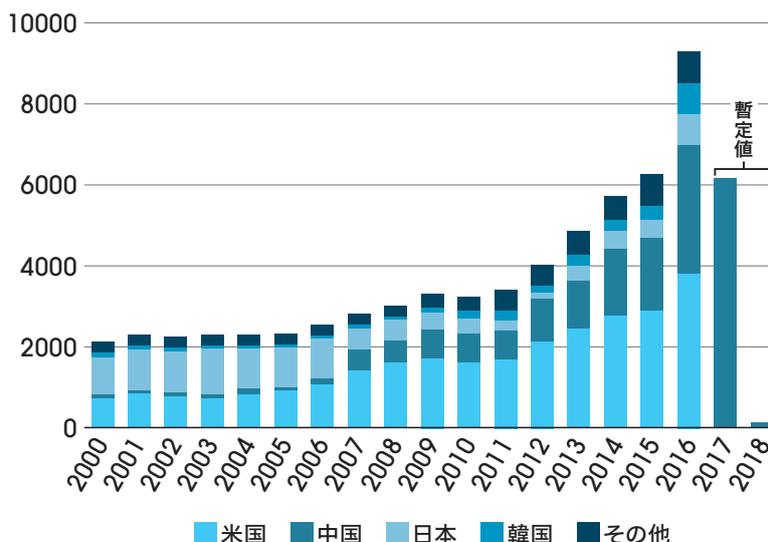
表2-10-12は、2000年から2018年の間の特許出願累計についての出願受理機関ごとのランキングである^{*148}。図2-10-3は、特許出願総数の推移であり^{*149}、2002年から2005年までは横ばい、2006年から2009年までは増加傾向にあるものの2010年に一旦減少したあと、2011年以降は急増している。そして、2002年ごろは日本と米国が大半を占めていたものの、次第に日本の相対的割合が低下しつつあることがみてとれる。米国及び中国の特許出願数は大きく伸びており、特に2016年以降は、他国出願の大半は公報発行前であることに留意は必要であるが、中国出願数の著しい伸びが継続している点は注目すべきところである。

■表2-10-12 2000年～2018年の国／地域ごとのAI関連特許出願数

| 順位 | 国／地域 | 出願数 | 出願割合 |
|----|------|--------|--------|
| 1 | 米国 | 31,055 | 44.5% |
| 2 | 中国 | 18,132 | 26.0% |
| 3 | 日本 | 9,866 | 14.1% |
| 4 | 韓国 | 3,059 | 4.4% |
| 5 | 国際 | 1,358 | 1.9% |
| 6 | 欧州 | 1,100 | 1.6% |
| 7 | 台湾 | 973 | 1.4% |
| 8 | 独国 | 815 | 1.2% |
| 9 | 英国 | 663 | 0.9% |
| 10 | インド | 562 | 0.8% |
| 11 | ロシア | 532 | 0.8% |
| 12 | フランス | 489 | 0.7% |
| 13 | その他 | 1,234 | 1.8% |
| | 合計 | 69,838 | 100.0% |

出典：Derwent Innovationでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成（2018）

■図2-10-3 世界のAI関連特許出願数推移



出典：Derwent Innovationでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成（2018）

※145 パテントファミリーが存在する場合、優先権主張年が最先の出願（ベーシック出願）をカウントした。パテントファミリーが存在しない出願は出願年を用いてカウントした。また、出願日から公報発行まで期間が設けられているため（多くの場合18カ月）、検索日との関係から2017年ないし2018年は暫定値であり、それ以前の値もデータベースの更新等により変動しうる。

※146 G06Nのほか、G06F15/18、G06F17/28、G06F19/24、G06G7/60、G06K9/66、G10L15/06、G10L15/065、G10L15/07、G10L15/14、G10L15/16、G10L15/18、G10L15/183、G10L15/187、G10L15/19、G10L15/193、G10L15/197、G10L17/04、G10L17/18、G10L25/30、G10L25/33、G10L25/36、G10L25/39を対象とした。

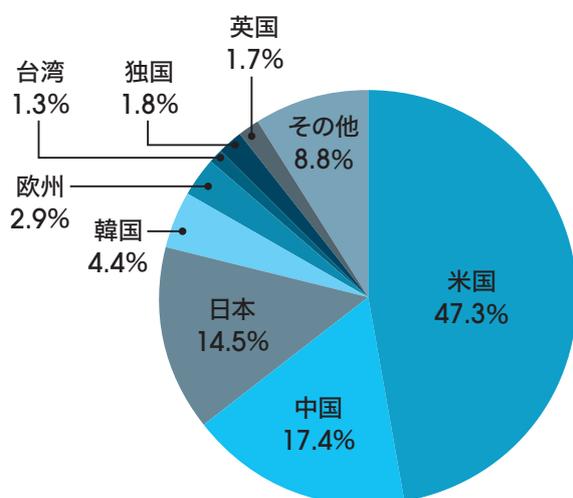
※147 検索日は2018年6月28日。

※148 表中の「国際」は世界知的所有権機関（World Intellectual Property Organization；WIPO）に、「欧州」は欧州特許庁（European Patent Office；EPO）に出願され発行されたものである。

※149 出願から特許調査データベース更新までにタイムラグがあるため、2017～2018年は暫定値である。また、2016年以前であっても、特許調査データベースの更新により若干の変動がありうる。

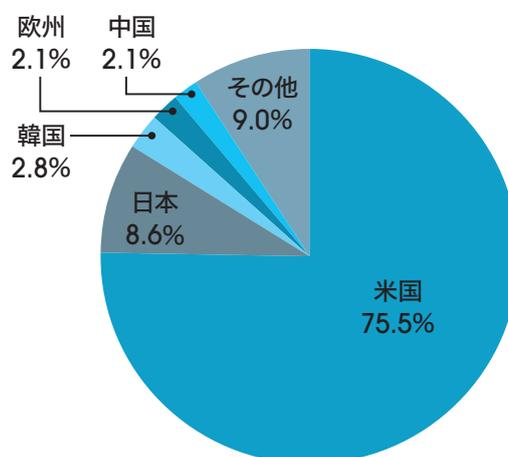
次に、国ごとの出願傾向を示す。対象出願は優先権主張年が2000年から2018年の各国に対する特許出願^{※150}である。図2-10-4の世界特許出願の出願人国籍^{※151}をみると、米国が半数近くを占めており、次いで中国、日本、韓国の順となっている。図2-10-5～図2-10-8は、各国における出願人国籍である。一般に通常は当該国の出願人が多くの割合を占めるため、注目すべきは2位以降の国であり、どの国の企業が当該国を、競争力を維持すべき市場として重視しているかを反映していると考えられる。図2-10-5の米国への出願の場合、日本、韓国、欧州の順で出願がなされている。図2-10-6の中国への出願の場合、米国、日本の順となっている。図2-10-7の日本への出願の場合、米国、欧州の順となっている。図2-10-8の独国は少し状況が異なり、同国の出願数が大きくないこともあって外国籍の比率が高く、米国と独国がほぼ同程度であり、日本、欧州が続く。

■ 図2-10-4 世界におけるAI関連特許出願の出願人国籍 (2000年～2018年累計)



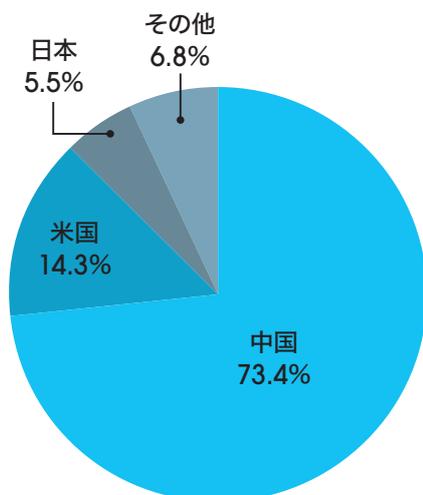
出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとに NEDO技術戦略センターが作成(2018)

■ 図2-10-5 米国出願(AI関連)の出願人国籍 (2000年～2018年累計)



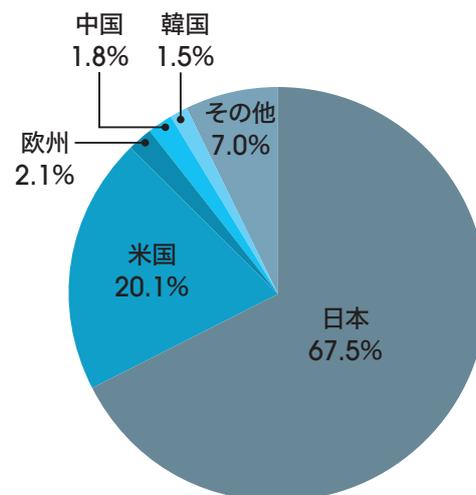
出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとに NEDO技術戦略センターが作成(2018)

■ 図2-10-6 中国出願(AI関連)の出願人国籍 (2000年～2018年累計)



出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとに NEDO技術戦略センターが作成(2018)

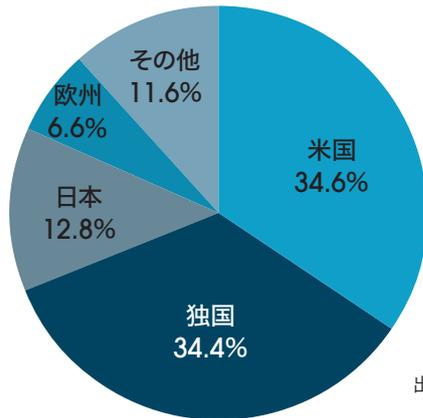
■ 図2-10-7 日本出願(AI関連)の出願人国籍 (2000年～2018年累計)



出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとに NEDO技術戦略センターが作成(2018)

※150 各国に対する特許出願をカウントした。ただし、ある国に同一の優先権主張を伴う出願が複数件ある場合は1件とカウントした。
 ※151 ファミリ中の最先の出願(ベーシック出願)の出願先の国を出願人の国籍とみなした。

■ 図2-10-8 独国出願 (AI関連) の出願人国籍 (2000年～2018年累計)



出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとに
NEDO技術戦略センターが作成(2018)

次に、世界全体において2012年から2016年までの出願累計が多い出願人を示す(表2-10-13)。IBMが首位であり、出願数が他に比べて多い。次いで、Google、Microsoftと米国企業が続き、韓国企業のSamsung、日本企業のNTT、NECが続く。トップ15に入った出願人国籍は、米国、日本、中国、韓国、独国となっている。

■ 表2-10-13 2012年～2016年AI関連特許出願の多い出願人ランキング

| 順位 | 2012～2016年特許出願数トップ15 | 出願数 |
|----|----------------------|------|
| 1 | IBM(米) | 2396 |
| 2 | Google(米) | 816 |
| 3 | Microsoft(米) | 718 |
| 4 | Samsung(韓) | 432 |
| 5 | NTT(日) | 380 |
| 5 | NEC(日) | 380 |
| 7 | 国家电网(中) | 353 |
| 8 | 富士通(日) | 267 |
| 9 | Facebook(米) | 247 |
| 9 | Qualcomm(米) | 247 |
| 11 | 韓国電子通信研究院(韓) | 240 |
| 12 | 東芝(日) | 194 |
| 13 | Amazon(米) | 186 |
| 14 | Siemens(独) | 172 |
| 14 | Xerox(米) | 172 |

出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

次に、2016年における、世界全体と米国、中国、日本、独国における出願数が多い出願人を示す(表2-10-14)。米国においては、世界全体の傾向がおおむね反映されている。IBMが首位であり、Microsoftが追う状況にある。中国では、中国全土へ送電・変電・配電を行う国家电网が一位、IT企業大手のAlibabaが2位、そのほか中国の企業及び大学が大半を占め、その中でGoogle(米)やSamsung(韓)といった外国企業がランキングに入っているところから、中国国内では大規模出願人により出願されているというよりは、多数の出願人によって全体として大量の出願がなされているものと推測される。日本では、日本の大手総合電機メーカーなど日本の企

業及び研究機関が国内出願の上位を独占している状況にある。独国は米国企業、独国企業、日本企業が含まれるが、独国の産業構造を反映して自動車業界の企業が比較的多いことが特徴である。

表2-10-14を図2-10-5と併せてみると、米国市場に対して、米国企業のみならず日本、韓国、独国の大手外国企業が出願している状況がみられ、グローバル企業の米国市場重視の傾向をみる事ができる。また、図2-10-5～図2-10-8をみると、中国の企業及び大学の外国での特許出願活動は今のところさほど活発化していないが、現状は中国国内の出願件数の伸びが著しい状況にあることから、今後の動向には注視していく必要がある。

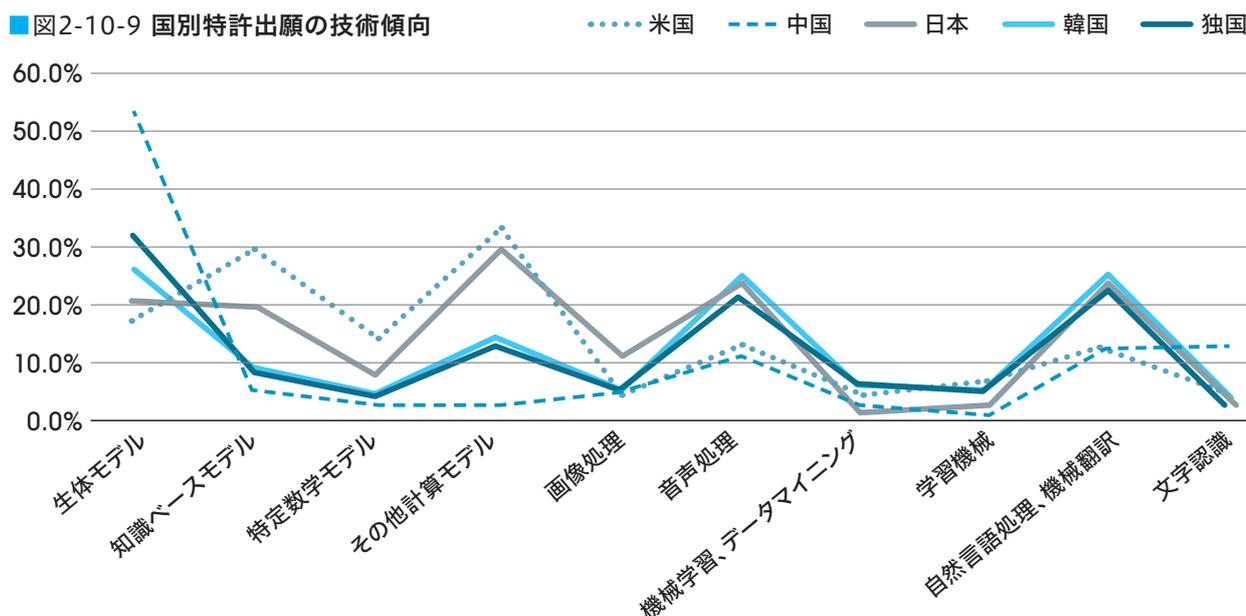
■表2-10-14 2016年における国ごとの上位出願人による特許出願数(AI関連)

| 順位 | 世界 | | 米国 | | 中国 | | 日本 | | 独国 | |
|----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-------------|-----|--------------|-----|
| | 出願人 | 出願数 | 出願人 | 出願数 | 出願人 | 出願数 | 出願人 | 出願数 | 出願人 | 出願数 |
| 1 | IBM(米) | 666 | IBM(米) | 666 | 国家電網(中) | 121 | NTT(日) | 95 | Google(米) | 56 |
| 2 | Microsoft(米) | 192 | Microsoft(米) | 188 | Alibaba(中) | 56 | 富士通(日) | 92 | ファナック(日) | 33 |
| 3 | Google(米) | 189 | Google(米) | 183 | 西安電子科技大(中) | 51 | パナソニック(日) | 49 | フォード(米) | 27 |
| 4 | Samsung(韓) | 126 | Samsung(韓) | 111 | Huawei(中) | 48 | 東芝(日) | 47 | Bosch(独) | 12 |
| 5 | 国家電網(中) | 121 | Facebook(米) | 83 | Google(米) | 47 | ファナック(日) | 35 | ゼネラルモーターズ(米) | 12 |
| 6 | 富士通(日) | 102 | 富士通(日) | 81 | Baidu(中) | 46 | 日本電気(日) | 35 | アドビシステムズ(米) | 8 |
| 7 | NEC(日) | 102 | NEC(日) | 69 | アモイ大(中) | 42 | 日立(日) | 33 | Siemens(独) | 8 |
| 8 | NTT(日) | 95 | Intel(米) | 67 | 天津大(中) | 41 | SONY(日) | 30 | Audi(独) | 4 |
| 9 | 韓国電子通信研究院(韓) | 85 | アクセンチュア(アイルランド) | 56 | 北京工業大学(中) | 41 | 三菱電機(日) | 27 | BSH(独) | 3 |
| 10 | Facebook(米) | 83 | LinkedIn(米) | 48 | 北京バイドゥ・ネットコム(中) | 40 | トヨタ自動車(日) | 26 | Lenovo(中) | 3 |
| 11 | Intel(米) | 73 | Siemens(独) | 48 | 華南理工大(中) | 40 | ヤフー(日) | 25 | NVIDIA(米) | 3 |
| 12 | Alibaba(中) | 60 | アドビシステムズ(米) | 44 | 浙江大(中) | 38 | キヤノン(日) | 21 | トヨタ自動車(日) | 3 |
| 13 | アクセンチュア(アイルランド) | 58 | 東芝(日) | 44 | 河海大(中) | 37 | 富士ゼロックス(日) | 19 | Apple(米) | 2 |
| 14 | Siemens(独) | 57 | Apple(米) | 39 | Samsung(韓) | 36 | 情報通信研究機構(日) | 15 | コグネックス(米) | 2 |
| 15 | パナソニック(日) | 55 | GE(米) | 39 | 南京郵電大(中) | 33 | デンソー(日) | 15 | DeepMind(英) | 2 |

出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

次に、特許出願数上位国の米国、中国、日本、韓国に独国を加えた5カ国について、特許出願が属する技術分野^{※152}を図2-10-9に示した。特定の国の特許出願において各々の技術分野の出願が占める割合を示している。技術分野の内容は表2-10-15に記載した。

中国特許出願は、ニューラルネットワーク関連の技術分野(画像、音声、自然言語処理等)の割合が相対的に高く、中国では深層学習等のニューラルネットワークモデルに特化した技術開発がなされている。一方、米国特許出願及び日本特許出願は、知識ベースモデル及びその他計算モデルに関する特許出願の割合が相対的に高く、よりバラエティに富む研究開発がなされていると考えられる。



出典: Derwent Innovationでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

■ 表2-10-15 技術分類

| 技術 | 技術の概要 |
|---------------|---|
| 生物モデル | 生物モデルにもとづくコンピューターシステム 例: ニューラルネットワーク、深層学習、遺伝的モデル |
| 知識ベースモデル | 知識ベースモデルを利用したコンピューターシステム 例: 知識の表現、推論 |
| 特定数学モデル | 特定の数学的モデルにもとづいたコンピューターシステム 例: ファジー論理、カオスモデル、非線形モデル |
| その他の計算モデル | 特定の計算モデルにもとづくコンピューターシステムであって、生物モデル、知識ベースモデル、特定数学モデルのいずれにも分類されない主題事項に関するもの |
| 画像処理 | 汎用イメージ処理 例: ニューラルネットワークを用いた画像認識 |
| 音声処理 | 汎用音声処理 例: ニューラルネットワークを用いた音声認識 |
| 機械学習、データマイニング | 機械学習、データマイニング等を用いた特定用途コンピューター |
| 学習機械 | 自身が得た経験に応じてプログラムが変化するコンピューター |
| 自然言語処理、機械翻訳 | 自然言語の処理または翻訳を行うコンピューター |
| 文字認識 | 手書き文字認識、指紋等のパターン認識 |

出典: IPC分類表(特許庁,2018)をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

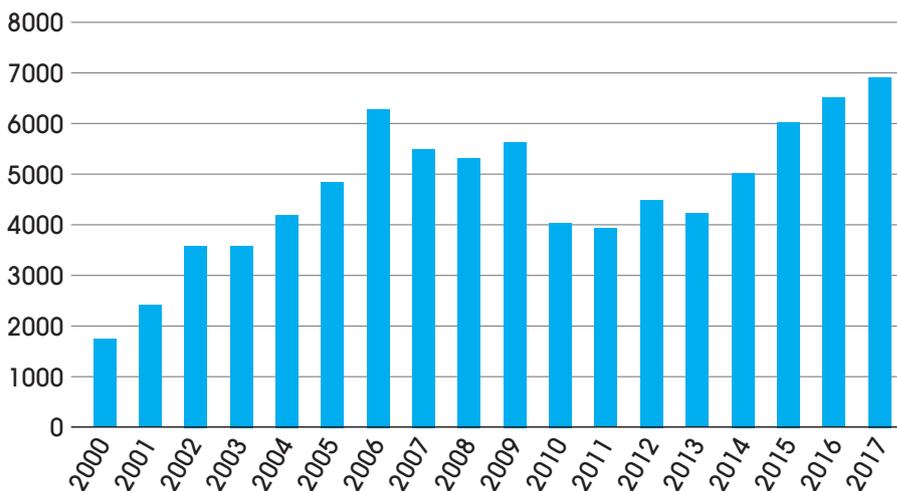
※152 2012年から2016年の特許出願について、パテントファミリーに付与された特許分類についてベーシック出願の出願先の国ごとに整理し、技術グループ単位の付与数をカウントしたものをパテントファミリー数で除して割合とした。

②論文動向

下図に、機械学習等の人工知能技術に関する論文について、2000年～2017年の論文発行数の推移を示す^{※153}。2006年まで増大した後に一旦減少に転じ、2013年以降は増加の一途をたどっていることが分かる(図2-10-10)。

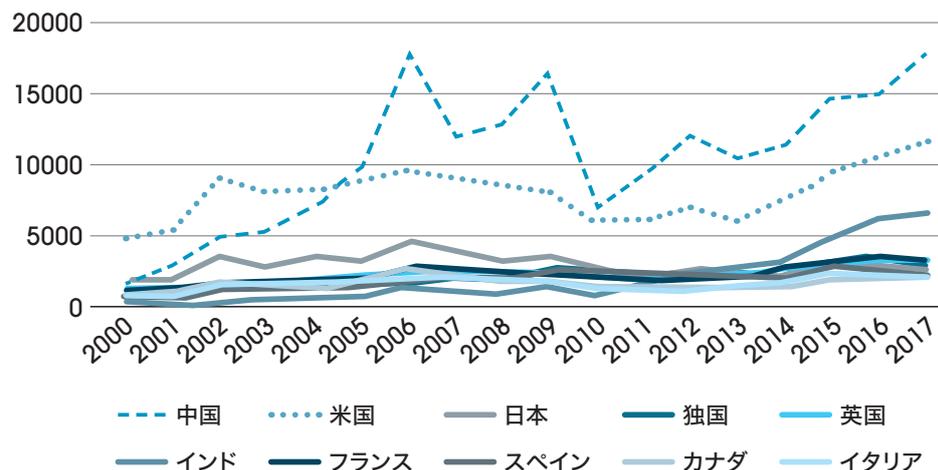
2013年以降について国別に見ると、主要国はいずれも論文発行数が増加しており、論文発行数の順位は、中国、米国、インド、英国、独国と続き、日本は6位であった(図2-10-11)。

■ 図2-10-10 世界の人工知能技術論文等発行数(2000年～2017年)



出典: Web of Science Core Collectionでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

■ 図2-10-11 著者所属機関の国/地域別人工知能技術論文等発行数



出典: Web of Science Core Collectionでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

※153 論文の検索にはクラリベイト・アナリティクスのWeb of ScienceのCore Collectionを使用した。検索キーワードはTS= (“artificial intelligence”) OR TS= (“neural network*” AND computer*) OR TS= (“deep learning”) OR TS= (“machine learning”) OR WC= (“artificial intelligence”)とした。対象国は特に限定していない。検索日は2018年8月3日～8月16日。

2013年から2018年に発行された人工知能技術に関する論文30万9,388件に対して、キーワード検索^{*154}を行ったときのヒット論文数のシェアを示す(表2-10-16)。機械学習及びニューラルネットワークについては、中国、米国の順であるが、シェアは同程度である。また、自然言語処理及び音声認識は米国が優勢である。日本は、音声認識及びロボティクスが比較的健闘している。

■表2-10-16 国/地域別キーワードヒット論文シェア(2013年～2018年)

| 順位 | 全体 | | 機械学習 ニューラル ネットワーク | | 自然言語処理 | | 画像認識 | | 音声認識 | | ロボティクス | |
|----|------|-------|-------------------------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 国 | シェア | 国 | シェア | 国 | シェア | 国 | シェア | 国 | シェア | 国 | シェア |
| 1 | 中国 | 24.2% | 中国 | 23.7% | 米国 | 23.3% | 中国 | 27.0% | 米国 | 24.3% | 中国 | 15.0% |
| 2 | 米国 | 16.1% | 米国 | 22.4% | 中国 | 14.1% | 米国 | 21.5% | 中国 | 13.3% | 米国 | 14.9% |
| 3 | インド | 8.1% | インド | 7.7% | インド | 8.5% | インド | 5.9% | インド | 7.9% | 独国 | 8.2% |
| 4 | 英国 | 5.0% | 英国 | 5.8% | 英国 | 5.4% | 英国 | 5.5% | 日本 | 7.7% | 日本 | 8.2% |
| 5 | 独国 | 4.9% | 独国 | 4.5% | スペイン | 5.2% | 独国 | 4.6% | 独国 | 6.6% | 仏国 | 5.1% |
| 6 | 日本 | 4.7% | 日本 | 4.0% | イタリア | 4.5% | スペイン | 4.5% | 英国 | 5.7% | イタリア | 5.0% |
| 7 | 仏国 | 4.3% | カナダ | 3.7% | 独国 | 4.4% | オーストラリア | 4.4% | 仏国 | 4.8% | 英国 | 5.0% |
| 8 | スペイン | 4.0% | スペイン | 3.7% | 仏国 | 4.1% | 仏国 | 4.1% | スペイン | 3.9% | 韓国 | 4.6% |
| 9 | イタリア | 3.5% | オーストラリア | 3.6% | 日本 | 3.7% | イタリア | 3.9% | イタリア | 3.4% | スペイン | 4.0% |
| 10 | カナダ | 3.1% | 仏国 | 3.2% | カナダ | 3.4% | 日本 | 3.7% | シンガポール | 2.8% | インド | 3.8% |

出典: Web of Science Core Collectionでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

※154 「項目名(ヒット件数): 検索式」は次のとおりである。機械学習+ニューラルネットワーク(95,457): TS=("NEURAL NETWORK*") OR TS=("DEEP LEARNING") OR TS=("LEARNING MACHINE*") OR TS=("MACHINE LEARNING") OR TS=(SVM) OR TS=(SUPPORT VECTOR MACHINE*) OR TS=("REGRESSION*")、自然言語処理(4,552): TS=("NATURAL LANGUAGE*")、画像認識(8,908): TS=("IMAGE RECOGN*") OR TS=("VISION RECOGN*") OR TS=("COMPUTER VISION*")、音声認識(2,756): TS=("SPEECH RECOGN*")、ロボティクス(38,580): WC=("ROBOT*") OR TS=("ROBOT*")

③研究拠点

人工知能技術分野において論文発表数の多い研究機関を表2-10-17にまとめた。

■表2-10-17 人工知能技術論文数が多い研究機関一覧(2013～2018年)

| 順位 | 機関 | 分類(国/地域) | 論文数 |
|----|--|--------------|------|
| 1 | CHINESE ACADEMY OF SCIENCES | 大学(中国) | 5999 |
| 2 | CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS | 国立研究機関(仏国) | 4997 |
| 3 | UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM | 大学(米国) | 3935 |
| 4 | INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY SYSTEM IIT SYSTEM | 大学(インド) | 2954 |
| 5 | TSINGHUA UNIVERSITY | 大学(中国) | 2585 |
| 6 | HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY | 大学(中国) | 2216 |
| 7 | UNIVERSITY OF LONDON | 大学(英国) | 2211 |
| 8 | NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY | 大学(中国) | 2167 |
| 8 | NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY NATIONAL INSTITUTE OF EDUCATION NIE SINGAPORE | 大学(シンガポール) | 2167 |
| 10 | INRIA | 国立研究機関(仏国) | 2133 |
| 11 | UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM | 大学(米国) | 2093 |
| 12 | CARNEGIE MELLON UNIVERSITY | 大学(米国) | 2028 |
| 13 | BEIHANG UNIVERSITY | 大学(中国) | 1907 |
| 14 | UNIVERSITE PARIS SACLAY COMUE | 大学(仏国) | 1893 |
| 15 | SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY | 大学(中国) | 1733 |
| 16 | STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA | 大学(米国) | 1732 |
| 17 | ISLAMIC AZAD UNIVERSITY | 大学(イラン) | 1671 |
| 18 | MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY MIT | 大学(米国) | 1611 |
| 19 | ZHEJIANG UNIVERSITY | 大学(中国) | 1552 |
| 20 | UNIVERSITY OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES CAS | 大学(中国) | 1528 |
| 21 | NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE | 大学(シンガポール) | 1526 |
| 22 | HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE TECHNOLOGY | 大学(中国) | 1447 |
| 23 | UNIVERSITY SYSTEM OF GEORGIA | 大学(米国) | 1447 |
| 24 | MICROSOFT | 民間企業(米国) | 1443 |
| 25 | BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY | 大学(中国) | 1419 |
| 26 | XIDIAN UNIVERSITY | 大学(中国) | 1327 |
| 27 | PEKING UNIVERSITY | 大学(中国) | 1310 |
| 28 | SOUTHEAST UNIVERSITY CHINA | 大学(中国) | 1309 |
| 29 | UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SYDNEY | 大学(オーストラリア) | 1287 |
| 30 | PENNSYLVANIA COMMONWEALTH SYSTEM OF HIGHER EDUCATION PCSHE | 大学(米国) | 1285 |
| 31 | UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA | 大学(米国) | 1281 |
| 32 | HELMHOLTZ ASSOCIATION | 民間研究機関(独国) | 1277 |
| 33 | NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY CHINA | 大学(中国) | 1253 |
| 34 | XI AN JIAOTONG UNIVERSITY | 大学(中国) | 1240 |
| 35 | TECHNICAL UNIVERSITY OF MUNICH | 大学(独国) | 1237 |
| 36 | STANFORD UNIVERSITY | 大学(米国) | 1220 |
| 37 | NORTHEASTERN UNIVERSITY CHINA | 大学(中国) | 1208 |
| 38 | BEIJING UNIVERSITY OF POSTS TELECOMMUNICATIONS | 大学(中国) | 1194 |
| 39 | HARVARD UNIVERSITY | 大学(米国) | 1192 |
| 40 | UNIVERSITY OF TOKYO | 大学(日本) | 1184 |
| 41 | IMPERIAL COLLEGE LONDON | 大学(英国) | 1179 |
| 42 | UNIVERSITY OF ILLINOIS SYSTEM | 大学(米国) | 1167 |
| 43 | UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE TECHNOLOGY OF CHINA | 大学(中国) | 1150 |
| 44 | CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE CNR | 国立研究機関(イタリア) | 1149 |
| 45 | ETH ZURICH | 大学(スイス) | 1144 |
| 46 | NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY | 大学(中国) | 1135 |
| 47 | SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY | 大学(中国) | 1109 |
| 48 | UNIVERSITY OF SCIENCE TECHNOLOGY OF CHINA | 大学(中国) | 1099 |
| 49 | UNIVERSITY SYSTEM OF MARYLAND | 大学(米国) | 1065 |
| 50 | CITY UNIVERSITY OF HONG KONG | 大学(中国) | 1064 |

出典: Web of Science Core Collectionでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

上位50機関中、論文数が多い機関の国籍順は、中国(22)、米国(13)、仏国(3)、英国(2)、独国(2)、シンガポール(2)、日本(1)、インド(1)、オーストラリア(1)、イタリア(1)、スイス(1)、イラン(1)であった。

次に、日本機関の順位を示す(表2-10-18)。順位欄には、世界全体における順位を示した。

■表2-10-18 人工知能技術論文数が多い研究機関一覧(国内機関)(2013~2018年)

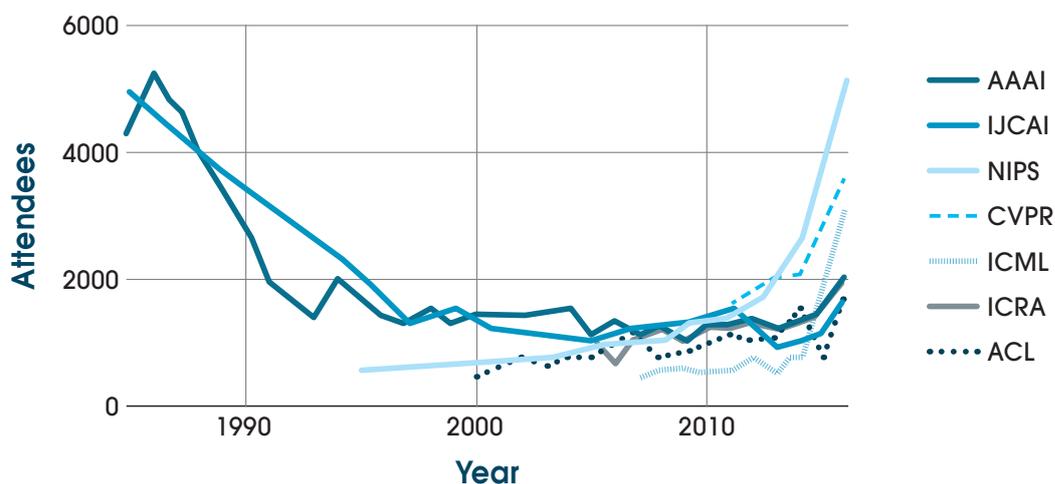
| 順位 | 機関 | 論文数 |
|-----|---------------|------|
| 40 | 東京大学 | 1184 |
| 115 | 大阪大学 | 703 |
| 168 | 早稲田大学 | 553 |
| 228 | 京都大学 | 471 |
| 236 | 東京工業大学 | 464 |
| 241 | 名古屋大学 | 453 |
| 249 | 情報・システム研究機構 | 443 |
| 276 | 筑波大学 | 415 |
| 300 | 国立情報学研究所 | 387 |
| 309 | 九州大学 | 382 |
| 341 | 電気通信大学 | 352 |
| 348 | 産業技術総合研究所 | 347 |
| 351 | 東北大学 | 345 |
| 373 | 慶應義塾大学 | 328 |
| 387 | 奈良先端科学技術大学院大学 | 312 |
| 396 | 立命館大学 | 396 |
| 416 | 九州工業大学 | 297 |
| 443 | 北陸先端科学技術大学院大学 | 282 |
| 471 | 大阪府立大学 | 267 |
| 498 | 北海道大学 | 256 |
| 528 | 理化学研究所 | 245 |
| 608 | 神戸大学 | 216 |
| 655 | 広島大学 | 201 |
| 682 | 名古屋工業大学 | 193 |
| 712 | 首都大学東京 | 185 |
| 719 | 科学技術振興機構 | 183 |
| 745 | 東京理科大学 | 178 |
| 750 | 豊橋技術科学大学 | 177 |
| 770 | 日本電信電話(NTT) | 173 |
| 779 | 本田技研工業 | 172 |
| 790 | 東京農工大学 | 169 |
| 823 | 日本電気(NEC) | 162 |
| 826 | 情報通信研究機構 | 161 |
| 833 | 法政大学 | 159 |
| 838 | 会津大学 | 158 |
| 907 | 福岡工業大学 | 145 |
| 945 | 岩手県立大学 | 139 |
| 964 | 山口大学 | 135 |
| 964 | 富士通 | 135 |

出典: Web of Science Core Collectionでの検索結果をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

④国際会議からみた技術動向

AI関連主要国際会議について、出席者の推移を図2-10-12に示す。AAAI、IJCAIは、記号推論などの伝統的なテーマを含む人工知能技術全般、NIPSはニューラルネットワーク技術、CVPRは画像認識、ICMLは機械学習を主要なテーマとして扱う学会である^{*155}。これらの会議は機械学習及び深層学習に関連した技術を主要なテーマとしている。国際会議ごとの出席者数の推移から、記号論理から機械学習及び深層学習へのシフトが起きたことが推察される。

■ 図2-10-12 AI主要国際会議の参会人数の推移



出典: AI Index2017 Annual Reports, Stanford Univ. (2017)

主要な国際会議である、AAAI、IJCAI、NIPSの最近の状況を以下に紹介する。

・AAAI (Association for Advancement of Artificial Intelligence)

米国の人工知能技術に関する学会であり、IJCAI、NIPSと並んで人工知能分野のトップカンファレンスの一つに位置づけられている。2018年大会(2018年2月2日~7日米国ニューオーリンズにて開催)では、採択数は全体で938件であった(表2-10-19)。次に、国別投稿数及び採択数を示す(表2-10-20)。1位は米国250件(投稿数934件)、2位は中国240件(投稿数1,248件でトップ)であり、米国・中国で半数近くを占める。日本は30件であった。

■ 表2-10-19 投稿数及び採択率の推移

| 年 | 採択数 | 採択率(%) | 採択数増加率 前年比 (%) |
|------|-----|--------|-------------------|
| 2014 | 398 | 28.3 | - |
| 2015 | 539 | 27.0 | 41.6 |
| 2016 | 548 | 25.5 | 7.6 |
| 2017 | 539 | 24.8 | 19.9 |
| 2018 | 938 | 24.6 | 48.1 |

出典: 公開情報をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

*155 AAAI: Association for the Advancement of Artificial Intelligence、IJCAI: International Joint Conference on Artificial Intelligence、NIPS: Conference and Workshop on Neural Information Processing Systems、CVPR: Conference on Computer Vision and Pattern Recognition、ICML: International Conference on Machine Learning、ICRA: IEEE International Conference on Robotics and Automation、ACL: Association for Computational Linguistics

■表2-10-20 国別投稿数及び採択数

| 順位 | 国/地域 | 2018年採択数 | 2018年投稿数 | 2017年投稿数(参考) |
|----|--------|----------|----------|--------------|
| 1 | 米国 | 250 | 934 | 770 |
| 2 | 中国 | 240 | 1,248 | 785 |
| 3 | シンガポール | 40 | 109 | 94 |
| 4 | 香港 | 34 | 92 | 61 |
| 5 | 豪州 | 32 | 124 | 104 |
| 6 | 英国 | 32 | 128 | 101 |
| 7 | 日本 | 30 | 99 | 80 |
| 8 | 独国 | (公表なし) | 68 | 60 |
| 9 | インド | (公表なし) | 76 | 58 |
| 10 | カナダ | (公表なし) | 70 | 70 |

出典:公開情報をもとにNEDO技術戦略センターが作成(2018)

分野別には、機械学習が1/4を占め、最多数であるが、従来の人工知能分野も広く採択されている(表2-10-21)。

■表2-10-21 分野別論文数

| 順位 | 分野 | 採択数 | 投稿数 |
|----|----------------|-----|-------|
| 1 | 機械学習 | 261 | 1,164 |
| 2 | ビジョン | 128 | 435 |
| 3 | 自然言語と機械学習 | 73 | 262 |
| 4 | 人工知能とWeb | 57 | 236 |
| 5 | 機械学習の応用 | 46 | 227 |
| 6 | ゲーム理論と経済パラダイム | 45 | 138 |
| 7 | 自然言語とテキストマイニング | 44 | 182 |
| 8 | 知識表現 | 41 | 163 |
| 9 | アプリケーション | 40 | 207 |
| 10 | マルチエージェント | 25 | 98 |
| 11 | 自然言語と知識表現 | 22 | 87 |

出典:学会事務局による発表

・IJCAI(International Joint Conference on Artificial Intelligence)

人工知能分野でのトップの学術会議であり、AAAIと並び最難関とされている。2018年の開催地はスウェーデンのストックホルムであった(2018年7月13日~19日)。採択数、分野別論文数を以下に示す(表2-10-22、表2-10-23)。

■表2-10-22 国別採択数

| 国/地域 | 採択数 |
|---------|-----|
| 中国 | 325 |
| EU | 129 |
| 米国 | 122 |
| シンガポール | 26 |
| オーストラリア | 23 |
| 日本 | 17 |
| イスラエル | 13 |
| 香港 | 12 |
| インド | 10 |
| カナダ | 10 |

出典:学会事務局が発表した採択リストをもとにNEDOが作成

■表2-10-23 分野別論文数

| 分野 | 採択数 | 投稿数 |
|---------------|-----|-------|
| 機械学習 | 356 | 1,808 |
| 機械学習の応用 | 131 | 613 |
| コンピュータービジョン | 131 | 613 |
| 自然言語処理 | 102 | 480 |
| マルチエージェントシステム | 100 | 498 |
| 知識表現 | 81 | 412 |
| 計画とスケジューリング | 44 | 235 |
| 探索とゲーム | 42 | 190 |
| 制約と充足 | 41 | 162 |
| 人工知能の不確実性 | 41 | 188 |
| 人間と人工知能 | 38 | 260 |
| ロボティクス | 25 | 136 |

出典:学会事務局が発表した採択リストをもとにNEDOが作成

・NIPS (Conference on Neural Information Processing System)

当初は神経科学を計算科学の側面から研究するという方向性の発表もあったものの、現在はほとんどが機械学習の発表に占められており、機械学習のトップレベル会議とされている。

2017年大会(2017年12月4日～9日米国ロングビーチにて開催)の採択数を以下に示す(表2-10-24)。

■表2-10-24 国別採択数

| 国/地域 | 採択数 |
|-----------|-----|
| 米国 | 406 |
| 中国 | 163 |
| カナダ | 22 |
| 日本 | 14 |
| 欧州 | 163 |
| アジア(日本除く) | 26 |
| その他 | 23 |

出典:学会事務局が発表した採択リストをもとにNEDOが作成

当該大会では、全体的に以下の傾向が見られた。

- ・ Generative Adversarial Net (GAN)に関する発表の増加
- ・ ベイズ推論では、Variational Inference (VI、変分ベイズ法)の発表が増加
- ・ 「メタラーニング」がキーワードになりつつある(GAN、深層強化学習もこれに含まれる)
- ・ AIチップの開発が進展

国際トップカンファレンスにおいて、日本からの発表が数の上ではそれほど多くないが、AAAI2018の採択率は決して低くない。研究者の層を厚くし、また外国研究グループのネットワーク形成などの取組みの充実が望まれる。

2.10.2 グランドチャレンジ

(1) 総論

現在までの人工知能(Artificial Intelligence; AI)の歴史の中で、チェス、将棋、囲碁などのゲーム、チューリングテスト、ロボットや自動運転など、様々なテーマでグランドチャレンジが長期的な目標として設定されることにより、研究開発を推進する力を生み出してきた。グランドチャレンジは、大きな目標を掲げ、それを達成することで研究開発を加速するプロジェクト推進手法である。米国のアポロ計画に見られるように、「人類を月面に送り込み、安全に帰還させる」という明確かつチャレンジングな目標が設定される。同時に、その達成の過程で、社会的にも産業的にも重要な一連の技術が生み出されることがグランドチャレンジの設定において非常に重要である。

AIの分野では、人間に勝つことのできるチェスコンピューターの開発というチャレンジが、非常に早い段階から掲げられた。このチャレンジは、1997年にIBM(米国)のDeep Blueが、当時の世界チャンピオンであるGarry Kasparovに勝利することで達成されたが、その過程において、多くの探索アルゴリズムや並列計算技術など、広く普及している技術が生み出された。その後、ゲーム題材として、将棋、囲碁、クイズショー、ポーカーなどがチャレンジの課題として設定され、実際に達成されてきた。

これらのチャレンジが、ゲームの世界を対象にしていたのに対し、物理世界での課題をテーマとするチャレンジも登場している。

我が国の研究者が中心となり1990年代半ばに始まったRoboCupは、「2050年までに、完全自律型のヒューマノイドロボットで、FIFA(Fédération Internationale de Football Association)ワールドカップの優勝チームとFIFAの公式ルールで試合を行い、勝利する」という目標を掲げ、世界45カ国で数千人の研究者を巻き込む巨大プロジェクトとなっている。これは、サッカーというテーマを設定しているがゆえに、複数の自律型ロボットの実時間での協調動作という新たな課題を提示した。この問題設定は、人工知能とロボットの複合領域での研究と実用化を加速した。これは、RoboCupへの参加者がKIVA Systems(現在のAmazon Robotics)、Aldebaran Robotics(現在のSoftbank Robotics)等の名だたるロボット企業を創業していることでも見て取れる[1]。また、米国国防高等研究局(DARPA)も自動走行車や災害救助ロボットの領域でグランドチャレンジを設定して、数回の競技会を開催したことがある。

グランドチャレンジは、目標の達成自体が大きな社会的・産業的意義を持っている場合と、目標自体は、極めて難度が高く、インパクトがあるものの、それ自体には、直接的な社会的・産業的重要性は、必ずしも大きくはない場合とがある。後者の場合は、「ランドマーク型グランドチャレンジ」である。RoboCupを例にとると、サッカーで世界チャンピオンになったとして、それ自体が、直接社会や産業の役に立つわけではない。しかし、その過程で生み出される技術が世の中に大きなインパクトを与えるというものである。つまり、人類の歴史に残るような目標を掲げるが、それ自体は「記念碑(ランドマーク)」にすぎない。真の目標は、そこに到達する過程にあるということである。これは同時に、何をランドマークとして設定するかが最も重要であることを意味する。成功するランドマークプロジェクトは、次

の3つの要件を満たすものである。

- 1) 社会・産業的に重要になりそうな一群の次世代技術の開発を要求する課題であること。
- 2) その成功や進歩が、一般の人々にも分かる明確な形で示されること。
- 3) 最終目標が、歴史的記念碑となることが明白で、だからこそ困難が予想されるが、すぐに第一歩を踏み出すことは可能であること。

AIにおけるグランドチャレンジの多くは、ランドマーク型であり、そこからおびただしい技術が生み出され、世の中に普及している。

グランドチャレンジの成功と、最近のAIの発展を受けて、新たなグランドチャレンジを設定する動きが出てきている。システムバイオロジー研究機構の北野宏明は、2050年までにノーベル賞級の科学的発見を可能とするAIを生命科学分野等で開発するというグランドチャレンジを提唱している[2]。今後、これらの新しいグランドチャレンジが充実していくことにより、AIが加速していくことが期待される。

(2) 完全情報問題をテーマとしたグランドチャレンジ

これまで、人工知能のグランドチャレンジは、チェス、将棋、囲碁など、ゲームを対象に設定されてきたことが多い。ゲームは、すべての情報が眼前にあるという意味で、完全情報問題であり、さらに、ルールが明確であり、勝ち負けによって手法の良し悪しが明確に評価できる、目標にできる強い人間が存在する、などAIの研究の題材として優れている。それにより多くのゲームを対象としたグランドチャレンジが行われてきた。

①チェス

チェスは西欧で知性のシンボルとされているので、AIの例題としてチェス(の世界チャンピオンに勝つコンピューターを開発すること)はAIの研究が始まって約50年間ずっと中心的な例題となっていた。AIの最初のグランドチャレンジである。John McCarthyはチェスのことをAIの「ハエ」と称した。遺伝学が「ハエ」を題材として大きな進歩をしたように、AIはチェスを題材として大きな進歩をしたという意味である。チェスの「場合の数」はほぼ 10^{120} である。ある局面でルール上指せる合法手の数を分岐数というが、チェスの平均分岐数は約35である。チェスは平均80手で勝負がつくので、35の80乗すなわち 10^{120} が場合の数となる。

当初は、チェスの解空間は、あまりに膨大であり、力ずくの探索は現実的ではなく、人間の持つ知識をヒューリスティックスとして組み込む必要があるとの議論がされていた。しかし、その後の展開は、これとは全く逆であった。チェスは、探索アルゴリズムの高度化、大規模並列計算機による探索の地平の拡大、過去の棋譜を用いた盤面評価の学習の3要因が組み合わさることで急速に強くなっていった。

Claude ShannonとAlan Turingはチェスの探索にゲーム理論でJohn von Neumannらが開発したミニマックス法^{*156}を使うことを提案し、このミニマックス法がその後のゲームの探索の基本となった。ゲームのプログラムを強くするには、

※156 何らかの評価関数にもとづき、最大の損失が最小になるように行動の意思決定を行う戦略。

- 1) ミニマックス法を基本とした探索手法の改良
- 2) 局面を点数化する(静的)評価関数の精緻化

の2つが求められる。理論的には例外が存在するものの、経験的にほとんどの場合ゲームはより深く先読みした方が強くなるので、同じ時間でできるだけ深く先読みできる探索手法が望ましいことになる。

チェスのプログラムを強くすることを目指して様々な工夫が試みられた。ミニマックス法は探索の末端の局面のすべての評価値をしらみつぶしで求めなくてはならないので、時間がかかってその分深く読めないという欠点がある。そこで、ミニマックス法と探索結果が同じで、それより効率がいい手法が経験的に開発された。それがアルファベータ法である。チェスのプログラムで経験的に使われているものをアルゴリズムとしてまとめたのがDonald Knuthである。Knuthは末端の局面の数が N 個のとき、アルファベータ法は最も効果が高い場合に \sqrt{N} 個だけ評価値を求めればよいことを明らかにした。

アルファベータ法の効果が高くなるのは展開した探索木が評価関数の値の大きい順番になっているときである。したがって1手先を読むたびに評価値を計算して大きい順に並べ替えておくのがよいことになる。チェスのプログラムで経験的にそのことが分かり、それが後に反復深化(iterative deepening)という探索手法として定式化された。新しい探索手法の多くはチェスを例題として開発されたと言ってよい。例えば、ある指し手の評価値だけが他の評価値とかけ離れているときに、その指し手に注目して、その指し手だけをより深く読むという選択的深化(selective deepening)、評価値がどの程度信頼できるかを表す共謀数(conspiracy number)とそれを拡張した証明数(proof number)・反証数(disproof number)などが有名である。

探索を効率的に行うためのハッシュ表^{*157}、ビットマップなどデータ構造の工夫もチェスを通して確立した。チェスは(アルファベータ法を使って)ルール上指せるすべての手を読むという全数探索が有効だったので、スーパーコンピューターやチェス専用マシンを使うことによって探索の速度を上げようという試みが盛んになされた。また並列に探索するアルゴリズムもチェスを例題にして盛んに研究された(アルファベータ法は探索全体をアルファ値、ベータ値によって制御するので並列に探索するには困難があった)。またチェスは駒の再利用ルールがないのでゲームの進行に伴って駒の数が単調に減少していく。駒が盤面に数個しか残っていない局面になると、コンピューターは(ほぼ)しらみつぶしの探索によってその局面を解く(双方が最善手を続けたら先手が勝つのか、後手が勝つのか引き分けになるかを求める)ことができる。この探索をあらかじめ行ってデータベース化したものが終盤データベースである。コンピューターはこれをもっていればこのデータベースに含まれる局面で最善手を指すことができる。1980年代には盤面残り5駒のすべての局面の終盤データベースが作られた。1990年代から2000年代にかけて盤面残り6駒のほとんどの局面の終盤データベースが作られた(その間にコンピューターが世界チャンピオンに勝ってしまったので、終盤データベースを作る意味が薄くなったと言える)。その後7駒の終盤データベースが作られている。

チェスは何度も人間との対戦を経たのちに1997年にDeep Blueが世界チャンピオンのKasparovに勝利した。6回戦勝負で、5回戦が終わった時点では1勝1敗3引き分けのイーブンであったが、最終戦でKasparovが緊張のあまり序盤で大悪手を指して負けてしまった。これはフロック勝ちで、この時点ではまだKasparovの実力はDeep Blueに勝っていたと思われる。

とは言うものの、これでグランドチャレンジは目標を達成したことになる。その後の進歩によりコンピュ

*157 キーと値をペアで管理するデータ構造。

ーターは人間より明らかに強くなっている。Deep Blueはスーパーコンピューターにチェス専用マシンを数百台並べた構成であったが、もはやパソコン1台でも人間が敵わないまでになっている。

②将棋

チェスよりも場合の数が大きいゲームに中国将棋 (10^{150})、将棋 (10^{220})、囲碁 (10^{360}) が存在する。中国将棋は探索問題として見るとチェスに近い (すでに人間よりもコンピューターのほうが強くなっている) が、将棋と囲碁はチェスよりはるかに場合の数が大きく、チェスとは異なる手法が必要なので、チェスに続く例題として適切である。将棋はチェスと同じ敵の重要な駒 (キングあるいは玉) を捕まえるゲームであるが、チェスは敵から取った駒が使えないのに対して、将棋では敵から取った駒が再利用できる (「持ち駒」制度と呼ばれる) ため、終盤は序盤より分岐数が大きくなる。チェスは収束型ゲームであるが、将棋は発散型ゲームなのである。

将棋はチェスよりも場合の数ははるかに大きく、チェスで有効であった探索手法がそのままでは使えないので、チェスの次の探索研究のよい対象になった。将棋は日本固有のゲームなので、将棋を対象とした研究は当然のこととして日本が中心になった。このことが日本におけるゲーム情報学研究を活発にして、世界の中でゲーム情報学において日本が主要な立場を占める原動力になったと思われる。

将棋のプログラムの開発は1970年代に始まったが、当時のコンピューターの能力では将棋はチェスのような全数探索は無理だったので、前向き枝刈り^{*158}の探索手法が盛んに研究された。ミニマックス法 (アルファベータ法)、反復深化などチェスで有効だった手法で将棋でも使える手法はおよそすべて使った。将棋は発散型ゲームなので、チェスで有効だった終盤データベースの手法は使えない。その代わりに詰め将棋という将棋から派生したパズルを解くアルゴリズムの研究が盛んになされた。詰め将棋の研究は1990年前後から本格的に進められ、その中で様々な探索の手法が試された。有効だったのはチェスで提案された (そしてチェスではあまり有効でないとされた) 証明数・反証数を用いた手法である。詰め将棋のプログラムは2000年前後にはすでにプロ棋士を超える能力を示した。

評価関数はチェス同様に手作業で作成と改良を行っていたが、チェスの評価関数は駒の損得という明かな基準があったものの、将棋の評価関数は複雑でなかなか強くならなかった。2000年代の半ばに登場した保木邦仁 (現在、電気通信大学) のBONANZA (ボナンザ) によってコンピューター将棋は革命的な進歩を果たした。保木の工夫は、

- 1) それまで将棋は前向き枝刈りの探索をしていたのをチェスのように全数探索にした。
- 2) それまで評価関数は手作業で作っていたのを棋譜からの機械学習で作るようにした。

の2点である。この工夫をしたボナンザが圧倒的な強さでコンピューター将棋のトップに立ったので、ほかの研究者・開発者もこぞってこれらの方法を取り入れた。特に上記の2)の方法は強豪のプログラムすべてが取り入れており、「ボナンザメソッド」と呼ばれている。保木はボナンザのアルゴリズムをすぐに公開し、またプログラムのソースコードも無償で公開した。これはコンピューターチェスの文化を引き継いだものであるが、研究成果を公開するという習慣がこの研究領域の発展を支えているものと思われる。

2010年代になってコンピューターとプロ棋士が対戦するようになった。2013年、2014年と電王

*158 見込みのなさそうな手を試行しないことで、手を読む数を減らす方法。

戦と称してプロ棋士5人とプログラム5つが対戦したが、3勝1敗1分け、4勝1敗とともにコンピューターが圧勝した。この時点ですでにコンピューターはトップクラスのプロ棋士（竜王、名人）のレベルに達した。現在のトップ棋士のシンボルである羽生善治氏との対戦はすぐに実現しないと思われるので、情報処理学会は2015年10月に将棋で人間とコンピューターの強さを問うことは学問的には結論が出たという終了宣言を行った。事実上グランドチャレンジは2015年をもって目標が達成されたことになる。その後2017年に山本一成が開発したPONANZAが佐藤天彦名人に圧勝している。将棋においても、チェスと同様に、高度な探索アルゴリズム、膨大な計算量、盤面評価の学習が重要な要因となっている。

チェスにおいても将棋においても、「確かに人間を凌駕するシステムは開発できたが、人間のように考えているわけではない」という議論がなされた。しかし、これらのチャレンジは、チェスや将棋というゲームにおいて、人間を凌駕するシステムができるかというチャレンジであって、人間の思考過程を模倣するチャレンジではないのである。また、人間のトッププロは、すべての過去の棋譜を覚えており、圧倒的に先読みが優れ、盤面評価が正確である。これらは、人工知能システムと共通の要素である。残る部分は、いわゆる「ひらめき」の部分であり、今後は、「ひらめき」と言われている部分が何かに焦点が集まってくるであろう。しかし、すでに人工知能システムが、予想外の奇手を打ち、それが極めて有効であるという事例も生まれている。そうすると、「ひらめき」は、想定外の解空間への探索によって実現されるという考え方も成り立つであろう。

③囲碁

囲碁は中国発祥のゲームであるが、中国では廃れて日本で盛んになった（いま中国で盛んになったのはいわば日本からの逆輸入である）。囲碁は、ほかに似たルールのゲームが存在しない、漢字を使っていないので親しみやすい、などの理由で世界的に普及している。最初にコンピューター囲碁の研究がなされたのは1960年代である（チェスよりは遅いが将棋より早い）。囲碁もチェスのように探索によって次の手を決めようとしたが、囲碁の場合の数は 10^{360} とチェス（や将棋）よりはるかに大きく、普通の探索によっていい手を見つけるには候補手が多すぎて強くならなかった。2000年代になっても、まだとても弱い状態であった（初心者レベルよりはましでもせいぜい初級者レベルであった）。

囲碁も将棋のボナンザメソッドのような革命的な手法が現れた。それがモンテカルロ木探索である。この元となったモンテカルロ法はvon Neumannの命名といわれるシミュレーションによって解を求める方法である。1990年代にこれを囲碁に適用するというアイデアが発表されたものの、そのときは成功しなかった。2000年代になってRemi CoulomがCrazy Stoneという囲碁プログラムのなかでモンテカルロ法を応用したモンテカルロ木探索を採用し、このCrazy Stoneが圧倒的な強さを示した。囲碁にモンテカルロ法を適用するということは、ある局面から白と黒が交互にランダムに終局まで打ち進めるというシミュレーションを多数行って勝つ確率がいちばん高い手を選ぶということである。そこには囲碁の知識はほとんど何も入っていない。この一見単純な方法で強くなることに驚き、その後の囲碁プログラムはみんなこの方法を取り入れている。それで囲碁プログラムは一気にアマチュアの6段程度の実力に達した^{*159}。

最近までは日本のZEN（これもモンテカルロ木探索を用いている）がCrazy Stoneを抜いて最も強い囲碁プログラムであった。これらのプログラムはまだ互先（ハンディなし）で戦うのは無理である

※159 美添一樹ほか『コンピューター囲碁-モンテカルロ法の理論と実践-』共立出版

が、トッププロ棋士と4子(初期局面に4個の石をあらかじめ置く)のハンディで勝つまでになっていた。トッププロ棋士に勝つのはまだ10年はかかると思われた。そこに2016年1月にGoogle(米国)のAlphaGo(碁)というプログラムが二段のプロ棋士に互先で5戦5勝の成績を挙げたと発表して大ニュースになった。AlphaGoは、

- 1) 深層学習
- 2) モンテカルロ木探索
- 3) 強化学習

という3つの手法をうまく組み合わせている。大量のプロ棋士の棋譜をデータとして深層学習によってある程度の強さのプログラムを作り、そのプログラム同士の強化学習によってさらに強くした。これまでコンピューター囲碁で成功しなかった評価関数を実質的に作ったことがAlphaGoの大きな特徴である。手を決める部分では従来手法であるモンテカルロ木探索を使っている。

その後2016年3月にAlphaGoは韓国のトッププロ棋士のLee Sedolと対戦して4勝1敗で圧勝した。AlphaGoの改良版であるMasterは2016年末から2017年初めにかけて(持ち時間が短い早碁ではあるが)世界中のトッププロ棋士相手に60勝で負けなしという成績を収めた。中国のFine ArtやZENの改良版であるDeepZenGoも深層学習を取り入れてトッププロ棋士と良い勝負をするまでになった。囲碁も一気に2016年から2017年にグランドチャレンジの目標が達成されたことになる。

AlphaGoで採用された技術的手法は、チェスや将棋のようにその場で、探索を行うものではなかった。極めて多くの盤面に対して、ベストな打ち手を事前に学習している方式であった。

AlphaGoの場合、AlphaGo対AlphaGoという対局を膨大な回数行い、今までの棋譜に現れていない盤面からの展開とその評価を事前に学習している。実際の人間との対局の段階では、人間のトッププロよりAlphaGoのほうが、はるかに多くの経験を積んでいるのである。

その後開発された、AlphaGo Zeroは、棋譜を全く使わず、白紙の状態からランダムに手を打ちながら学習を進める方式をとり、数日で、AlphaGoを凌駕するまでに至った。その過程で、「劫」など囲碁における基本規則を獲得している。AlphaGo Zeroの意味することは重要である。棋譜を使わないで、棋譜を使ったシステムを凌駕したということは、いわゆるビッグデータの有効性の再検討が必要となる。棋譜は、今まで人間が行ってきた囲碁の解法集ともいえる。しかし、囲碁というゲームを考えたとき、その解法集が解空間の一部に偏っている可能性も否定できない。その場合、その解法集を利用せずに、ランダムに解空間全体を探索したほうが、より良い解を発見する可能性があるということの意味する。実際に、AlphaGo Zeroが、AlphaGoを凌駕したということは、棋譜は、人間の思考のパターンに沿った囲碁の解法集であり、囲碁というゲームの最も強力な解法集ではなかったとも言える。これは、今後、我々は、学習データの収集と生成、システム全体の設計原理を考えるうえで極めて重要なことである。

(3) RoboCup

RoboCupは、「2050年までに、完全自律型のヒューマノイドロボットで、FIFAワールドカップの優勝チームとFIFAの公式ルールで試合を行い、勝利する」という目標を掲げているロボットとAIのグランドチャレンジの一つである。RoboCupは、浅田稔、野田五十樹、北野宏明、松原仁ら、日本人研究者が中心となって1990年代初めに構想され、1997年に名古屋で第1回大会が開かれた。

運営母体となるThe RoboCup Federationは、スイスに登録されている非営利組織である。

最初は、サッカーに関するリーグから始まったが、すぐに災害救助 (RoboCup Rescue) や教育 (RoboCup Junior) に関する活動が加えられた。では、家庭用ロボット (RoboCup@Home) や物流など産業用途ロボット (RoboCup Industrial) をタスクとしたリーグが増えてきている (表 2-10-25)。これらのタスクは、理事会で承認され、技術的マイルストーンの検討、研究上と産業上の有用性などから審査され、適切とみなされると追加される。45カ国から、数千人の研究者が参加し、教育では数十万人の子供たちが参加する、ロボットとAI分野における世界最大のプロジェクトである (RoboCup2018では35カ国、約4,000人が参加)。

■表2-10-25 RoboCupのリーグ構成(2018)※160

| RoboCupのリーグ種別 | 概要 |
|-----------------------------|-------------|
| RoboCup Soccer | サッカー |
| Humanoid League | 人型ロボット |
| Middle Size League | 車輪中型 |
| Small Size League | 車輪小型 |
| Simulation League (2D / 3D) | シミュレーション |
| Standard Platform League | 標準型ロボット |
| RoboCup Rescue | 災害救助 |
| Robot League | 災害救助ロボット |
| Simulation League | シミュレーション |
| RoboCup Junior | 教育 |
| Rescure League | 災害救助 |
| Soccer League | サッカー |
| Onstage League | ステージパフォーマンス |
| RoboCup@Home | 家庭内向けロボット |
| RoboCup Industrial | 産業用途ロボット |
| RoboCup Logistics | 物流ロボット |
| RoboCup@Work | オフィス環境向け |

また「リーグ」と呼ばれる各々のカテゴリは、毎年技術要件や競技規則が見直され、最終的にFIFAの正式ルールと一致するようにマイルストーン管理がなされている。例えば、2014年には、フィールドの広さ、周囲の設定なども含め飛躍的に難易度が高い技術要件をクリアする必要がある競技規則となっている。

RoboCupが、サッカーを題材とした理由は、ロボット工学とAIの分野で21世紀中ごろに、重要な応用領域(自動走行、物流ロボットなど)を想定して、それらの応用領域の特徴(不完全情報^{※161}など)を抽出し、そのうえで、一連の基幹技術になりそうな項目を同定し(自律エージェント、分散協調システム、実時間システム、不完全情報下での意思決定システムなど)、それらを包含し、誰にでもひと言

※160 「RoboCup 2018Webサイト <<http://www.robocup2018.org/>>

※161 意思決定時において、必要な情報が不完全であること。

で理解してもらうことが可能で、さらに研究者自身が熱くなれるテーマとして選ばれた。

これから必要となる技術は、チェスや将棋のように、すべての状況が理解でき、順番に駒を動かすような問題ではない。不確実な情報をもとに刻一刻と変化する状況下で、ベストではないかもしれないがベターな判断を下し、それを実行できる技術体系であろう、という分析であった。いろいろなテーマの候補があったが、最終的に次世代技術の要素を最も含んでいて、世界中で受け入れられるテーマとして、サッカーが選ばれている。

RoboCupを通じて開発された技術を基盤に、起業し、それが大きな成功を収める事例も出てきている。RoboCupの小型リーグを通じて開発された技術を基礎に設立された会社(KIVA Systems、米国)が、2012年に、7億7,000万ドル(約800億円)という大きな評価額でAmazon(米国)に買収され、さらにRoboCupの標準プラットフォームリーグにワンメイクのヒューマノイドロボットを提供していたフランスのAldebaran Roboticsが、ソフトバンクから1億ドルの出資を受けるといったことが起きたのである。

KIVA Systemsは、コーネル大学(Cornell University、米国)のチームを率いたRaffaello D'Andrea(現在、チューリッヒ工科大学<Eidgenössische Technische Hochschule、スイス>)らが、RoboCup向けに開発した技術をベースに、パッケージングから倉庫内の物品移動、発送までも自動化するロボットシステムを開発して事業化した会社である。ちなみに、コーネル大学チームは、RoboCupの小型ロボットリーグに1999年から2003年まで参加し、4回の優勝を飾っている。D'Andreaは、そのときのコーネル大学チーム(Cornell Big Reds)のリーダーである。サッカーロボットでは、複雑でしかも状況が変化する環境下で自律的に目的の場所に移動する、障害物との衝突を回避する、味方のロボットと連携する、といった機能が必須である。これらの機能を大規模オンラインショップ向けに設計し、トータルソリューションを実現したのである。

RoboCup Rescueは、RoboCupの目標がサッカーであり、しかもその達成時期を2050年とかなり先に設定しているため、より早い段階で世の中に還元できる取組みも必要であるとの認識から始まっている。

災害救助という目的に最適化するため、サッカーロボットと違い、完全自律である必要はない。実際には、操縦者が遠隔操作できるうえに、ある程度の自律制御で探索効率を上げる方式が実際的である。ただし、直接ロボットの見えるところから操作することはできない。なぜなら、災害現場では、ロボットからかなり離れた場所から操縦することが想定されるからである。

この背景には、阪神・淡路大震災でロボット工学が無力だったという反省があり、日本のロボット関係者の間の議論によって、計画は急速に動き出した。2001年8月にシアトルで第1回の大会が開催された。

その1カ月後、9.11のテロが発生し、米国から参加していた南フロリダ大学(University of South Florida)のチームは、大会後、レスキューロボットを遠征用にパッキングしたまま休暇に入り、新学期を迎えるところであったが、テロ発生のお知らせに、このロボットを車に積んでニューヨークの現場に入った。RoboCup Rescueは、その構想段階から米国の連邦緊急事態管理局(Federal Emergency Management Agency; FEMA)などとも交流を深めていたこともあり、即時に現場の救助活動に統合され、2週間にわたり探索活動の一翼を担い、その有効性は高く評価された。

このような実績が、1999年からRoboCupに関心を寄せていたアメリカ国防高等研究計画局(DARPA)の強い興味を引きつけ、RoboCupのノウハウを利用しながらのDARPA Grand

Challenge 設立へと結び付いている。

この段階での研究は、阪神・淡路大震災、オクラホマの連邦ビル爆破、9.11同時多発テロ、トルコでの一連の地震などによる被害での救援活動を想定していたため、ビルの倒壊現場などで、瓦礫の間隙から中に入り、被災者を発見するシナリオで開発されている。同時に、新潟県中越地震などで問題となった土砂崩れなどには、無力であることも認識されていた。東日本大震災においても、津波が被害をもたらした大きな原因であり、レスキューロボットの有効性は限定的になった。また、福島第一原発に投入されている国産ロボット(千葉工業大学未来ロボット技術研究センターが中心に開発)は、RoboCup Rescueの2007年大会に運動性能の部で優勝したシステムをベースに開発されている。RoboCup Rescueは、救助ロボット開発の手法としての有効性は確認されたが、広範かつ複雑な災害現場へのレスキューロボットの有効的な投入には、さらに現実的な設定に近づけると同時に、ロボットが最も有効な局面への集中的な課題設定も必要となる。

RoboCupには、このほかにも、各々の目標を設定したリーグが存在し、本来のグランドチャレンジの手法をさらに広範に援用した、コンペティション駆動型研究開発のプラットフォームへと変貌を遂げて進化している。

(4) DARPAにおけるグランドチャレンジ

DARPAとは、米国防総省の研究開発機関であり、米国における人工知能研究を支えてきた存在でもある。DARPAは、2000年ごろから、グランドチャレンジと呼ぶ競技会の実施を構想し始めた。その後、2004年ごろから、DARPA Grand Challenge(2004年、2005年)、DARPA Urban Challenge(2007年)、DRC(DARPA Robotics Challenge)が実施された。DARPA Grand Challenge、DARPA Urban Challengeはいずれも自動運転技術を競い合う競技会で、DARPA Grand Challengeでは未舗装路を走破する技術、DARPA Urban Challengeでは市街地の交通ルールを守りながら走破する技術が競い合われた。

その後、災害救助をタスクとした、DRCが開催された。本項では2012年から2015年にかけて行われたDRCを紹介する。

DRCは2011年に発生した東日本大震災をきっかけにして、プログラマネージャーであるGill Prattが立案・実施した競技会形式の研究開発プログラムであり、その目的は災害発生時に人を支援できるロボットシステムを開発することである。参加者は以下の4つのトラックを選択して参加することが可能であった。

- トラックA：DARPAからの予算支援を受けて、ハードウェア及びソフトウェアのすべてを開発する
- トラックB：DARPAから予算支援を受けてソフトウェアを開発し、
後述のVRCで勝ち残ればハードウェアプラットフォームの提供を受けて開発を継続する
- トラックC：DARPAから予算支援は受けずにソフトウェアを開発し、
VRCで勝ち残ればハードウェアプラットフォームの提供を受けて開発を継続する
- トラックD：DARPAからの支援は受けずにハードウェア及びソフトウェアのすべてを開発する

トラックDのような参加形態が設定されたのは、DARPAが軍関連の組織であり、そこからの支援を受けることに対して抵抗のある組織が多いことが要因であると考えられる。

競技会は以下に示す3度にわたって行われ、ハードウェアプラットフォームとして米Boston

Dynamicsが開発したヒューマノイドロボットであるAtlas、シミュレーションプラットフォームとして米OSRF (Open Source Robotics Foundation)が開発したGazeboが提供された。

- 1) ハードウェアプラットフォームの提供を受ける参加者を決定するための、コンピューターシミュレーションによる競技会Virtual Robotics Challenge (VRC、2013年6月)
- 2) 決勝戦へ進むチームを決定するためのDRC Trials (2013年12月)
- 3) 決勝戦であるDRC Finals (2015年6月)

DRC Trialsでは東京大学出身の若手研究者が立ち上げたベンチャー SCHAFTがトラックAで参加し、優勝を取めた。同社はTrialsの直前に上記Boston Dynamics等とともにGoogleによって買収されていたことと併せて、関係者の間では非常に大きな話題となった。

DRC Finalsの競技の概要は次のとおりであった。

- 8つのタスクを連続して実行し、完了できたタスクの数が多いもの、タスクの数と同じ場合はより短い時間で完了できたものが高成績となる。8つの競技とは①車両を運転する、②車両から降りる、③ドアを開けて室内に入る、④バルブを回す、⑤工具を持ち、壁に穴を開ける、⑥サプライズタスク、⑦不整地を移動する、又は障害路を通過する、⑧階段を登る、である。
- 競技時間は1時間
- ロボットは無線で動作しなければならない(外部電源なし、転倒防止策なし)

DRCではロボットの自律性を高める研究開発を促進するため、通信制限がルールに盛り込まれた。ロボットとオペレーター間の通信路は2種類あり、一つは通信速度が9,600bpsと非常に遅いが、常につながっており、双方向通信が可能な通信路、もう一つは通信速度が300Mbpsと速いが、屋内エリアに入ると通信が途切れ途切れとなり、最大で30秒の通信遮断が発生し、さらに情報はロボットからオペレーターへの一方向でしか送れない通信路である。オペレーターが画像を見ながらレスポンスのよい遠隔操作を行うためには、高いバンド幅の通信路が必要であり、これを制限することによってロボットの自律性を高める研究が行われるように誘導している。

DRC Finalsには全世界から23チームが参加し、日本からは5チームがトラックDで参加した。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援を受けて参加したAIST-NEDO(産業技術総合研究所)、NEDO-JSK(東京大学稲葉研究室)、NEDO-Hydra(東京大学中村研究室、千葉工業大学、大阪大学、神戸大学)の3チームとHRP2-Tokyo(東京大学稲葉研究室)、Aeroである。Finalsの結果は表2-10-26のとおりとなった。優勝したのは韓国のTeam KAISTであり、使用機体であるDRC-Huboは人型でありながら膝と爪先部分に車輪を持ち、平坦なところでは正座のような姿勢で高速かつ安定に移動し、階段の移動や作業時に立ち上がって作業を行った。日本チームは10位のAIST-NEDOが最高位となった。

■表2-10-26 DRC Finalsの競技結果

| 国 | チーム | ポイント | 時間 | 移動機構 | ロボットのタイプ |
|----|-----------------------|------|----------|---------|----------|
| 韓 | TEAM KAIST | 8 | 44:28:00 | 2脚/車輪 | DRC-HUBO |
| 米 | TEAM IHMC ROBOTICS | 8 | 50:26:00 | 2脚 | ATLAS |
| 米 | TARTAN RESCUE | 8 | 55:15:00 | 4脚/クローラ | 独自 |
| 独 | TEAM NIMBRO RESCUE | 7 | 34:00:00 | 4脚/車輪 | 独自 |
| 米 | TEAM ROBOSIMIAN | 7 | 47:59:00 | 4脚/車輪 | 独自 |
| 米 | TEAM MIT | 7 | 50:25:00 | 2脚 | ATLAS |
| 米 | TEAM WPI-CMU | 7 | 56:06:00 | 2脚 | ATLAS |
| 米 | TEAM DRC-HUBO AT UNLV | 6 | 57:41:00 | 2脚/車輪 | DRC-HUBO |
| 米 | TEAM TRAC LABS | 5 | 49:00:00 | 2脚 | ATLAS |
| 日 | TEAM AIST-NEDO | 5 | 52:30:00 | 2脚 | HRP-2 |
| 日 | TEAM NEDO-JSK | 4 | 58:39:00 | 2脚 | 独自 |
| 韓 | TEAM SNU | 4 | 59:33:00 | 2脚 | ROBOTIS |
| 米 | TEAM THOR | 3 | 27:47:00 | 2脚 | ROBOTIS |
| 日 | TEAM HRP2-TOKYO | 3 | 30:06:00 | 2脚 | HRP-2 |
| 韓 | TEAM ROBOTIS | 3 | 30:23:00 | 2脚 | ROBOTIS |
| 米 | TEAM VIGIR | 3 | 48:49:00 | 2脚 | ATLAS |
| 伊 | TEAM WALK-MAN | 2 | 36:35:00 | 2脚 | 独自 |
| 米 | TEAM TROOPER | 2 | 42:32:00 | 2脚 | ATLAS |
| 独 | TEAM HECTOR | 1 | 2:44 | 2脚 | ROBOTIS |
| 米 | TEAM VALOR | 0 | 0:00 | 2脚 | 独自 |
| 日 | TEAM AERO | 0 | 0:00 | 4脚 | 独自 |
| 米 | TEAM GRIT | 0 | 0:00 | 4脚 | 独自 |
| 香港 | TEAM HKU | 0 | 0:00 | 2脚 | ATLAS |

DRCは人型ロボットのみを対象とした競技会ではなかったが、Atlasが人型であったこと、階段等脚でなければ移動が困難な環境が含まれていたことから、多くのチームが人型のロボットで競技に臨んだ。しかし結果を見ると、2脚以外の移動機構を採用したチームが上位に集中している。2脚の移動機構を持つロボットのほぼすべてが1度は競技中に転倒したことも合わせて考えると、二足歩行はさらなる技術開発が必要である。

DRCは災害時に人に代わって活躍できるロボットを開発することを目的として実施されたが、優勝したTeam KAISTですら8つのタスクを実施するのに45分を要した。仮に同じタスクを人が実施していれば5分程で完了するものと思われ、迅速な対応が求められる災害現場にロボットを投入するには不十分である。自動運転の技術はDARPA Urban Challengeから10年を経て実用化に漕ぎ着けており、災害対応ロボットに関しても実用化に向けて研究開発を継続していくことが重要である。

DARPA Grand Challengeは、自動走行や災害救助ロボットなどをテーマとして設定し、注目を集めているが、グランドチャレンジと呼称するには、継続性に乏しいという問題がある。DRCも現在は、開催されておらず、その目標へと到達するようなプログラムにはなっていない。グランドチャレンジをテーマとした、ショーケース的競技会が行われる程度である。これは、DARPAが主催するということや、プログラム・マネージャー制度のため、プログラム・マネージャーが変わると継続される保証がないという現実がある。その点、RoboCupは、グランドチャレンジのための法人が設立され、国際的な運営委員会が設置されるなど、継続の仕組みができあがっている。グランド・

チャレンジでは、その継続の仕組みをしっかりと構想することも重要である。

(5) AIによる科学的発見に関するグランドチャレンジ

AIによる科学的発見は、一つの大きな分野である。この分野でのグランドチャレンジとして、RoboCupの提唱者の一人でもあるソニーコンピューターサイエンス研究所(Sony Computer Science Laboratories; Sony CSL、日本)の北野宏明は、「2050年までにノーベル賞級の科学的発見を行うAIシステムを開発する」という目標を掲げたグランドチャレンジを提唱している[2]。特に、医学生理学賞をターゲットとしている。

さらに、ノーベル賞は人間に与えられる賞であることから、Nobel Turing Challengeとして、ノーベル賞級の科学的発見をするAIシステムが、選考委員会から、AIであると見破られないで受賞をするというチャレンジを課している。

今までも、AIシステムによる科学法則の発見に関する研究は行われてきた。しかしながら、それらの研究は、すでに発見されている法則を、計算機で再発見できるかという試みや、エキスパートシステムの一つであるなど、本当の意味で大きな科学的発見に結びつく展開にはならなかった。

しかし、現在多くの科学分野で大規模データを扱うことが一般化し、膨大な計算を可能とする各種のインフラストラクチャーが実現している。同時に、1990年代中ごろから登場したシステムバイオロジーの分野では、大規模網羅データを系統的に測定する技術を加速すると同時に、詳細な生命の設計原理や分子機構への洞察を深めた。この状況の変化は、新たにAIによる科学的発見という分野に、再度、グランドチャレンジを設定して、取り組むべき時期にきたと思われる。

この一つの作業仮説は、「科学的発見は、大規模仮説空間の生成・探索と、それらの仮説の高速検証にある」というものである。この作業仮説の背景には、今までのグランドチャレンジでは、大規模データ、大規模計算、さらには、機械学習という3つの要因で成り立っていたという分析がある。であるならば、科学的発見も、大規模仮説空間の生成と探索で、可能であろうと思える。

このチャレンジを実現するためには、一連のプラットフォームの構築が必要である。このため、まず、各種のデータ並びにモデル表現などに関して標準化を行うコミュニティを成立させている。さらに、解析ソフトウェアなどの相互運用性を実現する必要がある。そこで、Garuda Platform^{*162}を構築し、これらの問題を解決しようとしている。これらの基盤があって初めて、極めて大きな科学的発見を行うAIシステムの開発が可能であると思われる。また、生物実験の精度を向上させ、効率を追求したロボット実験システムの開発も行われている。これらの流れが連動し、このグランドチャレンジを成功に導くであろうと思われる。

このグランドチャレンジは、グローバルな分散協調プロジェクトとなると思われる。仮想的な大規模プロジェクトをどう進行させるのかという新たなマネジメント上のチャレンジでもある。しかし、各々のチャレンジは、極めて重要かつ新規性の大きなものであり、グランドチャレンジ達成への中間段階で、大きな成果の展開も期待できる。

◆参考文献

- [1] 「ノーベル賞級の発見をするAI 人の限界を超えた科学研究へ」日経エレクトロニクス, 2016.7, pp.97-108.
 [2] Hiroaki Kitano, "Artificial Intelligence to Win the Nobel Prize and Beyond: Creating the Engine for Scientific Discovery," AI Magazine, vol.37 No.1, pp.39-49.

※162 北野宏明ら、システムバイオロジー研究機構の開発チームが開発したシステムバイオロジー研究のための統合型データ解析プラットフォーム。

2.11 ▷ 今後の展望

本章では、近年のAIの技術及び研究開発環境の動向を整理した。ABCIなどの開発基盤、人材育成、国際標準化などの開発環境関連については、前回の『AI白書2017』発刊からの1年余りの間、速度を緩めることなく進展していることが感じられる。AI技術に関しては、新しいAIのコンセプトや手法の登場といった大きな変化は少ないものの、人間のように流ちょうに話す技術や判断の理由を人間に説明する技術、身体性とAIの関係を軸としたロボティクス技術など、実利用に近い領域での技術や手法については着実な進展が感じられる。

このような現状を鑑みると、本白書の第5章でも取り上げているように、開発環境の充実が進展する下で、技術の社会実装をいかに進めるかが重要な課題と考えられる。今後のAI白書においても、技術及び研究開発環境の動向を把握し、次章の利用動向と照らし合わせることによって、社会実装状況の確認を行っていくことが必要と想定される。

MEMO

AIによるクリエイティブの可能性

株式会社ドワンゴ
川上量生

芸術のように人間が生み出す創作活動は、これまでコンピューターに置き換えることが最も難しいものの代表例とされてきた。

そもそも人間がどのように創作活動を行っているか自体、断片的なノウハウとしてクリエイターたちによって語り継がれているものはあっても、基本はそれぞれのクリエイターによって異なる“べき”ものとされていて、クリエイティブの統一基本法則のようなものは一般には共有されていない。

音楽理論や脚本術など、比較的理論的に整理されているように見えるジャンルはあっても、それは基礎的な技術を教えるだけであって、人間が人間を感動させるクリエイティブの最も貴ぶべき神髄は、人間のもつ「ひらめき」や「直感」、何か神秘的な「才能」なるもので説明されることが多く、およそ、科学的な説明を拒んでいるようにもみえる。

しかし、その固定観念に疑問を投げかけるような結果が、近年のディープラーニングの研究によりもたらされている。人間のもつ「ひらめき」や「直感」なるものをコンピューターで再現することは、想像以上に簡単なメカニズムである可能性がディープラーニングによって示されているといってもいい。

人間は頭の中から、現実にはない空想の世界を作り出すことができる。ある種のひらめきによって、そういったことを行う方法論の一つとして、なにかから「連想」をするという手法がある。あるものの特徴から、別のものとの共通点を見つけ出して結び付けるというやり方だ。こういったことは人間だけではなく、AIでもできることが分かった。

Google(米国)が2015年に発表した「Deep Dream」[1]が最初の例になるだろう。AIは与えられた画像の中からパターンを見つけ出し、そのパターンに似た特徴をもつ別の絵を描く。山や木から不思議な塔が出現し、葉っぱからは鳥の姿が浮かび上がる(図1)。人間でいうと、天井板の木目を見つめていると、人間の顔などが見えてくる、とかいうことがあるが、同じことがコンピューターにも再現できたというわけだ。いわば機械による「連想」が実現した。さらに人間の一部は絵描きとして、そういう連想を映像に落とし込む能力をもっているわけだが、それもAIができてしまった。人間の全員ができるわけではない創作活動の一つがAIでもできるようになったのだ。

「Deep Dream」を見ると、どこか非人間的な狂気を感じる。人間ではないものが作ったのだから、当たり前だということもできるかもしれない。しかし、おそろしいのはそういった作品から狂気を感じさせるという現象は、これまで人間の世界ではある種の超越した才能をもつ作家だけができる“天才性”の証明であるとも考えられてきたことだ。

クリエイターのもつ神秘性の核心の部分に、いきなり「Deep Dream」は切り込んできたといえる。

■図1 GoogleのDeep Dream

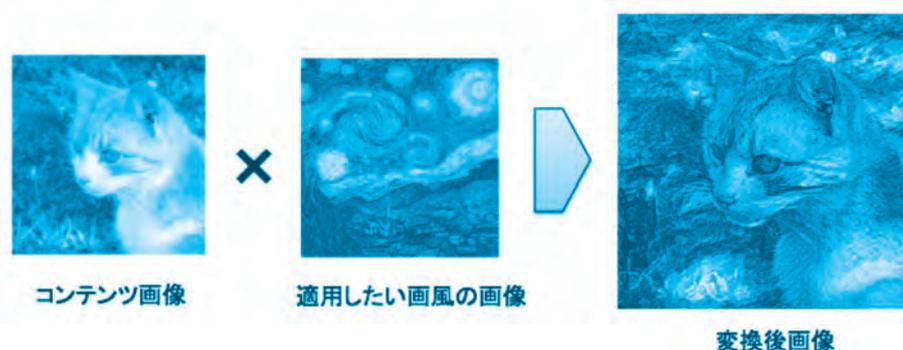


出典: Google AI Blog
 「Inceptionism : Going Deeper into Neural Networks.」(1)(クリエイティブコモンズライセンス、表示4.0国際 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

もう一つの人間の創作能力の例として「アレンジ」がある。音楽では、ある楽曲をテクノ調にしたり、ヒップホップ風にしたりといったことは、ディープラーニング以前にも、ある程度機械的に行う手法が存在した。しかし、ある画家のタッチに似せて「○○風に描く」という行為は、訓練された人間の画家には簡単にできても、コンピューターでどうやって実現すればいいのか、まったくめどがたっていなかった。

それがディープラーニングを用いて、簡単に実現した例が現れた(図2)。チュービンゲン大学(ドイツ)の研究発表[2]をもとにした、Preferred Networks(日本)の事例[3]によると、猫の写真と絵画の写真をAIに渡して、その絵画風に猫の絵を描く、ということが実現できた。ゴッホのような人間の画家風に描いた猫の絵だけではなく、新聞記事を画風と見立てて、まるで新聞記事のように見える猫の絵なども同時に公開された。こうなると、ちょっと「……風」に描くという技術は、人間よりもすでにAIのほうが得意な分野に思える。

■図2 テュービンゲン大学の研究をもとにしたPreferred Networks による画風転写の事例



出典: Preferred Networks Research ブログ「画風を表現するアルゴリズム」[3]

もう一つNVIDIA(米国)の2017年末の研究発表を紹介する[4]。人間はレイアウトを指定すると、それを埋めるように絵を描いて、現実にはない映像を作り出すことができる。手描きアニメーション制作の現場では日常的に行われている光景だ。

こういったこともAIにやらせることができた。人間が領域を色分けして指定すると、あとはそれに従ってAIが自動的に絵を作成することもできるようになった(図3)。しかも、人間並みどころか、写真と見分けがつかないレベルのものをAIが描くということが現実となった。

■ 図3 NVIDIAによる、領域指定画像(左)とそれにもとづく自動生成写真(右)



出典:NVIDIA "High-Resolution Image Synthesis and Semantic Manipulation with Conditional GANs" [4]

このような事例を見ると、クリエイターにできてコンピューターにできないことというのは、クリエイティブを成り立たせている構成要素としては、急速になくなりつつあるように見える。しかも、一旦コンピューターができるようになったことだけで見ると、細部にわたる緻密な創作は、むしろ人間よりも得意なのだ。

こういった現実には、人間のクリエイティブの方向性そのものに影響を与える可能性がある。

映像作家の庵野秀明監督に、こういったAIを使った映像技術について紹介したときに、興味深いコメントをしてくれた。それはつまり「映像技術の進歩は、新たな演出方法の発明とは別に科学技術の進歩の恩恵によるところが大きい。無声から音が付いたり、白黒から色が付いたり、平面から立体的になったり、アナログからデジタルになったりと、常に最先端技術に合わせて映像表現も変化している。その流れに沿うと、近々AIの技術を取り入れた映像が主体になっていくかもしれないですね。」

さらに続けて「特にアニメーションは情報のコントロールが特徴なので、AIの恩恵を受けやすい気がします。AIを利用した映像処理のコストダウン等もありますが、僕はAIを使ったプロットやシナリオ、果ては作品制作そのものも可能になるのでは、と感じています。個々の映像作家は元より、観客自体も自身の嗜好性や好きな思考、快樂原則はほぼ決まっているので、その個人向けパラメーターや大衆娯乐的なビッグデータを使った、個別対応なパーソナル映像作品がAIにより作られていくのではないのかなと。その人が観たい理想的な映像を常に学習して情報を更新しつつ作り上げていく、SFの世界みたいなことが起こり得るのではないのかなと。そうすると人間はそのための素材作りか、そのシステムに抗って今と同じシステムで作品を作ってるんじゃないですかね。」

庵野監督のような時代を代表する一流クリエイターが、映像作家自身だけでなく観客自体についても嗜好性や思考、快樂原則はほぼ決まっていると断じているのは、非常に興味深い。クリエイティブの重要な部分として、ある種のパラメーターの調整のようなものが存在していて、それはビッグデータやパーソナライズを駆使できるAIに、将来は置き換わる可能性があるということだ。

クリエイター自身を囲碁将棋AIのような学習機械であると仮定すると、なにかを極めている達人ほど、長年の試行錯誤の結果、クリエイティブについてのシンプルで整理された評価関数を自分の中で持っているとは想像することはできないだろうか。

将棋界では、大山康晴名人が「コンピューターに将棋を指させてはいけない」と言ったという話が有名だ。人間がコンピューターに勝てるわけがないというのだ。おそらく大山名人のような達人は、将棋の評価関数が自分の中で明確に定義できていたのではないだろうか。そして、そういった関数が分かっただけで、人間よりも高速かつ大量に計算できるコンピューターには、人間が負けると思っ

ていたのではないか。

将棋や囲碁と似たような構造、あるいはその延長線上で、AIがコンテンツを作る日が来るのではないかと私は考えている。しかし、人間の心を感動させるコンテンツがAIなんかに本当に作れるのだろうか。

突然現れて大ヒット作品を作り出す若い天才作家につけられる形容詞として「時代を捉えた若い感性」というようなものがある。また、そういった若い才能が、年を取るにしたがって、時代の変化についていけずに色あせていくという現象もよくみられる。

こういった現象は、たまたまその若い作家が、同時代の人々がどういう作品に反応するかについての最大公約数的な感性を、自分自身で持っていたというように解釈すべきだろう。ビッグデータがネット経由で収集できる時代には、時代を読んだヒット作品を定量的に予測することも、AIのほうが得意である可能性が高い。

そう考えると、商業作品の創作活動においてAIの役割が相当に大きくなっていくだろうことは容易に想像できる。

また、完全にAIに創作活動を任せないのだとしても、AI、特にディープラーニングは、人間がどのように発想すればいいのかのヒントを教えてくれるようになるだろう。また、ディープラーニングで分かった成果をクリエイティブに活かすということも可能になるはずだ。

DeepZenGoの開発で協力を頂いた囲碁棋士の藤澤一就八段は、コンピューター囲碁ソフトのやり方を人間の棋士も学ぶべきだと私に語ってくれた。コンピューターは人間よりも遙かに多くの手筋を読むので、新しい局面でどういう風に打てばいいのかという研究に使っている棋士は現在でも多いのだそうだ。中国や韓国の棋士の強さはある意味、コンピューターのシミュレーション能力に似ているので、後半の正確度が高く、現状、日本の棋士はなかなか勝てない。だが、読みの力は年齢とともに衰えるので、30代以上で活躍するのは中国や韓国の棋士の場合には非常に難しく、シニア棋士だけで国際棋戦をやれば、まだ、日本のほうが強いのではないか。年を取っても日本の棋士の強さが落ちにくいのは、大局観に優れているからだ。囲碁ソフトは大局観をさらに鍛える道具として使えるはず、というのが藤澤八段の主張だ。

具体的には囲碁ソフトの評価関数の値が大局観を養うのに使える、という。ある局面が有利か不利か、そういうことを直感的に判断できるような感覚は、評価関数の値を参考にすることで大局観を養い、確認することができる。詰め碁のように読みの力を強める練習方法はたくさん存在しているが、大局観を養う練習方法はそれほどない。それが囲碁ソフトを使って補強できるという。すでに弟子たちの練習に取り入れているそうだ。

AIが人間をあらゆる意味で超える日が、いつか来るのだろう。しかし、人間がAIに学び、さらに能力を向上させるという時代も、相当に長いのではないかと、私は思っている。

◆参考文献

- [1] "Inceptionism: Going Deeper into Neural Networks." Google AI Blog<<https://research.googleblog.com/2015/06/inceptionism-going-deeper-into-neural.html>>
- [2] "A Neural Algorithm of Artistic Style." arXiv.org<<https://arxiv.org/abs/1508.06576>>
- [3] "画風を変換するアルゴリズム" Preferred Networks Researchブログ <<https://research.preferred.jp/2015/09/chainer-gogh/>>
- [4] "High-Resolution Image Synthesis and Semantic Manipulation with Conditional GANs." arXiv.org <<https://arxiv.org/abs/1711.11585>>

機械学習工学

株式会社Preferred Networks

丸山 宏

プログラミングパラダイムとしての統計的機械学習

人工知能の研究開発で生まれた技術のうち、いくつかのものは日々の情報技術の中に取り込まれている。例えば記号処理のために開発されたガーベージコレクションなど動的メモリ管理、自然言語処理のために作られた構文解析アルゴリズム、ゲームなど解空間の中で解を求めるための探索アルゴリズム、それに知識表現のために盛んに研究された概念階層などである。今では、これらの技術を「人工知能」と呼ぶ人は少ないだろう。同様に、深層学習に代表される統計的機械学習も、今後の一般のプログラミングに取り込まれていくものと予想される。

ここでは統計的機械学習を、人工知能の文脈ではなく、新しいプログラミングパラダイムとして情報技術の中に取り込まれていく技術として捉え、その技術を有効に使うための工学的知識体系（本稿では機械学習工学 [1] と呼ぶ）を構築する動きについて述べる。

統計的機械学習をプログラミングパラダイムとして捉えるとは、関数 $y=f(x)$ をプログラミングする際に、 f の計算手順を書き下すのではなく、 f が行う計算の入出力の例示 $\{ \langle x_1, y_1 \rangle, \langle x_2, y_2 \rangle, \dots, \langle x_n, y_n \rangle \}$ を与えることによって、 f を帰納的に定義することを指す。この入出力の例示を「訓練データセット」と呼ぶ。 f の計算手順を書き下す伝統的プログラミングとは異なり、統計的機械学習による f の実装は、訓練データセットからほぼ自動的に作られる。

統計的機械学習の一つである深層学習では、 f の実装は入力値が伝播していく深層ニューラルネットの形で表現される。与えられた任意の関数、任意の精度に対して、十分な数の中間ノードを持つニューラルネットが存在して、その関数をその精度で近似できる [2]。従って深層ニューラルネットは計算モデルとして擬似的にチューリング完全（すべての計算可能関数を表現可能）と言える。「擬似的」というのは、チューリングマシンと異なり、結果が近似でしか得られないからである。深層ニューラルネットは任意の関数を近似できるが、それが現実的な量の訓練データと計算時間で訓練できるかどうかは別の問題である（普通のチューリングマシンにおいて、アルゴリズムは書いても現実的な計算時間で終わらないものが存在することに似ている）。

統計的機械学習による帰納的なプログラミングは、チューリングマシン抽象にもとづく従来のプログラミングモデルとは根本的に異なる技術である。この新しいプログラミングモデルを効果的にかつ安全に使いこなすにはどうしたらよいか、まだ試行錯誤している段階である。特に、深層学習による画像認識技術が自動運転車などに使われ始め、深層学習システムの構築ができる人材の不足や、システムの品質や安全性に対する懸念が議論されている。

この状況は、デジタル計算機が普及し始めた1960年代の状況によく似ている。当時IBMがSystem 360という汎用機を商用化し、そのソフトウェアが大量に作られたが、プロジェクト予算

や納期の超過、低い品質、保守の困難性など様々な問題が発生し「ソフトウェア危機」と呼ばれた。

この「ソフトウェア危機」はソフトウェア工学の発展により、その後解消していった。同様に我々は今、統計的機械学習を安全かつ効果的に使いこなすための知識体系すなわち機械学習工学を必要としている。我が国においては、2018年4月に日本ソフトウェア科学会の研究会の一つとして「機械学習工学研究会（主査、石川冬樹国立情報学研究所教授）」を設置し、活動を始めた。機械学習工学研究会は、ソフトウェア工学と機械学習の研究者・実務家の意見交換の場を提供し、機械学習工学の様々な経験・知見を知識として体系化する支援をしている。

機械学習工学の課題

機械学習工学はまだ始まったばかりの議論なので十分に体系化はできていない。ただし、シンポジウムやワークショップで繰り返し取り上げられるトピックがあるので、それらを3点紹介する。

(1) 機械学習応用システムの開発・運用プロセス

統計的機械学習を用いたシステム（機械学習応用システムと呼ぶ）の開発には、訓練データセットからの訓練が必要だが、訓練後のモデルがどのような精度になるかは、やってみないと分からない。精度は訓練データセットの量、質、データのばらつきなどに大きく影響されるからである（特に、訓練データセットあるいはその一部として、すでに得られているデータを与えられる場合には、そのデータに外れ値や欠測値がないか、バイアスがないかなどを十分に吟味する必要がある）。このため、機械学習応用システムの開発は試行錯誤を含む探索的なプロセスとなる。

このような探索的開発には、事前に要求定義を決めて開発を行うウォーターフォール型の開発プロセスはそぐわない。必然的に、短いサイクルで目標を見直すアジャイル型の開発プロセスを使うことになる。

売上予測モデルのように、時とともに季節要因や人口動態によってモデルが前提としていた条件が変わっていく場合も多い（これを「コンセプトドリフト」と呼ぶ）。コンセプトドリフトが考えられる応用では、開発が終わって運用に入った後も、訓練済みモデルは随時アップデートすることが求められる。従って、開発と運用を一体と考えるDevOps^{*1}の手法を取り入れることも必要である（MLOpsと呼ぶこともある）。

このように、機械学習応用システムでは今までのIT開発のやり方と変わってくるので、特に開発を外部に委託する場合には、現在の契約のプラクティスをそのまま利用するには問題がある。このため、経済産業省では「AI・データ契約ガイドライン」[3]を作成し、機械学習応用システムの委託契約において注意すべき点を明確にしている。この中で、特に、データ提供者の権利と義務、及び訓練済みモデルの帰属についてはよく考える必要がある。

現在の政府調達では、契約時に納入物の仕様についてコミットする請負契約が基本であるため、機械学習応用システムを開発して政府に納入することは難しい。アジャイル型の準委任契約が広く認められるようになることを期待したい。

※1 ソフトウェア開発において、開発（Development）と運用（Operations）が協力し、ビジネス要求に対して、より柔軟に、スピーディに対応できるシステムを作り上げるためのプラクティスをDevOpsと呼んでいる。

(2) 品質保証

一般に訓練データセットは可能な入力値の集合のごく一部をカバーしているのに過ぎない。訓練データセットに現れない入力点に対する出力については、機械学習の汎化性能に任されていて、どのような値であるべきかをコントロールすることはできない。

このため、機械学習応用システムでは入出力の関係の厳密な仕様を書き下すことが不可能であり、これが品質保証を難しくしている。

入出力関係の厳密な仕様がないために、例えばテストケースを作ろうとすると、「仕様上正しい出力」すなわちテストオラクルを与えることが困難となる。また、出力がある不変量を満たしているかを保証することが難しい。さらに、出力が変わる境界のテストケース（いわゆるコーナーケース）をどのように定義するかも課題である。

一方で、機械学習モジュールは品質については、通常その精度で評価するために、定量的な評価を行いやすい。訓練データセットを作る際に、データの一部を評価に使うために取り分けておいて（これをホールドセットと呼ぶ）、これは訓練には使わない。

このホールドセットを用いて訓練後の機械学習モジュールの精度を評価すれば、客観的な評価が得られる。通常のプログラミングではできあがったモジュールの客観的な品質評価が難しく、多くはその開発プロセスを間接的に評価することになる。この点では機械学習モジュールの評価はより客観的であると言える。

(3) 開発・運用環境

機械学習応用システムの開発・運用環境はまだ整備が始まったばかりである。機械学習モジュールの開発については、「深層学習フレームワーク」と呼ばれるライブラリが整備されつつある。代表的なものはTensorFlow、Chainer、PyTorchなどであり、いずれもオープンソースで開発が進められている。

機械学習モジュールは、コードと訓練済みモデルからなる。訓練済みモデルは、訓練コード、訓練データセットと、訓練に使われたハイパーパラメーター、それに訓練の初期値・乱数初期値の組によって一義的に決定される。できあがった機械学習モジュールが期待する振る舞いをしない場合は、これらのどれに問題があるか切り分けなければならない。そのためには訓練済みモデルがどのような訓練コード、訓練データセット、ハイパーパラメーター、初期値によって作られたかを紐づける、追跡システムが開発環境として欠かせない。また、機械学習の訓練には非常に大きな計算パワーが必要であり、現在ではその計算はGPUによって提供されている。従って、多くのGPUからなる計算リソースをどのように効率的に使うか、計算資源の共有と管理も機械学習工学の大きなテーマとなる。

開発が終わって運用フェーズに入ると、訓練済みモデルは、デプロイ環境に展開されることになる。訓練に必要な高額なGPU環境に比べて、機械学習モジュールのデプロイ環境は、エッジデバイスであったり、クラウドでもGPUのない環境であったりする。このため、訓練済みモデルを多様な環境にデプロイし、またそれらの精度を継続的にモニタリングする環境が必要となる。

工学へ向けて

プログラミングパラダイムとしての統計的機械学習は新しい技術であり、それを安全に効果的に利用するための工学的知識体系がまだ整っていない。UC BerkleyのMichael Jordan教授は、この状況を土木工学が確立されていないころのビルや橋の建築と同様ではないか、と指摘している [4]。機械学習応用システムの開発・運用のベスト・プラクティスが工学として体系化されれば、この新しい技術も社会に受容されていくに違いない。

◆参考文献

- [1] 丸山宏, 機械学習工学に向けて, 日本ソフトウェア科学会第34回大会予稿集, 2017.
- [2] Cybenko, G., "Approximations by superpositions of sigmoidal functions," *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, Vol. 2, No. 4(1989), pp. 303-314.
- [3] 経済産業省, AI・データの利用に関する契約ガイドライン, <http://www.meti.go.jp/press/2018/06/20180615001/20180615001-1.pdf>.
- [4] Michael Jordan, "Artificial Intelligence—The Revolution Hasn't Happened Yet", *Medium.com*, Apr. 19, 2017.

構成的計算神経科学

国立大学法人大阪大学

浅田 稔

今回のAIの第三次ブームが過去と異なる決定的なポイントは、深層学習に代表されるニューラルネットワークのアーキテクチャーが活用されている点である。これまでは、人工知能と自然知能の乖離が問題であることを指摘していたが[1]、図らずも、深層学習が埋めるどころか、まさに現在のAIをリードしていると言っても過言ではない。「2.5.4 認知発達ロボティクスにおける身体性と社会的相互作用、自己概念の発達」で紹介した認知発達ロボティクスの例は、神経科学の知見を利用しているが、神経科学への貢献は少なく一方通行的に見える。本来は双方向であるべきである。そのつなぎの役割の一端を担うのが計算神経科学^{*1}である。本コラムでは、幅広い神経科学の分野の中でも、情報処理の観点から人間の知能に迫る計算神経科学のアプローチを簡潔に紹介し、そのうえで、「構成的」と称する意味合いを説明し、構成的計算神経科学の例を通じて、人工知能、神経科学、ロボットをつなぐ学際的アプローチとしての意味合いを探る。

1 計算神経科学とは？

銅谷は、計算神経科学を以下のように説明している[2]。

「計算神経科学は、脳が対処している感覚、運動、認知、情動などの課題に対して、どういう情報処理機構が必要であり可能なのかを理論的、トップダウン的に推論し、それを実際の脳の構造、回路、物質などの実験的、ボトムアップ的知見と対照することにより、脳のしくみを理解しようとする学問分野である」

そして、計算神経科学としての座標軸を3つ挙げている。

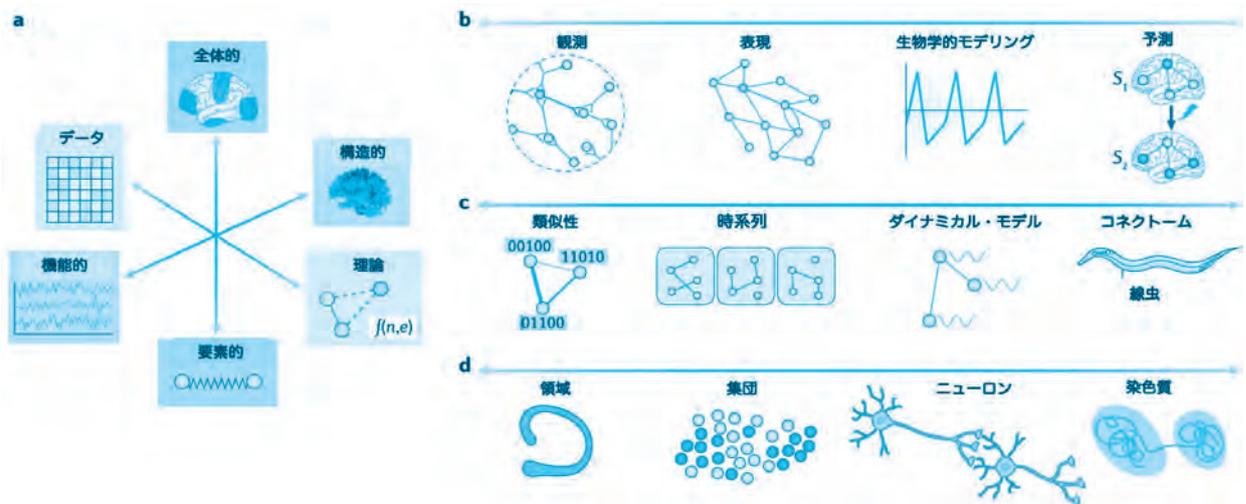
1. 空間スケール：「マクロからマイクロへ」としているが、昨今の分子生物学的アプローチの興隆をみると、ますますマイクロに向かっている傾向がうかがえる。
2. 進化と発達の時系列：「原始的なものから高度なものへ」では、進化的流れを説明しているが、「2.5.3 認知発達ロボティクスの考え方」や「2.5.4 認知発達ロボティクスにおける身体性と社会的相互作用、自己概念の発達」のような発達の側面の言及は少ない。
3. 計算の枠組み：学習のアルゴリズム：David Marr の Vision [3] で展開されている以下の3つのレベル分けは、計算神経科学の大きな指針であった。
 - (a) 情報処理の問題設定と解決指針を与える計算理論
 - (b) そのために利用可能な表現とアルゴリズム
 - (c) 実際の脳神経系のハードウェアによる実現

※1 以前は、計算論的神経科学(Computational Neuroscience)と呼ばれていたが、最近では、この言い方が定着しているようである。

現在の計算神経科学は、ビッグデータやGPGPUに代表されるリッチな計算機環境を背景に、大きく2つの流れがあると考えられる。一つは、脳活動の大規模シミュレーションで、Izhikevich and Edelman [4] による哺乳類の視床皮質のコンピューターシミュレーションが典型例である。ヒトの拡散テンソル画像 (DTI) による大域的解剖学的構造、ネコの視覚皮質の単一ニューロンの in vitro のラベリングと三次元構造再現にもとづく、複数の視床核と皮質の6層構造、そして樹状突起の多様な分岐構造を反映した22のニューロンタイプを用いて、100万ニューロン、およそ5億シナプス結合による脳神経系の動的な活動を再現し、脳波のような信号の創発を実現した。

もう一つは、ビッグデータの潮流に倣い、脳の解剖学的構造や活動に依存した各種イメージングデータをかき集め、脳の全結線構造を明らかにしようとする Connectome [5] のプロジェクトが始まっている^{*2}。そして、それらを対象として、脳のネットワーク構造と活動の関連を明らかにしようとする研究が計算神経科学の大きな流れの一つになっている [6]。脳に限らず、飛行機のフライトのネットワークや人間社会の構造などにも応用されているスモールワールド、リッチクラブ、スケールフリーなどの複雑ネットワークによる近似や解析が注目を浴びている^{*3}。このネットワーク解析に対する最新のレビューを簡単に紹介する。

■ 図1 ネットワークモデルタイプの3つの軸



出典: 文献[7]のFig.2を改編

Bassettら [7] は、“On the nature and use of models in network neuroscience” と題するレビューで最近のネットワーク神経科学のモデルに関する議論を展開している。彼女らは、多様な広がりを見せている脳のネットワーク理論は、その定義や応用範囲、そして評価などに対して若干混乱気味であるので、組織化原理を用いてこれを整理することを試みている。特に、機能と構造、データと理論、そして要素と全体の3つの軸から考察している。これらのモデル検証には、生物学のみならず哲学の分野も必要と主張している。図1にネットワークモデルタイプの3つの軸を示す。

*2 Human Connectome Project <<http://www.humanconnectomeproject.org>>

*3 <<https://ja.wikipedia.org/wiki/複雑ネットワーク>>

2 構成的計算神経科学のアプローチ

計算神経科学のベースとなるのは、fMRI、PET、MEG、EEGなどの各種イメージングや計測による豊富なデータと最新データ解析ツールによる脳の構造と機能(活動)に対する知見の集積である。それらは、必ずしも統一的な見解ばかりでなく、相互に矛盾するものも多々見受けられ、完全という状態から程遠い。

この大きな課題に対して、JonasとKonrad [8] は、古典的なマイクロプロセッサをモデル生物として取り上げ、神経科学の一般的なデータ解析方法が情報を処理する方法を明らかにできるかどうかを調べた。マイクロプロセッサは、論理的な流れ全体から論理ゲートを経て、トランジスタのダイナミクスまで複雑だが、すべてのレベルで構造や動作が理解できる人工情報処理システムである。すなわち真実が分かっている。そこで、マイクロプロセッサに対する様々な解析手法を適用した。そして、データ内の興味深い構造が明らかになったが、マイクロプロセッサ内の情報処理の階層を意味的に記述していなかった。これは、神経科学における現在の解析的アプローチがデータ量にかかわらず、神経システムの意味のある理解を生み出すには不十分である可能性があることを示唆している。より深い理解のために、時系列及び構造発見法の検証プラットフォームとしてマイクロプロセッサのような、既知である複雑な非線形動的システムの使用が勧められている。

結局、計算神経科学は、実はあまり頼りにならないデータや知見にもとづいている可能性があるということである。この課題に対して、完璧な解を求めるのは、非常に困難であるが、一つのアンチテーゼは、脳だけではなく脳への入出力、すなわち身体や環境の計測も必要という点である。多くの脳活動シミュレーションは脳だけに固執しており、先に紹介した IzhikevichとEdelman [4] の実験でも入力サイン波であり、出力からのフィードバックも考慮されていない。あまりに不自然である。そこで、身体からの入力や、身体への出力も考慮した計算神経科学が必要で、ここでは、これを構成的神経科学と呼ぶ。感覚器官からの入力データのリアリティ、そして運動出力から身体行動表出に至る過程の観察によるもう一つのリアリティが二重の意味で効いてくる。感覚入力器官、運動出力器官のシミュレーションは単純ではないが、少なくとも、これらの身体拘束、より正確には、「2.5 身体性とロボティクス」で示した「身体性」が脳神経系のネットワークの構造と機能の意味づけを容易にし、そのことが、認知発達ロボティクスで紹介したロボットたちの脳の設計理論につながると期待したい。

以下では、構成的神経科学の例として、胎児を扱った先駆的な研究例と、身体は単純だが、脳神経系と身体系の間関係に対する考察を扱った例を紹介し、今後の構成的神経科学の動向に注目したい。

2.1 胎児の発達とそのシミュレーション

近年、4次元超音波撮像などの可視化技術の進展により、胎児の様々な行動及び能力が明らかになりつつある(例えば、文献[9]の第五章など)。ただし、この時期は、自己他者未分化状態と考えられ、母胎内羊水環境で、母親の身体の内外的からの刺激としての音や光などが非明示的な他者として作用する。

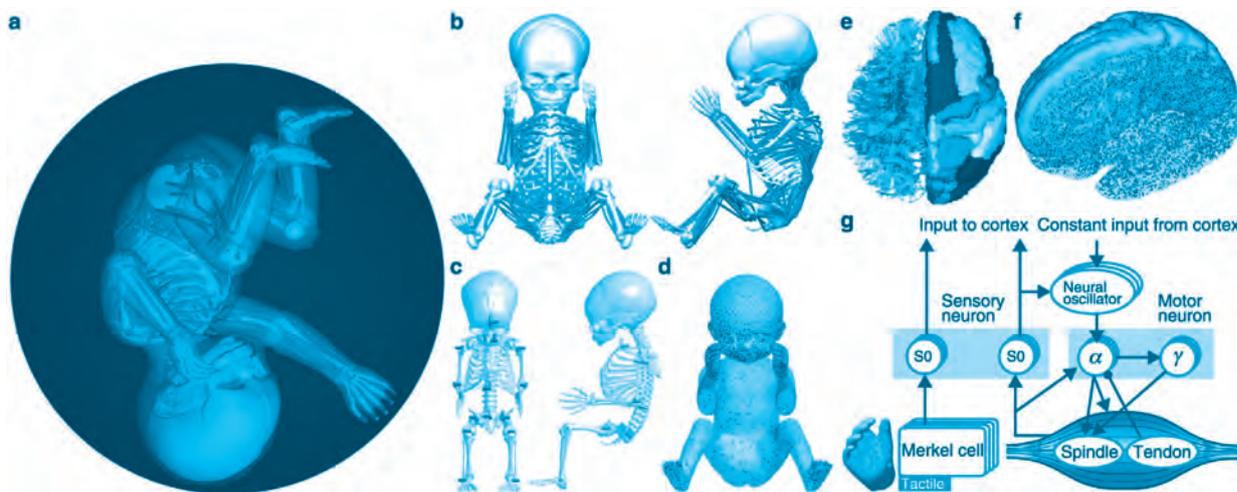
胎児の感覚の始まりとして、先にも述べたように、触覚は受精後約10週から、また視覚は18から22週の間くらいからといわれている(文献[10]のFig.1など参照[4])。身体表象が身体のクロスモデルな表現だとすると、視覚によって他者の身体を知覚する前から、自身の身体表象が触覚などの体性感覚と運動の学習からある程度獲得されると仮定しても不思議ではない。この時期は、視覚、聴覚が作動しつつも、発声や四肢の運動との明確な結び付きが薄く、それぞれが未分化、未発達な状態に

あると仮定できる。ただし、口唇周辺や手の触覚分布の高密度である点や、体内での身体の姿勢の拘束から、吸い付きなどの口唇と手の協調運動（手を口唇に近づけると口が開くなど [11]) が学習されているとみなせ、ミラーニューロンシステムの基盤として、個体の運動のライブラリが獲得され始めているとみなせる。

KuniyoshiとSangawa [13] の研究では、人の身体、神経系の生理学的知見にもとづく個々のモデルを組み合わせ、一つの赤ちゃんモデルとした。そして、このモデルを用い、母胎中の胎児の発達及び、誕生後の行動をシミュレーションし、人の運動発達の理解を目指した。学習の結果、皮質上に、筋肉ユニット配置、より一般には、体性感覚・運動マップを獲得する。この学習により母胎内では、当初ランダムであった運動が徐々に秩序化してくること、さらに誕生後、母胎外の重力場での運動は、はいはいや寝返りに似た運動が創発されたと報告されており、まさに、“Body shapes brain” [14] の典型例といえる。彼らのアプローチは、個体発達の構成的手法の基本原則と考えられる。最近では、これを起点として、脳や身体、環境のシミュレーション精度を高め、社会的行動発生原理をも含むことを狙っている [15]。そのためには、ミラーニューロンシステムのような構造が創発することが期待されるが、埋め込みとしての内的構造の基盤に加え、環境の外的構造の要件が明示されなければならない。國吉グループでの研究は、2006年の最初の論文発表 [13] では、200足らずの筋肉、すなわち、200個程度のニューロン数が、10年後の2016年に発表された論文 [12] では、260万個のニューロン、53億のシナプスコネクションを STDP (spike-timing-dependent plasticity: スパイクニューロンの活動電位タイミング依存性シナプス可塑性) 則で学習させた結果が報告されている。図2 にそのシミュレーションのモデルを示す。大規模なシミュレーションとはいえ、実際のニューロン数に比して、まだまだ少ないこと、また、子宮形状が柔らかい球状で近似されているが実際は窮屈であり、かなり異なる環境であるものの、この規模で身体との結合がなされたシミュレーションは特筆もので、今後の一つの方向性を示している。

■ 図2 ヒト胎児の筋骨格系と脳神経のモデル

(a) 子宮内の胎児身体モデル、(b) 胎児筋骨格系モデル、(c) 関節位と向き、(d) 触覚センサー配置、(e) 早産児 MRI スキャンにおける代表的な DFI と分割、(f) 皮質モデルにおけるモデルニューロン、(g) 脊髄回路モデル



出典: 文献[12]のFigure 1 より転載

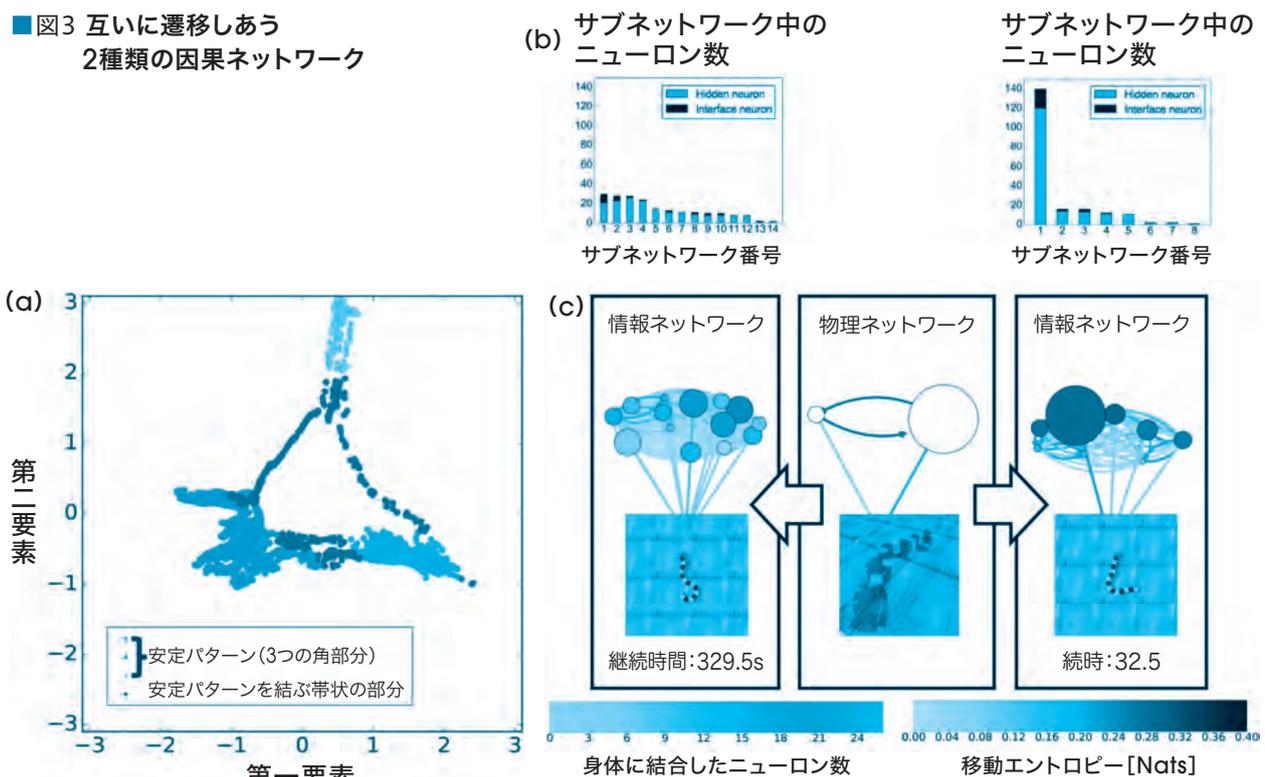
2.2 身体と脳神経の結合ダイナミクス

身体と環境の相互作用により、様々な行動が創発する際の感覚運動系と脳神経系がどのような関係にあるかは、構成的発達科学においての基本課題である。前節の胎児シミュレーションは魅力的だが、脳神経系と身体との関係を解析するうえでは、非常に複雑で困難である。そこで、単純な身体と脳神経系を用いたシミュレーションとその解析が行われている。

Parkら [16] は、非線形振動子のニューロンから構成される脳神経系がヘビのようなロボットの筋骨格系を通じて、環境と相互作用した際に生じるネットワーク構造について、情報の移動エントロピーをもとに解析した。初めに、各関節角の時間相関を特徴ベクトルとして、行動パターンを解析し、大まかに2つの運動パターンを抽出した。それらは、安定な行動パターン（継続時間が長い）とそれらを行き交う不安定な行動パターン（継続時間が短い）である。図3 (a) にその結果を示す。運動パターンを非線形主成分解析した場合の第一、二成分を示している。安定な行動パターン（継続時間が長い3つの角の塊）とそれらを行き交う不安定な行動パターン（安定パターンを結ぶ帯状の部分で継続時間が短い）である。

次に、それぞれの行動パターン時の神経ネットワークを調べた。最初与えられた物理的に結線されたネットワーク（解剖学的ネットワーク）が固定であるのに対し、情報の移動エントロピーの計算により、推定された運動時のネットワーク構造（以下では、機能ネットワークと呼ぶ）は、行動パターンの安定、不安定により異なるサブネットワーク構造が生じた。中央の解剖学的ネットワーク構造（図3 (c) 中央）に対し、左右の因果ネットワークが生じた（図3 (c) 左右）。左は、安定行動パターンで疎につながった（一見、密度が高そうだが移動エントロピーは低い）多数のサブネットワーク構造で、環境との結合も弱い（図3 (b) 左）。片や、右は不安定鼓動パターンで一つの大きなサブネットワークが環境と強く結びついている（図3 (b) 右）。安定行動パターンは高次元状態空間でのアトラクターに、不安定行動は、安定行動パターン間の遷移を表し、全体としてカオス遍歴の様相を呈し、環境との相互作用による神経ネットワークのダイナミクスを表している。

■ 図3 互いに遷移しあう2種類の因果ネットワーク



出典: PLOS「Chaotic itinerancy within the coupled dynamics between a physical body and neural oscillator networks」を改編

一つの憶測は、原初的な意識（不安定状態：例えば崖っぷちの歩行）・無意識（安定状態：例えば通常の歩行）に対応していないかという期待である。情報統合理論 [17] による統合情報量の計算は困難を極めるが、不安定状態のほうが安定状態よりも大きいと察せられる。

◆参考文献

- [1] 浅田稔. 認知発達ロボティクスによる知の設計. 松尾豊(編), 人工知能とは, 第 6 章, pp.115–138. 近代科学社, 2016.
- [2] 銅谷賢治. 計算神経科学への招待: 脳の学習機構の理解を目指して. サイエンス社, 2007.
- [3] David Marr. Vision. W. H. Freeman and Co., 1982.
- [4] Eugene M. Izhikevich and Gerald M. Edelman. Large-scale model of mammalian thalamo- cortical systems. PNAS, Vol. 105, No. 9, pp. 3593–3598, 2008.
- [5] Olaf Sporns. Discovering the Human Connectome. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 02142, USA, 2012.
- [6] Olaf Sporns. Networks of the Brain. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 02142, USA, 2011.
- [7] Danielle S. Bassett, Perry Zurn, and Joshua I. Gold. Nature reviews Neuroscience.
- [8] Eric Jonas and Konrad Paul Kording. Could a neuroscientist understand a microprocessor? PLOS Computational Biology, Vol. 13, No. 1, pp. 1–24, 01 2017.
- [9] 明和政子. 心が芽ばえるとき. NTT 出版, 2006.
- [10] Minoru Asada, Koh Hosoda, Yasuo Kuniyoshi, Hiroshi Ishiguro, Toshio Inui, Yuichiro Yoshikawa, Masaki Ogino, and Chisato Yoshida. Cognitive developmental robotics: a survey. IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, Vol. 1, No. 1, pp. 12–34, 2009.
- [11] 明和政子. 身体マッピング能力の起源を探る. ベビーサイエンス, Vol. 8, pp. 2–13, Dec 2008.
- [12] Yasunori Yamada, Hoshinori Kanazawa, Sho Iwasaki, Yuki Tsukahara, Osuke Iwata, Shige- hito Yamada, and Yasuo Kuniyoshi. An embodied brain model of the human foetus. Scientific Reports, Vol. 6, No. Article number: 27893, pp. 1–10, 2016.
- [13] Y. Kuniyoshi and S. Sangawa. Early motor development from partially ordered neural-body dynamics: experiments with a. cortico-spinal-musculo-skeletal model. Biol. Cybern., Vol. 95, pp. 589–605, 2006.
- [14] 国吉康夫. 赤ちゃんロボットは心を獲得できるかー構成論的科学的試みー. 日本赤ちゃん学会第 8 回学術集会, 2008.
- [15] 森裕紀, 国吉康夫. 胎児・新生児の全身筋骨格・神経系シミュレーションによる認知運動発達研究. 心理学評論, Vol. 52, No. 1, pp. 20–34, 2009.
- [16] Jihoon Park, Hiroki Mori, and Minoru Asada. Analysis of causality network from interactions between nonlinear oscillator networks and musculoskeletal system. In Late Breaking Proceedings of the European Conference on Artificial Life 2015, pp. 25–26, 2015.
- [17] Giulio Tononi and Christof Koch. Consciousness: here, there and everywhere? Phil. Trans. R. Soc. B, Vol. 370: 20140167, p. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0167>, 2015.

MEMO

利用動向

3.1 総論

3.2 技術分野別のディープラーニングの利用動向

3.3 国内における利用動向

3.4 海外における利用動向

3.5 AI導入予算・AI市場の規模

3.6 今後の展望

特集 データで見る中国のAI動向

資料A 企業におけるAI利用動向アンケート調査

利用動向

3.1 ▷ 総論

本章では、AIの利用動向について紹介する。

2016年は、ディープラーニングが「AI第三次ブーム」の大きな原動力となったが、2017～2018年には、AIはブームに留まらず具体的利用事例、先進事例が出始めている。ディープラーニングについては自動運転、医療、金融のファンド運用などの領域において研究開発が進んでいる。

そこでまず、「3.2 技術分野別のディープラーニングの利用動向」において、ディープラーニングの産業応用について、「認識」、「運動の習熟」、「言語の意味理解と生成」などの技術内容別に説明する。

また、「3.3 国内における利用動向」及び「3.4 海外における利用動向」において国内外のAI技術の産業への応用の具体的事例を説明する。分野としては、コネクテッドインダストリーズの対象ともなっている製造業（コネクテッドインダストリーズの分類では「ものづくり・ロボティクス」）、自動車産業や物流（同「自動走行・モビリティ」）、インフラ（同「プラント・インフラ保安」）の他、農業、健康・医療・介護、エネルギー、教育、金融業、流通業など幅広い領域を対象とした。

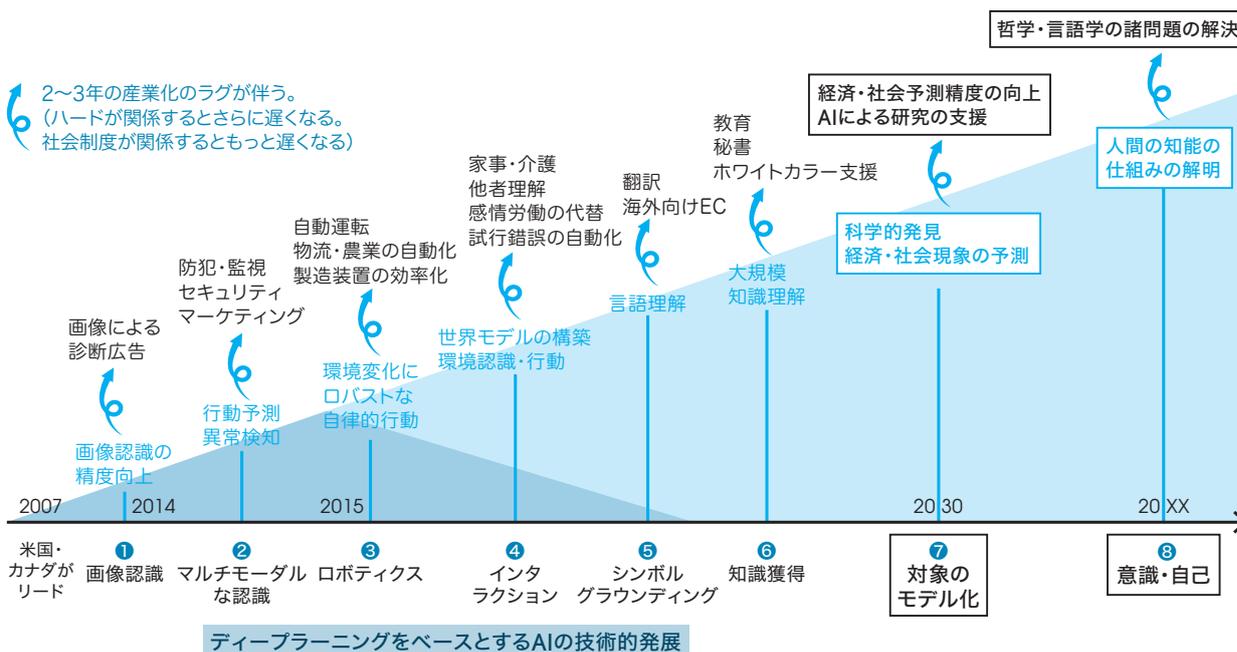
「3.5 AI導入予算・AI市場の規模」ではAIに関する予算や市場規模を軸に進展状況を説明する。また、【特集】「データで見る中国のAI動向」では、特に近年の躍進が目覚ましい中国に関してデータを含めて詳細に説明する。

なお、「資料」では、IPAが平成29年度に実施した「AI社会実装推進調査」におけるアンケート結果を公開している。本調査では、AIの導入状況をより正確に把握するために、導入していない企業に対する設問も厚くすることで未導入企業の回答を促している。また、ユーザー企業の集計からAIベンダー企業を除外することにより、AIベンダーが自社製品を社内で試用しているケースなどをユーザー企業に含めないようにしている。

3.2 ▷ 技術分野別のディープラーニングの利用動向

ディープラーニングの登場によるAIの高度化で、まず、画像認識や音声認識等の分野において、従来の方法^{※1}の精度を凌駕するなど様々な成果が得られ、その技術の産業での応用が進んでいる。「2.2 ディープラーニング」で示したとおり、今後はディープラーニングと強化学習を組み合わせることでロボットの動作の学習（運動の習熟）やパターンの認識と記号的処理を融合することで言葉の意味理解へと発展することが期待されており、その発展のペースも『AI白書2017』で掲載した予測よりも前倒しになっている（図3-2-1）。

■ 図3-2-1 ディープラーニングの登場によるAIの高度化とそれによる産業や社会への影響（2018年版）^{※2}



本節では、「認識」「運動の習熟」「言葉の意味理解」の3つの技術分野の枠組みで産業応用をとらえ、それぞれの動向を紹介する。まず、「3.2.1 認識技術の利用動向」において画像認識及び音声・言語認識へのディープラーニングの実用化動向を紹介する。次に「3.2.2 運動の習熟」において強化学習と深層学習を組み合わせた深層強化学習と呼ばれる手法により、ロボットや機械の動作（運動）を習熟させる研究開発の動向を紹介する。さらに、「3.2.3 言語の意味理解と生成」で、意味理解から自然な会話の実現を目指す技術動向を紹介する。

今後もディープラーニングの技術革新は一層進むことが期待され、産業側の適用領域も拡大すると予見される。しかしながら、ディープラーニングが効果を発揮するためには、学習するためのデータの収集・整備に加え、フィードバックする側の機械等の整備や業務プロセスの改革等を行う必要があり、適用領域によっては多額の投資が必要となる。そのため、ディープラーニングに関わる技術革新のスピードは著しい一方で、実用化の面では、導入効果と投資金額のバランスにより段階的に導入が進んでいくことが予想される。

※1 従来専門家が行ってきた特徴量の設計にもとづく認識など。

※2 東京大学松尾豊特任准教授作成（2018）

3.2.1 認識技術の利用動向

本項では、ディープラーニングを用いた画像や音声・言語の認識に関わる動向を紹介する。

(1) 画像認識技術の応用動向

ディープラーニングが最も成果を挙げている取組みの一つが画像認識であり、その産業応用は、自動車の走行環境の認識や医療分野における画像診断支援等の領域で先行している。以下では、これらの領域を例にディープラーニングの利用動向を示す。

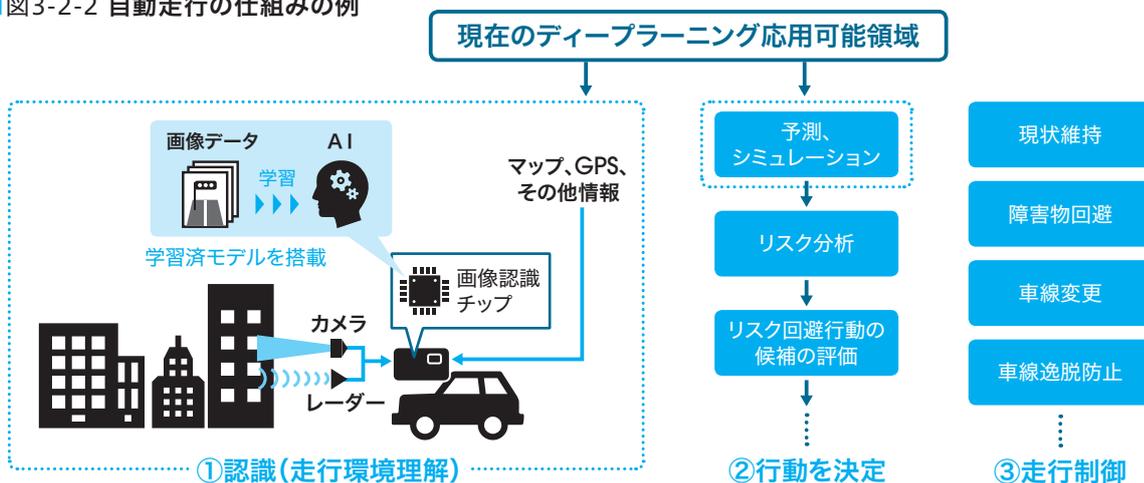
① 走行環境の認識

本書3.3.2及び3.4.2の「自動車産業における利用動向」で説明する自動運転に関しては、古くから取組みが進められており、1996年には我が国でも、旧土木研究所(現国土技術政策総合研究所)により高速道路における連結走行の実証実験が行われている。しかしながら、現在においても自動運転が普及していない主要な原因の一つとして、多様な天候や交通状況などによる複雑な走行環境を自動的に認識することが難しいことが挙げられる。

自動車の走行環境、特に市街地における環境は非常に複雑であり、すべてのパターンやルールをあらかじめ設定し、それにもとづく制御を行うことは現実的ではない。そのため、現在の自動走行実現へのアプローチの多くはディープラーニングを中心とした機械学習によるものが中心となっている。

自動走行は、車両の周辺環境の情報を「①認識(走行環境理解)」し、今後の「②行動を決定(判断)」した上で「③走行制御」を行うことで実現される。ディープラーニングは、主に車外環境の①認識に利用される。この際、全地球測位システム(Global Positioning System;GPS)や地理空間情報、可視光カメラ、ミリ波レーダー、LiDAR(Light Detection and Ranging)など様々なセンサーやデータを用いて車外の移動体や障害物等を検知する取組みが行われている(図3-2-2)。

■ 図3-2-2 自動走行の仕組みの例



Mobileye(イスラエル)は、単眼カメラ等を用いて車外の物体を検知し、衝突検知や衝突防止・軽減のための警告等を行う先進運転システム(Advanced Driver Assistance Systems;ADAS)を開発している。安価な単眼カメラ単独で先行車との衝突防止、先行車追従、レーンキーピング等の機能を実現できる車載半導体Eye Q(アイキュー)を設計・開発し、BMW(ドイツ)やGM(General Motors、米国)等が販売する自動車向けに累計1,500万台を出荷^{※3}している。2017年1月時点の先進

※3 2017年までの累積出荷台数。“Customers,” Mobileye Website <<http://www.mobileye.com/about/our-customers/>>

運転システムに関わる同社の世界シェアは80%に達している。同社製品は2017年までに27のOEMパートナーの313の車種に採用されたという。Mobileyeは、カメラやセンサーから得られたデータに対してディープラーニング等を適用することで製品の付加価値を高めており、具体的には運転可能な領域、運転可能エリア内のルート形状、道路の移動オブジェクト、シーンセマンティクス(信号及びその色、交通標識、歩行者の視線方向、路上表示など)などを高精度に認識する機能の開発を進めている。Mobileyeは2016年からIntelと提携していたが、2017年3月にIntelに153億ドルで買収された。

NVIDIA(米国)は、GPU(Graphics Processing Unit)技術を活かした車載用コンピュータと自律走行のためのソフトウェアの開発を推進している。自動運転における画像認識技術については、早い時点で欧米先進自動車メーカーなどとGPUでAI画像認識ベンチマークを行った。これにより「全交通標識の認識において、たった4時間のAI学習で96%の認識率を達成」、「濃霧など悪天候下でも人間以上の精度で遠方の先行車両を認識」、「自動運転車が走行可能なフリースペースをリアルタイム認識(画素単位で車、人、交通標識等を識別するセグメンテーション)」などを確認することができた。またKITTI等の運転支援用公開ベンチマークでも優れた認識精度を短期間で達成した。これらにより各自動車メーカーはAI、特に「ディープラーニング」が自動運転に不可欠であるという確証を得た。

ディープラーニングによる画像認識も含めた自動走行機能を1チップで実現可能なSoC^{*4}としてXavier(エグゼビア)を2017年第4四半期に出荷し、2018年度中には自動運転レベル5(SAE J3016)に対応するAIコンピュータである「Pegasus」を出荷する。また、ソフトウェアの開発では、最新の研究成果として、物体検出やマッピング、ルートプランニングといったプログラムを行わず、ルートと周辺状況といった限られた情報しか持っていない状態から、ドライバーの反応や周辺の観察により、運転に必要な判断を学習した結果を発表^{*5}している。

自動走行実現に向けた画像認識への取組みは、表3-2-1のように自動車部品サプライヤー、スタートアップ企業等でも進んでいる。なお、自動車メーカー、政府等の自動走行実現に向けた取組みは「3.3.2 自動車産業における利用動向」(国内)、「3.4.2 自動車産業における利用動向」(海外)にて紹介する。

■表3-2-1 自動走行関連用途にディープラーニングを応用する取組み例

| 組織名 | 国 | 概要 |
|-----------|-------|---|
| Almotive | ハンガリー | Almotiveはディープラーニングを活用した自動運転用ソフトウェアaiDrive、シミュレーションツールのaiSim、ハードウェアアクセラレーターのaiWareを開発している。また、同社はKhronos Groupのメンバーとして学習済みモデルの相互交換用の標準であるNNEF(Neural Network Exchange Format) ^{*6} を積極的に推進し、自社製品への適用を進めている。 |
| Comma.ai | 米国 | Comma.aiは画像認識等を応用した自動走行向けのソフトウェアプラットフォーム及び車両制御用のプラットフォームを開発している。また、開発成果であるソフトウェアの機能と車両制御用のハードウェア設計情報をそれぞれオープンソースとして公開している。前者はopenpilotと呼ばれ、車間距離を維持しつつ一定速度で走行するアダプティブクルーズコントロール(Adaptive Cruise Control; ACC)や走行中の車線逸脱を防止するレーンキーピングアシスタント(Lane Keeping Assist System; LKAS)の機能が含まれる。後者はComma Neoと呼ばれ、コンピューター基盤の回路情報、必要な部品、設計手順等の情報が含まれる。 |
| DeepGlint | 中国 | DeepGlintは道路交通シーンなど複雑なシーンで複数のオブジェクトを同時に検出し、自動車、自転車、歩行者などを識別することができる車両解析システムWeimu Vehicle Big Data Systemを提供している。 |

※4 システムオンチップ(System on a Chip)の略称。

※5 “End-to-End Deep Learning for Self-Driving Cars” NVIDIA Website <<https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/deep-learning-self-driving-cars/>>

※6 ニューラルネットワークモデルの情報を交換するフォーマット。詳細は2.9.1項(3)を参照。

| | | |
|------------|-------|--|
| Drive.ai | 米国 | Drive.aiはスタンフォード大学人工知能研究所 (Stanford Artificial Intelligence Laboratory ; SAIL) からスピンアウトして設立し、ディープラーニングを中核とした自動走行用途のソフトウェア開発を進めている。同社はカメラ画像からの歩行者や物体の検知に加えて、交差点停車時の右左折など、運転動作に関わるプランニングや意思決定にもディープラーニングを活用しようと試みている。2018年7月から米国テキサス州フリスコで、現地交通当局の支援を受けて、自動運転車によるオンデマンド配車のテストサービスを開始している。 |
| Mobileye | イスラエル | Mobileyeは単眼カメラから得られる画像にディープラーニングを適用して衝突の検知、防止・軽減のための警告等を行う先進運転システムを開発している。詳細は本文を参照されたい。 |
| NVIDIA | 米国 | NVIDIAは、GPU技術を活かした車載用コンピューターとセンサー等から周囲の障害物を認識し、経路プランニング等を行う自動走行向けのソフトウェア開発を推進している。詳細は本文や「3.3.2 自動車産業における利用動向」を参照。 |
| Sighthound | 米国 | Sighthoundはディープラーニングにより車両、人間、顔などを認識する技術を開発している。同社は開発した技術を、ライブカメラから得られる映像に適用することで、車両の製造元、モデル、色、ナンバープレート等を識別したり、走行・飛行する移動体が撮影した画像に適用することで、人や物体等を検知したりするソリューションを提供している。 |
| デンソー | 日本 | デンソーはAI R&Dプロジェクトを立ち上げ、走行環境の認識、走行シーンの理解、行動予測などを目的としたディープラーニングアルゴリズムの開発、そのアルゴリズムの効果を最大限発揮するための半導体など実装技術の開発、学習用データや学習済みモデルなどの品質を保証するための品質基盤の開発を進めている。2018年5月、トラックやバスなどに後付け可能なドライバーステータスマニター「DN-DSM」を発表。赤外線カメラで撮影したドライバーの顔を画像解析し、脇見・眠気・居眠り・不適切な運転姿勢の状態を検知。ドライバーに注意を促し、安全運転をサポートする。 |
| モルフォ | 日本 | モルフォは2015年12月にデンソーと資本業務提携に合意し、多様な障害物や標識・標識、車両が走行可能な道路空間、危険が予想されるシーン等を認識するためにディープラーニングを用いた次世代画像認識技術を開発している。画像認識をリアルタイムに行うための高速なディープラーニング推論エンジン「SoftNeuro」を開発し2017年12月に製品化した。また、ディープラーニングを用いた人体や動物などの姿勢を推定する技術「Morpho Pose Estimator」をTop Data Science (本社ヘルシンキ)と共同で開発し、2018年5月より、提供を開始した。 |
| ZMP | 日本 | ZMPはディープラーニングによる画像認識技術、ライダー (Light Detection and Ranging ; LiDAR) による自己位置推定等により周囲の環境を認識して自律的に走行する技術の開発を行っている。自動車メーカーが進める自動運転の開発は、ドライバーの運転を支援する自動運転機能が中心であるが、ZMPはサービスにフォーカスし、運転しない人が乗ることができる自動走行タクシーを開発している。実証実験を積極的に行っており、2017年12月には東京都江東区で、日本で初めて公道での運転席に人がいない状態で自動走行の実証実験を行った。詳細は、3.3.2項に記述する。 |

出典：各種公開情報より作成

②医用画像の認識と診断への応用

医療分野においては、患者の状態を客観的に判断するために、血液検査、心電図検査、画像検査など種々の検査が行われている。その中でも画像検査については、Wilhelm Conrad Röntgenが1895年に発見したX線によるX線写真に始まり、1970年代のX線CT (Computed Tomography) 装置、超音波診断装置、核医学装置、MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置などの多種多様なデジタル診断機器に続き、より高度な検査の手段として実施されてきた。

それらの検査結果の画像を観察して病変の有無を判断するいわゆる読影・診断は、主に放射線科医などの画像診断医により行われている。当初はアナログフィルムベースで行われていたが、機器のデジタル化により、2次元のデジタル画像や3次元画像の取得・表示が可能となり、近年はそれによる診断が主流になっている。

最新の診断機器では、例えばマルチスライスのX線CT装置では、1回の検査で千枚を超える画像が発生し、さらに検査スループットの向上により1日当たりの検査件数も増加している^{※7}ことから、読影・診断を行う画像診断医の負担が増加しており、関与できていない検査が増加することが懸念さ

※7 医用画像は医療に関わるデータの90%以上を占めるまでに増加しているといわれている。“IBM Unveils Watson-Powered Imaging Solutions for Healthcare Providers” IBM Website <<https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/51146.wss>>

れている。また、胃や大腸の消化器内視鏡検査においても、病変の早期発見のため検査数は増加すると考えられるが、検査および読影・診断を行う内視鏡医の数には限界があり、その恩恵を受ける患者数に限度がある。

医用画像の診断支援へのコンピューターの活用は、こうした課題の解決や医師不足等の解決につながるといわれており、1980年代から研究・実用化されてきたが、近年のディープラーニングによる画像認識精度の向上により、その実装が加速するものとみられている。

また、医療分野では症例等に関する医用画像の整備が進められており、研究機関や企業等はこれらの医用画像に対してディープラーニングを適用する取組みを進めている。例えば、米国では、肺画像データベースコンソーシアム (Lung Image Database Consortium ; LIDC) や画像データベース資源イニシアティブ (Image Database Resource Initiative ; IDRI) 等が症例データベースを構築・提供し、シリコンバレー等で活動しているスタートアップ企業がこれらを活用してディープラーニングによる医用画像の認識に関わる研究開発を行っている。日本においても、内視鏡学会、医学放射線学会、病理学会などにより研究用の画像のデータベースを構築する動きが始まっている。

ディープラーニングによる医用画像の認識に関わる取組みは、表3-2-2のように多様な部位の画像に適用され、がんや骨折などの診断に利用されている。また、超音波診断装置などの動画において、対象部位が映し出されているビデオクリップの選択などにも使用されている。

Enlitic (米国) は、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network ; CNN) ^{※8}を拡張して、X線CT画像からがん画像を検出するシステムの開発を行っている。Enliticの開発したシステムでは、放射線科医よりも約50%高い精度で医用画像から肺の悪性腫瘍を分類できるといふ^{※9}。

Viz.aiは2018年2月に、CT画像を解析し、患者の潜在的な脳卒中の可能性を医療機関に通知する臨床意思決定支援ソフトウェアの販売の認可を米国食品医薬品局 (Food and Drug Administration ; FDA) より取得した^{※10}。米国疾病管理センター (Centers for Disease Control and Prevention ; CDC) によると、米国では約79万5,000人が毎年脳卒中を発症し、米国第5位の死因、重度の後遺障害の主要原因となっている。このアプリケーションは、現場の病院で撮られた脳のCT画像を解析し、疑わしい大血管閉塞が確認された場合にスマートフォンやタブレットなどのモバイルデバイスを経由して神経血管専門医に通知する。通常は、放射線科医による読影を経て神経血管専門医に知らせているため、それより早く治療を開始することができるという。同社は、300件のCT画像について、2人の神経放射線科医による読影と本アプリケーションを比較し、閉塞の疑いがある場合、アプリケーションのほうがより早期に神経血管専門医に通知できたという結果を提出した。

IDxは、2018年4月に糖尿病網膜症を検出するAIを活用した診断装置を販売するFDAの認可を取得した^{※11}。糖尿病網膜症は高血糖が網膜内の血管を傷つけることで発症、その結果視力喪失を引き起こし、米国では3,000万人に影響があるという。このソフトウェアは、TOPCON製の特別な網膜カメラで撮影した成人の眼の画像を、AIアルゴリズムを使用して分析する。医師が画像をクラ

※8 CNNの詳細は2.2.3項を参照。

※9 “Enlitic,” “Enlitic Website <<http://www.enlitic.com/index.html>>

※10 <<https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm596575.htm>>

※11 <<https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm604357.htm>>

ウド・サーバーにアップロードすると、ソフトウェアが陽性か陰性かの結果を出す。今回の装置は、医者が画像や結果を解釈しなくても検査結果を出すことでFDAの認可を取得した初の製品である。

OsteoDetectは、2018年5月に、AIを使って手首の骨折を検出するアルゴリズムを備えたソフトウェアの販売に関するFDAの認可を取得した^{※12}。このソフトウェアは、成人手首のX線画像を機械学習技術を用いて解析し、手首のX線画像の中の骨折している箇所に目印を付ける。開発したImagen Techが実施した2つの研究によると、同ソフトウェアを使ったときのほうが、手の診断・治療を専門とする整形外科医よりも骨折部位をよりうまく特定できたという。

なお、ディープラーニングによる診断支援に加え、医療・健康・介護分野でAIを活用する事例を「3.3.5 健康・医療・介護における利用動向」（国内）、「3.4.5 健康・医療・介護における利用動向」（海外）として、紹介している。

■表3-2-2 医用画像認識関連用途にディープラーニングを応用する取組み例

| 組織名 | 国 | 概要 |
|----------------------|-------|---|
| Bay Labs | 米国 | Bay Labsは超音波診断にディープラーニングを適用し、完全自動化されたビデオクリップの選択と左心室駆出率の計算を行う同社ソフトウェア製品に対して、2018年6月にFDAの認可を受けた ^{※13} 。これにより、定量化のために手動でビューを選択し最適なビデオクリップを選択操作する必要がなくなった。 |
| Butterfly Network | 米国 | Butterfly Networkは低価格でインターネットと接続可能な携帯電話サイズの超音波診断デバイス、ディープラーニングによる腫瘍の認識が可能な学習済みモデル、及びそれをもとにクラウド上でリアルタイムに推論を行う超音波画像の診断機能を開発している。 |
| Enlitic | 米国 | EnliticはX線CT画像等にディープラーニングを適用し、がんなどの疾患の診断を支援するシステムを開発している。詳細は本文参照。 |
| IDx | 米国 | IDxは、2018年4月に糖尿病網膜症を検出するAI活用の診断装置を販売するFDAの認可を受けた。詳細は本文参照。 |
| Imagia | カナダ | Imagiaは、医療ソリューションベンチャーであるai4giと組んで、内視鏡による大腸がん等のスクリーニングへの応用を進めている。 |
| Lunit | 韓国 | Lunitはディープラーニングによる医用画像や医療データの分析、解釈を行うソフトウェアを開発している。具体的には、胸部X線医用画像から主に肺がんを、乳房X線（マンモグラフィ）医用画像から乳がんを検出するシステムを開発している。同社は病理画像の認識アルゴリズムの評価を行うCamelyon 2017などの国際大会において評価されている。 |
| Mindshare Medical | 米国 | Mindshare Medicalはディープラーニングにより医用画像から重度の疾患を検出し、効果的な治療計画やフォローアップの手順を含むパーソナライズされた診断とガイダンスを行う臨床意思決定支援システムを開発している。 |
| OsteoDetect | 米国 | OsteoDetectは、2018年5月に、AIを使って手首の骨折を検出するアルゴリズムを備えたソフトウェアの販売に関するFDAの認可を受けた。詳細は本文参照。 |
| Viz.ai | 米国 | Viz.aiは2018年2月に、CT画像を解析し、患者の潜在的な脳卒中の可能性を医療機関に通知する臨床意思決定支援ソフトウェアの販売に関するFDAの認可を受けた。詳細は本文参照。 |
| Zebra Medical Vision | イスラエル | Zebra Medical Visionは、X線CT画像等をもとにディープラーニングを適用して骨（骨密度、骨折リスク、骨折箇所）、肝臓（脂肪肝）、肺（肺気腫の容積）、心臓血管（冠動脈疾患、大動脈瘤）、脳（脳出血）の発症リスク等を解析している。2018年7月に、ECGゲートCTスキャンから患者の冠動脈カルシウムスコアを自動的に計算し、冠動脈疾患のリスクの評価に使用される冠動脈カルシウムスコアリングアルゴリズムのFDA認可を受けたと発表した ^{※14} 。 |

※12 <<https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm608833.htm>>

※13 <<https://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DeviceApprovalsandClearances/510kClearances/ucm613084.htm>>

※14 <<https://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DeviceApprovalsandClearances/510Clearances/ucm613084.htm>>

| | | |
|---------------------------|-----------|---|
| <p>エルピクセル</p> | <p>日本</p> | <p>エルピクセルはX線CTやMRI (Magnetic Resonance Imaging ; 磁気共鳴画像診断)、内視鏡等で取得した医用画像に対してディープラーニングを適用し、がんや脳の疾患等を発見する画像診断支援に関わる研究開発を進めている。具体的には、(1) 医師のダブルチェック・トリプルチェックによって品質が担保された学習データを使用 (2) 学習データが少なくても効率的・高精度に学習する独自技術を活用などの特徴を持ち、医師の診断を支援している。また、研究開発のための医療画像をm3.com等を通じて医師・医療機関から安全に収集する支援も開始し、同支援を活用した多数の放射線科医による試用や効用の研究を行い、エビデンスの構築を目指している。</p> |
| <p>キヤノン</p> | <p>日本</p> | <p>キヤノンは大規模症例データベースを活用し、ディープラーニングや機械学習によるがんや神経性疾患の診断支援を行うソフトウェアの開発を進めている。また、キヤノンメディカルシステムズは、ディープラーニングを用いてCT画像のノイズ成分とシグナル成分を識別し、分解能を維持したままノイズを選択的に除去する再構成技術を開発し、高品質な画像を、より線量を下げて、提供することができるようにしている。また、MRI画像において、ディープラーニングを用いてノイズの多い画像からノイズを除去するノイズ除去再構成技術を開発し、従来検査では困難であった超高分解能撮像を短時間でを行うことを可能とした。</p> |
| <p>Preferred Networks</p> | <p>日本</p> | <p>Preferred Networksは、同社及び産業技術総合研究所が国立がん研究センターの保有するがんに関する膨大な罹患者の臨床データや画像データ (X線CT画像、MRI画像)、ゲノムデータ等に対してディープラーニングを中心とした先進的なAI技術を適用することで、より正確ながんの診断や個々のがん患者に適した治療法の選択等を行う技術の研究開発を進める。開発は科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化」における「人工知能を用いた統合的ながん医療システムの開発」で行われ、最初の2年4カ月でPoC (概念実証) を目指し、5年間で実用化を目指している。</p> |

出典：各種公開情報より作成

③その他

これまでに紹介してきた自動走行と医療分野は、ディープラーニングの登場により飛躍的に進歩し、実用化に大きく前進している領域である。ディープラーニングによる画像認識は、これら以外にも幅広い産業用途に広がりを見せつつある。例えば、防犯カメラから取得した動画画像に対してディープラーニングを適用することで、都市や施設の安全性を高める取組みや事故画像を解析することで損害調査の効率化を高める取組みなどが進んでいる。これらの領域におけるディープラーニングを含めたAIの活用については、「3.3 国内における利用動向」と「3.4 海外における利用動向」で紹介する。

(2) 音声・言語認識

スマートフォンに搭載された音声アシスタントシステムや自動で質問に対応するチャットボットシステムなど、ディープラーニングの登場により音声認識や文章認識・生成等に関する技術の実用が一層進み、市場での利用が始まっている。

ここでは、ディープラーニングの適用が先行する音声認識・対話、機械翻訳、文章生成の領域における利用動向を紹介する。

①音声認識・対話

音声認識は、1990年代後半から米国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency ; DARPA) が進めた共通の大規模コーパス^{※15}の整備及びそれらを用いて音声認識の評価を行うプロジェクトによりその精度が大幅に向上した。音声認識精度の一般的な評価尺度である単語誤り率 (Word Error Rate ; WER) を見るとIBMが1995年に43%のWERを達成

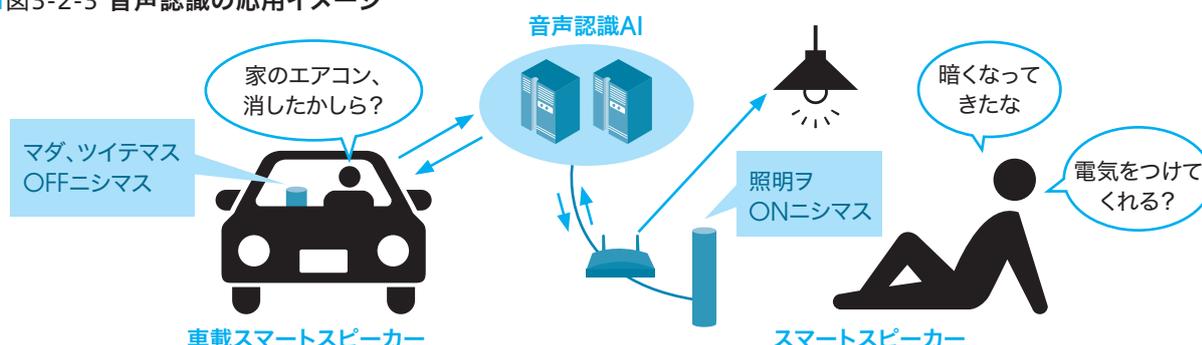
※15 発話を大規模に集めたデータベース (Switchboard Corpus)。

した後、DARPAのプロジェクトが推進剤となり、段階的に精度を高め、2005年にはIBM(米国)が15.2%のWERを達成した。その後、ディープラーニングの登場により音声認識の精度は飛躍的に向上し、2015年にIBMが8%^{*16}、2016年9月にMicrosoft(米国)が6.3%^{*17}、同年10月にMicrosoftがさらに精度を高め、プロの口述筆記者と同レベルの5.9%^{*18}を達成するなど米国の大手IT企業による競争が加速している。最新の成果では、IBMが2017年3月7日に5.5%^{*19}、Googleが同年4.9%^{*20}のWERを達成している。

音声認識を組み込んだ製品は、Apple(米国)の「Siri」、Google(米国)の「Google Assistant」、NTTドコモの「しゃべってコンシェル」のように、音声でモバイル端末を操作する機能として生活の中で利用されている。こうした機能は、ディープラーニングの登場に加え、複数のマイクを利用したビームフォーミングや雑音抑制技術の向上等により、今まで以上に実用性の高い機能として様々な環境で実用化が進みつつある(図3-2-3)。

Amazon(米国)はディープラーニングを用いて音声を変換する自動音声認識機能(Automatic Speech Recognition; ASR)とテキストを認識する自然言語理解機能(Natural Language Understanding; NLU)等を搭載したスピーカー型端末「Amazon Echo」を販売している。Amazon Echoが搭載する音声認識機能は、ディープラーニングによりテレビの音声、音楽、家族の会話等ノイズの多い家庭空間において高い精度を達成し、数メートル離れた距離からも音声の認識を可能としている。

■ 図3-2-3 音声認識の応用イメージ



ASRとNLUは、クラウドサービスAmazon Lexとしても提供され、企業等は容易に対話型の機能を自社の製品やサービスに組み込むことができる。例えば、米航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration; NASA)は、火星探査用ロボットを模したミニローバーRov-Eを学校、地域団体、公共イベント用に開発している。Rov-EはAmazon Lexの機能を用いて、学生や地域住民等との会話を可能とし、言葉で操作したり、火星探査の情報を引き出し

※16 “IBM Watson announces breakthrough in Conversational Speech Transcription,” IBM Website <<https://developer.ibm.com/watson/blog/2015/05/26/ibm-watson-announces-breakthrough-in-conversational-speech-transcription/>>

※17 “Microsoft researchers achieve speech recognition milestone” Microsoft Website <<https://blogs.microsoft.com/next/2016/09/13/microsoft-researchers-achieve-speech-recognition-milestone/#sm.00001npc74lkeds4xz22819vdlhwj>>

※18 “Historic Achievement: Microsoft researchers reach human parity in conversational speech recognition,” Microsoft Website <<https://blogs.microsoft.com/next/2016/10/18/historic-achievement-microsoft-researchers-reach-human-parity-conversational-speech-recognition/#sm.00001npc74lkeds4xz22819vdlhwj>>

※19 “Reaching new records in speech recognition,” IBM Website <<https://www.ibm.com/blogs/watson/2017/03/reaching-new-records-in-speech-recognition/>>

※20 <<https://thenewstack.io/speech-recognition-getting-smarterstate-art-speech-recognition/>>

たりすることができるという。

Microsoftは前述のようにディープラーニングにより高い精度の音声認識を実現している。CNNとLSTM(Long short-term memory)^{※21}を組み合わせ、音響のコンテキストを理解する学習モデルを構築して認識精度を高めている。開発した音声認識は、Windowsのパーソナルアシスタント「Cortana」や同社のクラウドサービス「Microsoft Azure Cognitive Service」の音声認識機能(Bing Speech API、Custom Speech Service)として組み込まれる予定である。

この他にも表3-2-3のようにクラウドサービスを提供する海外の大手IT企業等を中心に音声認識・対話に関わるサービスの開発が進んでいる。

■表3-2-3 音声認識・対話関連用途にディープラーニングを応用する取組み例

| 組織名 | 国 | 概要 |
|-----------|------|--|
| Amazon | 米国 | Amazonはディープラーニングによる音声認識機能と自然言語理解機能を搭載した家庭用アシスタント端末Amazon Echoシリーズを販売するとともに、それに搭載されている音声認識機能等を利用可能なAmazon AlexaやクラウドサービスAmazon Lexを提供している。詳細は本文参照。 |
| Baidu | 中国 | Baiduはシリコンバレー AI研究所(Silicon Valley AI Lab ; SVAIL)を設置して、ディープラーニングによる音声認識の研究開発を進めているほか、開発した音声認識機能を組み込んだ製品やサービスを提供している。Baiduのスマートフォン向け検索アプリ(Mobile Baidu)に音声検索機能として組み込まれているほか、音声認識機能をプラットフォーム(Baidu Voice)として開発者向けに公開している。このプラットフォームを利用して、Haier(中国)が音声検索機能付きの家電製品を開発したり、Szime(中国)が車載器を開発している。2017年に発表した音声合成フレームワークDeep Voice3では、30分ほどのトレーニングでその話者の声を忠実に模倣できるという。 |
| DeepGram | 米国 | DeepGramはディープラーニングによるオーディオデータの分析により、分類やキーワード抽出・発言箇所の特典等を行う技術を開発している。同社の技術は電話、ビデオ映像、オンラインメディア等の多様なオーディオデータを対象に分析が可能である。同社の自動書き起こしツール「Deepgram Brain」は、報道機関、金融機関など、5,000社以上で採用されている。 |
| Google | 米国 | Googleはディープラーニングにより音声認識の精度を高め、スマートフォン向けのパーソナルアシスタントGoogle Assistantや家庭向けのパーソナルアシスタントGoogle Homeを提供している。また、AmazonやMicrosoftと同様に、クラウドサービスとして音声認識機能を提供している。具体的には、Google Cloud Platformにおいてディープラーニングによる音声認識機能Cloud Speech APIBetaを提供している。また、Google I/O 2018でデモを行った「Google Duplex」にて、AIアシスタントが「自然な」会話を通じて、レストランや散髪予約を人間のオペレーターに対して行える可能性を示した。 |
| Gridspace | 米国 | Gridspaceはディープラーニングにより複雑な会話を認識するソフトウェアGridspaceを開発している。会話の重要箇所の識別や会話のカテゴリ化が可能であり、会議録の作成支援等への応用が期待されている。なお、同社はSiriを開発した研究者やスタンフォード大学のエンジニアが参加している。 |
| Microsoft | 米国 | MicrosoftはCNNとLSTM等のディープラーニングにより音声認識の精度を飛躍的に高め、自社の製品やサービスに組み込んでいる。詳細は本文参照。 |
| Mobvoi | 中国 | Mobvoiはディープラーニング等による中国語の音声認識・検索技術の開発とその機能を組み込んだスマートウォッチ、車載器、車載スマートフォンアプリの開発を行っている。 |
| Viv | フランス | Vivはディープラーニング等により音声を認識・理解し、実行するパーソナルアシスタントを開発している。ほかの開発者が作成したアプリケーションや製品に組み込むことが可能な拡張性や複雑な問いかけを認識し、理解したうえで回答する等の実用性を有する機能の実現を目指して開発されている。同社はSamsung(韓国)に2016年に買収され、2018年の新型スマートフォンに、Vivの技術を組み込んだBixby2.0が搭載される予定である ^{※22} 。 |

出典：各種公開情報より作成

②機械翻訳

ディープラーニングを用いた言語・音声への取組みとして機械翻訳が大きな成果を挙げている。

※21 時系列データを扱えるモデルとして再起型ニューラルネットワーク(Recurrent Neural Network ; RNN)を拡張した手法。詳細は2.2.4項を参照。

※22 “Samsung goes after Google, Apple, Amazon and your home with new voice assistant Bixby,” CNBC Website <<http://www.cnbc.com/2017/03/29/samsung-galaxy-s8-bixby-voice-assistant-apple-siri-amazon-alexa.html>>

その代表的な例は、2016年9月にGoogleが発表した翻訳システムGoogle Neural Machine Translation (GNMT)である。

Googleは翻訳サービス開始当初からフレーズ単位で翻訳する統計的機械翻訳(Phrase Based Machine Translation ; PBMT)を採用していたが、新たな翻訳システムGNMTにおいてディープラーニングにより文章全体を翻訳単位としてとらえることで、従来のアプローチ(PBMT)から翻訳の誤りを55～85%低減する等、性能を大幅に向上させている。Googleによると、GNMTは英語→スペイン語、フランス→英語等の一部のケースにおいて人間が行う翻訳に近い精度に達しているという。Googleが開発したGNMTは同社の翻訳サービスGoogle Translationに採用されているほか、クラウドサービスGoogle Cloud Platformの機能の一部として提供されている。

Microsoftは機械翻訳サービスMicrosoft Translatorにおいて、LSTMを導入して高品質かつ人間に近い文章表現を実現したことで注目を集めている。Microsoftの機械翻訳は、ニューラルネットワークを導入して動詞や名詞等の品詞、性別、礼儀正しさ(スラング、カジュアル、書面、フォーマルなど)といった概念を500次元の特徴ベクトルとして学習することで、単語ごとに特定の言語対(例えば英語⇄中国語)内の固有の特性をモデル化し、翻訳精度を向上させている。Microsoftも同様に、開発した技術を翻訳サービスMicrosoft Translationに採用したほか、クラウドサービスMicrosoft Azureの機能の一部として提供している。また、インターネット通話サービスSkypeにおける会話を翻訳するSkype 翻訳の高精度化等にも寄与している。

機械翻訳では元言語とターゲット言語を対応づける例文データが大量に必要であったが、この課題も解決されつつある。例えば、Facebookの教師データ不要の翻訳方式では、それぞれの言語で求めた分散表現の構造的類似性から翻訳辞書を生成して単語単位の変換を行い、これを「言語モデル」を用いて滑らかな文に加工、さらに、最新の半教師無し学習の研究成果である逆翻訳手法にのっとり、生成された文から翻訳モデルを学習することで、10BLEU^{*23}ポイント以上の精度の向上が得られたという。

表3-2-4に機械翻訳用途にディープラーニングを応用する取組み例を示す。

■表3-2-4 機械翻訳用途にディープラーニングを応用する取組み例

| 組織名 | 国 | 概要 |
|-------------------|----|---|
| Baidu | 中国 | Baiduは機械翻訳にディープラーニングを採用し、統計的な機械翻訳と組み合わせることでその精度を高めている。20以上の言語間の翻訳を可能とするほか、伝統的な中国の詩や方言、広東語等にも対応している。また、2017年9月には音声認識・合成技術と翻訳エンジンを組み合わせたポータブル翻訳機を発表した。 |
| Facebook | 米国 | 例文データを使わずに翻訳モデルを作成することでマイナーな言語の翻訳を行いやすくする技術を開発している。 |
| Google | 米国 | Googleは機械翻訳にディープラーニングのアプローチを採用することで、従前のフレーズ単位で翻訳する統計的機械翻訳から大幅に翻訳精度を高めている。これらの翻訳機能をWebサービスやクラウドサービスに採用している。詳細は本文を参照。 |
| Microsoft | 米国 | Microsoftは機械翻訳にLSTMを採用してその性能を飛躍的に向上させている。Googleと同様にこれらの翻訳機能をWebサービスやクラウドサービスに採用している。詳細は本文参照。 |
| NTT コミュニケーションズ | 日本 | NTTコミュニケーションズは、「ニューラル機械翻訳技術」を搭載し、ブラウザー上に翻訳したいプレゼンテーション資料や財務諸表などのファイルをアップロードすると、そのレイアウトのまま英語の翻訳版ができあがる新サービスを開始(2018年)。1億近い例文を覚え込ませ、英語能力テスト「TOEIC」で900点レベルの精度を実現したとされる。 |

出典：各種公開情報より作成

※23 BLEU(Bilingual Evaluation Understudy)は翻訳精度の評価尺度の一つ。1 BLEUポイントが「めざましい成果」と評価される。

③文章生成

画像、テキスト、数値から自然な文章やメッセージ性の高いキーワードを生成する等の技術開発も進んでいる。こうした技術は、報道記事の生成やWebサービスのコンテンツ管理等に利用され始めている。

Automated Insights(米国)は、数値データから自動的に記事や文章を生成するサービスWordsmithを提供している。このサービスを利用することで、データから報道記事を自動的に生成したり、Eコマースサイトにおけるコンテンツ作成を自動化したりできる。例えば、Associated Press(米国)はWordsmithを利用して企業の四半期決算のレポート生成や米国メジャーリーグの下部組織であるマイナーリーグ^{*24}の試合記事の配信を行っている。マイナーリーグの記事生成では、MLB Advanced Media(米国)のデータにもとづき主に試合経過の生成・配信を行っている。Wordsmithの導入により、誤字・誤記などのヒューマンエラーがなくなることで記事品質が向上しているほか、記事生成の高速化によるコンテンツのリアルタイム性の向上、人件費削減等の効果が得られているという。

NTTデータはディープラーニングを活用して気象ニュースの原稿を自動生成する実証実験を実施し、人が読んでも違和感のないレベルのニュース原稿の生成に成功している。具体的には、気象庁が過去に公開した気象電文とアナウンサーが読んだニュース原稿をそれぞれ4年分用意し、原稿作成の規則性をディープラーニングで学習することで、新たに与えられたデータに対してニュース原稿を生成する仕組みである。

ほかにも画像や数値データ等から言語を生成する多様な取組みが行われている。表3-2-5にディープラーニングによる文章生成の取組み例を示す。

■表3-2-5 文章生成関連用途にディープラーニングを応用する取組み例

| 組織名 | 国 | 概要 |
|--------------------|----|---|
| Automated Insights | 米国 | Automated Insightsはディープラーニングにより数値データ等から記事や文章を自動的に生成するシステムを開発している。詳細は本文参照。 |
| Narrative Science | 米国 | Narrative Scienceはディープラーニングにより生データを解釈し、理解しやすい自然な文章を生成するプラットフォームQuillを提供している。また、既存のBIツールと組み合わせることで、表やグラフの説明文を生成するDynamic Narrativesを提供している。 |
| Persado | 米国 | Persadoはディープラーニングにより消費者に行動を促すための適切なコピーライティングやフレーズを自動で生成するプラットフォームを開発している。現在は消費者向けのマーケティング等が主要領域であるが、今後は医療健康の促進等に広げる予定としている。 |
| NTTデータ | 日本 | NTTデータはディープラーニングにより気象電文とアナウンサーが読み上げた原稿の内容から原稿作成の規則性を学習し、新たに与えられたデータに対してニュース原稿を生成する技術を開発している。 |
| 日本経済新聞 | 日本 | 日本経済新聞社の『決算サマリー』は、上場企業が発表する決算データをもとにAIが文章を作成。適時開示サイトでの公表後すぐに、売上や利益などの数字とその背景などの要点をまとめて配信する。元データである企業の開示資料から文章を作成し、配信するまで完全に自動化している。 |
| Books& Company | 日本 | カンボジアのキリロム工科大学と連携してAIによる小説執筆プロジェクトを開始。AIに教師データとなる著名作家の作品や、Webサイト、辞書データから収集した知識などを学習させ、AIが文章の意味や意図を理解するようになったら、小説を執筆するための構造化データを付与、AIが小説の構造パターンを分析し、文章を生成する。 |

出典:各種公開情報より作成

※24 3A、2A、1Aの13のリーグを対象とする。142の球団を対象とし、年間総試合数は1万近くに達するという。

3.2.2 運動の習熟

強化学習とディープラーニングを組み合わせた深層強化学習と呼ばれる手法により、ロボットや機械の動作(運動)を習熟させる研究開発が始まっている。深層強化学習はGoogle DeepMind (英国)が開発したAlphaGoやゲームをプレイするAIなどに利用されている技術であり、現在の状態から次の行動を決める方策(Policy)、状態や行動の価値を予測する価値関数(V-function、Q-function)をニューラルネットで表現してパラメーターを学習する手法である。深層強化学習を実空間で応用する試みも始まっているが、多くが実証実験や研究開発段階にとどまっている。特に先進的な取組みを表3-2-6に紹介する。

■表3-2-6 運動の習熟関連用途にディープラーニングを応用する取組み例

| 組織名 | 国 | 概要 |
|--------|----|---|
| Amazon | 米国 | Amazonは倉庫でのピッキングを完全自動化するために技術開発コンテストAmazon Robotics Challenge (2017年まではPicking Challenge)を開催している。同コンテストには深層強化学習等の手法によりピッキングロボットの動作を習熟させる取組みが見られた。詳細は本文参照。 |
| Google | 米国 | Googleはロボットがオフィスや医療機関等の複雑な現場業務を支援する機能を身につけるために、ロボットによる汎用的なスキル獲得に関する研究開発を進めている。詳細は本文参照。 |
| トヨタ自動車 | 日本 | トヨタ自動車、Preferred Networks、NTTは2016年1月に開催されたCES 2016において、深層強化学習により自ら動作を学ぶロボットカーを展示した。詳細は本文を参照。 |
| 安川電機 | 日本 | 安川電機、クロスコンパスは、「2017 国際ロボット展 (iREX2017)」において、開発中のAIピッキング機能を展示した。詳細は本文参照。 |

出典:各種公開情報より作成

Googleはロボットがオフィスや医療機関等の複雑な現場業務を支援する機能を身につけるために“経験から学ぶ”ことが重要であるとして、ロボットによる汎用的なスキル獲得を行うための研究開発を進めている。2016年10月にGoogleが発表した研究成果^{*25}では、産業用ロボット(ロボットアーム)が、物体を押して移動させる方法とドアを開ける方法を学習するために、複数台のロボットにより同時に学習し、その結果を共有して精度を高めていく映像が公開されている。この研究には、モデルのない実経験から試行錯誤を行い学習する深層強化学習とネットワークを介して他のロボットに瞬時に経験を伝える分散学習が用いられている。

Amazonは倉庫でのピッキングを完全自動化するために技術開発コンテストAmazon Robotics Challengeを開催している。同コンテストには深層強化学習によりピッキングロボットを学習させる試みも見られ、優れた成績を得ているが実用化には課題が残っている。具体的には、対象となる荷や稼働範囲などが限定され、機械に任せる作業自体が単純化されていたにもかかわらず、最も優れたロボットであっても、1時間に30個(2015年)、100個(2016年)、120個(2017年)程度と年を追うごとに性能が向上してはいるが、人間の能力(400個程度/1時間)には及ばない。また、16%程度のミスが発生しているなど、人が容易に行っている作業の実現が難しいという課題も示された。ディープラーニングにより認識精度が向上したものの、多様な物体を認識することは

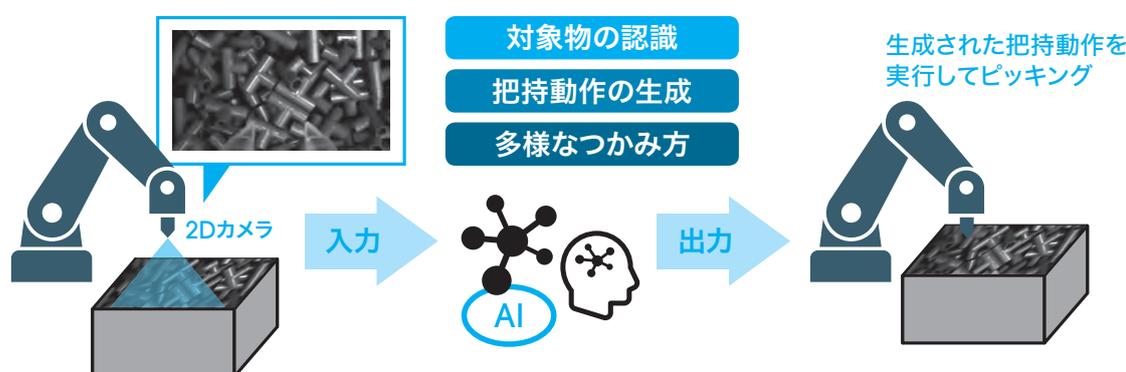
*25 “How Robots Can Acquire New Skills from Their Shared Experience,” Google Research Blog <<https://research.googleblog.com/2016/10/how-robots-can-acquire-new-skills-from.html>>

現状困難なことが挙げられている。具体的には、隠れた物体の検出や状態推定、形状が可変や不定な物体を検出することは実現できていないためであるが、2次元の画像から見えない部分を推定するDeepMind(英国)のGQN^{※26}のように、これらの課題を解決するディープラーニング応用技術が次々と開発され、解決される日も近い。また、複数のアクチュエーター(例えばロボットハンド等)の精緻な制御などのハードウェア側の制約も実現に向けた大きな課題とされている。

トヨタ自動車、Preferred Networks、NTTは2016年1月に開催された国際的な家電見本市CES 2016においてロボットカーの展示を行った。この展示は自動走行実現のための基礎研究の成果として公開されたもので、32方向360度のLiDARから得られる障害物や他車両の情報をもとに深層強化学習を利用して、「コースに沿ってなるべく速く移動する」、「ほかの車両や壁、障害物にぶつからない」ことを価値(報酬)として学習が行われている。展示ではロボットカー自らが徐々に運転を習熟していき、最終的にはぶつからずにスムーズに自律的に移動する様子が見られた。シミュレータという実社会とは異なる条件下ではあるが、自動走行の学習に深層強化学習による運動の習熟が効果的であることが示された。

安川電機、クロスコンパスは、「2017 国際ロボット展(iREX2017)」において、開発中のAIピッキング機能を展示した。ディープラーニングによる学習により、ロボット自らリアルタイムに動作を学習・生成し、最適な把持位置・姿勢を解析しながらピッキングを実行するので、多様な対象物の形状や把持位置・方向に対して単一のグリッパーにて対応できる(図3-2-4)。

■ 図3-2-4 2017 国際ロボット展におけるディープラーニングを利用したピッキングのデモ^{※27}



本項で紹介したように、ディープラーニングにより機械やロボット等の動作を習熟させる取組みが進んでいるが、多くは限定された空間やタスクでの検証段階である。無限の事象が存在する実空間の課題に適応した高度な技術に至るには、さらなる研究開発が必要と考えられる。

※26 “Neural scene representation and rendering” < <http://science.sciencemag.org/content/360/6394/1204> >

※27 「ロボットによる対象物の多様なつかみ方を実現するAIピッキング機能を開発」安川電機プレスリリース < <https://www.yaskawa.co.jp/newsrelease/technology/35697> >

3.2.3 言語の意味理解と生成

(1) 意味理解

運動の習熟の次のステップとして言語の意味理解の実現が期待されている。「2.3 自然言語処理」で示したとおり、ディープラーニングにより抽出した高次の特徴量を言語と紐づけることで、言語理解や自動翻訳、さらには言語からの知識獲得までへと発展することが期待される。言語の意味理解の実用化には至っていないが、意味理解につながる基礎的な研究開発が進められており、着実に成果をあげている状況にある。今後、言語の意味理解の高度化やそれによる知識獲得への発展も期待されており、産業応用が進むことが予想される。

Googleの研究チーム(Google Brainチーム)はディープラーニングにより文意を理解して文章を要約することを目的としたテキスト要約(Text summarization)の研究開発を進めている。これは、言語の意味理解につながる基礎研究の一例である。Googleは文章要約の最新研究成果として、2016年8月にジョンズ・ホプキンス大学(Johns Hopkins University、米国)で作成された英語のニュース記事1万件からなるデータセットAnnotated English Gigawordにもとづく試行結果を発表している^{*28}。GoogleのText summarizationは本文から単語を抜粋して要約する「抜粋による要約(extractive summarization)」ではなく、内容をある程度書き換えたうえで要約する「抽象的な要約(abstractive summarization)」の手法を採用している。

例えば、抜粋による要約では「アリスとボブは列車に乗って動物園を訪れました。彼らは、赤ん坊のキリンとライオン、カラフルな熱帯鳥の群れを見ました。」という文章を「アリスとボブは動物園を訪れました。彼らは鳥の群れを見ました。」といった形で元の文章から単語を抜粋・連結して要約を生成する。一方、抽象的な要約では「アリスとボブは動物園を訪れ、動物や鳥を見ました。」といった形で文意を別の表現として変換したうえで要約する。この要約アルゴリズムはディープラーニング等の機械学習ライブラリTensorFlowに実装されている。また、これらの学習結果はText Summarization Modelとして、TensorFlow上に公開されており、開発者等は自由に学習済みモデルを利用することができる。

日本でも、実名型口コミのグルメ情報サービスRettyは、ユーザーによる飲食店ごとの口コミ投稿文を基に、キャッチコピーを自動作成するAIを開発し、同社の5万店舗に適用している^{*29}。また、リクルートテクノロジーズは、同社グループ内で使われている内製AIのAPIの一つとして、「Text Summarization API」を一般公開、文章をディープラーニングによりベクトル化(数値ベクトル)するDoc2Vec技術を利用している^{*30}。

文章の意味理解に関わる取組みは緒についたばかりであるが、昨今のディープラーニングの進化のスピードに鑑みると、そう遠くない未来に産業等での応用が始まることが期待される。

(2) 自然な会話の実現(Google Duplexの衝撃)

言語の意味理解と生成に関して、難易度が高いとされているタスクの一つに、人間との自然な対話を継続することが挙げられる。Googleは、開発者向けカンファレンスである「Google I/O 2018」にて、“Google Duplex”を発表し、電話を通じて、散髪やレストランの予約を、まるで人

*28 “Text summarization with TensorFlow,” Google Research Blog <<https://research.googleblog.com/2016/08/text-summarization-with-tensorflow.html>>

*29 <<https://tech.nikkeibp.co.jp/it/atclact/active/17/060100295/061100002/>>

*30 <<https://a3rt.recruit-tech.co.jp/product/TextSummarizationAPI/>>

間にかけているかのような会話で行うAIサービスをデモした^{※31}。限定されたドメインとはいえ、自然言語処理とディープラーニング(特にRNNの活用)、音声読み上げを組み合わせたサービスで、これまででない「自然さ」を実現していることで参加者を驚かせた。システムは会話における反応のスピード(一呼吸置くなどの「間」まで測れる)や、文脈に合わせて、言い方やイントネーションを変化させることができるという。

このデモは、いつかは実現するかもしれないと思われていたAIと人間との「自然な会話」が、目の前で実に「自然に」実現していることを世間に見せつけたことで大きな話題となった。“Google Duplex”を契機に、ビジネスでの応用の可能性の広がり議論以外に、一種の怖さ(電話の相手が本当に人間なのかAIなのか区別がつかない、詐欺に使われたらAIは賢いから敵わない等)に関する懸念まで一気に話題に上がるようになり、このような懸念に対応するためには、「自分は人間ではなくAIアシスタントだ」と最初に名乗るべきだという議論まで行われた。

“Google Duplex”や囲碁の“AlphaGo”のように、ディープラーニングに代表される機械学習の進化と既存のサービスとがうまく連動すると、突然飛躍が起きたような気になるサービスが実現されるというのが、ディープラーニングの可能性を示している。同時に“Google Duplex”の例は、飛躍の裏返しとして「怖さ」の面を伴うが、「怖さ」はその場で体験しないと本当の意味で理解できない、という一例となっている。

※31 <<https://ai.googleblog.com/2018/05/duplex-ai-system-for-natural-conversation.html>>

3.3 ▷ 国内における利用動向

本節では、国内でのAI技術の産業への応用の具体的事例を説明する。対象としては、製造業、自動車産業や物流、インフラのほか、農業、健康・医療・介護、エネルギー、教育、金融業、流通業など幅広い領域を対象としている。

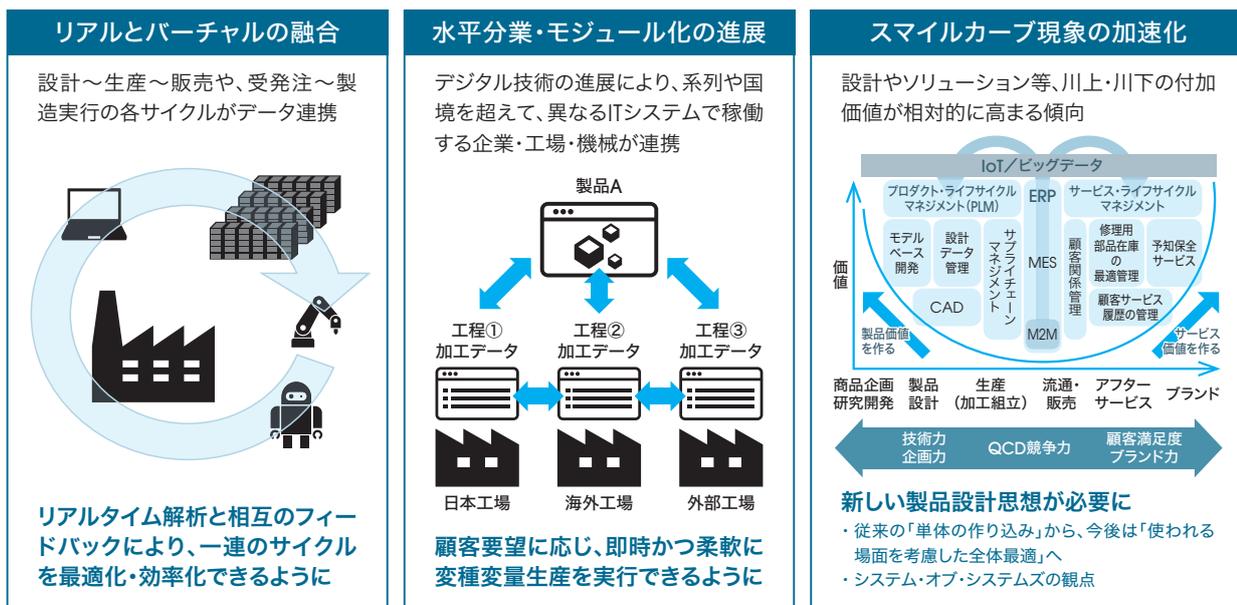
3.3.1 製造業における利用動向

(1) 分野動向

製造業は、日本のGDPの2割弱を占める基幹産業であり、他産業への高い波及効果を持つ。米国やドイツ等も次世代型製造業への転換政策を打ち出し、製造業の重要性を見直しつつある。具体的には、ドイツのIndustrie 4.0、米国のIndustrial Internet、中国の「中国製造2025」に代表されるAI・IoTによる生産性向上、品質管理・向上、在庫削減、不良品の削減等を目的とした生産革新が進められている。日本政府も、第4次産業革命の技術革新をあらゆる産業や社会生活に取り入れることにより、様々な社会課題を解決するSociety 5.0の指針を掲げている。

このような世界的な潮流の中で、日本の製造業においても新たな工場のスマート化への取り組みが始まっている。工場のスマート化自体は古くから検討されていたテーマであり1980年代にはFA (Factory Automation) が進展するといった進化を遂げてきた。現在はAIやIoTの活用が重要なテーマとなっている。経済産業省が2017年5月に公表した『「Connected Industries」の具体例(ものづくり/バイオ/AI)』によると、同省が提唱するConnected Industriesの「スマートものづくり」の領域においては、デジタル化・グローバル化の進展を背景に、リアルとバーチャルの融合、水平分業・モジュール化の進展、スマイルカーブ現象の加速化という3つの事象が起こっているという(図3-3-1)。スマート工場は、これらの方向性を受けて実現されていくものといえる。

■ 図3-3-1 デジタル技術によるものづくりの価値の源泉の変化



出典：「「Connected Industries」の具体例(ものづくり/バイオ/AI)」大臣懇談会(第1回、資料1) 経済産業省(2017年5月)

(2) 活用状況

工場でのAI活用は、現状では従来型の工場での部分的な活用が中心となっている。中長期的には、IoTデータの分析などの取組みが進展することにより、スマート工場の実現につながると期待される。AI活用の具体的分野としては、画像解析による外観検査・検品、工場内の作業監視によるミスの防止、製造設備のセンシングデータを分析した異常検知などが挙げられる。

まず、外観検査については、ディープラーニング技術などによる高度な画像認識技術を駆使した、活用事例が報告され始めている。一般に外観検査や検品は、マシンビジョン^{*32}の設定や調整を行ったうえで自動化するが、多品種小ロット生産や不定形物の場合は、マシンビジョンでは対応しきれず、人の目視で行っている。AIを活用することにより目視で行っている検査を自動化できる。また、高額で大規模なマシンビジョンの設備ではコストに見合わない場合などでも、AIを活用することで検査を自動化できる。

作業員のミス防止のための動きの検知では、本来あるべき作業の動作から外れた動作を行った場合にアラートをあげ、作業のミスを防ぐ。異常検知では、機械の稼働データから正常／異常を判別し、異常が起きた場合はアラートをあげる。あらかじめ異常の閾値を設けなくても、稼働データを学習することで自動的に正常である状態を把握し、そこから外れた状態になると異常と判断することができる。表3-3-1に具体的事例を示す。

■表3-3-1 製造業におけるAIの活用場面の例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|--------------|-----------------|--------|--|
| 外観検査・検品 | 2017年4月 実証実験 | キューピー | 原料検査に活用。画像認識技術を使い、ダイス型にカットしたジャガイモの異物混入や不良品の判別を行う。従来は目視による検査を行っていたが、精度やコストなどの制限から他の自動検査システムが使えなかったという。2018年6月時点で本格導入に向けた検証段階である。Googleの「TensorFlow」を採用し、開発パートナーはブレインパッドである。 |
| 作業員のミス防止 | 2016年6月 導入 | ダイセル | 監視カメラの画像データをもとに、作業員の関節の位置からカメラが作業の動きを読み取り、部品の選り間違いや組立順序のミスを検知することで、不良品の発生を抑える。2016年に播磨工場に導入、2017年10月から製造現場の指標を一元的に可視化する製造ダッシュボードの運用を開始している。 |
| 異常検知 | 2016年9月 公表 | 三井化学 | ガス製品製造過程において、原料や炉の状態などのデータとガス製品の品質を示すデータを分析し、品質異常を20分前に自動的に把握できる仕組みを構築した。従来は、特定プロセスのデータに対する閾値を用いた検知や、経験を積んだ従業員の目視による評価などにより品質異常検知を行っていた。開発パートナーはNTTコミュニケーションズである。 |
| | 2014年6月 導入 | 中国電力 | 島根原子力発電所2号機に大規模プラント向け故障予兆監視システムを開発した。常時測定している温度、圧力、流量などパラメーターは約2,500種類、3,500点に及ぶ。これらのデータをリアルタイムで自動的に解析することで、予兆段階における異常検知を行う。開発パートナーはNECである。 |
| メンテナンス業務の効率化 | 2016年 取組み開始 | ダイキン工業 | 空調機器の故障修理において、多数の部品の中から必要なものをAIが学習し、予測部品をサービス担当者に提示することで業務の効率化を図る。開発パートナーはABEJAで、2016年に取組みをスタートした。同社の詳細は本文参照。 |

(続く)

※32 画像を認識し、計測や検査を行うシステムを指す。

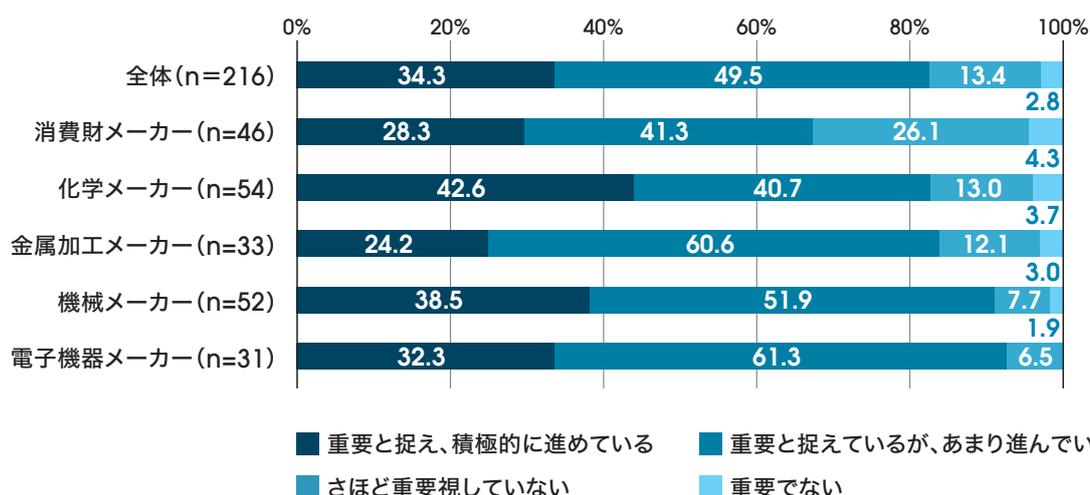
| | | | |
|-----------------|----------------|------------------|---|
| 予兆保全、外観検査 | 2017年8月 公表 | オムロン | 2017年8月にIoTプラットフォームサービス基盤として「i-BELT」を発表。ユーザー企業に対して、予兆保全や外観検査など、人が行っている業務をAIによって代替する仕組みを構築し提供している。同社の詳細は本文参照。 |
| 故障予兆診断、 予防保全 | 2016年1月 公表 | IHI | 製品の稼働データを収集し分析するためのリモートモニタリングプラットフォーム「ILIPS (IHI group Lifecycle Partner System)」で、故障予兆診断や予防保全など新たな保守メニューをクライアントに提供する。同社の詳細は本文参照。 |
| スマート工場 | 2017年11月 公表 | ルネサス エレクトロニクス | 生産設備や機械のインテリジェント化を実現するAIユニットソリューションを提供している。センサーから取得したデータをAIで処理し、処理結果をPLC等へ容易に出力することができる。同社の詳細は本文参照。 |

出典：各種公開情報より作成

製造業のIT化の意識とデータ収集方法の実態

スマート工場を目指す工場でのデータ活用は、現状ではどのような状況にあるのだろうか。ここでは、矢野経済研究所のマーケティングレポート「製造業のIoT活用の実態と展望 2017－保全・故障予知の現状とAI(人工知能)の可能性－」(2017年7月)から、製造業のIT化やデータ活用に関する意識と実態を紹介する。図3-3-2は、矢野経済研究所が行ったアンケート調査の結果である。まず、工場現場のIT化については重要と回答していた企業が83.8%に達した。「重要と捉え、積極的に進めている」が34.3%、「重要と捉えているが、あまり進んでいない」が49.5%である。半数の工場ではIT化の意欲はあれども進んでいない、というのが実態といえよう。

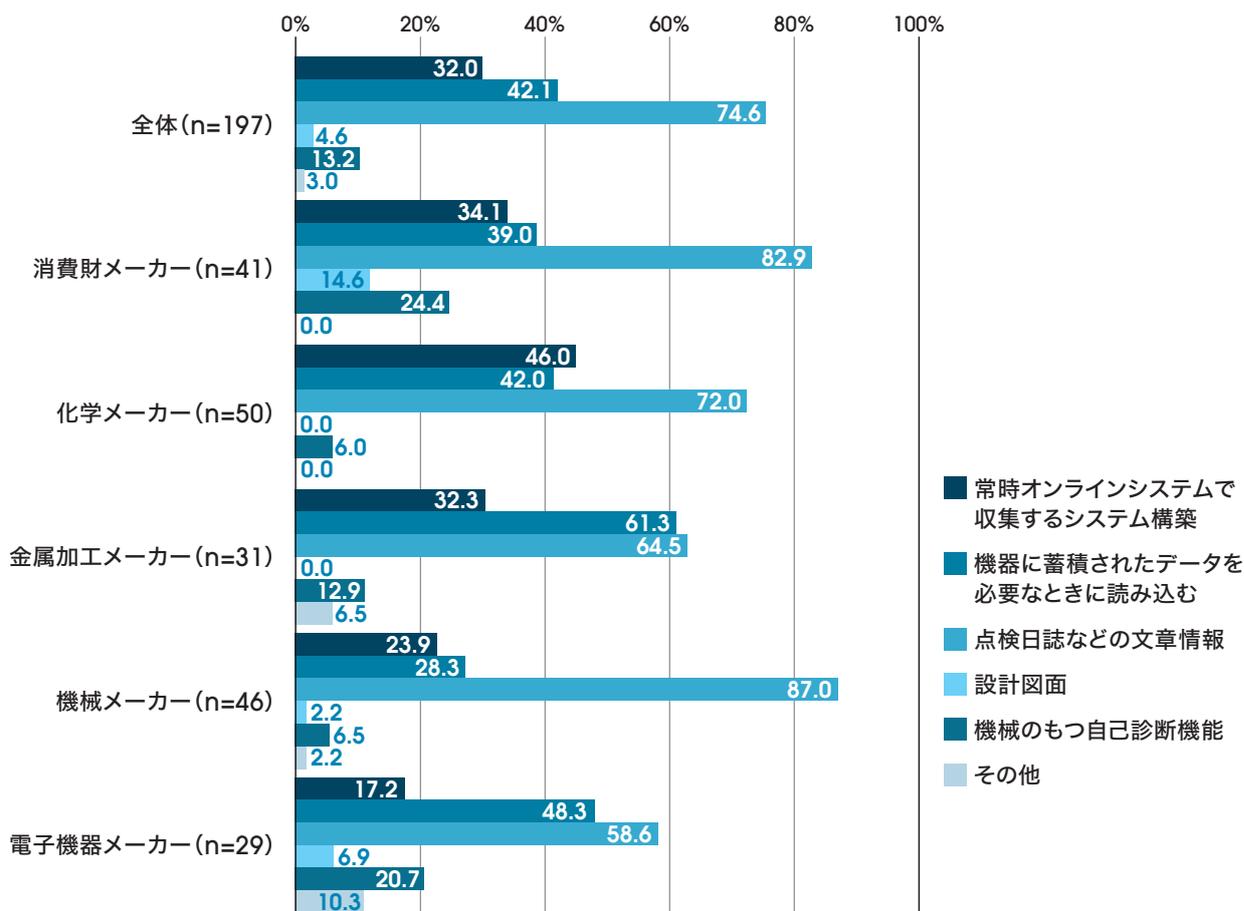
■ 図3-3-2 工場現場のIT化の重要性



出典：「製造業のIoT活用の実態と展望 2017－保全・故障予知の現状とAI(人工知能)の可能性－」矢野経済研究所(2017年7月)

AI活用の基本となる生産機器やユーティリティの稼働データの収集方法については、「点検日誌などの文章情報」がどのメーカーでも最も多い結果となった(図3-3-3)。現状では、定量データの獲得が遅れており、分析に利用できるデータは不足しているといえる。

■ 図3-3-3 データ収集方法



出典:「製造業のIoT活用の実態と展望 2017ー保全・故障予知の現状とAI(人工知能)の可能性ー」矢野経済研究所(2017年7月)

以下に、IHI、オムロン、ダイキン工業、ルネサスエレクトロニクスのAI利活用の取組みを紹介する。

ICT活用による製品・サービスの高度化に取り組む 株式会社IHI

■ 事業概要

IHIは宇宙航空・エネルギー機器、建機などを製造する総合重機メーカーである。経営方針として、ICT活用による「製品・サービスの高度化」に取り組んでいる。IoT技術により、製品の稼働情報をはじめとしたライフサイクル全般にわたる各種情報をILIPS (IHI group Lifecycle Partner System、グループ共通で活用するプラットフォーム) に集約する。IHI独自のデータ解析技術・AI / 機械学習技術を適用することで、故障予兆診断や予防保全など新たな保守メニューをクライアントに提供する取組みである。ILIPSは、製品の稼働データを収集し分析するためのリモートモニタリングプラットフォームとしても機能している。具体的には、航空エンジンや発電用ガスタービン、汎用ボイラー、自動倉庫、真空炭炭炉などの製品・サービスや、プラント建設現場や自社工場などにおけるモニタリングに活用されている。

同社では、ライフサイクルのすべてをサポートすることを事業目標としている。つまり、航

空機エンジン整備でいえば、単にエンジンを整備するのではなく、飛行機の運航オペレーションにも助言できるような取組みを視野に入れている。それを実現するために、これまで所有していなかった航空機の運航データをICTやIoTを利用して収集している。近い将来には、設計・開発・製造・運航・整備・売却までの全プロセス、ライフサイクルのすべてをカバーできるようにしたいと考えている。

■ AI活用の事例

加工機械では、AIを活用して異常をモニタリングする取組みを行っている。故障予知のような取組みは、新たな売上や利益に直結するとは言い難いが、まずは重要な装置から取組みを始めている。生産機器については、どのパラメーターを観察すべきか決めることが重要だが、経験を積みながら模索していく以外に方法がないのが現状である。

航空機のタービン出口温度予測は成果が出ている事例である。エンジンに汚れが付着すると性能が落ちるが、飛行するために必要な出力を維持するために、燃料が追加投入されていく。その結果、タービンの出口温度が上昇するが、規定温度を超えた場合は、安全維持のためにメンテナンスをすることがルールとなっている。従来は出口温度の予測ができないことから、フライト予定をキャンセルしてメンテナンスを行うこともあった。しかし、AIで出口温度を予測することで、事前にメンテナンス計画を織り込めるようになり、スケジュールが立てやすくなるという効果が出ている。

■ AI活用の課題

IHIは、ディープラーニングを用いたボルト・ナットの形状認識及びキズ等の自動認識を試みたが、失敗したという。原因は、金属部品の場合、光の当て方で形状を誤認識してしまうことや、畳み込みフィルター^{※33}の大きさにより正解率が異なってしまうことがあるためであった。1つの部品につき1万枚以上の写真を使用した学習が必要なこともハードルを高くしているという。

また、整備工場においては、その都度、整備対象となる機器の状況等が異なるため、対応がまちまちになり、量産品の製造と比較してAIを適用しづらい。生産技術部門のエンジニアが、ある事象に対し、どのように対応をすべきか対処方法を検討しながら進めており、可能なところから自動化やAI活用を進めている。

※33 CNN(畳み込みニューラルネット)における、小さなピクセル枠で写真を走査して特徴を検出するフィルター層のこと。

AIには「人にできないこと」、「人の代替」を期待する オムロン株式会社

■ 事業概要

オムロンのビジネスドメインは、コントローラー、センサー、アクチュエーターなどの制御機器の製造である。その中でロボット、AI(機械学習を使った制御)、IoTを活用したソリューション型のビジネスにおいて、スマート工場の実現を図っていく。また、2017年8月にはIoTサービス基盤として「i-BELT」を発表し、オムロンの顧客に対してスマート工場に向けた取組みを支援する。

■ AIの活用状況

顧客側の状況を見ると、ニーズが多いのは海外工場での生産性向上である。日本の工場と同じラインを敷いていても、現場の労働者にベテランがいないことから、稼働率が低く不良品率が高い傾向がある。いわゆる「匠の技」というレベルではないが、生産機器の複雑なオペレーションや迅速なメンテナンスといった能力が課題になっている。機械が知能化し、故障の箇所を教えてくれるようになれば生産性が上がる。

海外のみならず、国内においても熟練技術者の高齢化と若手の人材不足が起きている。異常音の聞き分け、良品と不良品の波形の微妙な違いの判別などの技術継承は課題になるだろう。現在のAI技術によってこれらがすべて解決できるわけではないが、現場への貢献が期待される。

オムロンは、AIに対する期待として「人では行えない高いレベルでの精度向上や高度化の実現」や「異常音の点検や外観検査など人が行っている業務のAIによる代替」の2点を挙げている。

■ AI導入の課題

オムロンではAI活用の課題も見えてきているとのことであり、以下の5点を指摘している。

- ・データの収集：何のためにどのデータをどう取ればよいか分からない、という企業がほとんどである。i-BELT事業では、その段階から支援し、実際のエンジニアリングと一部データサイエンスを併せて提供する。
- ・データが集まらない：外観検査の例では、学習させるために、傷のある製品のNG画像を多数用意する必要がある。しかし傷のある製品が出ることは滅多にないので、データが集まらない。「技術的には実現可能だが経済的にできない」という状況にある。
- ・個別対応となる：ベテラン従業員が行う作業をAIで代替させるためには、機械ごとに動きが違い、データの状況や学習のさせ方、最適な機械学習技術なども異なる状況に対応する必要があるため、一つひとつ個別にアプリケーションを作らなくてはならない。
- ・人材不足：製造現場に関するドメイン知識とAIの知見の両方を持っている人材がいない。
- ・AIの信頼性：精度(正答率)の信頼性と、暴走しないという信頼性の2つが求められる。AIの検証方法については明確な答えがない状態であり、整備が期待される。

安定操業を実現するためのスマート工場への取り組み ダイキン工業株式会社

■ 事業概要

ダイキン工業は、空調機の製造において1978年より、PDS (Production of DAIKIN System) という取り組みを行っている。トヨタ生産方式を参考に構築したものであり、いわゆる“ニンベンのついた自動化”を実現している。その後、FMS (Flexible Manufacturing Systems) といった概念が現れると、それにも取り組み、ハイサイクル生産方式を確立(1999年)、生産計画の立案から製品出荷までの管理サイクルを素早く回し、在庫圧縮などの効果を上げた。

その後、バブル崩壊などの影響から、工場の海外移管が必要になってきた。当時のインフラや設備を活用すると、大型ロボットの活用など重厚長大にならざるを得ず、エアコンのように移り変わりの早い製品に対しては設備更新等が追い付けないなど課題を抱えていた。

そのような経緯を経て、2013年からスマート工場への取り組みが始まっている。同社では、スマート工場の進展について、現在も議論途上であるものの一旦下記のように設定し、取り組みを行っている。同社では、現在はレベル2の段階にあると認識している。また、レベル4においては、工場のみがデジタル化されるわけではなく、サプライチェーン等も含めて連動するようなイメージを抱いている。

| レベル | 内容 |
|------|----------------------|
| レベル1 | モニタリング |
| レベル2 | 正常／異常の判断 |
| レベル3 | 予測 |
| レベル4 | ビッグデータ等を活用した生産計画や連携等 |

■ AIの活用状況

ダイキンでは、計画と実際の生産に乖離のない状態を維持できることを安定操業と定義し、それを実現できる工場を目指している。現在は、欠品や故障などの要因により、計画に対する生産数の不足が避けられない。まずはこの状況を解消するためにAI活用を図る。アイデアとしては、「何時にその機械は故障するので、いまのうちに作っておこう」というような判断に役立つ“生産天気予報”のようなものを実現できればと考えている。また、計画側をフレキシブルに変化させ、生産側もそれに対応できるような工場をゴールイメージとして描いている。

AIが対象とすべきものは、①判断基準が明確な繰り返し作業(異常パターンの分類や異常の早期検知など)、②OK / NG (成功 / 失敗・正解 / 不正解) を定義できる問題(設備の最適制御や人手作業の自動化など)と考え、取り組んでいる。

予期しない停止や欠品への対策として、IoTによる見える化を進めている。IoTを活用し、物事を数字(データ)として捉え、ソフト化していく取り組みである。これまでストップウォッチによる計測結果やVTRを見返して可視化していたが、それをセンサーなどで代替することで、改善のスピードを上げていく。現在は人の判断をアシストするための仕組み構築に取り組んでおり、将来的に故障予知などにも展開する計画である。

AIユニットソリューションの提供 ルネサスエレクトロニクス株式会社

■事業概要

ルネサスエレクトロニクスは半導体メーカーであり、最終的には、スマート工場用の専用チップ(アクセラレーター)の開発を志向している。製造業は中小企業も多く、演算能力、消費電力、価格をバランスさせながら、顧客ニーズに合ったものを開発すべく研究を進めている。

■AIの活用状況

AIユニットソリューションを開発し、2017年11月より提供を開始した。AIユニットソリューションとは、AIユニットを実現するためのリファレンスデザイン(ハードウェア)とAI処理を実現するソフトウェアを提供することで、プログラミング不要で生産設備や機械のインテリジェント化を可能にするものである。開発の背景としては、製造機械の多くがネットワークにつながっておらず、かつ古い機械がまだまだ現役として活躍することが挙げられる。また、製造現場ではリアルタイム性の要求から1ミリ秒以下の高速なデータのやり取りが求められる場面も多い。こうした中、仮にネットワークにつないだとしても、クラウドへデータを伝送しては高速性が犠牲になり、また、取得するデータ量が多くなると帯域不足になる可能性も高い。AIユニットソリューションは、古い機械類にも容易にアドオンでき、また、クラウドにデータを送るのではなく、機械に近いエンドポイントでAI処理ができる。

AIユニットソリューションでは、ネットワークとのインターフェース、製造機械からデータを取得するためのセンサー用インターフェースが準備されているため、センサーから取得したデータをAIで処理し、処理結果をPLC等へ出力することが容易に可能となる。また、PC等で生成した学習済みモデルをAIユニットに実装するツールも用意されている。

開発に際し、2年にわたり那珂工場で実証実験を行った。実証実験では、AIユニットの試作機をエンドポイントの半導体製造装置に取り付け、従来と比較して20倍の高速サンプリング速度でデータを取得した。これをクラウド側でAI処理しようとする、広帯域ネットワークを用意する必要があるが、AIユニットにて、例えば、時系列データを予測してセンサーデータとの差分をモニターすることで異常を検知するようなAI処理により、そうした対応が不要となった。通常では困難なほどの高精細データを取得・処理できたことで、異常検知の精度を6倍以上に高めることができたとのことである。

那珂工場での経験として、AIの導入は、現場においては懐疑的、消極的と捉えられがちだったという。ところが、いざAIを用いて分析してみると、これまで自分たちの力だけでは発見できなかったことが発見できるようになったため、総じて、AIを積極的に活用しようという雰囲気になったとのことである。

■導入における課題

現時点では、現場において最適な処理を実現するモデルを組み込むには、例えばどこのデータを取るべきか等のノウハウがあり、工場現場に詳しいSIerやコンサルタントの知見等に頼らざるを得ない。こうした外部の人材をいかに協力者として巻き込んでいくかが課題であるという。

3.3.2 自動車産業における利用動向

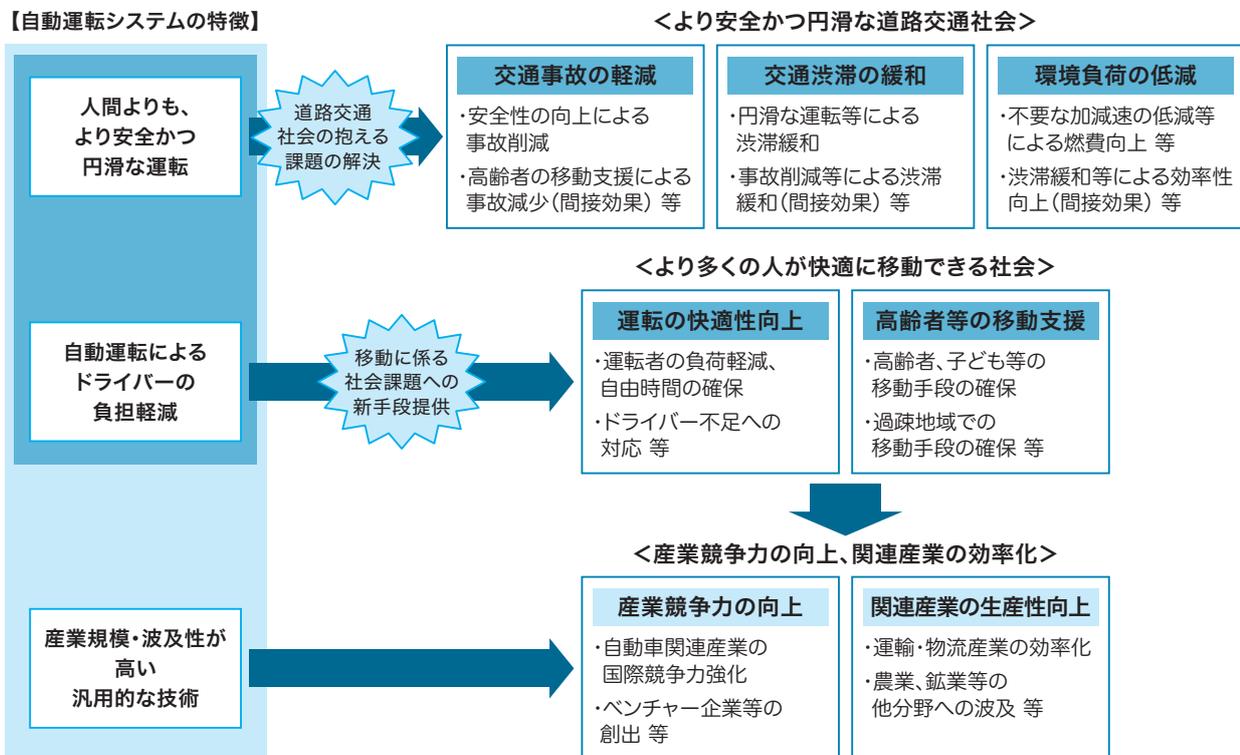
(1) 分野動向

自動車産業では、自動運転システムの開発が今後の競争領域であり、自動車メーカー関係各社が自動運転システムに関する研究開発投資を行っている。大手自動車メーカー、大手部品メーカーが市場を牽引しているが、AI技術、自動運転技術をコアとするベンチャー企業も登場している。

①自動運転への社会的期待

政府（内閣官房高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議）が平成30年6月に発表した「官民ITS構想・ロードマップ2018」では、自動運転による社会的期待として、「交通事故の削減」「交通渋滞の緩和」「環境負荷の低減」「運転の快適性向上」「高齢者等の移動支援」、さらに自動運転産業の発展による「産業競争力の向上」「関連産業の生産性向上」が挙げられている（図3-3-4）。

■ 図3-3-4 自動運転システムによる社会的期待の例



出典：政府「官民ITS構想・ロードマップ2018」（2018年6月）

②自動運転のレベル・取組み方針

自動運転レベルの定義については、内閣府が2018年4月1日に公開した「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)自動走行システム研究開発計画」で、「国際的な整合性を図るため、米SAE Internationalが平成28年9月に定めたSAE J3016の定義を採用する」としており、「自動走行の実現に向けた取組方針 Version 2.0」などでもこの定義が使用されている（表3-3-2）。本書でも自動運転のレベルについては、この定義に従うものとする。

表3-3-2 SAEの自動運転レベルの定義概要

| レベル | 概要 | 安全運転に係る監視、対応主体 |
|------------------------------|--|--------------------------|
| 運転者が全てあるいは一部の運転タスクを実施 | | |
| レベル0 自動運転化なし | ● 運転者がすべての運転タスクを実施 | 運転者 |
| レベル1 運転支援 | ● システムが前後・左右のいずれかの車両制御に係る運転タスクのサブタスクを実施 | 運転者 |
| レベル2 部分運転自動化 | ● システムが前後・左右の両方の車両制御に係る運転タスクのサブタスクを実施 | 運転者 |
| 自動運転システムが全ての運転タスクを実施 | | |
| レベル3 条件付運転自動化 | ● システムがすべての運転タスクを実施(限定領域内 ^{※注}) ● 作業継続が困難な場合の運転者は、システムの介入要求に対して、適切に応答することが期待される | システム (作業継続が困難な場合は運転者) |
| レベル4 高度運転自動化 | ● システムがすべての運転タスクを実施(限定領域内 ^{※注}) ● 作業継続が困難な場合、利用者が応答することは期待されない | システム |
| レベル5 完全自動運転 | ● システムがすべての運転タスクを実施(限定領域内 ^{※注} ではない) ● 作業継続が困難な場合、利用者が応答することは期待されない | システム |

※注 ここでの「領域」は、必ずしも地理的な領域に限らず、環境、交通状況、速度、時間的な条件などを含む

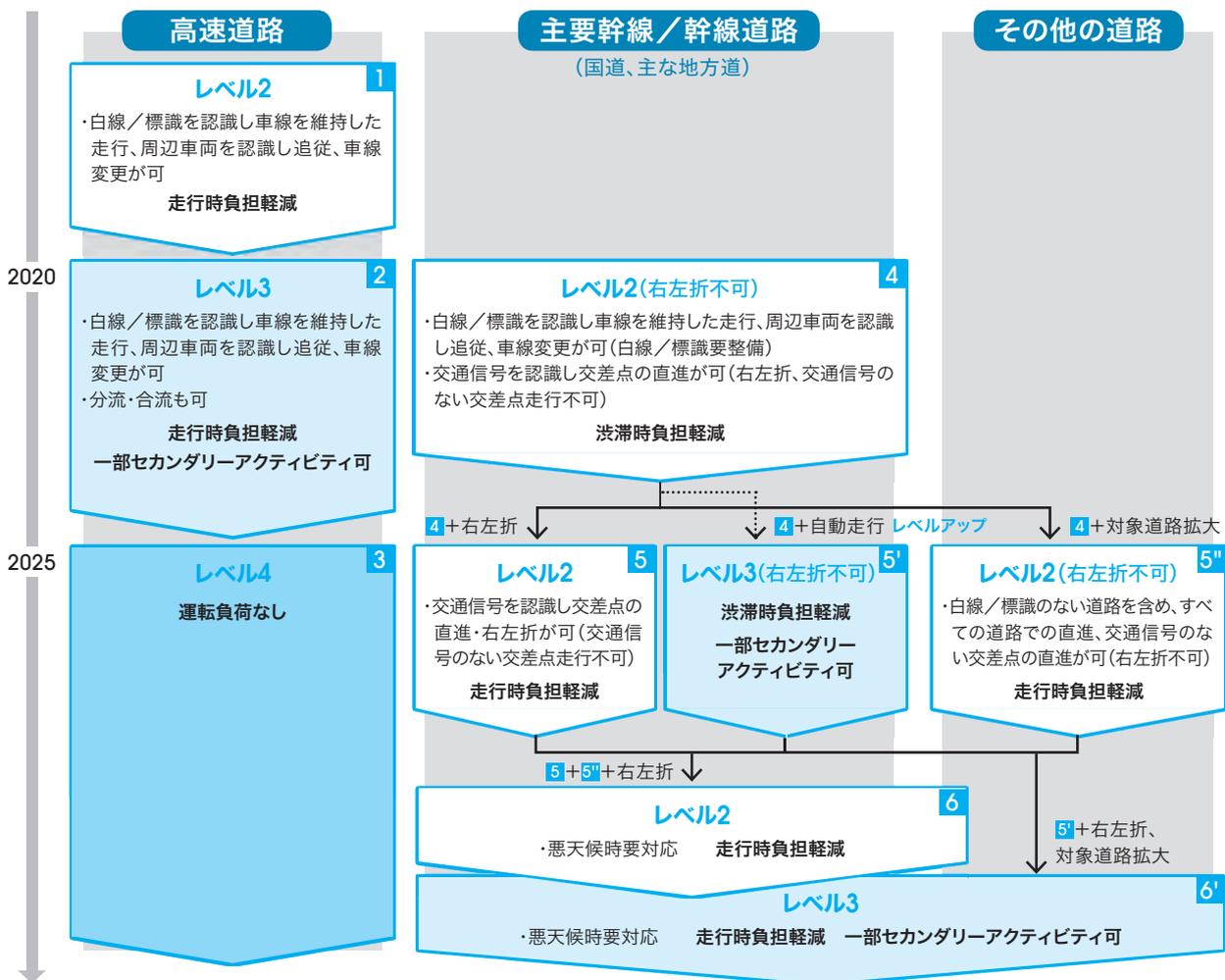
出典：自動走行ビジネス検討会「自動走行の実現に向けた取組方針 Version2.0」

技術開発、市場化に関しては、政府各部門で整合をとって、実行計画を作成している。まず、SIPの研究計画では、2020年までにハイエンドなシステム(SAE レベル2)を実現し、2020年をめどにSAEレベル3、2025年をめどにSAEレベル4の市場化を行うという目標が掲げられている。また、2020年東京オリンピック・パラリンピックが重要なマイルストーンとして位置づけられ、海外への展開を見据え次世代都市交通システム(Advanced Rapid Transit ; ART)等を実用化する計画となっている。

また、「官民ITS構想・ロードマップ2018」では、2020年までの実現目標として自家用車については高速道路での準自動パイロット(SAEレベル2に相当)の市場化、移動サービスについては、限定地域での無人自動運転移動サービス(SAEレベル4に相当)という内容が含まれている。

さらに、経済産業省が平成30年3月に公表した「自動走行の実現に向けた取組方針 Version2.0」では、高速道路においては、2020年までに、運転者が安全運転に係る監視を行い、いつでも運転操作が行えることを前提に、加減速や車線変更が可能なSAEレベル2を実現、2020年以降には、SAEレベル3を含む高度な自動走行を実現する見込みとなっている(図3-3-5)。一般道路においては、2020年ごろに国道・主な地方道において、直進運転のレベル2を実現し、2025年ごろには、対象道路拡大や右左折を可能にするなど自動走行の対象環境を拡大する見込みとなっている。

■ 図3-3-5 一般車両における自動走行(レベル2, 3, 4)の将来像



出典: 経済産業省「自動走行の実現に向けた取組方針 Version2.0」(平成30年3月)

また市場化を促進するために、「自動走行の実現に向けた取組方針 Version2.0」では、今後、我が国が競争力を獲得していくために必要な技術等のうち、企業が単独で開発・実施するにはリソース的、技術的に厳しい分野として、重要10分野を協調領域として特定している(表3-3-3)。この中には、セーフティ、サイバーセキュリティ、社会受容性、安全性評価など、社会実装上、重要課題となるものも含まれている。

■ 表3-3-3 重要10分野

| 協調分野 | 実現したい姿・取組み方針 |
|------------------------|---|
| I. 地図 | 自車位置推定、認識性能を高めるため、高精度地図の市場化時期に即した迅速な整備を目指す。一般道路特定地域の実証を通して方針を決定する方向性を2017年度に提示。2019年度中に特定地域での仕様検証・評価を終え、2021年までに整備地域の拡大方針を決定。加えて、国際展開、自動図化等によるコスト低減を引き続き推進していく。 |
| II. 通信インフラ | 高度な自動走行を早期に実現するために、自律した車両の技術だけでなく、通信インフラ技術と連携して安全性向上を目指す。2017年度にユースケースを設定し、適応インフラ、実証場所を決定。関連団体と連携し2018年度に仕様・設計要件を設定し、遅くとも2019年中に特定地域において必要となるインフラ整備を行うことが必要。 |
| III. 認識技術/ IV. 判断技術 | 海外動向に鑑み、最低限満たすべき性能基準とその試験方法を順次確立する。また、開発効率を向上させるため、データベース整備、試験設備や評価環境の戦略的協調を目指す。センシング、ドライブレコーダー、運転行動や交通事故データの活用を推進していく。 |
| V. 人間工学 | 開発効率を向上させるため、開発・評価基盤の共通化を目指す。運転者の生理・行動指標、運転者モニタリングシステムの基本構想を2017年度に確立。2017~2018年度の大規模実証実験の検証を踏まえて、グローバル展開を視野に各種要件等の国際標準化を推進していく。 |
| VI. セーフティ | 安全確保のための開発効率を向上させるため、開発・評価方法の共通化を目指す。ユースケース・シナリオ策定を実施しセンサー目標性能の導出、設計要件の抽出を完了し、2017年度に国際標準化提案。車両システムの故障時、性能限界時、ミスユース時の評価方法を確立していく。 |

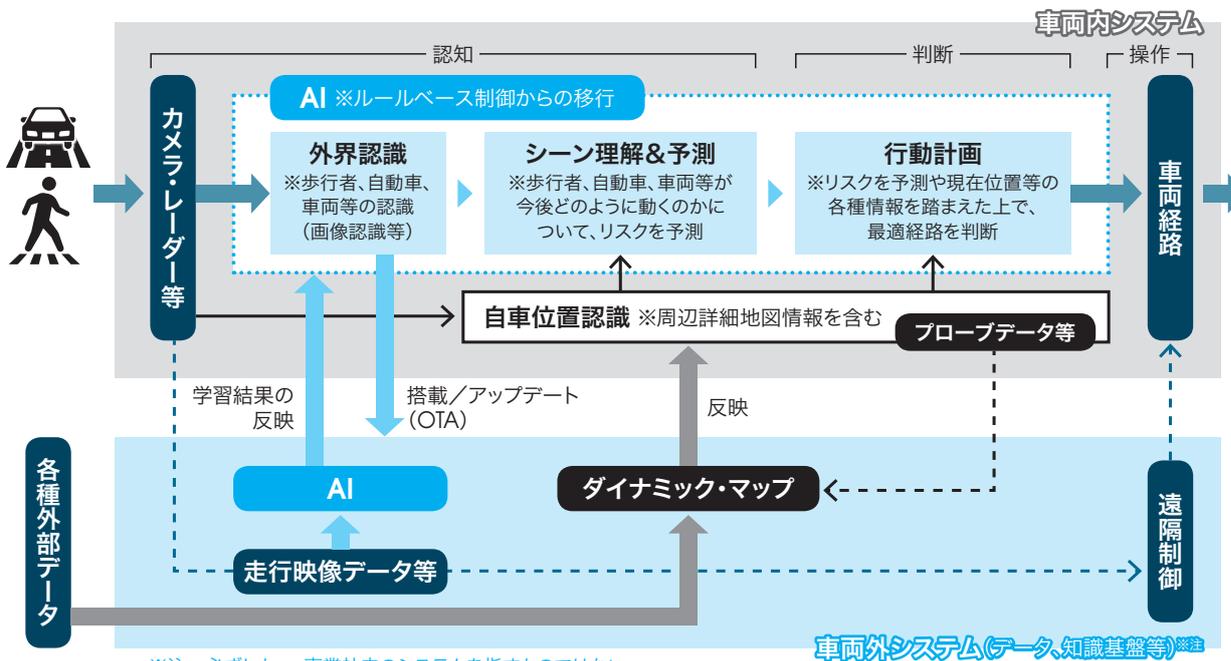
| | |
|----------------|---|
| VII.サイバーセキュリティ | 安全確保のための開発効率を向上させるため、開発・評価方法の共通化を目指す。最低限満たすべき水準を設定し国際標準提案、業界ガイドラインの策定を2017年度に実施。2019年度までに評価環境（テストベッド）を実用化するとともに、今後、情報共有体制の強化やサイバーセキュリティフレームワークの検討を進める。 |
| VIII.ソフトウェア人材 | 開発の核となるサイバーセキュリティを含むソフトウェア人材の不足解消に向け、発掘・確保・育成の推進を目指す。ソフトウェアのスキル分類・整理や発掘・確保・育成に係る調査を2017年度に実施。2018年度はスキル標準策定等を進める。サイバーセキュリティについて2017年度に講座を実施。今後は人材の必要性や職の魅力を業界協調で発信する取組みを検討する。 |
| IX.社会受容性 | 自動走行の効用とリスクを示したうえで、国民のニーズに即したシステム開発を進め、社会実装に必要な環境の整備を目指す。その実現に向け、自動走行の効用を提示、普及の前提となる責任論を整理し、状況を継続的に発信する。 |
| X.安全性評価 | これまで自動走行ビジネス検討会等を通して開発した技術を活用した安全性評価技術の構築を目指す。我が国の交通環境が分かるシナリオを協調して作成するとともに、国際的な議論に活用していく。また、今後発生する事故に関するデータについて、取扱いを検討し、安全性評価へ活用していく。 |

出典：経済産業省「自動走行の実現に向けた取組方針 Version2.0」(平成30年3月)

③自動運転におけるAI・データの位置づけ

「官民ITS構想・ロードマップ2018」では、将来の自動運転システムにおけるAIの位置づけについて「現在、実証等に利用されている自動運転システムの多くは、外界認識における画像認識等の一部を除き、多くは従来型のソフトウェアによる制御（ルールベース制御）が中心となっているが、今後、市街地などを含め、より複雑な環境での走行を実現すべく、シーン理解・予測、行動計画なども含めて、人工知能化が進んでいくものと考えられる」とされている（図3-3-6のAIの枠内参照）。

■ 図3-3-6 将来の自動運転システムにおけるAIの位置づけ



上図で示すように、AIは、「外界認識」、「シーン理解&予測」、「行動計画」を実行することが期待されている。またその中でAIが活用するデータとしては、カメラ、レーダーなどの「センシングデータ」、自動運転システムが参照する「ダイナミックマップ」、自車位置情報など「プローブデータ」などが挙げられる。

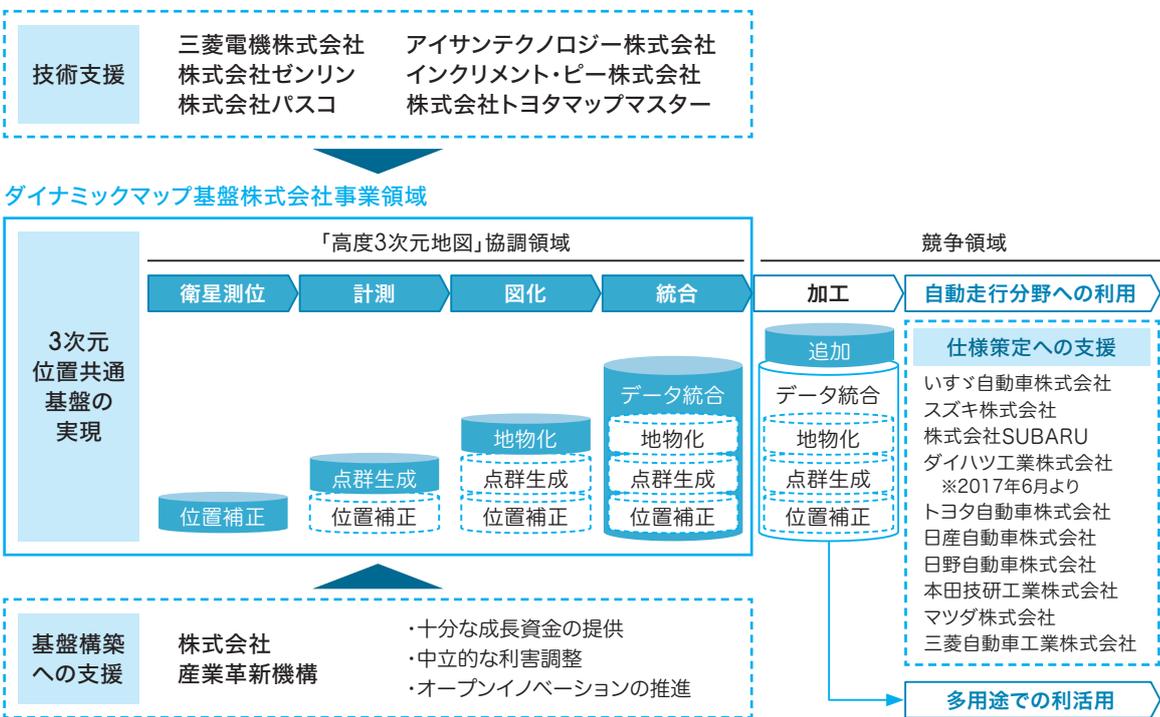
「センシングデータ」に関しては、車両から見た「外界」を認識するためのカメラやミリ波レーダー、LiDARなどが挙げられる。また、車両内環境を捉えるためにカメラやマイク、脈拍センサー

などを置き、搭乗者の生体情報や行動、会話などを把握する研究開発も進んでいる。

「ダイナミックマップ」は、車両周辺の歩行者や自転車、対向車などの動き、信号、道路の状況など、刻々と変化する状況をリアルタイムで取得し、高精度な地図に反映させた高精度三次元地図である。2016年6月に自動車メーカー、電機メーカー、地図・測量会社などが共同出資し、ダイナミックマップの整備や実証、運営に向けた検討を行う企画会社「ダイナミックマップ基盤企画株式会社」を設立している。また、2018年1月からは、KDDI、ゼンリン、富士通の3社が、自動運転向けダイナミックマップの生成・配信技術の実証実験を開始する(図3-3-7)。

「プローブデータ」は、自動車が把握した自車位置、速度などの情報をアップロードすることにより、渋滞情報などに活用するものであり、ダイナミックマップへの反映や車車間での活用も研究されている。

■ 図3-3-7 ダイナミックマップ基盤企画株式会社の事業領域について



出典：内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 ニュースリリース「DMP、自動走行システム向け高精度三次元地図の整備着手」(2017年6月23日)

自動運転の進展に伴うデータ・アーキテクチャーの変化について、「官民ITS構想・ロードマップ2018」では、以下のように説明している。また、その概念を図3-3-8に示す。

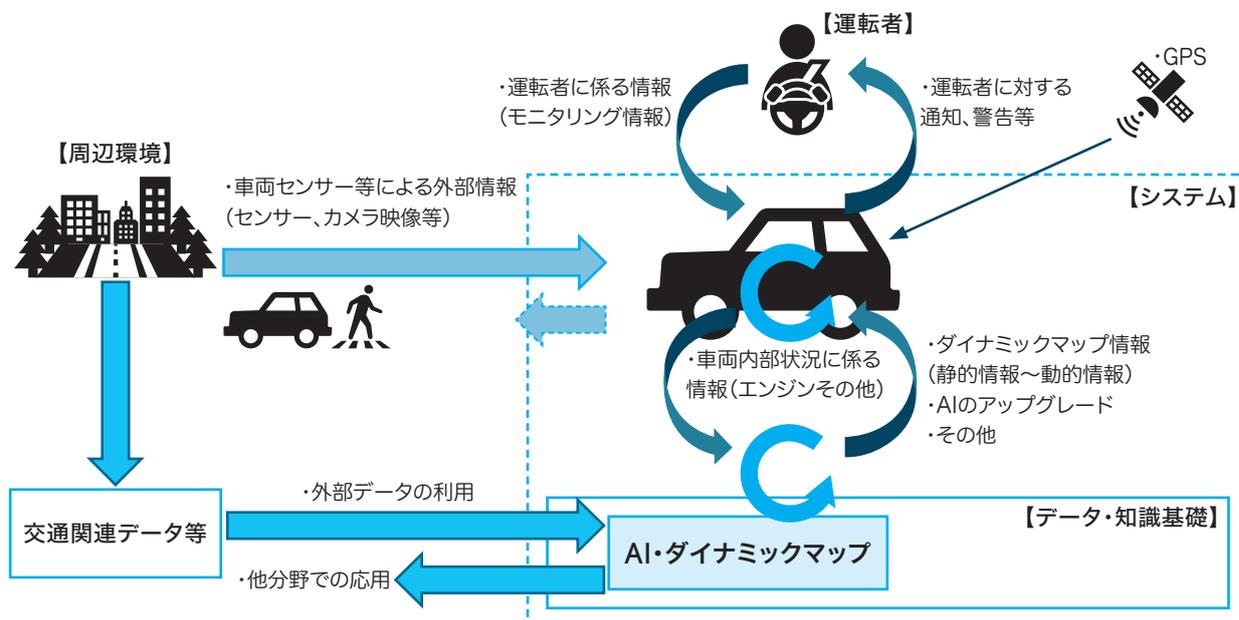
自動車内の各種制御が、個別車両内のデータ・知識基盤にもとづく判断も含めて、さらに高度化するだけでなく、

- i) 各車両において収集されたプローブデータ、映像データを含む走行知識データの一部が、ネットワークを通じて、外部のクラウド等のデータ・知識基盤に移転・蓄積され、それらのデータは、ダイナミックマップ、人工知能の基盤データに加え、各種ビッグデータ解析等の様々な分野に活用される。
- ii) また、このような多数の各車両から得られたデータに加え、ダイナミックマップに係る高精度3次元地図や走行映像データベース等も含めた外部からのデータ等によって生成される人工知能(AI)などのデータ・知識基盤等の一部が、再びネットワークを通じて各車両に提供され、

当該車両における自動運転の判断に必要なデータ・知識等として活用される。

iii) その際、ネットワークの構造としては、「エッジ／フォグコンピューティングなどのアーキテクチャーが利用される」といった方向に進化していくこととなる。

■ 図3-3-8 自動運転システムを巡るデータ・アーキテクチャー(イメージ)



出典：政府「官民 ITS 構想・ロードマップ 2018」(2018年6月)

(2) 活用状況

① 実証実験の動向

公道における自動運転の実証実験は、警察庁が2017年6月に策定・公表した「遠隔型自動運転システムの公道実証実験に係る道路使用許可の申請に対する取扱いの基準」(以下「新ガイドライン」)にもとづく。新ガイドラインでは、運転者が緊急時等に必要な操作を行うことができる自動走行システムであること、周囲の道路交通状況や車両の状態を監視(モニター)することなどが要件で、遠隔操作などの機能を備えた自動走行車両が用いられる。

以下に、日本における自動運転の実証実験の例を挙げる(表3-3-4)。自動運転の実証実験は、自治体・民間または大学が実施するもの、一般道でのSAEレベル2の市場化を図るラストマイル自動運転(実施は経産省・国交省)、高速道路での物流トラックの隊列走行(経産省・国交省)、SIP事業等(内閣府)^{※34}、国家戦略特区事業(内閣府)、道の駅等を拠点とした自動運転サービス(国交省・内閣府SIP)^{※35}など様々な区分で多数実施されている^{※36}。

※34 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/20171027siryo.pdf>>

※35 <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/automated-driving-FOT/pdf_180709/2.pdf>

※36 <<http://www.sip-adus.go.jp/fot/>>

■表3-3-4 最近の自動運転の実証実験の例

| 分類 | 実施開始時期 | 地域 | 実施企業、研究所 |
|--|---------------------|------------------------------|--|
| 自治体、民間 または大学 (主な実証実験 を記載) | 2017年10月 | 福井県永平寺町 | 福井県、永平寺町、パナソニック |
| | 2017年11月 | 神戸市北区 | 神戸市、みなと観光バス、群馬大学等 |
| | 2017年12月 | 愛知県幸田町、春日井市、名古屋市 | 愛知県、アイサンテクノロジー、ティアフォー |
| | 2017年12月 | 東京都江東区(青海付近) | ZMP(遠隔型自動運転システム) |
| | 2018年1月 | 東京都杉並区 | 杉並区、アイサンテクノロジー、東京大学等 |
| | 2018年2月 | 羽田空港整備場地区 | ANA、SBドライブ |
| | 2018年3月 | 神奈川県横浜市(みなとみらい地区) | 日産自動車、DeNA |
| | 2018年3月 | 福岡県北九州市 | 九州工業大学、北九州市、 北九州産業学術推進機構 |
| | 2018年3月 | 京都府、大阪府、奈良県 (けいはんな学園都市) | 関西文化学術研究都市推進機構、 RDMM推進機構 |
| | 2018年4月 | 岡山県赤磐市 | SBドライブ、宇野自動車 |
| | 2018年4月 | 神奈川県藤沢市 | ヤマト運輸、DeNA |
| | 2018年5月 | 東京都千代田区、江東区 | 大和自動車交通 |
| | 2018年5月 | 神奈川県藤沢市 | 小田急、神奈川中央交通、慶應義塾大学、SBド ライブ |
| | 2018年8月 | 東京都千代田区、港区 | 日の丸交通、ZMP(初の公道における自動運転タ クシー) |
| ラストマイル 自動運転 (経産省、国交省) | 2018年度 | 茨城県日立市 | 日立市、SBドライブ等 |
| | 2017年12月 | 石川県輪島市 | 輪島市、輪島商工会議所、ヤマハ発動機等 |
| | 2018年4月 | 福井県永平寺町 | 永平寺町、福井県、ヤマハ発動機等 |
| | 2017年6月、 2018年2月 | 沖縄県北谷町 | 北谷町、ヤマハ発動機等(非公道における実験) |
| トラックの 隊列走行 (経産省、国交省) | 2018年1月 | 新東名 | 豊田通商、国内トラックメーカー等(高速道路に おける後続無人で3台以上の隊列走行) |
| SIP事業等 (内閣府) | 2017年3月 | 沖縄県南城市 | SBドライブ、先進モビリティ(バス自動運転) |
| | 2017年6月 | 沖縄県石垣市 | SBドライブ、先進モビリティ(バス自動運転) |
| | 2017年10月 | 関東地方等の高速道路や 東京臨海地域周辺的一般道等 | 国内外の自動車メーカー、 自動車部品メーカー、大学等 |
| | 2017年11月 | 沖縄県宜野湾市、北中城村 | SBドライブ、 先進モビリティ(バス自動運転) |
| 国家戦略特区 事業(内閣府) | 2016年2月 | 神奈川県藤沢市 | 藤沢市、ロボットタクシー |
| | 2016年3月 | 宮城県仙台市 | 仙台市、東北大学、ロボットタクシー |
| | 2016年11月 | 秋田県仙北市 | 仙北市、DeNA |
| | 未定 | 羽田空港周辺 | 東京都 |
| 道の駅等を 拠点とした 自動運転サービス (国交省/内閣府 SIP) | 2017年12月 | 秋田県上小阿仁村 | 道の駅「かみこあに」 |
| | 2017年9月 | 栃木県栃木市 | 道の駅「にししかた」 |
| | 2017年11月 | 滋賀県東近江市 | 道の駅「奥永源寺・溪流の里」 |
| | 2017年11月 | 島根県飯南町 | 道の駅「赤来高原」 |
| | | | その他9カ所 |

出典:各種公開資料より作成

国内の自動運転の活用シーンの背景には、日本の社会的条件が関係する。公共交通機関が発達している都市部と比較して、地方都市では自動車が重要な交通手段となっている。しかし、高齢化と過疎化が深刻であり、自家用車の運転も公共交通の存続も難しいことから、自動運転に対する期待が高い。第5章で説明するAI社会実装調査におけるヒアリング調査では有識者から、今後、アジアの国々でも高齢化が進むため、日本の社会に合わせて開発したAIアプリケーションを輸出できるのではないかという意見も出ており、産業競争力としても期待される。

以下に、表3-3-4中の実証実験主体の一つであるZMPに対するヒアリング結果を示す。

自動走行タクシーの実現を目指す 株式会社ZMP

■事業概要

ZMPは、ロボットタクシー、物流支援ロボット、ドローン等のロボット技術を開発するベンチャー企業である。

タクシー事業者の日の丸交通株式会社と提携し、2020年にSAEレベル4の自動走行によるロボットタクシーの実現を目指す。実証実験を積極的に行っており、2017年12月には東京都江東区で、日本で初めて公道での運転席に人がいない状態で自動走行の実証実験を行った。また、2018年8月には、東京都千代田区・港区で、自動運転タクシーの運行実験を行った。自動車メーカーが進める自動運転の開発は、ドライバーの運転を支援する自動運転機能が中心だが、ZMPはサービスにフォーカスし、運転しない人が乗ることができる自動走行タクシーを開発している。この場合、事故のリスクがあるときには、運転手に引き継ぐのではなく機械が判断して車を停める機能が必要となる。

また、ターゲットとする地域については、グローバル市場が前提の自動車メーカーとは異なり、日本国内での実用化を図る。まずは自動車の交通量や歩行者が多い都内の市街地で自動走行を実現することで、車社会の米国とは異なる技術パッケージが独自性として強みとなり、日本と条件が似たアジアで役立てられると考える。

ZMPは物流事業にも取り組み、自動走行台車「CarriRo(キャリロ)」や配送ロボット「CarriRo Delivery」を手がける。2017年12月に日本郵政と南相馬市で宅配の実証実験を行ったほか、2017年6月には宅配寿司「銀のさら」を展開する株式会社ライドオン・エクスプレスと資本提携を行い、自動走行ロボットによる寿司の宅配の実現を目指している。

■自動運転の課題

日本では、遠隔型自動運転システムの公道実証実験が行えるようになった^{*37}。しかし、運転席に免許を持った人が必要で事故が起きたら人の責任になるという発想の根底が変わらず、その前提だけでは自動運転は広まらないとZMPは指摘する。ZMPは、自動運転タクシーを開発する立場として、責任は人ではなくシステムが負う、という位置づけの自動運転車の認可を望む。ただし、民間企業だけが責任を負うのでは産業が育たないため、社会のインフラとして国の関与にも期待しているという。

※37 「遠隔型自動運転システムの公道実証実験に係る道路使用許可の申請に対する取扱いの基準」警察庁(2017年6月1日)

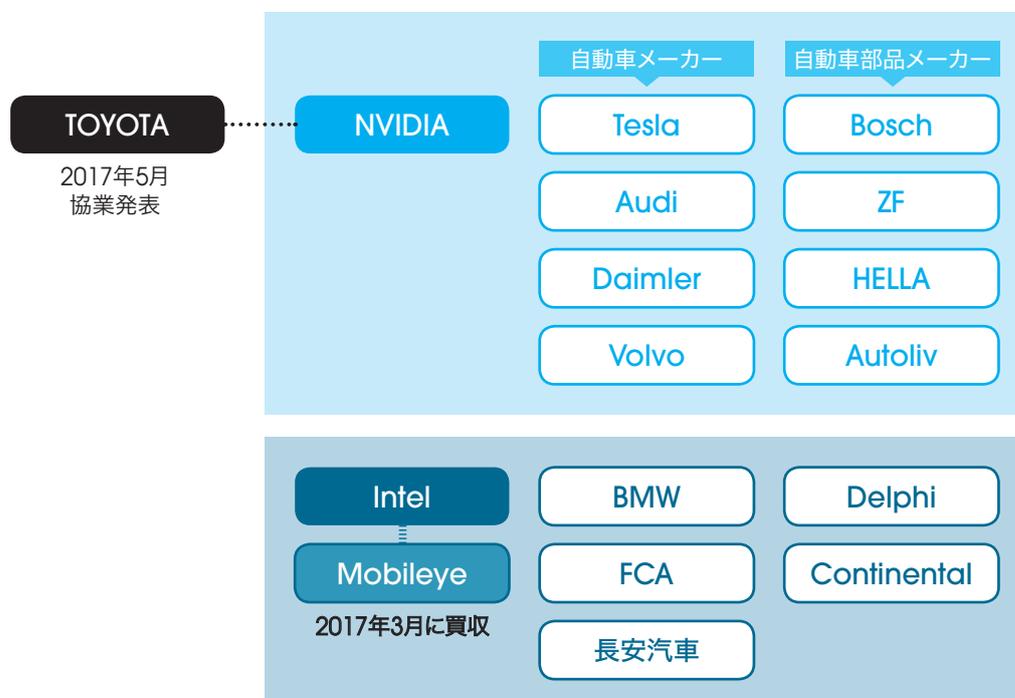
日本企業の競争力強化のためには、実証実験を行うだけでなく早期の実用化が必要である。世界的な競争において後れを取ると、海外企業の日本市場参入によってコア部分の市場を専有されるリスクも高まるだろう。社会実装のロードマップにおいては2020年が重要なポイントとなっている。政府も東京オリンピック・パラリンピックに向けて実現を進めるという姿勢が強い。期限を妥協せず、オリンピックの機運に乗り、スピード感を持って推進することが重要なテーマとなると考えている。

また、物流においては、ロボットが歩道を自動走行することを想定した法制度が存在しないことが課題であるという。荷量の増加や労働環境の悪化、人手不足など深刻な問題を抱える物流業において、ロボットを使った自動化による支援は社会的な意義もあると意気込む。

② 自動運転に関するAIチップの動向

自動運転分野では、車載用半導体メーカーへの注目度も高い。AIを活用する高度な自動運転技術の開発が進むにつれ、NVIDIA(米国)、Intel(米国)といったAIチップメーカーの存在感が急激に高まっている。大手GPUベンダーのNVIDIAは、自動車分野の取り組みを加速させ、Tesla(米国)、Volkswagen(ドイツ)、Daimler(ドイツ)、Volvo Cars(スウェーデン)に続き2017年5月にはトヨタとの提携も発表した。Intelは、自動車メーカーではBMW(ドイツ)、Fiat Chrysler Automobiles(オランダ)、長安汽車(中国)と組むほか、2017年3月に画像処理・検知技術などの自動運転技術を有するスタートアップ企業のMobileye(イスラエル)を買収した(図3-3-9)。

■ 図3-3-9 自動運転を巡る半導体業界の動き



出典:各種公開情報より作成

以下に、AIチップの先進メーカーであるNVIDIAに対するヒアリング結果を示す。

自動運転の実現を支えるSoC (System on Chip) のサプライヤー NVIDIA

■事業概要

NVIDIAは米国に本社を置く半導体メーカーである。AI、超並列コンピューティングに用いる高性能GPU (Graphics Processing Unit) や自動運転プラットフォームの開発で世界をリードする。

自動運転における画像認識技術については、早い時点で欧米先進自動車メーカーなどとGPUでAI画像認識ベンチマークを行った。これにより「全交通標識の認識において、たった4時間のAI学習で96%の認識率を達成」、「濃霧など悪天候下でも人間以上の精度で遠方の先行車両を認識」、「自動運転車が走行可能なフリースペースをリアルタイム認識(画素単位で車、人、交通標識等を識別するセグメンテーション)」などを確認することができた。またKITTI等の運転支援用公開ベンチマークでも優れた認識精度を短期間で達成した。これらにより各自動車メーカーはAI、特に「ディープラーニング」が自動運転に不可欠であるという確証を得た。

自動運転システムは「認知」、「判断」、「制御」の3要素で構成される。ここには先のベンチマークでも確認された画像認識など「認知」に不可欠な「ディープラーニング」、大量のデータをリアルタイムに高速実行する「超並列コンピューティング」、また高位判断、制御、機能安全など自動運転全体の処理を統括する「高性能CPU」の3つが必要になる。NVIDIAの自動運転用SoCはこの3つの必要要素を高いレベル(高性能、高機能、高信頼性)で実装している。「ディープラーニング」はGPUもしくはより電力効率の高いDLA (Deep Learning Accelerator) で実行される。「超並列コンピューティング」はGPUで実行される。実際最新のスーパーコンピューターの性能番付けTOP500(2018年6月)で1位、3位、5～7位はNVIDIA GPUを採用しており、そのアーキテクチャーはそのまま自動運転用SoCにも適用されている。いわば車載スーパーコンピューターともいえる性能、機能を有している。

NVIDIAはさらに自動運転開発の全工程(「データ収集」、「AI学習」、「検証」、「運用」)において「End to End」のサポートを実現している。

高精度AI画像認識のためには大量の学習データが必要である。「データ収集」工程では1台当たり毎時1TBのデータを収集する車載プラットフォーム、収集したデータを選別、ラベル付け、保存するサーバー環境等を構築している。

「AI学習」はGPUプロセッサの独壇場であり、GPUを8個内蔵したDGX-1コンピューターはCPUを140個使用したサーバーに相当する性能をもつ。学習環境をサポートするライブラリ群や、学習済のニューラルネットを最適化し最大効率の画像認識等を可能とするTensorRT環境も提供する。

「検証」はこれらの工程の中でも最も重要なものである。自動運転に要請されるISO26262機能安全を満たすためには、設計時に想定されたあらゆるシナリオに対し「検証」を実施する必要がある。データ収集車から集めたリアル・データのみではあらゆるシナリオがカバーしきれない。NVIDIAはGPUの3Dグラフィックス応用で培った技術を使用して精緻な仮想シーン画像を生成するDRIVE SIM技術を開発した。これを実際の自動運転ECUを内蔵するConstellationコンピューターに入力し、あらゆるシナリオを検証する環境を提供。Constellationを1万台使

用すれば1年で実車30億マイルの走行に相当する検証を実現できる。これは一般的に行われている年間数十台の試走車によるフィールドテストの約1,000倍の走行距離に当たる。

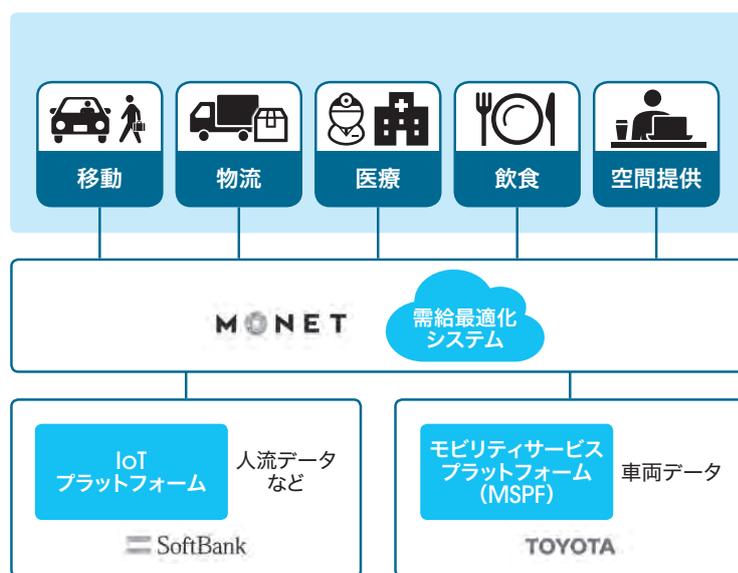
「運用」では数百万台に及ぶ量産車の走行データを収集し、ダイナミックに変化する交通環境や、未学習の環境をクラウドで追加学習する。学習済みの更新ニューラルネット・データは定期的にOTA (Over The Air) により各量産車にダウンロードされる。

③その他の動向

名古屋大学発ベンチャー企業のティアフォーは、オープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」を開発している。「Autoware」は、名古屋大学、長崎大学、産業技術総合研究所による共同成果の一部として、自動運転の研究開発用途向けに無償で公開されている。また、ティアフォーは、米国のNVIDIAとの協業で完全自動運転の小型電気自動車を開発し、2018年春以降に愛知県内で実証実験を行う計画がある。この動きに対し、メーカー側がAIベンチャー企業との提携を進める動きもみられる。

トヨタ自動車とソフトバンクは2018年10月、新しいモビリティサービスの構築に向けて戦略的提携に合意し、共同出資会社 (MONET Technologies <モネ テクノロジーズ> 株式会社) を設立することを発表した (図3-3-10)。トヨタ自動車は、2016年より提唱しているモビリティサービスプラットフォーム (MSPF) の実現に向け、2017年8月にAI企業であるPKSHA Technology に対して10億円出資したほか、2015年に10億円を出資していたPreferred Networks に対して105億円を追加出資している。ソフトバンクとの提携もMSPFの一環であり、スマートフォンやセンサーデバイスなどからのデータを収集・分析して新しい価値を生み出すソフトバンクの「IoTプラットフォーム」を連携させ、未来のMaaS (Mobility as a Service) 事業を開始するとのことである。併せて、2020年代半ばまでに同社のモビリティサービス専用次世代電気自動車 (EV) 「e-Palette (イーパレット)」によるトヨタ独自のMaaS事業を展開するとのことである。

■ 図3-3-10 トヨタ自動車とソフトバンクの連携イメージ



出典:ソフトバンク プレスリリース^{※38}

※38 <https://www.softbank.jp/corp/group/sbm/news/press/2018/20181004_01/>

3.3.3 インフラにおける利用動向

(1) 分野動向

道路、鉄道、空港・港湾、治水、生活インフラなど社会基盤においては、その長寿命化や維持管理の効率化を目的として、異常検知や設備保守運用の高度化などにAIを適用する取組みがみられる。

(2) 活用状況

インフラにおけるAIの活用には、設備の故障・異常検知、保守運用高度化などがあり、その事例を表3-3-5に示す。

表3-3-5 インフラにおけるAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-------------|--------------------|--|--|
| 異常検知 | 2017年6月 発表 | 産業技術総合研究所 | 産業技術総合研究所は、首都高技術、東日本高速道路、テクニート共同で、インフラ構造物の打音検査をAIでアシストし、異常度マップを自動生成する「AI打検システム」を開発した。機械学習を用いて異音を解析し、トンネルの壁面などを検査することが可能である。 |
| | 2017年9月 サービス開始 | 富士通、 川崎地質 | 道路の下の陥没を調査する川崎地質は、探査で生成される膨大なレーダー画像データの解析に富士通のAI技術「Zinraiディープラーニング」を活用。手作業の10分の1の時間で、100%に近い精度を保って異常反応を抽出できた。 |
| | 2018年2月に 実証実験開始 | NTTドコモ 東武鉄道 | 携帯電話ネットワークを利用するドローンを活用して、鉄道インフラを予防点検する実証実験を開始。ドローンに搭載したカメラを使い、目視による点検が困難な橋梁上部や低水路内の橋脚を点検する。取得した点検画像の一部は、NTTドコモの画像認識技術によって自動解析を行い、実用性を検証している。 |
| | 2017年7月 提供開始 | パナソニック、 パナソニック システムソリュー ションズ ジャパン | 道路、橋梁、ダム、鉄道、エネルギーなどの各種インフラ設備に対して、ロボティクスと画像処理技術を活用したインフラ点検サービス「Smart Image Sensing」を提供する。パナソニックグループの強みであるロボットや4K画像など、撮像デバイスと最新の画像処理技術を活用する。今後、AIによる分析を通じて、異常検知や予兆監視のサービスを提供する方針としている。 |
| 保守運用 高度化 | 2018年6月 発表 | 国交省および 地方港湾局 | 2018年度から、港湾物流の最適化に向け、AI（人工知能）を活用したコンテナ蔵置計画の提案など、AIによるビッグデータの分析手法を構築するための実証を始める。最適な蔵置を行うことで、コンテナ船の大型化に伴って増えている荷役時間の削減、ターミナル周辺での渋滞緩和につなげる。 |
| | 2018年5月 発表 | 清水建設 | 名古屋工業大学と協同で、AIが試行錯誤しながら自己学習することで最適解を導く強化学習手法により、トンネル線形に応じたシールド機操作の計画値、セグメントの配置計画を導き出す、「シールド掘進計画支援システム」を開発。 |
| | 2018年10月 提供開始 | 日立製作所 | 上下水道設備などの水インフラにIoT（モノのインターネット）を導入し、効率化を促す技術の開発を行う。設備の状態や水質に関するビッグデータ（大量データ）を解析し、自動で設備を管理運営するシステムを実現する。 |

出典：各種公開情報より作成

3.3.4 農業における利用動向

(1) 分野動向

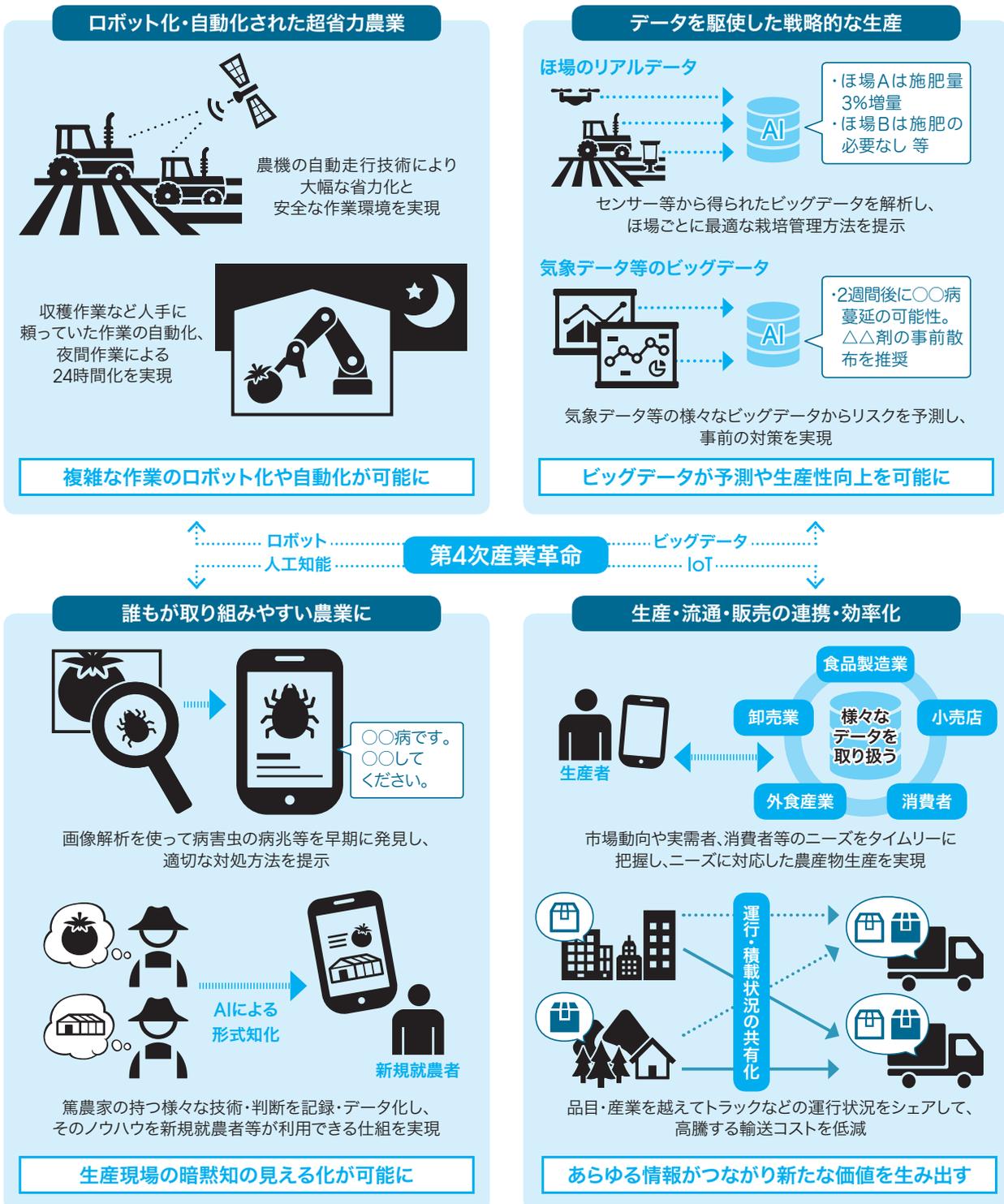
日本の食料自給率（カロリーベース）は38%（2016年度）^{※39}であり、総農家数は1990年の482万戸から2015年は216万戸に減少しており^{※40}、高齢化が進展するなど、労働力不足も深刻さを増している。こうした背景から、農業でのAI活用は、先端的技術の活用による省力化や高品質生産が求められる。

※39 農林水産省 2017年8月発表

※40 2015年農林業センサス 農林水産省

農業の分野は、個人の零細事業者が多く高齢化が進んでいるなどの理由から、一部の農業法人を除くと投資余力やIT活用意識が薄く、また利益面からも投資対効果が得にくい。そのため、政府の取り組みや補助が期待される。農林水産省は、ロボット技術やICTを活用したスマート農業を実現するため、2013年11月に「スマート農業の実現に向けた研究会」を立ち上げた。この研究会では、第4次産業革命における基盤技術であるAIやIoT、ビッグデータ、ロボットなどの技術を農業分野で活用し、生産性の飛躍的な向上、サプライチェーン全体の最適化等を可能にすることで、スマート農業を早期に実現し新たな価値を創出することが検討されている(図3-3-11)。

■図3-3-11 農業における人工知能やIoTの活用の可能性(イメージ)



出典:「人工知能やIoTによるスマート農業の加速化について(案)」農林水産省(2016年11月)

矢野経済研究所では、国内のスマート農業市場推移を予測している(図3-3-12)。スマート農業の国内市場は、2017年度ごろまでは農業クラウド・複合環境制御装置・畜産向け生産支援ソリューションなどの栽培支援ソリューションが牽引し、2018年度以降は、業務効率化を実現する販売支援ソリューションや経営支援ソリューション、農機の無人運転を実現するシステム(精密農業)などが成長する見込みである。2023年度の同市場規模は333億3,900万円まで拡大すると予測する。

「栽培支援ソリューション」、「販売支援ソリューション」、「経営支援ソリューション」、「精密農業」、「農業用ロボット」それぞれの区分においてIoTやAIといった先進技術の採用が見込まれ、スマート農業の実現を加速させると見込まれる。具体的には、センシング技術により気象、土壌、生育等のデータを取得してAIで解析することによりこれまで認識できなかった複雑な因果関係を解明し、最適な管理を行う精密農業や、画像認識により色づいた実など収穫すべきものを自動的に判別し収穫まで行う自律型農業ロボットなどが想定される。

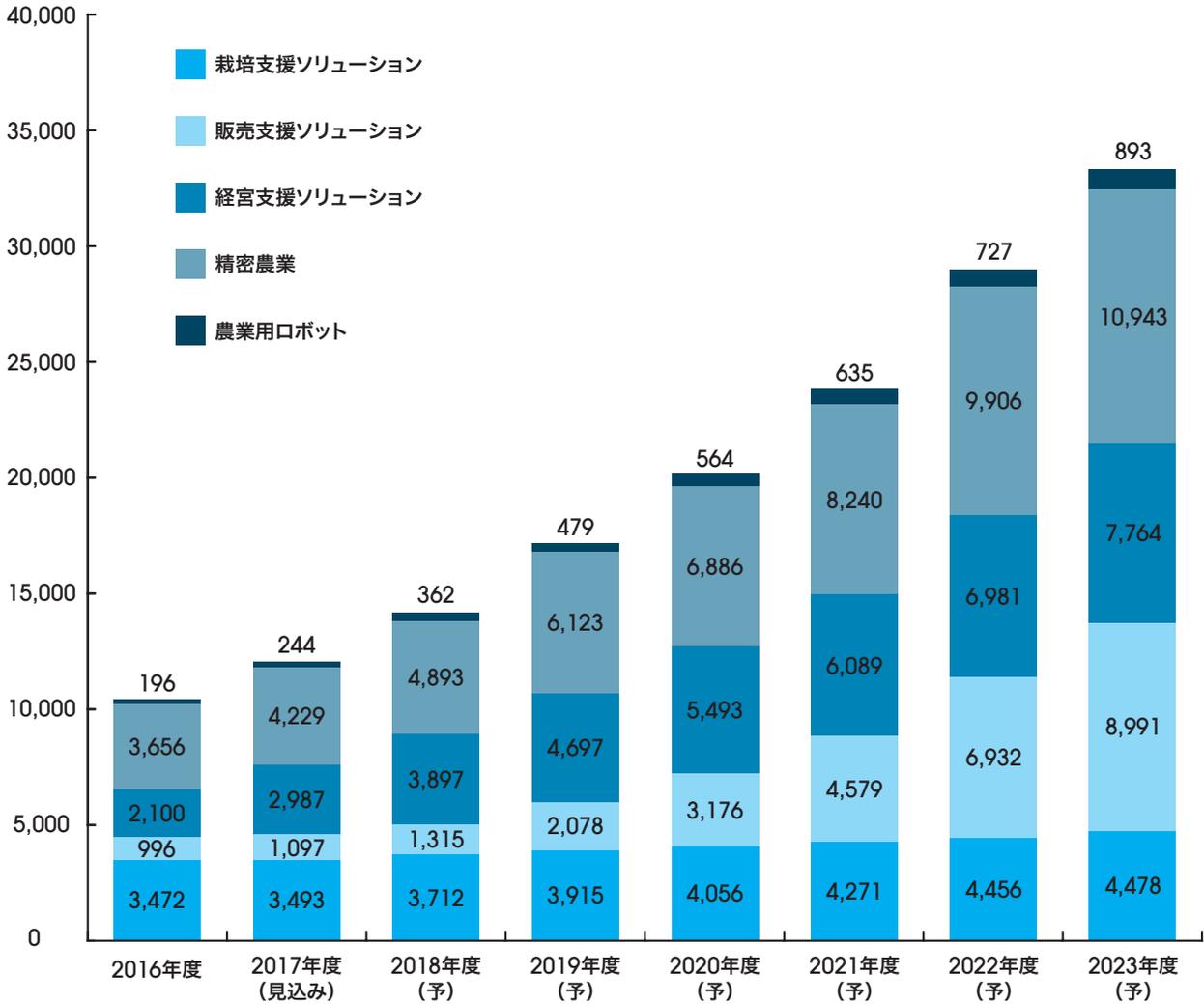
「未来投資戦略2018」においても、スマート農業に関する施策の中で、「熟練者の作業ノウハウのAIによる形式知化」、「遠隔監視による農機の無人走行システム実現」、「ドローンとセンシング技術やAIの組み合わせによる農薬散布、施肥等の最適化」、「自動走行農機等の導入・利用に対応した土地改良事業の推進」、等がAIの応用として期待されている。

このような取組みを進めるためには、AIベンダーやロボットメーカーがICT技術を提供し、農業法人や団体がまとめた投資やデータの蓄積を行い、農業資材メーカーなどが協力し、政府や自治体が補助金の付与や支援を行うなど、これまでの農業にはなかった異業種間の連携が必要となる。

2017年8月には、農家が生産性の向上や経営の改善にデータを活用するためのプラットフォームの構築を行う「農業データ連携基盤協議会」が設立され、同年12月には農業データ連携基盤のプロトタイプの実用が開始された。内閣府 SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)が推進し、NEC、富士通、NTT、ソフトバンク・テクノロジー、日本マイクロソフト、クボタ、ヤンマー、全国農業共同組合連合会、日本農業法人協会などが参画している。

■ 図3-3-12 スマート農業国内市場規模推移と予測

(百万円)



出典：「2017年版 スマート農業の現状と将来展望～省力化・高品質生産を実現する農業IoT・精密農業・農業ロボットの方向性～」矢野経済研究所(2017年9月)※41

(2) 活用状況

AI活用の方向性としては、温度、日照、降水などの各種センサーデータや作物の育成情報の画像データ、及びドローンで撮影した画像を分析し、病害予測、生育状況管理、収穫時期の予測、最適収量予測、計画営農などを実現するもの、また、ロボットを活用し、作物の自動選別、自動収穫を行うものなどがある。次表に示すように実証実験中や研究中のものが多い(表3-3-6)。

※41 事業者売上高ベースで、2017年度は見込値、2018年度以降は予測値。市場規模には農業向け POS システム、農機等のハードウェア、農業用ドローン等は含まれていない。

■表3-3-6 農業でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-----------------|--------------------|-----------------|---|
| 病害予測 | 2017年8月 販売開始 | ポッシュ | 農業支援システム「Plantect」で、温度湿度、CO ₂ 、日射の各センサーからのデータからAIを用いてトマトの病害 予測分析を行う。 |
| 病害予測、 最適収量予測 | 2018年以降 | オプティム | 2017年10月から静岡県藤岡市で降水量、気温、日照などのセンサーデータ管理により圃場管理の最適化に取り組む実証実験を行う。詳細は本文を参照。 |
| 生育情報管理 | 2017年12月 設立 | ソフトバンク オプティム | 帯広で、ドローンで空撮による地域全体の生育分析、センサーで得る外気温や湿度、照度、土壌温度や土壌水分などの分析を行い、統合された作物の生育管理を行う。 |
| 計画営農 | 2018年中を 目途 | クボタ | データ活用による営農計画を支援する「KSAS」を提供。今後、気象情報とセンサーなどのデータから病害虫や水管理における問題予測、計画営農へのAI活用を検討している。 |
| 自動選別 | 2018年中を 目途 | 竹内園芸 | カメラを使い苗の選別を自動化する。従来は目視で行っていた成長具合や奇形の有無の判断をAIで行う。 |
| 自動収穫 | 2019年度の 商品化を目指す | パナソニック | トマトの収穫ロボット。AIにより茎の後ろの陰れた実も検出、画像認識による赤みの判別を行い、適収穫度の実を選択して刈り取る。自律走行などの機能を備える。 |

出典：各種公開情報より作成

表中のオプティムは、2017年12月に「スマート農業アライアンス」を設立した。農家に加え、企業、金融機関、自治体、大学など、スマート農業に関わる企業や団体の参加を募る。この取組みには、ドローンとAI活用による減農薬技術により育成した高付加価値作物のオプティムによる買取りを行う「スマートアグリフードプロジェクト」、スマートフォン、タブレット、スマートグラス、ドローン、フィールドセンサー、IoT農機具などを活用し、作業負担軽減や技術伝承の問題を解決する「スマートデバイスプロジェクト」がある。

3.3.5 健康・医療・介護における利用動向

(1) 分野動向

少子高齢化に伴い、各個人が、最適な健康管理・診療・介護を持続的にかつ効率よく受けられる環境の構築が求められており、その各段階において、AIの活用が期待されている。

例えば、病気を予測し、病気になるのを未然に防ぐ予防医療、医師個人の判断に加え、データ解析や蓄積された集合知にもとづく診断の実施、病気の細かいタイプや患者個人の体質などにより最適化した医療を行う個別化医療、治療法研究の加速による治療困難とされた病気の治療法発見、及び、健康寿命を延ばし、介護者の負担を軽減する介護サービス提供などである。

平成29年6月に発表された厚生労働省の「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会」の報告書では、「AI(人工知能)の実用化が比較的早いと考えられる領域」として、ゲノム医療、画像診断支援、診断・治療支援、医薬品開発(創薬)、「AIの実用化に向けて段階的に取り組むべきと考えられる領域」として、介護・認知症、手術支援を挙げ、合計6領域でAI開発を進めるべき重点領域と位置付けている。

一方、健康・医療・介護のデータは多種・多様^{※42}であること、それらは、機微な個人情報であることから、その取扱いには十分な配慮を要する。そのため、データの利活用の基盤に関しては、国が管理するデータの公開や、「4.4.2 データ流通に関する制度改革」に示すように、次世代医療基盤法の施行など、個人情報の取り扱いに配慮しつつ、データの利活用を促進する仕組みが整備され始めた。

また、AIを活用した医療機器の市販化については、企業及び審査側も慎重な姿勢であるが、海外でAIを活用した医療機器の認可が始められている状況も鑑み、継続して検討が進められている。平成30年3月には、独立行政法人医薬品医療機器総合機構によって、AIを活用した医療機器の有効性や安全性の評価指標、審査の科学的側面などが報告書にまとめられた^{※43}。

医療分野での研究事例としてはまず、画像認識技術による画像診断支援がある。例えばディープラーニングを使った画像認識により、画像中に病変があるかないか、その病変（腫瘍）が悪性か良性か、などを、高い精度で判別できる。これにより、医師の負担を軽減し、見落としや誤診を防止し、広く高精度の診断・医療を提供できる効果が期待される。

また診療の支援としては、医療データ、医療文献や研究論文などの大量のデータを解析することで、病名の特定、最適な治療方法の提案に加え、予防医療などに役立てられるとして研究が進められている。

さらに医薬品開発（創薬）については、ディープラーニングなどの技術を使って、創薬の基本となる標的となるタンパク質の探索などのシミュレーションを行う手法が研究されており、研究期間の短縮や成功率の向上が期待されている。2016年11月には、企業、大学・研究機関によって、ライフインテリジェンスコンソーシアム（Life Intelligence Consortium；LINC）が設立された。2018年9月時点で、23大学・研究機関、86社・団体、3オブザーバー団体が参画している。ここでは、製薬のみならず、化学、食品、医療、ヘルスケア関連のライフサイエンス分野を広く扱う。

加えて、医療機器の性能維持・向上のため、その使用状況をAIで分析し遠隔で故障を予知し、医療現場での機器の稼働停止を未然に防ぐ遠隔機器監視、最適な画像を提供するための機器への条件設定などにも応用され始めている。

また、健康介護分野での事例としては、個人の行動様式や疾病パターンにもとづく将来の健康状態の予測や個人の特性に合わせた介護（行動パターンの予測などによる転倒防止なども含む）などがある。

(2) 活用状況

医療分野でAIを活用する事例として、「3.2.1.(1)②医用画像の認識と診断への応用」で紹介したディープラーニングによる診断支援に加え、表3-3-7を紹介する。また、健康・介護分野でAIを活用する事例として、表3-3-8を紹介する。

※42 健康時の健診（検診）データ、個人の診療履歴（血液、X線画像などの検査結果、処方箋を含む）、介護記録、調剤記録等が病院、介護施設等に保存されている。また、研究機関には、薬の効用や副作用についての研究開発データ、論文や実験データ、遺伝子（ゲノム）情報、国には、レセプトや特定健診及び介護のデータベース等がある。加えて、個人の体温・血圧などのバイタルデータや過去の病歴などを蓄積し、個人の健康管理に使用するPHR（Personal health Record）等もある

※43 平成29年度次世代医療機器・再生医療等製品評価指標作成事業人工知能分野審査WG 報告書<http://dmd.nihs.go.jp/jisedai/Imaging_AI_for_public/H29_AI_report_v2.pdf>

■表3-3-7 医療でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-------------------------|---|----------------------------|---|
| 画像による 診断支援 | 2018年中に 薬事申請の予定 | 日立製作所 | コンピューター断層撮影装置 (CT) などの画像を集め、AIで脳や肺などの診断を支援する。 |
| | 2017年11月発表 (研究開発中) | エルピクセル | 医療画像診断支援技術「EIRL (エイル)」を発表。脳MRI、胸部X線、乳腺MRI、大腸内視鏡、病理などの医療画像診断支援技術の研究開発を進めている。 |
| | 2017年9月設立 | AIメディカル サービス | 内視鏡画像に特化し、消化器に対するがん関連病変の内視鏡検査において、医師の診断を支援するシステムの実現を目指す。 |
| | 2019年 完成の計画 | エーザイ | 東京大学、UEIとの共同研究による臨床検査システムを開発。がん組織を透明にし、組織の構造が分かる3次元の画像を作りAIでがんの有無を見分ける。医師の調べる手間を省き、医療現場の生産性向上を支援する。 |
| 画像による 診断支援 及び診療支援 | 2017年に 実証実験実施 | エクスメディオ | 患部画像を送付すると画像認識により臨床アドバイスを送る自動診断サービスや、医師から提示された文章から適切な論文を推定する関連論文検索AIなどの開発を行い、医療者向けサービス「ヒポクラ」の中で実用化。2017年11月に、実証実験を行う梶原町と、プロジェクトを支援するみずほ銀行と協定を締結したことを発表した。 |
| 診療支援 | 2017年1月から 共同研究開始 | FRONTEO ヘルスケア | がん研究会、がん研究所と共同研究開始を発表。AIが患者の症状・特性に合わせた治療法に関わる論文を探索し、医師の判断を支援するシステムを目指す。2018年8月にAIのアプリケーション「Concept Encoder Articles」の本格提供を開始した。 |
| 診療支援、 及び創薬など | 2018年1月より 約2年間 | 富士通 | 医療分野でAIを活用するための共同研究講座「医療情報AIシステム学講座」を京都大学に設置する。京都大学医学部附属病院の電子カルテに蓄積された患者データなどの各種医療情報と、富士通の「Zinrai」を使い、新たな診療支援や創薬の実現など、高度医療化に向けた研究開発を進める。 |
| 創薬 | 2018年1月から 開始 | DeNA、 塩野義製薬、 旭化成ファーマ | 3社の共同研究を実施。旭化成ファーマと塩野義製薬が所有する化合物情報を用いて、AI創薬の実現可能性を技術的に検証する共同研究を開始する。化合物最適化段階の大幅なコスト及び時間低減につながる技術を開発し、検証することを目的とする。 |
| 在宅療養 | 2019年度までに システム開発、 20年度以降の 導入を目指す | 福井大学 | AIで在宅療養患者への支援を効率化する。看護師や医師とのチャットの分析から治療情報などの把握、センサーデータから患者の運動量や睡眠量を把握し筋肉の量と質の低下具合などを推測する。さらに、これらの情報を集積し、訪問看護師の質問にシステムが答える機能の構築を目指す。 |
| 生活習慣病 予防 | 2019年度中の 試作完成を 目指す | 広島大学 | 診療報酬明細書 (レセプト) や健康診断などのデータをAIで学習し、糖尿病や心筋梗塞、脳卒中などの重症化リスクを個別に予測し、保健指導に活かす。 |
| 画像解析による 医療研究支援 | 2017年9月 発売開始 | シンフォニア テクノロジー | 2015年に近畿大学、三重大学との共同研究で、iPS細胞増殖時に発生する不要細胞を画像解析により検出する技術を開発した。2017年に不要細胞を自動でレーザーによって除去する装置を発売開始した。 |
| 医療機器の 遠隔監視 | 2019年中に 実用化の予定 | 富士フイルム | 内視鏡や超音波診断装置などの使用状況をAIで分析し遠隔で故障を予知する。医療現場での稼働停止を未然に防ぐ。 |

出典：各種公開情報より作成

■表3-3-8 健康、介護でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|------|--------------|-------------|---|
| 健康 | 2018年1月発表 | FiNC | ヘルスケア分野で、個人の生活習慣やライフスタイルの違いに合わせたパーソナライズド健康アドバイスを提供するためのAI技術で特許を取得。 |
| | 2018年以降 | フィリップス・ジャパン | ソフトバンクとの協業によりヘルスケア分野でのAI活用の共同開発を行う。フィリップスグループが運営するIoTプラットフォーム「HSDP(Health-Suite Digital Platform)」向けのアプリケーション開発も視野に入れる。 |
| 介護 | 2017年11月発表 | ニチイ学館、NEC | AIによる個々の高齢者に合ったケアプランの提案を行う。ケアマネジャーが人手で作成する負担を軽減するとともに、AIが効率的な運動機能改善など、より効果の高いケアプランを抽出する効果が期待される。2社で技術実証を進める。 |
| | 2017年4月設立 | エイアイビューライフ | 看護・介護現場を見える化する介護ロボット「A. I. Viewlife」を提供。広角赤外線センサーを搭載しており、居室の全エリアを対象に危険予兆動作と危険動作を検知できる。さらに、一定期間の生活動作データを蓄積し、学習検知型アルゴリズムを用いることで、徘徊・排泄などを予測し、通知する。 |
| | 2018年4月発表 | 芙蓉開発 | AI介護ソフト「安診ネット カイゴ」を発売。高齢者の体温・脈拍・血圧をはじめとするバイタルサインデータをAIが解析し、個人の特性を加味して異常値を検知するなどのサービスである。個人別の基準域から外れた異常値を検知することで、疾病の早期発見に役立っている。 |
| | 2017年11月提供開始 | ワイズマン | 高齢者のおむつ利用を最適化するための「おむつ最適化支援AI」を提供。利用者に合わせておむつの組み合わせと交換回数についてAIがプランを策定する。適切な吸収量・サイズのおむつを使用することで交換回数を減らすことができる。 |

出典：各種公開情報より作成

3.3.6 防犯・防災における利用動向

(1) 分野動向

防犯分野におけるAIの活用は、監視カメラ等の映像をもとにしたリアルタイムでの不審者の特定・追跡や防犯ロボット（ドローン）が中心であり、施設から街・都市全体への防犯へと広がることが期待されている。2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催に向けたセキュリティ対策の一環としてAIの活用が検討されており、東京オリンピック・パラリンピックをモデルとして全国規模に展開される可能性もある。

防災という観点では、集中豪雨による河川の氾濫や都市の浸水、崖崩れ、大雪、台風などにより毎年引き起こされている甚大な被害の予測と対策が期待されている。河川の水位の監視は従来、水位計を使って行われており、重要な河川では画像監視も利用される。また、道路わきの法面の監視は、人による見回りで行っているケースも多いが、最近は高速道路などでセンサーを使い、先行して斜面の変動や移動を検知するIoTの仕組みも導入されている。今後はAIにより、より精度の高い予測や新たな対策の開発が期待される。その中には、SNS等の情報を分析することによる災害予測、機械翻訳を用いた外国人への災害情報提供なども含まれる。

(2) 活用状況

防犯・防災分野でAIを活用する事例には表3-3-9がある。

■表3-3-9 防犯・防災分野でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 団体・企業名 | 概要 |
|------|-------------------------|---|--|
| 防犯 | 2018年1月 報道 | 神奈川県警 | AIを使った取締りのシステム導入を検討していると報道された。ディープラーニングを使い、犯罪学や統計学の数式を学習したうえで、過去の事件事故の発生場所や時間、気象条件、地形、SNSのデータなど、様々なデータを分析する。連続発生した事件の容疑者が同一かどうかの分析、容疑者の次の行動の予測、事件事故が起きやすい時間帯と場所を確率で示すなどの機能を持つシステムが想定されている。2020年の東京オリンピック・パラリンピックまでの試験運用を目指す。 |
| | 2017年12月から 有識者研究会を発足 | 警視庁 | AIでの分析と予測による犯罪被害防止のためのシステム導入の検討を進めている。 |
| | 2016年10月 サービス開始 | NEC | 防犯カメラなどの映像から特定の時間・場所に出現する人物や、特定の動作をしている人物を高速・高精度に検索するAIシステム「Neo-Face Image data mining」を提供する。さらに、2018年6月には大量の映像から人物の出現パターン（時間・場所など）を数値化し、不審者を高精度で自動分類できる技術を開発した。 |
| | 2016年10月 販売開始 | 富士通 | AI技術「Zinrai」を活用した都市監視システム「Citywide Surveillance」を提供する。監視カメラ映像から都市の全体的な車や人の動きを把握し、防犯に役立てることができる。また、事前に登録された人物の顔の検知などにも対応する。2017年9月には、NTTドコモや富士通研究所と、本ソリューションをMobile Edge Computingシステムで使用する実証実験を行った。 |
| 防災 | 2018年2月に 会議を開催 | 気象庁 | 2030年を見据えた方向性について会議を開催。2030年の防災のイメージとして、台風や大雨、火山噴火の兆候といった予測データを避難所や避難ルートといったビッグデータと組み合わせ避難活動に活かし、AI翻訳を活用した外国人向けアプリの利用、地方自治体や防災関係機関への早期の正確な情報提供による体制確保や避難指示などを想定する。さらに、AIやIoTを活用した豪雨や火山噴火の兆しなどの検出や速報技術の向上を目指す。 |
| | 2017年12月に 実証実験 | 東京都港区 | 機械翻訳を利用した多言語による自動問合せシステムの実証実験を行った。港区に勤務する、または居住する外国人に市民サービスの問合せ対応を行うものだが、緊急・防災に際しての利用意欲が高かったことが報告された。 |
| | 2017年10月 設立 | 慶應義塾大学(山口真吾研究室)、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)、防災科学技術研究所(NIED)、ヤフー、LINE | 「電腦防災コンソーシアム」を設立。コンソーシアムが描くAIを使った防災のイメージは、「AIを用いた災害時の被害状況の早期把握・自動分析システム」、「AIを用いた被災者・避難所の困窮状況の情報集約・分析システム」、「AIを用いた首都直下地震時の帰宅困難者の自動把握・分析システム」、「AIを用いた現場報告やククロノロジーの自動整理・分析システム」となっている。政府・地方自治体などと連携することによって、防災力強化を実現する政策提言を目指す。 |

出典：各種公開情報より作成

3.3.7 エネルギー分野における利用動向

(1) 分野動向

2016年の電力小売自由化によりエネルギー業への参入企業は増加し、太陽光発電など過去とは異なる電力供給源の開発も進められている。需要量の高精度な予測にもとづく効率的な電力供給は、事業者の利益獲得のポイントとなるため、AIやIoTの利用は拡大すると考えられる。計測機器や計測システムの高機能化、スマートメーターの普及等により、電力の発電や送電、使用に関わる様々なデータを取得・蓄積できるようになっていることはAIの利活用にとって追い風となる。また、発電所などにおいて、収集したデータをAIに学習させることで、運転を最適化する取組みも行われている。発電所・送電網などの電力インフラの健全性の維持のため、異常検知や点検作業をAIで効率化あるいは代替する取組み等も行われている。

(2) 活用状況

エネルギー分野でAIを活用する事例には表3-3-10がある。

■表3-3-10 エネルギー分野でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|---------------|-------------------|-------------------|--|
| 電力需要予測 | 2017年8月 提供開始 | NEC | 過去の電力消費量、天候、カレンダー情報などから先々の電力需要量を30分単位で高精度に予測する。独自のAI技術「異種混合学習技術」を活用する。2017年8月から電力事業者の運用の効率性を高める「設備管理高度化ソリューション」の提供を開始している。 |
| | 2017年11月に 発表 | 東芝 | 電力供給エリア内の多地点における気象予測値を作成し、気象情報と電力需要実績値の関係を効率良く機械学習させるスパースモデリング技術を開発した。さらに、ディープラーニングを用いた需要予測を実施し、これらの予測結果値を、AIを利用して最適に組み合わせることで、高精度な需要予測を実現した。東芝は、東京電力ホールディングス主催の「第1回電力需要予測コンテスト」において、2017年10月に最優秀賞を受賞している。 |
| | 2018年5月に 発表 | 日立製作所 丸紅 | 丸紅は、日本国内で展開する電力小売事業においてAIを活用した高度な市場分析モデルを導入している。日立製作所のIoTプラットフォーム「Lumada」を活用し、国内電力小売事業の市場分析手法を高度化する独自モデルを構築した。丸紅の実績・ノウハウにもとづくアルゴリズムを活用したデータ解析手法と、日立製作所が小売・流通分野などの需要予測向けに開発した機械学習エンジンが用いられている。 |
| 運用効率化 | 2018年2月 サービス開始 | 東京電力フュエル & パワー | 東京電力ホールディングスと協力し、IoTを活用した火力発電所運用支援サービスを提供。さらに、2018年5月には、日本タタ・コンサルタンシー・サービスと、AIによる火力発電所運営の最適化モデルの開発・導入に向けた基本合意書を締結した。発電所運営の効率化・最適化によって、環境負荷低減や化石燃料の使用量削減に取り組む。 |
| 設備保守運用 効率化 | 2017年11月 開発開始 | 東京電力 パワーグリッド | 架空送電線の健全性確認にあたり、ヘリコプターで撮影したVTRによる点検作業をAIが行うことで、異常検知の高度化と、点検作業時間の50%以上の短縮を行う。AIを活用した設備保全効率化サービスの展開を目指す。 |
| | 2018年3月 発表 | 関西電力 | 同社の発電所の運用・遠隔監視サービスにおいて、遠隔監視では不具合対応が後手になるという課題に対して、機械学習・ディープラーニングなどのAIを活用した「早期異常検知システム」を開発、不具合については後手どころか先手を打てるようになった。 |

出典：各種公開情報より作成

3.3.8 教育における利用動向

(1) 分野動向

教育分野におけるIT活用が進む中、個人の学習傾向に合わせてプログラムを提供する適応学習(アダプティブ・ラーニング)、解答の採点、学生からの質問の対応などに、AIを応用する取組みがみられる。

政府は、「Society 5.0時代に向けて、AI、IoT等の革新的技術をはじめとするICT等も活用しながら、持続可能な社会の創り手を確実に育成していく」という方針を掲げている^{※44}。文部科学省、経済産業省、総務省の未来投資会議構造改革徹底推進会合「企業関連制度・産業構造改革・イノベーション」会合(雇用・人材)(2018年2月)で討議が行われた「学校教育におけるICT、データの活用」では、「AI、IoT等の革新的技術を初めとするICTの学校現場での活用」というテーマのもと、「個に応じた指導(アダプティブ・ラーニング)を徹底する」という施策を掲げている。また2020年に改訂予定の「学習指導要綱」においても、「主体的・対話的で深い学び(アクティブ・ラーニングの視点からの授業改善)」が基本方針になっており、新しい教育を実現する手段としてICT/ITやAIの活用が、EdTech(Education×Technology)として着目されている^{※45}。

(2) 活用状況

教育分野でAIを活用する事例には表3-3-11がある。

■表3-3-11 教育分野でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-----------------------|-------------------|-----------|--|
| 適応学習 | 2016年3月 サービス開始 | サイトビジット | 司法試験や行政書士講座などの受講者を対象に、AIを活用して、受講者に応じたオンライン学習サービスを提供する。オンライン上に蓄積されている学習履歴を機械学習を使って分析することで、理解度などを把握したうえで個人に合わせた問題を提示する。2017年4月にSACTと提携し、人材事業を強化した。 |
| 採点 | 2018年1月 販売開始 | EduLab | 記述式解答の採点を効率化する試みとして、手書きの解答の文字を正しく認識し、テキストデータ化する技術を開発している。手書き文字をディープラーニングによって認識することで、認識率98.66%を実現し、その結果、手入力した場合と比較して平均83%の作業時間を削減している。 |
| | 2017年9月 リリース | サインウェーブ | AIが自動で採点を行う「英語手書き認識採点システムSiF」を提供する。英語の手書き答案をスマートフォンやタブレットで撮影またはプリンターなどでスキャンして送付すると、画像認識技術を活用し単語や構文、表現方法なども考慮して採点を行う。さらに、英会話の解答を採点するAIを搭載した学習システム「ELST(English Listening & Speaking Testing)」も提供する。 |
| 対話型 トレーニング | 2017年10月 提供開始 | デジタル・ナレッジ | 対話的なeラーニングで、英語4技能「読む・聞く・話す・書く」を強化。音声合成機能で設問を読み上げて出題、生徒の回答(スピーキング・ライティング)を「意味・文法」の2つの評価軸で採点し、AIが次のトレーニングを促す機能を提供する。 |
| 次世代型 個別学習塾 システム | 2017年3月 発表 | 学研 | 先進の人工知能(AI)による理解度分析と、モチベーションを高める役割を担う学習メンター、そして、勉強する楽しさに目覚める最適化教材の組み合わせにより、子供が自分から学ぼうとする姿勢をひきだして『優れた学習者』の育成を行うことができる、学習塾システムを開発。 |

出典：各種公開情報より作成

※44 未来投資会議 構造改革徹底推進会合「企業関連制度・産業構造改革・イノベーション」会合(雇用・人材)「学校教育におけるICT、データの活用」(2018年2月)文部科学省、経済産業省、総務省

※45 教育分野では「ディープラーニング」は「深い学び」を指す。「深層学習」ではないことに注意。

3.3.9 金融業における利用動向

(1) 分野動向

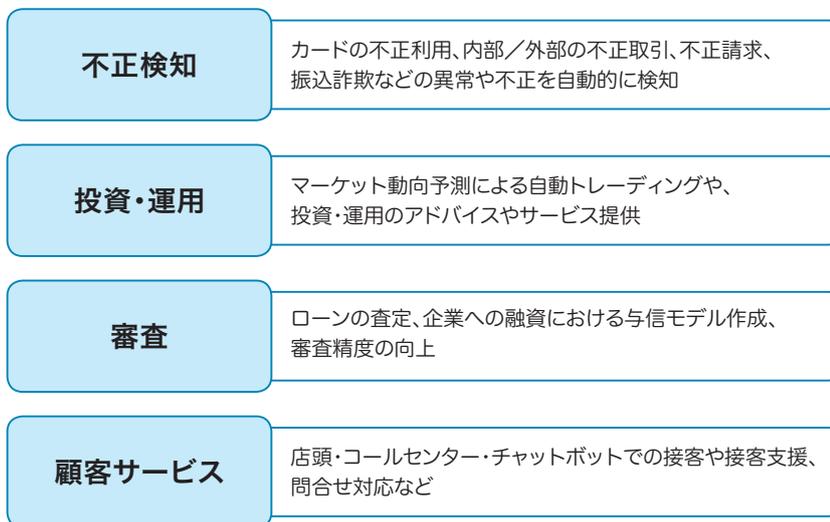
金融分野におけるAIの活用は、アルゴリズムによる株式取引から資産運用、個人向けの金融サービス、保険サービスまで多岐にわたっている。

金融業でのAI活用を概観するうえで欠かせないのが、Fintechの動向である。Fintechは、IT技術を使った革新的な金融商品・サービス創出の潮流を意味し、AIはFintechの中核技術の一つとなる。Fintechは、現在メガバンクが牽引役となっているが、2016年以降は地方創生の推進なども要因として重なり、多くの地方銀行がFintechの取り組みを本格化している。

(2) 活用状況

金融業におけるAIの活用領域としては、不正検知、投資・運用、融資などの審査、接客やコールセンターなどの顧客サービスが挙げられる(図3-3-13、表3-3-12)。

■ 図3-3-13 金融業のAI活用場面



出典:各種公開情報より作成

(a) 不正検知

膨大な取引データの中から、不正取引、不正送金、詐欺、保険金不正請求、クレジットカードの不正利用など不正な金融取引を自動検知する技術である。AIによるカードの不正利用のリアルタイム検知などの技術はすでに実用化されているが、従来は人が不正を判定するルールを設定していた。ディープラーニングを活用することにより不正検知のアルゴリズムの精度がさらに高まったという実証実験結果が報告されている。

(b) 投資・運用

すでに世界中の多くの金融機関が取引にAIを活用している。コンピューターが株式の売買を行うアルゴリズム取引は、AIが投資手法を学習し精度の改善を行うなど技術的にも高度化している。米国の投資銀行であるGoldman Sachsのニューヨーク本社では、取引のプログラム化を進め2000年には600人いたトレーダーが2017年には2人になったと報道されている。日本の証券会社のトレーディングシステムも自動化が行われている。

個人向けの投資・運用サービスのロボアドバイザーについては、サービス提供企業が急増している。現時点では簡単な質問から投資リスクに対するスタンスなどベーシックな情報を得て、金融商品の性質にもとづいて答えを返すものが多く、複雑な技術は使っていないケースが多いとみられる。今後はAI技術の活用による高度化が図られる可能性もある。

(c) 審査

ローン審査、融資審査などは、企業の業績データや取引履歴、個人であれば資産や収入などの情報から、過去の事例を参照してリスクが少なく最適な金額や条件を決めるもので、AIによる分析に適した分野である。経済指標やGIS(地理情報システム)データといった外部ビッグデータを多角的に活用することでより信頼性の高い審査を行う動きも起きている。ベテランの知見で行っていた業務の支援と精度向上に加え、信用情報が乏しい若者や個人事業主向けの信用審査などのサービス拡大にもつながる。

AIによる新しい融資サービスの一つにはトランザクションレンディングがある。ネットショップの売上データ、決済データ等、ネット上のビッグデータをもとにAIがリスクを判定し、融資の審査を行うサービスである。海外で実用化が進んでいるサービスであるが、日本でも2017年から実用化が始まっている。

(d) 顧客サービス

顧客サービスへのAI応用は、2014~2015年ごろに都銀など大手金融機関がコールセンター業務支援のため、相次いでIBM Watsonを導入したことで注目された。昨今はコールセンターでの活用以外にも、人手不足への対応として地方の店舗で人の代わりにAIが対応したり、問合せ対応に自動応答のチャットボットを活用したりする事例がある。

AI活用に関しては、課題も指摘されている。数分間のうちにダウ平均が1,000ドル近くも暴落する現象「フラッシュ・クラッシュ」は、コンピューターが相場の一定の局面で一斉反応する結果起きており、AIによるトレーディングによって金融ショックを増幅させるリスクが生じている。また、近年大手金融機関の大規模な人員削減が進められている。これは、マイナス金利による収益低下、店舗利用者や窓口利用者の減少、Fintechによる異業種参入などにより、コスト削減が大きなテーマとなっているためである。業務の自動化、省力化を進めるうえでAIの活用は有効であるが、雇用の縮小につながる影響は懸念されるところである。

■表3-3-12 金融業におけるAIの活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|------------|--------------------|-------------------------|--|
| 不正検知 | 2017年9月 | 三井住友 フィナンシャル グループ | アンチマネーロンダリング業務において、疑わしい取引の中から当局への報告対象となるものを選別する業務にAIを活用する取り組みに着手すると発表。開発パートナーはSASジャパンである。 |
| | — | JCB | クレジットカードの不正検知にAIを活用。盗難やカード偽造のような犯罪に対しては不正検知用のシステムを利用、加盟店による過剰支払いの不正に関してはテンソル・コンサルティングのAIエンジンを使い、不良加盟店を見つけるモデルを開発した。2017年12月からNTTデータと共同してAIを活用した加盟店管理システムの構築に着手している。 |
| 投資・運用 | 2016年12月 導入 | 三菱UFJ 国際投信 | 機関投資家向けにAIによる銘柄選択や市場予測をもとに投資判断を行う投資信託の運用を開始した。ディープラーニングを用いて株式市場の値動きを予測する。2018年8月には、AIが選定した銘柄のみで構成される新しいインデックスファンド・シリーズ「eMAXIS Neo(イーマクス・ネオ)」を設定した。 |
| | 2017年9月 サービス開始 | みずほ証券 | 日本を含むアジアの一部の機関投資家向けにAIによる個別企業の株価予測システムを提供する。 |
| 審査 | 2018年1月 導入 | リコーリース | 少額のリース案件を、機械学習を使ったAI審査に切り替える。顧客の支払履歴、取引情報などのデータからリスクを評価する。 |
| | 2017年12月 導入開始検討 | 住信 SBI ネット銀行 | 住宅ローンなどの個人向けローンや中小企業向けローンを対象としたAI審査サービス導入の検討を行うと発表した。2018年度中の実用化を目指す。開発パートナーは日立製作所である。 |
| | 2016年10月 サービス開始 | ジャパンネット銀行 | クラウド会計サービスのfreeeと提携し、会計データを活用して融資を行うサービスを開始。審査にはAIが活用され、業績をリアルタイムで分析し、無担保や無保証での即日融資が可能になる。2017年10月に、freee上で振込依頼を行う機能の提供を始めた。 |
| | 2017年9月 サービス開始 | みずほ銀行 (Jスコア) | みずほ銀行とソフトバンクは2016年11月に個人向け融資サービスを行う合弁会社Jスコアを設立した。Jスコアは、銀行口座の入出金情報や携帯電話の支払い情報など、約150の質問項目を入力すると、AIが信用力を点数化(スコアリング)し、融資の金利を設定するサービスを2017年9月から提供している。2018年6月には、Jスコアはヤフーが運営する「Yahoo!ショッピング」及び「ヤフオク!」との情報連携を開始した。 |
| 顧客 サービス | 2017年2月 導入 | 三井住友銀行 | IBM Watsonをコールセンター全席に導入したと発表。2014年に導入に着手し、オペレーターの質問への回答業務をサポートする。また、2018年5月に行内での照会応答業務の迅速化・効率化を目的に、日本マイクロソフトと共同開発した対話型AI自動応答システムの活用の加速と、ITベンダーへの提供を発表している。 |
| | 2017年6月 導入 | 大和ネクスト銀行 | 銀行代理店や社内からの商品・サービスに関する問合せにチャットボットが答える仕組みを導入したと発表。開発パートナーは大和総研、ユーザーローカルである。 |
| | 2017年8月 導入 | 楽天カード | ホームページ上のFAQで一般ユーザー向けにチャットボットの活用を開始。会話エンジンはアイフォーカス・ネットワークのシステムを採用した。 |
| | 2018年11月 サービス開始 | ジャパンネット銀行 | LINEのカスタマーサポートサービス「LINE カスタマーコネク」を用い、AIを活用した対話型チャットボットによる問合せ対応を開始した。 |

出典:各種公開情報より作成

なお、銀行や証券会社、生保・損保業界では、「InsurTech (Insurance × Tech)」という新たな動きがある。大手各社が専門部署を設置、新商品の開発やハッカソンの開催など、Fintechが普及し始めた時と類似した動きが起きている。InsurTechにおいてデータやAI活用の取組みが進んでいるのは損害保険である。保険商品の提案や損害や事故における保険金算出において、自動車の走行データや調査情報など保険対象にまつわるデータの蓄積があるため、AIによる分析を適用しやすい。他方、生命保険の場合は対象となるデータがバイタルデータ、検診結果などの健康状態、出産等のイベントとなるが、これらのデータは蓄積が乏しく、データとしてまとまった形で生保会社が利用できるようになっていないものが多い。

損保業界でのAI活用の取組みの一つを挙げると、2017年11月よりあいおいニッセイ同和損害保険は、大日本印刷、インテリジェント ウェイブとの協業により、損害保険の損害認定業務にAIを活用する共同研究を開始している。契約情報、事故情報、調査情報など複合的なデータ、媒体も紙・イメージ・写真などを活用し、AI適用の有用性を検証する。

生保業界のAI活用としては、富国生命保険がIBM Watsonを使って保険の給付金等の支払い業務の査定を一部自動化した結果、査定に必要な人員を3割削減した事例がある。診断書などのテキストデータから、傷病名、手術名、入院退院日などのキーワードを抽出し、傷病名や手術名による分類や記入漏れのチェックなどを自動化している。

3.3.10 物流における利用動向

(1) 分野動向

物流業では、EC (Electronic Commerce ; 電子商取引) の利用拡大などを背景に荷物量が増加し^{*46}、到着日時指定など荷主のニーズが多様化する一方で、労働人口の減少によりドライバーや倉庫作業者は不足している。大手物流各社が宅配便の配送料引き上げを行うなど、業界の課題は顕在化している。物流業の業務効率化や自動化を目的に、自動走行技術を用いた自動輸送・配送や、AIを用いた倉庫作業の改善などが進められている。

経済産業省は、政府における物流施策や物流行政の指針を示した「総合物流施策大綱 (2017年度～2020年度)」にもとづき、今後推進すべき具体的な物流施策をとりまとめた「総合物流施策推進プログラム」を2018年1月に発表した。ここで示された推進すべき具体的な施策の一つに「新技術 (IoT、BD (ビッグデータ)、AI等) の活用による“物流革命” (=革命的に変化する)」が挙げられている^{*47}。「近年の物流分野においては、積極的な設備投資により資本装備率^{*48}が上昇傾向にあるが、IoT、BD、AI等の新技術の活用は、物流生産性の向上を図るうえで有効な手段であることから、これら新技術の積極活用により“物流革命”を目指す必要がある。このため、RFID等の早期普及、隊列走行・自動走行、ドローン、自動運航船等の物流分野における早期社会実装を目指す」と方針が示されている。

(2) 活用状況

① 調達物流

調達物流の分野においては、長距離輸送における、ドライバー不足の解消、物流コストの上昇対策、安全性向上、環境負荷低減などを目的として、2台目以降を無人化する隊列走行に期待が集まっている

※46 国土交通省「平成28年度 宅配便等取り扱い個数の調査」

※47 経済産業省「総合物流施策推進プログラム」(2018年1月)

※48 総資本(機械装置等)を労働力で除した指標

る。また、海上を利用した輸送にAIを活用することで、航行を高度化・自動化する取組みも検討されている。調達物流にAIを適用する事例には表3-3-13がある。

■表3-3-13 調達物流でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|------|-----------------|-------|--|
| 調達物流 | 2022年のシステム搭載が目標 | 商船三井 | 2022年をめどに衝突を自動回避するシステムを船舶に搭載する目標を掲げる。AIが衝突の危険性のある他船や障害物を画像で診断し、減速や方向転換する技術を実用化する。さらに、RollsRoyce社と共同研究を行い、RollsRoyceが提供するアドバンス型障害物認識システムを、瀬戸内海で運航するフェリーに試験搭載し、様々な海域データを収集・分析する。 |
| | — | ヤマト運輸 | ヤマト運輸は、高速道路においてトラックの2台目以降を無人化する隊列走行の開発を進めている。また、国土交通省と経済産業省が2018年1月に行った、後続車両有人によるトラック隊列走行の実証実験に参加した。 |
| | 2022年の商業走行開始が目標 | 豊田通商 | 経済産業省から受託を受け、トラックの隊列走行に関する研究開発などに取り組む。2018年6月にテストコースで後続車無人隊列システムによるトラック3台での実証実験を行った。2019年1月には公道での走行実験を行う予定。 |

出典：各種公開情報より作成

② 拠点内物流

拠点内物流においては、AIやロボットを活用した物流業務の自動化が進みつつある。ピッキングなどの作業において、必要な部品や商品がある棚をロボットが作業者の前に運ぶことで作業者が移動する手間を省く取組みや、作業者の動線を分析し棚の配置を最適化する取組みがみられる。拠点内物流にAIを適用する取組みには表3-3-14がある。

■表3-3-14 拠点内物流でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-------|------------|---------------------|---|
| 拠点内物流 | 2018年5月に発表 | 日立製作所 | 異なる機能を持つ複数の物流ロボットを効率的に動かす複数AI協調制御技術を発表。品物を運ぶロボットと仕分けするロボットをAIで一体的に制御して作業の最適化を図り、荷分け作業の時間を38%短縮することに成功した。グループ会社の日立物流などで実証を進め、2～3年後の実用化を目指す。 |
| | 2018年4月発表 | 日立製作所 | 主に流通・物流などの倉庫業務における業務データや作業実績、サプライチェーン全体の情報を分析・学習し、作業効率を継続的に改善する「Hitachi AI Technology / 倉庫業務効率化サービス」を提供開始した。 |
| | 2018年4月導入 | 大和ハウス工業 ダイワロジテック | 大和ハウスグループのダイワロジテックと共同で、AI・IoT・ロボットを活用した物流施設を複数の荷主企業がシェアする「Intelligent Logistics Center PROTO」を開設。GROUND社が提供する自動搬送ロボットButlerを活用するほか、荷主企業の協力を得ながら、AI・IoT・ロボット等の先端テクノロジーを取り入れ実証を行うR&D機能を担い、技術やサービスを他の物流施設にも展開する。 |

出典：各種公開情報より作成

③ 販売物流

販売物流では、配送効率の最大化や自律飛行ドローン、自動走行ロボットなど、様々な分野でAIの活用が行われている。販売物流にAIを適用する取組みには表3-3-15がある。

■表3-3-15 販売物流でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|------------|-----------------------------|-------|--|
| 実証実験 実施 | 2018年4月 実証実験開始 | ヤマト運輸 | ディー・エヌ・エーと共同で、自動運転車両を用いた物流サービス「ロボネコヤマト」の実証実験を行った。 |
| | 2018年7月～ 2019年2月 実証実験 | ZMP | 宅配ロボット「CarriRo Delivery」を開発している。自律走行技術などを利用し、半径1～2km程度を配送範囲と想定して、ラストワンマイルでの配達を支援するソリューションの提供を目指している。ローソン、慶應義塾大学の協力を得て実証実験を行っている。 |
| | 2018年8月 検証実験地域を 決定 | 国土交通省 | ドローンを使った過疎地での配送の実証実験を行う。少子高齢化や人口減少に伴って地域内荷量が減少し、積載率の低いトラックによる非効率な輸送が行われている等といった課題を抱える地域が対象となる。全国5カ所程度で安全性や費用対効果などを検証する。 |

出典：各種公開情報より作成

3.3.11 流通業における利用動向

(1) 分野動向

流通業ではEC市場が拡大し続けている^{*49}。ECでは、顧客データの入手や蓄積が容易であることから、それらのデータを利用し、利益の増大を目的としたAI活用が進んでいる。実店舗においても、店舗内に設置したカメラによる画像取得などデータ取得の方法が多様になってきており、AI活用に利用されるようになってきている。

流通業におけるAI利用の最大の目的の一つにはマーケティングや顧客の個別対応などによる売り上げの増大がある。元々、データマイニングにより分析が行われている分野であり、より高い効果を期待してディープラーニングによる分析に取り組む企業が多いとみられる。

ただし、薄利多売の流通業においては、特に実店舗での導入において、「AIの利用によっていくら売上が上がるのか」という費用対効果が問われる。技術的に、購買情報、位置情報、画像データなどを駆使したレコメンデーションが行えるとしても、単価が安いものの購買促進目的では割に合わない場合も少なくないと考えられる。

他方では、店舗スタッフなど、深刻化する労働力不足を補うために、決済や顧客サービス等の分野でAIを活用するという方向性も見られる。

流通業では、具体的にどのような成果を得るためにAIを用いるのかというビジョンの設定が求められている段階といえる。

*49 経済産業省Webサイト「電子商取引実態調査」<http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/statistics/outlook/ie_outlook.html>

(2) 活用状況

ECにおけるAI活用分野には、購入促進、レコメンドエンジン、顧客分析、物流の効率化などがあり、データと開発基盤を持っている大手のWeb企業で導入が進んでいる。また、それらの機能をツールとして販売している企業もある(表3-3-16)。

■表3-3-16 AIを活用したツールの提供事例

| 利用分野 | 企業名 | 概要 |
|------|----------------------|--|
| 購入促進 | Emotion Intelligence | 購買行動解析・販促サービス「ZenClerk」を提供。感情を解析するAIが顧客の気持ちに合わせ、最適なタイミングで販促を促す。2018年5月には、不動産業界向けのリアル接客支援ツール「ZenClerk Lens」の開発・販売に向け、DGコミュニケーションズとの業務提携を発表した。 |
| | WACUL | Google Analyticsのアクセス解析データを自動で分析し、具体的な改善方法を提示する。2018年5月に、Webサイト上のCVと売上額などのビジネス指標を紐づけ、CVの価値をより適切に評価できる機能を追加した。 |

出典:各種公開情報より作成

実店舗でのAI活用分野は、店舗マーケティング利用や、顧客対応、棚割り業務支援など多岐にわたり、ベンダーから多数のソリューションが提供されている(表3-3-17)。

■表3-3-17 実店舗における流通業でのAI活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|--------------------|------------------|---------|--|
| 店舗マーケティング | 2017年11月 導入 | パルコ | 商業施設「PARCO_ya」で来店人数計測カメラと年齢・性別判定カメラを設置し、取得、蓄積したデータをAIにより解析しマーケティングに活用する。開発パートナーはABEJAである。 |
| | 2015年10月 提供開始 | ABEJA | 小売・流通向けのSaaS「ABEJA Insight for Retail」を提供している。小売店に設置されたカメラの動画を分析し、マーケティング施策の立案などにつなげる。同社の詳細は本文を参照。 |
| | 2015年11月 導入 | ビジョンメガネ | 顧客属性や顧客行動などの分析データをマーケティング施策の効果検証や売り場づくりに活用する。開発パートナーはABEJAである。 |
| 個客対応 | 2017年9月 導入 | はるやま商事 | 感性や好みを個別に解析するAI「SENSY」を使い洋服が似合うかどうかの判定を行う。就活スーツが似合うかの判定をLINEで提供するサービスをリリースした。 |
| 社内の 問い合わせ 対応 | 2017年2月 発表 | イオンリテール | 店員向けの社内向けコールセンターで自動対応を導入。音声または文字で入力する。2017年に従業員約2万人にスマートフォンを配備する。対話システムにはWatsonを採用した。 |

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-----------|-----------------------|-----------------|---|
| 店舗運営の自動化 | 2017年6月に発表、開発段階 | ファミリーマート、LINE | 入店時にスマートフォンをかざして認証を行う。顧客属性に応じて店内ディスプレイにて商品をレコメンドする。会計は画像認証で、LINE Payでの決済で買い物を完了する。消費者の購買行動を予測し、店員に行うべき業務の提案を行う。 |
| 商品の詳細情報提供 | 2016年11月～2017年1月に実証実験 | セブン&アイ・ホールディングス | コンビニエンスストアの陳列棚の商品にスマートフォンをかざすと、商品情報が表示される。外国語での情報提供、アレルギーの人向け詳細情報の提供を目的とする。NTTの画像認識技術により3次元の物体を認識する。 |
| 棚割り業務支援 | 2018年3月発表 | NTTドコモ | スマートフォンなどで商品陳列棚を撮影すると、画像にどの製品が何個あるかを検出する。在庫状況の把握、指示通りに陳列が行われているかの確認などが行える。 |
| | 2018年9月販売開始 | NEC | 店頭棚割画像解析サービスを提供。スマートフォンで撮影した画像をクラウドに送信することで画像認識により商品を自動で識別し、棚割のデータ化を効率化する。 |
| 在庫最適化 | 2015年導入 | ローソン | 過去の販売実績やその日の天候などを踏まえ、AIが最適な商品数を算出し提案する発注システムを全店舗に導入した。 |
| 問い合わせ対応 | 2017年11月導入 | セブン&アイ・ホールディングス | 国内のショッピングセンターで初めて、人型ロボット「アクトロイド」を案内所に導入した。ロボットはAIと連携し、精度の高い会話ができる。 |
| レジの自動化 | 2013年発売開始 | ブレイン | 画像認識により会計を行うレジシステム。セルフサービスタイプのパン屋向けに、画像認識で商品の種類を判別し合計金額が算出される「BakeryScan」を販売する。2017年中に100台以上を販売した。 |
| | 2017年7月実証実験 | サインポスト | 画像認識による自動レジ「ワンダーレジ」を開発。認識エリアに商品を置くと、画像から自動的に商品名と金額を認識し、合計金額が計算される。 |
| 物流の自動化 | — | シーオス | 物流トラックの配車システムにAIを活用。過去の配車データをビッグデータとして解析し、配車の傾向を読み取り、計画もとに未配車データに対して配車の指示をする。 |

出典：各種公開情報より作成

ECサイト、実店舗ともに利用が増えているのが、チャットボットによる対話システムである。社外（顧客向け）社内（従業員向け）双方のFAQや問合せ対応を、対話システムにより自動化するものである（表3-3-18）。

■表3-3-18 チャットボットの活用事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-------------|-------------------|-----------------|---|
| 問い合わせ 対応 | 2017年 導入 | アスクル | ECサイト「LOHACO」のFAQにチャットボットを採用し、問合せ対応の工数を削減。2017年4月に対話システムとしてWatsonを導入したと発表した。 |
| | 2018年7月 サービス開始 | ファースト リテイリング | 商品の提案や店舗在庫の確認を自動で回答するチャットボット「UNIQLO IQ」を2017年9月に試験運用を開始し、2018年7月から本サービスを公開している。 |

出典:各種公開情報より作成

その他にも、画像認識を査定に活用する買取サービスが登場している。画像認識は、コンサートのチケット転売を防ぐための来場者の顔認証にも利用されている例がある(表3-3-19)。

■表3-3-19 画像認識を活用したネット取引の事例

| 利用分野 | 時期 | 企業名 | 概要 |
|-------|-------------------------|------|---|
| ネット取引 | 2017年6月 サービス開始 | バンク | 画像認識を使い、スマートフォンで撮影した画像を送るだけで査定が行われる個人の持ち物を買取るサービス「CASH」を提供。 |
| | 2017年11月開始 2018年8月終了 | メルカリ | フリマアプリの最大手メルカリが上記CASHと同様のサービス「メルカリNOW」を開始するが、約8カ月で終了。 |

出典:各種公開情報より作成

以下に、小売・流通向けのプラットフォームを提供するABEJAに対するヒアリング結果を示す。

AIプラットフォーム「ABEJA Platform」を提供する 株式会社ABEJA

■事業概要

ABEJAでは、AIプラットフォーム「ABEJA Platform」にて、AIの継続的なインテグレーションに必要なデータ取得、蓄積、学習、デプロイ、運用(推論・再学習)の実装が可能な包括的なパイプラインを提供している。ダイキン工業、武蔵精密工業、コマツなどと協業し、100社以上でAIの本番運用を実現した。また、同プラットフォームをコア技術として小売・流通向け、製造業向け、インフラ業向けの業界特化型SaaS(Software as a Service)である「ABEJA Insight」を提供し、パルコ、Francfranc、ICI石井スポーツなど国内大手小売・流通企業を中心に、約100社520店舗以上(2018年8月末時点)の導入実績がある。2017年3月にはシンガ

ポール共和国にも現地法人を設立し、ASEANを中心としたグローバル展開も進めている。

「ABEJA Insight for Retail」の主眼は、「マーケティング」のために必要なデータをテクノロジーの活用で可視化することであり、カメラ画像から取得した解析結果は「最も主とするインプットデータの一つ」となる。その精度向上としてディープラーニングを活用する。各種カメラで取得した画像をインプットし、「カウンティング(来店者人数自動計測)」、「棚前滞在率測定」、「デモグラフィック(来店者の年齢性別属性推定)」を解析する。アウトプットとしては、ダッシュボード画面で、来客人数、購入人数、客単価、買上率などのデータを可視化することができるほか、時間や客層別の傾向分析も行え、店舗の課題解決やマーケティング施策の計画につなげられる。なお、2018年5月には、リピート客を推定する「リピート推定」機能の提供も開始した。

今後、ABEJAはコア技術である「ABEJA Platform」のビジネスへの適用を促進するためのパートナープログラム「ABEJA Platform Partner Ecosystem」を展開し、国内外問わず多様な業界に対してディープラーニングをはじめとするAIの社会実装を推進している。

■ AI活用における課題

ABEJAによれば、AI導入を「決められない」ユーザー企業が多いことが最大の課題であるという。リスクやメリット、事業のコストなどを含めて判断できる人がいない。AIの精度についても、95%で十分なのか99.99%が必要なのか、決められる人がいない。現場にいくほど完璧を目指す傾向があり、社長が95%でよいといっても現場では100%でないと使えないという議論になることもあるという。

AIの活用のためには知見のある人材が必須だが、経営・ビジネスと技術の両方が分かる人材が必要になる。経営者とのディスカッションを通じて、経営課題をユースケースに落としこめる、経営コンサルのスキルがありAI技術も理解している人材となると、非常に不足しているという。

データの利用に関しては、アノテーション^{※50}の作業の負担は大きいため、ABEJAは2017年12月からABEJA Platformの一つの機能として、「ABEJA Platform」のユーザーに対してアノテーションツールと人材委託サービスの提供を開始、2018年9月には、アノテーションツールの機能を大幅に拡張し、人材委託サービスとともに、アノテーションサービス単体での提供も開始した。アノテーションを行うリソースは、国内企業以外に、インド、ベトナム、タイなど海外パートナーを含め合計1万人規模の人材を確保しているが、リソースを割り当てると早々に空きはなくなった。アノテーションは労働集約的な作業だが、それによって学習済みモデルの精度が変わる。まだ重要性が理解されていないことは課題であり、国などによる支援にも期待しているという。

3.3.12 行政における利用動向

(1) 分野動向

政府や地方自治体では、行政サービスのスピードアップ、利便性向上、付加価値の高い業務への注力などを目的としてAIを活用する動きが起きている。

チャットボットや対話システムによる質問への回答システム、職員向けの内部業務用のシステム、

※50 アノテーションとは、AI、特にディープラーニングを活用するための運用工程の一つであり、大量のデータを識別及び分類し、教師データ(正解データ)を作成する工程である。精度の高い学習済みモデルを生成するうえで重要な工程である一方で、自動化が難しい領域であり、人手によるデータの識別及び分類が必要となる。

市民に外部公開するシステムなどの実証実験の実施や導入検討が行われている。三菱総合研究所は、個別のシステム開発だけではなく、自治体向けに標準的に利用できるシステムとして「AIによる住民問合せサービス」を開発する。自治体からの要望を吸い上げソリューション開発に活かすことを目的とし、2017年7月に、全国46の地方自治体と「行政情報標準化・AI活用研究会」という組織を立ち上げた。

(2) 活用状況

行政でAIを利用する事例には、表3-3-20がある。

■表3-3-20 行政におけるAIの活用事例

| 利用分野 | 時期 | 省庁・自治体名 | 概要 |
|----------------|------------------------------------|---------|--|
| 行政事務自動化 | 2018年度以降5年間で 試行導入から本格導入を 進める | 特許庁 | 特許行政事務のうち、特許・実用新案※51・意匠・商標それぞれについて、受付、方式審査※52、分類付与※53、実体審査※54までを対象として、AIの適用可能性の検討を行った。AI技術導入の可能性ありと判断されたのは、質問応答、紙出願の電子(テキスト)化、出願書類の印影確認、書類の誤記確認、先行図形商標の調査である。関連技術が存在しないと判断されたのは、意味の理解、内容を踏まえたうえでの高度な判断といった、機械的には行えない業務である。 |
| 国会答弁の 下書き作成 | 2016年末～2017年3月 実証実験 | 経済産業省 | 国会答弁の下書きをAIによって作成する実証実験を行った。AIに、過去5年間の国会の議事録を読み込ませて学習させる。そのうえで、想定質問を入力すると、参考になる情報(過去の関連質疑や論拠など)をAIが提示できるかを実験した。2018年1月時点では、経済産業省は、あいまいな発言の理解能力が不足していることをAIの課題とみており、導入に向けた検討を進めている。 |
| 問合せ対応 | 2017年秋実証実験、 2018年3月実用化 | 大阪市 | 戸籍に関する窓口業務へのAI導入を進める。養子縁組や国際結婚など戸籍に関する審査や判断を行う際に、職員が端末にキーワードを入力すると、AIが民法や戸籍法などの関連法規や過去の事例を用いて回答案を示す。また、議事録作成の時間短縮のためにAIの活用を検討するとも発表している。 |
| 保育所入所選考 | 2017年実証実験 | さいたま市 | 保育所入所の割り振りを決める業務にAIを活用する実証実験を行った。世帯年収、祖父母の同居、母親の勤務時間などの条件による優先順位、きょうだいで同一施設に入居したいか、など様々な条件から申請者と保育施設の最適なマッチングを行う仕組みである。これまで20～30人の職員が多くの日数をかけていた業務だが、2017年8月には富士通研究所が開発したシステムは数秒で結果を算出し、人の判断とほぼ変わらなかったという。 |
| 問合せ対応 | 2016年9月実証実験 | 川崎市、掛川市 | 三菱総合研究所の「AIによる住民問合せ対応サービス」の実験として、子育てに関する行政サービスを対象としたチャットボットの実証実験を川崎市と掛川市で同時に実施した。川崎市の実施報告書によると、サービスに満足したという回答は約半数、約9割の利用者が今後も継続して利用したいと回答した。2018年2月と3月に三菱総合研究所は、上記2カ所を含む30以上の自治体で実証実験を行い、10月からの商用サービス化を目指している。 |

出典：各種公開情報より作成

※51 特許・実用新案：特許は「物(プログラムを含む)・方法」を保護対象とし、実用新案は「物品の形状、構造又は組合せ」を保護対象とする。

※52 方式審査：特許申請が手続的、形式的な要件を満たしているかどうかについての審査。

※53 分類付与：検索性の向上などのために、各特許文献に、技術情報に対応した分類を付与すること。

※54 実体審査：出願された技術などが、特許権の取得に該当するかどうかの判断をするための審査。

3.3.13 その他の利用動向

(1) RPA (Robotic Process Automation)

RPA (Robotic Process Automation) は、ホワイトカラー職種の業務オペレーションに対する、ソフトウェアロボットによる業務自動化の取組みである。これは、操作画面上から処理手順を登録しておくだけで、通常必要となるプログラム開発をせずとも、多様なアプリケーション等を活用し、これまで人が行っていた特定業務を人間同様に処理することができる。

PRAがAIであるかどうか、については見方が分かれるところである。一般には、狭義のRPA^{*55}と、広義のRPA^{*56}の2つが存在する。広義のRPA (RPAはAIを含むとする) には、3つの段階が存在するとされる(表3-3-21)。Class1では、ルール化が可能な定型業務の自動化を、Class2では機械学習やAIを含む一部非定型業務の自動化を、Class3では分析・判断・意思決定などの高度な自動化を実現する。狭義のRPAとは、Class1部分のみを指す。現在、企業で採用され始めているのは、ほぼすべてClass1のRPAである。これは、AIというよりExcelでユーザーが登録した作業を自動で繰り返し処理するマクロファイルのようなものである、と表現するのが適当であろう。

■表3-3-21 RPAの3つの段階

| 段階 | 概要 | 概要 |
|-----------------------------------|---|--|
| Class1 定型業務の 自動化 | <ul style="list-style-type: none"> ・ルール化が可能な単純作業、大量集約的な業務の自動化 ・データ入力や、複数アプリケーションの連携及び横断処理が可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・人事・経理・総務・情報システムなどの間接部門(バックオフィス)の事務・管理業務 ・販売管理や経費処理、アプリケーションを横断する入力処理など |
| Class2 一部非定型業務の 自動化 | <ul style="list-style-type: none"> ・構造化されていないデータの収集や分析が必要な業務の自動化 ・機械学習やAIを用いたRPAによって、オートメーション化の範囲と質の向上が可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・セキュリティログの分析、様々な要因を加味した売上予測、Webのレコメンド広告など、多種のデータをもとに分析を自動化する処理 |
| Class3 分析・判断・意思決定 などの高度な自動化 | <ul style="list-style-type: none"> ・自然言語処理、ビッグデータ分析、個別最適化処理の自動化 ・機械学習やAIを用いたRPAによって、オートメーション化の範囲と質の向上が可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・ヘルプデスクや、季節や天候に左右される仕入れ管理、経済情勢を加味した経営判断など、大量データを学習して最適判断が必要な個別最適化された業務 |

出典:「RPA(ロボティック・プロセス・オートメーション)市場の実態と展望2018」矢野経済研究所(2017年11月)

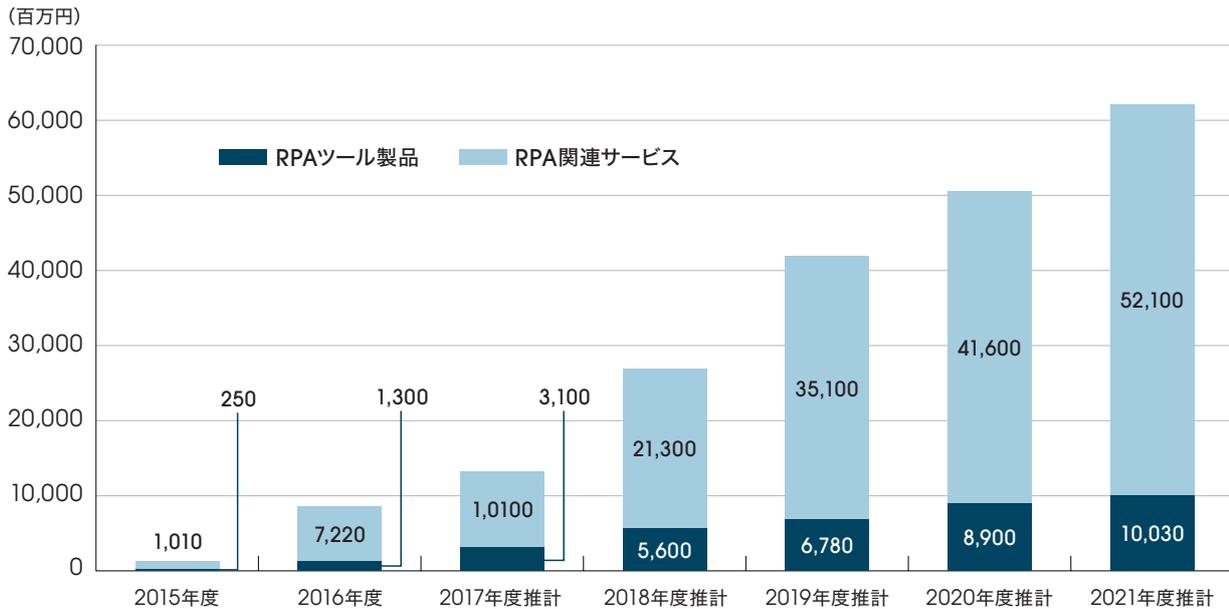
矢野経済研究所では、RPA市場規模を予測している。RPA市場規模は、2017年度に132億円であると推計しているが、高い伸び率で市場は成長し、2021年度には、621億3,000万円まで成長すると推計する(図3-3-14)。

市場の状況は、欧米での注目度の高まりや、国内の有力ベンダーの展開を受け、2016年前半には、国内でもコンサルティング企業を中心にサービス提供の取組みが進んだ。2016年7月には、日本RPA協会の設立を受け、大きく注目が集まった。2017年には、金融・製造・小売業を中心にツール導入が進んだとみられる。

※55 RPAはAIを含まないとする定義。

※56 RPAはAIを含むとする定義。

■ 図3-3-14 RPA市場規模の推移(2015～2021年度) ※57



出典:「RPA(ロボティック・プロセス・オートメーション)市場の実態と展望2018」矢野経済研究所(2017年11月)

RPAは、汎用性の高さから活用領域が多岐にわたる。全業界に共通する基幹業務におけるRPA活用では、人事・財務経理・IT・サプライチェーンの業務領域で活用が進んでいる(表3-3-22)。

■ 表3-3-22 RPA適用領域例(業務領域別)

| 業務領域 | RPA活用業務例 |
|----------|--|
| 人事 | <ul style="list-style-type: none"> 給与計算とチェック、福利厚生業務 休暇申請の処理・管理 複数のERPに対する従業員情報のメンテナンス 人事考課結果の入力管理 |
| 財務経理 | <ul style="list-style-type: none"> 請求書処理や売掛金・買掛金などの仕訳 督促や回収業務 財務マスターデータの作成 固定費分析などの財務レポート作成 |
| IT | <ul style="list-style-type: none"> ソフトウェアのインストール及びメンテナンス ファイル管理やサーバー監視 プリンターのセットアップ 各アプリケーションに対する新規アカウント作成 |
| サプライチェーン | <ul style="list-style-type: none"> 在庫管理や所在監視などに関わる業務 作業依頼や指図管理の指示出し 物流管理、返品処理業務 契約管理業務 |

出典:「RPA(ロボティック・プロセス・オートメーション)市場の実態と展望2018」矢野経済研究所(2017年11月)

これらに加え、各業界の特徴的な業務についてもRPAの活用が進む。現時点で特に積極的に採用されている業界として、金融・保険・小売・通信・医療が挙げられる(表3-3-23)。

※57 RPA関連企業売上高ベース。

■表3-3-23 RPA適用領域例(業界別)

| 業務 | RPA活用業務例 |
|----|---|
| 金融 | <ul style="list-style-type: none"> ・ローン審査やクレームの照合処理 ・新規口座開設の認証やデータ確認 ・フォーム記入やレポート作成 |
| 保険 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規契約事務手続き ・保険請求処理 ・各種情報にもとづいた適正保険料の算定 |
| 小売 | <ul style="list-style-type: none"> ・在庫状況や商品情報管理 ・Web注文情報の入力 ・ERPへの顧客や受注情報の入力 |
| 通信 | <ul style="list-style-type: none"> ・顧客データの収集とアプリへの情報連携 ・顧客システムからのバックアップ情報収集 ・競合企業の価格情報抽出 |
| 医療 | <ul style="list-style-type: none"> ・患者データの連携や保管処理 ・診察記録や看護記録の作成及び送信 ・医療費の請求処理 |
| 政府 | <ul style="list-style-type: none"> ・各種申請手続きの照合処理 ・下請け業者への業務割り振り ・システム移行に伴う情報連携と統合 |

出典：「RPA(ロボティック・プロセス・オートメーション)市場の実態と展望2018」矢野経済研究所(2017年11月)より作成

(2) スマートスピーカー／音声認識

2017年は、日本のスマートスピーカー元年となった(表3-3-24)。2017年10月にGoogleの「Google Home」、LINEの「Clova WAVE」、11月にAmazonの「Amazon Echo」が相次いで発売された。米国では、Amazon Echoが2014年、Google Homeが2016年に発売されていたが、2017年は日本市場での本格展開が開始されたことになる。それぞれ音声認識エージェントを搭載しており、音声入力によって音楽を流したり、検索ができたり、対応するスマート家電のコントロールができたりする。ソニーやオンキヨーなどの国内メーカーもスマートスピーカーを発売したが、それらはGoogleの音声認識エージェント「Googleアシスタント」を活用する。Microsoftは、ハードウェアとしてスマートスピーカーは持たないが、音声認識エージェント「Cortana」を提供している。Appleは「HomePod」を2018年2月に発売した(日本での発売時期は未定)。

■表3-3-24 代表的な音声認識エージェント

| 企業名 | スマートスピーカー製品名 | 音声認識エージェント |
|-----------|--------------|--------------|
| Amazon | Amazon Echo | Alexa |
| Google | Google Home | Googleアシスタント |
| LINE | Clova WAVE | Clova |
| Microsoft | — | Cortana |
| Apple | HomePod | Siri |

出典：各種公開情報より作成

スマートスピーカー業界で最も強力なポジションを築くのは、Amazonである。特徴は、エコシステムの構築のためSDKを公開し、サードパーティのハードウェアメーカーへサービスを開放している点である。アプリに相当する「スキル」の数は、グローバルでは2017年11月末で約2万4,000に達する。日本国内で、Amazon Echoが発売された時の国内のスキル数は265だったが、2018年1月17日の時点では450を突破したと発表されている。スキルの種類や提供企業は多彩であり、メディア、エンターテインメント、交通(航空、鉄道、バスなど)、旅行サービス、食品デリバリー、銀行、保険会社などがある。2017年8月に、AlexaとMicrosoft Cortanaの連携が発表され、2018年8月にプレビュー版が公開となり、オフィス分野との連携も進むと考えられる。

音声認識は、自動車でも活用が進む。運転中に、モニターに視線をそらしたり手で入力を行うことなく、安全に情報を得たり音楽をかけたりできるため、音声との親和性が高い。自動車メーカーは、ドライバーと車がコミュニケーションするスマートカーの開発を進めており、トヨタ自動車、日産自動車らが相次いでAlexaの導入を進める。2018年2月現在、すでに日産のEVリーフの充電状況やバッテリー状態、エアコン、充電の操作を行うスキルが提供されている。

これらのスマートスピーカーの役割は、音声による「対話」より、音声を使った「操作」が主体となる。現時点では、人の会話を理解し、対話が行えるほどの自然言語処理能力はないが、アプリや家電の操作、ニュースや天気の確認、銀行口座残高の確認など、エージェントへの指示を理解する能力は一定のレベルに達している。

スマートスピーカーの登場によって、機械とのインターフェースが「声」になる傾向は加速すると予想され、これはAIの利用シーンを大きく拡大する可能性がある。コンシューマー向けのスマートスピーカーからスタートしたが、将来的にはオフィス内や接客用途など商用での幅広い展開や、「操作」だけではなく「会話」を行える技術の高度化が予想される。

3.4 ▷ 海外における利用動向

本節では、AI技術の産業への応用の海外での具体的事例を紹介する。

3.4.1 製造業における利用動向

海外でも同様に、AI活用分野としては、画像解析による外観検査・検品、工場内の作業監視によるミスの防止、製造設備のセンシングデータを分析した異常検知などが挙げられる(表3-4-1)。

■表3-4-1 製造業でのAI活用事例(海外)

| 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|---------------------|--------------|-------|---|
| Rockwell Automation | 2017年11月発表 | 米国 | 製造オペレーションのモデル化、監視、最適化を行うAIモジュールを開発すると発表。例えば、ボイラーの温度変化が上流工程での変更により問題ないものであるか、修正が必要な異常なものであるかを自動的に判断する。 |
| Siemens | 2017年11月提供開始 | ドイツ | 世界でクラウドベースの産業用オープンIoTオペレーションシステム「MindSphere(マインドスフィア)」の最新バージョン「MindSphere v3」をリリース。同社の詳細は本文参照。 |
| 3D Signals | Webページ公開 | イスラエル | ディープラーニングを適用した超音波センサーを使ったソリューションを用い、工場内の設備の稼働音を判断し、機器故障の事前検知を行う。これまで熟練工が行っていた業務をAIが代替する。 |
| Citrine Informatics | Webページ公開 | 米国 | AIを活用した大規模な素材データベースを運営する。素材の組合せによる特性などを予測できるため、製品開発などの期間を短縮できる。 |

出典:各種公開情報より作成

工場のスマート化における世界的な動向を見るうえでベンチマークとすべき重要な企業の一つとして、ドイツのSiemensが挙げられる。Siemensは、Industrie 4.0の主軸企業で、スマート工場を推し進めている。同社に対するヒアリング結果を以下に示す。

Industrie 4.0をベースにスマート工場を推進する Siemens

■事業概要

Siemensは、物理的なバリューチェーンを全体にわたってデジタル化することが最終的な目標であるとして、産業のデジタル化への取組み「デジタルエンタープライズ」を推進している。PLM^{*58}による製品の設計企画やシミュレーション、MES^{*59}、MOM^{*60}による生産計画、製造、さらには工場稼働しているシーケンス制御、インバーター、モーション制御、モーター制御

※58 Product Lifecycle Management : 製品ライフサイクル管理

※59 Manufacturing Execution System : 製造実行システム

※60 Manufacturing Operations Management : 製造オペレーション管理

など、これらを一体で活用できるものが「デジタルエンタープライズ」である。同社の製品は、PLMといったソフトウェアから、PLCなどのFA機器まで広範囲にカバーしており、設計から製造、生産現場に至るまで、多くのノウハウ・ツールを持つ。設計を担うPLMから、製造実行系のMES/MOM、製造現場の自動化等を支援するFAまで、ソフトからハードまでを一気通貫で提供できるプロバイダーであるといえる。

■スマート工場プラットフォームの概要

Siemensは、2017年11月に世界でクラウドベースの産業用オープンIoTオペレーションシステム「MindSphere (マインドスフィア)」の最新バージョン「MindSphere v3」をリリースした。MindSphereは、工作機械などに設置したセンサーから振動や温度などのデータを収集し、工場の稼働状況をデジタル化して管理するためのIoTプラットフォームである。データ分析によって予防保全、エネルギーデータ管理、リソースの最適化などにつなげることができる。

Industrie 4.0を主導するシーメンスだが、その根本にモジュール化、標準化の思想があるという。これまで、ネットワークプリンターなどのオフィス機器が、ネットワークを介して自由に接続できるようになってきたが、それと同じように、工場においてもネットワークを介して自由にあらゆる機器等を接続できることが重要としている。そのためには、工場における各種機能を定義し、モジュール化していく必要があり、同社においてもその取組みを進めている。

MindSphereは、AWSやMicrosoft Azureなどといったオープンなクラウド上でも展開でき、また、設計・製造等に係わる各種ソフトウェア群についてもモジュール化している。ソリューションとしては垂直統合的に一気通貫で提供できるだけのポートフォリオを維持しているが、それは上流から下流までを独自のソフトウェアで賄おうとするものではなく、モジュールとして必要に応じて提供できる構成となっている。

■その他の戦略

2017年3月には、米国の電子系設計ソフトウェア開発企業Mentor Graphicsを45億ドルで買収した。「デジタルエンタープライズ」の取組みを加速させるため、従来のFA領域や機械製造に留まらずMentor Graphicsの持つ半導体設計等電子設計自動化(EDA)にもポートフォリオを拡大するものであり、業界の注目を集めた。製造業におけるIoT化をさらに進めていくSiemensの戦略といえる。

3.4.2 自動車産業における利用動向

自動車産業における自動運転分野では、自動車メーカー及びGoogleなどのIT大手に加え、ベンチャー企業が参入し、また、大手企業による買収も活発であり、自動運転の早期実現に向けた競争が加速している。産官学共同の取組みもみられ、ドイツではドイツ経済エネルギー省(BMWi)が主導し、自動走行システムにはどの程度の性能が期待されるのか、要求水準をどのように確認するのかを明らかにするためのプロジェクト「Pegasus(ペガサス)」が進められている。OEMではBMW、Volkswagen、Audiなど、サプライヤーではBosch、Continentalなど、研究機関ではFKA(アーヘン工科大自動車技術研究所)などが参加している。

欧州や米国での自動運転による宅配の事例には表3-4-2がある。

■表3-4-2 自動運転による宅配の事例

| 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|-----------------------|-----------------------|-------|--|
| Starship Technologies | 2017年4月報道 (各種メディア) | エストニア | Domino's Pizzaとの提携で小型の自走式ロボットを開発し、ドイツなどでサービスを開始した。Domino's Pizzaの他にもDoorDash ^{※61} やPostmates ^{※62} なども宅配サービスの提携を結ぶ。同社の発表によると、2017年8月には世界100都市でテストを行っているという。 |
| Ford | 2017年8月発表 | 米国 | 2017年8月にミシガン州アナーバーでDomino's Pizzaと共に自動運転車での宅配のサービスを行うと発表。 |

出典:各種公開情報より作成

自動運転による公共交通サービスは、ドイツで開始されている。ドイツ鉄道は、2017年11月に、バート・ビルンバッハ市でSAEレベル3の自動運転車を使った公道での運行を開始した。ドイツで初めての自動運転バスで、小型の電気自動車を使い約700mの距離を時速約15kmで走行する。自動運転バスには、緊急事態に備えて職員が搭乗する。ドイツ鉄道は、2018年に同様のバスをハンブルグ市に導入する計画だ。

世界の自動車メーカーは、ライドシェア、カーシェア企業に対して、提携、出資、買収するといった動きを見せている。自動車は、個人が「保有」するものという考えから、ライドシェア、カーシェアで「利用」するもの、移動というメリットを享受するためのサービスを受けるものへと価値観が変化している。自動車メーカーの取組みには表3-4-3、表3-4-4がある。

■表3-4-3 自動車メーカーのライドシェアへの取組み

| 自動車メーカー | ライドシェア企業 | 取組み |
|---------|-----------------------|--|
| トヨタ自動車 | 米 Uber | 2016年に出資を発表 |
| | 中 滴滴出行 | 2016年11月に提携、滴滴出行は中国ライドシェアの最大手 |
| ホンダ | マレーシア Grab | 2016年に投資 |
| 日産自動車 | 中 滴滴出行 | 2018年2月に提携 |
| FCA | 米 Waymo / Google (提携) | 2018年1月に提携範囲を拡大すると発表、ドライバーレスの自動運転車によるライドシェアサービスを行う方針 |
| Daimler | 独 Fliinc (買収) | 2017年9月に買収 |
| | 米 Via (出資) | 2017年9月に投資。合併会社を設立し、欧州でサービス開始 |
| Ford | 独 Chariot (買収) | 2016年9月に買収 |
| | 米 Lyft (提携) | 2017年9月に提携を発表。2021年までに自動運転車を使った事業に取り組む方針 |
| GMW | 米 Scoop | 2016年6月に投資 |
| VW | イスラエル Gett (出資) | 2016年5月に3億ドルを出資すると発表 |
| GM | 米 Lyft (出資) | 2016年1月に5億ドル投資。自動走行車を使ったサービスを共同開発する。また、「Express Drive」として、Lyftプラットフォームを使ったレンタカーサービスを提供する |
| Baidu | 米 Uber | 2014年12月に投資 |

出典:各種公開情報より作成

※61 米国のレストランの料理宅配サービス。

※62 米国の食料品デリバリー。

■表3-4-4 自動車メーカーのカーシェアへの取組み

| 自動車メーカー | カーシェア企業 | 取組み |
|---------|-----------------------|--------------------------------|
| トヨタ自動車 | 米 Getaround | 2016年11月に投資 |
| BMW | 独 Sixt (提携) | 合併会社DriveNowでカーシェアサービスを提供 |
| FCA | 伊 ENI、Trenitalia (提携) | カーシェアサービス「ENJOY」をイタリアで提供 |
| PSA | 仏 Tripndrive (提携) | 2016年3月に提携 |
| Renault | — | カーシェアサービス「Renault MOBILITY」を提供 |

出典:各種公開情報より作成

自動運転分野にはベンチャー企業が多い。Reutersによると2017年秋の時点で、シリコンバレーだけで75社、世界全体で240社のスタートアップ企業がある。シリコンバレーにあるDrive.aiは、企業や政府、ライドシェアサービス向けにディープラーニングを用いた自動運転ソフトを開発している。ハンガリー発のAI Motiveは、完全自律移動運転用のソフトウェアを開発し、2017年12月には日本に進出した。英国では、2015年にFiveAIが誕生している。フランス発のNAVYAは、自動運転シャトルバスを開発している。日本でも、ソフトバンクグループのSBドライブが、NAVYAの自動運転シャトルバス「NAVYA ARMA」を導入し実証実験を行う。2013年設立のnuTonomyは、米国とシンガポールに主要拠点をもち、2017年8月に、世界初の自動運転タクシーの公開試験をシンガポールで行った。同社は「自動運転サービスの需要先としてはカーシェアリングなどのサービス企業も重視している。シェアリングカーは今後爆発的に普及し、やがて公道のシェアカーでもレベル4、5自動運転が活用されるようになるだろう。2025年には世界の100都市においてレベル4、5自動運転車が走っていると考える」とコメントしている。OEMメーカーや部品メーカーがベンチャーに提携・投資したり買収したりする動きも進んでいる。表3-4-5に、自動運転ベンチャーと大手企業の最近の動向を掲載する。

■表3-4-5 自動運転ベンチャーと大手企業の動向

| ベンチャー企業 | 大手企業 | 時期 |
|-----------------------|---------------------------|-----------|
| Cruise Automation (米) | GM(米)により買収 | 2016年3月 |
| TetraVue (米) | Bosch(独)が出資 | 2017年2月 |
| nuTonomy(米) | Delphi Automotive(米)が買収 | 2017年10月 |
| Aurora(米) | 現代自動車(韓)、Volkswagen(独)と提携 | 2018年1月発表 |

出典:各種公開情報より作成

完全自動運転(SAEレベル5)の実現に向けた各社の動きとして、Googleは自動運転車開発部門Waymoにおいて、人が関与しない完全自動運転の自動運転車の開発を進める方針である。Googleが自動運転の開発に着手したのは2009年である。2013年に社内で運転席に人が座ったスタイルでの自動運転車の走行実験を行ったところ、スマートフォンの操作や居眠りなど、突然運転しなくてはならなくなった場合に対応できない行動を取り、いざという時の状況認識ができない人が多かったという。そのため、危険な状況で人間が操作を引き継ぐのは極めて困難だと考え、人が関与し

ないという開発方針を決定している。Waymoは、2017年11月にドライバーのいない無人の自動運転車両の公道実験をアリゾナ州フェニックス近郊で開始したと発表した。これまでのテストは運転席に人が乗った状態で行っていたが、いよいよ無人での走行実現に乗り出している。また、同時に自動運転車を使ったライドシェアサービスを推進するため、公道実験を行う予定であると表明した。実現イメージはUberを使うように自動運転車を呼び出し利用できるサービスになるだろうとの見方を示している。

米国のGeneral Motors (GM) は、2018年1月に完全自動運転の量産車を、2019年までに公道で走行させる計画を発表した。完全自動運転の量産車は、ドライバーなしで運転する自動車として設計されており、車内にはステアリングやアクセル・ブレーキはもとより、手動操作のスイッチ類も備えない。

GMは、Google (Waymo) らのライバルに対抗して自動運転車の投入規模を拡大し、優位性を保とうと動いている。2017年に自動運転のEV車300台をテスト用に走らせる計画をスタートしており、この台数は世界最大規模である。カーシェアリングにおいては2016年にLyft社に5億ドルを投資し提携を結んでいる。2018年中には、数千台の自動運転車を走らせる実験を行う計画である。

Audiは、2017年7月にSAEレベル3の自動運転車を発表し、同年秋からドイツで販売を行っている。SAEレベル3以上の自動車を市販するのは同社が世界初となった。高速道路での走行で時速60km以下の場合に自動運転を実現する機能を備える。運転席に人は座るが、ステアリングから手を離して運転操作を自動車に任せられる。ただし、今すぐその機能を利用できるわけではない。ドイツは2017年6月に道路交通法の改正を行い、自動車に運転操作を任せるSAEレベル3の走行が認められたが、車両認証に関わる法律はまだ対応していない。そのため、SAEレベル3の自動運転機能を搭載した状態で自動車は出荷されるが、実際に機能を利用できるのは法律が改正されてからになる。

BaiduはIT企業であるが、2017年9月にはオープンソースによる自動運転車プラットフォーム「Apollo (阿波羅)」を発表し、「自動運転のAndroid」ともいべき地位獲得を図っている。このプラットフォームを用いて、2018年7月には大手バス車体メーカー金龍客車との協力により生産された自動運転小型バスの大量生産と試験運用を実現する計画を発表した。また、北汽 (BAIC) との提携により、2021年までにSAEレベル4の高度自動運転車を量産する見通しである。

3.4.3 インフラにおける利用動向

インフラの異常検知にAIを適用する取組みには、ノルウェーのeSmartSystems、設備運用にAIを利用する事例にはドイツのKONUXがある (表3-4-6)。

■表3-4-6 インフラ分野でのAI活用事例 (海外)

| 利用分野 | 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|------|---------------|-----------------------|-------|---|
| 異常検知 | eSmartSystems | イベント等で公表 (2015～2018年) | ノルウェー | ドローンの画像をAIで解析し、送電線設備の異常を検出するシステムを利用している。MicrosoftのAI技術を活用し、1時間以内に10万枚の画像を分析する。 |
| 設備運用 | KONUX | Webページ公開中 | ドイツ | AIを利用して鉄道のネットワークを可視化し、メンテナンスを効率よくできるサービスを提供している。具体的には、分岐機にセンサーを搭載してリアルタイムでモニタリングし、機械学習の予測アルゴリズムによって、過去の振動や圧力などから潜在的な障害を検出することができる。成果としては、検査及び保守コストを25%以上削減した例もみられる。KONUXは、鉄道分野のみならず、産業用機械を利用する企業に対して、AIやセンサーによって資産管理をデジタル化する試みを行っている。 |

出典: 各種公開情報より作成

3.4.4 農業における利用動向

米国では、AI技術を使い農作業を行うロボットベンチャーが登場している。米国は農地が広大であり、ロボットを使った作物の管理による効率化の効果が大きいものとみられる。また、ドローンを活用し、上空から得た画像認識によって作物や土壌の状況を分析するサービスも登場している。米国以外では、ドイツやカナダの企業が農業分野におけるAI開発を行っている(表3-4-7)。

■表3-4-7 農業でのAI活用事例(海外)

| 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|--------------------------|---------------|-----|--|
| Blue River Technology | Webページで公開中 | 米国 | スタンフォード大学(Stanford University、米国)出身の研究者によって2011年に創業されたベンチャー企業である。画像認識技術などを活用し、雑草にピンポイントで農薬をスプレーしたり雑草の除去を行ったりする農業用ロボットを提供する。2017年9月に大手農業機械メーカー「Deere & Company(ディア・アンド・カンパニー)」の傘下に入って以降、製品ジャンルのさらなる拡充を図っている。 |
| Harvest CROO Robotics | 2013年秋に試作品を作成 | 米国 | イチゴの収穫を行うロボットを提供する。同社によると、ロボットが一日8エーカー(3万2,374㎡)を収穫し、30名分の労働を代替できる。 |
| Trace Genomics | Webページで公開中 | 米国 | 農家を対象に土壌の健康度を測定するサービスを提供する。同社に土壌のサンプルを送付すると、有害な病原体や有用な微生物などのレポートを行い、機械学習によって土壌の強みと弱みの情報をクライアントに提供する。 |
| FarmShots | Webページで公開中 | 米国 | 衛星やドローン撮影した画像から、病気、害虫、植物の栄養不良を検出するサービスを提供する。同社によると、肥料の使用量を最適化することで使用量を40%削減できるという。 |
| PEAT | Webページで公開中 | ドイツ | ディープラーニング技術を使い、画像認識により、植物の害虫や疫病、養分欠乏などを診断するスマートフォンアプリ「Plantix」を開発した。ユーザーから送られてくる画像をもとに、害虫や疫病などのパターンを学習し、2017年12月時点で240種類の害虫や植物の病気を自動で診断することができる。 |
| SkySquirrel Technologies | Webページで公開中 | カナダ | ワイン農園向けに、ドローンによる作物の管理サービスを提供する。ドローンで得た映像から、ブドウの葉にカビやバクテリアによる病気が発生していないか、健康状況を分析する。同社によると、24分で50エーカー(20万2,342㎡)をスキャンし、95%の精度で分析結果を提供するという。2018年1月にVineView Scientific Aerial Imaging Inc.と合併して、VineViewが発足した。 |

出典:各種公開情報より作成

3.4.5 健康・医療・介護における利用動向

「3.2.1 認識技術の利用動向」で紹介したように、ディープラーニングによる診断支援システム・機器の中には、研究レベルから実用レベルに移行が進むものも現われ、2018年になって、アメリカ食品医薬品局(FDA)の市販の認可を受ける事例が出てきた。ここでは、それら以外の事例として、IBM、AmazonやGoogleなど、IT及びAIの主要企業の事例を紹介する。

IBMは、2015年に医療保健業界向け事業Watson Healthを立ち上げた。米国では6年ほど前から、癌の治療や研究に携わる民間の研究機関Memorial Sloan Kittering Cancer CenterとIBMが共同でWatsonの特徴である自然言語技術を使ってガイドライン、医療文献、患者の症例を学習させ、治療の選択肢を医師に提供する「Watson for Oncology」の開発を行っている。

2017年6月にIBMが行ったWatson for Oncologyと治験マッチングシステム「Watson for Clinical Trial Matching」の臨床的有用性を実証するデータの発表によると、推奨治療法についてWatsonと腫瘍委員会による結果が最大96%の症例で一致したという。

他方、2013年から進めていたテキサス大学(University of Texas、米国)のMDアンダーソン癌センターとの協業は2016年末には中止されている。

Watsonは、医療分野での経験が長いからこそ問題も明らかになっているともいえる。IBMは引き続きWatson Health事業を強化する姿勢であり、医療データ獲得や技術強化を目的として企業の買収を進めている。公衆衛生管理ソフトウェアのPhytel、医療クラウドサービスのExplorys、医療画像処理のMerge Healthcare、ヘルスケアデータ分析のTruvenを相次いで買収している。

Amazonは、2017年にシアトルで「1492」と称するヘルステックチームを立ち上げたと報道された。システムとハードウェアの両面からプロジェクトを進めているとされ、システム面には既存の医療データシステムのデータを消費者や医師へ提供できる仕組みの構築や、遠隔医療の実現が含まれる。また、スマートスピーカー Amazon Echoやバーコードリーダー Dash Wandなどのデバイスの医療分野での活用についても研究しているとみられる。2017年5月には医薬品の販売を専門に扱う部署も新設した。

Googleの医療研究子会社Verilyは2017年4月に大規模な医療研究プロジェクト Project Baselineの立ち上げを発表した。1万人の米国人モニターを募り、心臓モニタリング用ウェアラブル端末によるリアルタイムデータ、レントゲン、ゲノム、血液、唾や涙など詳細なデータを収集・分析する。心臓疾患や癌などの病気予防の手がかりを探るのが目的である。また、同社は2017年7月に、血液検査により癌早期発見技術を開発するベンチャー Freenomeに投資し、ラボを設立している。Freenomeの技術は、血液中のDNAの断片を機械学習によって分析し、癌の兆候を発見するというものである。

同じくGoogle傘下のDeepMindは、英国のMoorfields Eye Hospital NHS Foundation Trust、University College London Hospitals (UCLH)、NHS Foundation Trustといった英国民保健サービス(NHS)と提携し、画像を中心とした医療データの提供を受け、AIを活用した分析の研究を行っている。

高齢者の介護は、世界一高齢化が進んでいる日本だけの課題ではない。一人っ子政策で子供の負担が大きい中国や、将来的に社会の高齢化問題に直面する韓国やシンガポール、欧州などでも大きな問題になると予測され、AIを使った介護の取組みが始まっている。表3-4-8に事例を示す。

■表3-4-8 健康・医療・介護分野でのAI活用事例(海外)

| 利用分野 | 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|------|--|-----------------------|------------|---|
| 医療 | IBM Watson Health | 2015年設立 | 米国 | 癌の治療や研究に携わる民間の研究機関Memorial Sloan Kittering Cancer CenterとIBMが共同で、Watsonの特徴である自然言語技術を使ってガイドライン、医療文献、患者の症例を学習させ、治療の選択肢を医師に提供する「Watson for Oncology」の開発を行っている。詳細は本文を参照。 |
| | Amazon 1492 | 2017年設立 | 米国 | シアトルで「1492」と称するヘルステックチームを立ち上げた。システムとハードウェアの両面からプロジェクトを進めているとされ、システム面には既存の医療データシステムのデータを消費者や医師へ提供できる仕組みの構築や、遠隔医療の実現が含まれる。また、スマートスピーカー Amazon Echoやバーコードリーダー Dash Wandなどのデバイスの医療分野での活用についても研究しているとみられる。2017年5月には医薬品の販売を専門に扱う部署も新設した。 |
| | Verily (Googleの 医療研究子会社) | 2017年4月 設立 | 米国 | 大規模な医療研究プロジェクトProject Baselineの立ち上げを発表した。1万人の米国人モニターを募り、心臓モニタリングウェアラブル端末によるリアルタイムデータ、レントゲン、ゲノム、血液、唾や涙など詳細なデータを収集・分析する。心臓疾患や癌などの病気の予防の手がかりを探るのが目的である。また、同社は2017年7月にFreenomeに投資し、ラボを設立している。Freenomeの技術は、血液中のDNAの断片を機械学習によって分析し、癌の兆候を発見するというものである。 |
| | DeepMind (Google傘下) | 2016年開始 | 英国 | Moorfields Eye Hospital NHS Foundation Trust、University College London Hospitals (UCLH)、NHS Foundation Trustといった英国国民保健サービス (NHS) と提携し、画像を中心とした医療データの提供を受け、AIを活用した分析の研究を行っている。 |
| 介護 | 上海新松機器人 自動化有限公司 (Siasun Robot and Automation) | 2017年10月 発表 | 中国 | 同社は大手ロボットメーカー。2017年10月に高齢者用の介護ロボットを発表した。ロボットは家庭内の生活をサポートし、コミュニケーションや健康診断を行う。 |
| | パナソニック、 チャンギ総合病院 | 2015年7月 公表 | シンガ ポール | ロボットの活用に取り出しており、パナソニックの自律搬送ロボット「HOSPI」、自律型車椅子などを導入している。なお、パナソニックは、2018年1月に同ロボットにディスプレイを搭載した「Signage HOSPI」を用いた実証実験を成田国際空港で行った。 |
| | Accenture | 2017年8月 実証実験 開始 | 英国 | 2017年8月から3カ月の間、AIによって高齢者の介護と日常生活の管理を支援するプロジェクトを実施した。Amazonのクラウドサービス「AWS」をベースにしたAIプラットフォーム「アクセンチュア・プラットフォーム」を通じて、70歳以上の高齢者の生活習慣や行動を学習し、身体的・精神的支援を行った。高齢者の家族や介護士はプラットフォームから、薬の服用など日常的な習慣を確認できるほか、異常な行動パターンが検知された場合、通報を受けることができた。一方、高齢者はAmazon Echoを通して、家族や介護士に要望を伝えたり、地元のイベントや仲間作りに役立つ情報を得たりすることができた。 |

出典:各種公開情報より作成

3.4.6 エネルギー分野における利用動向

エネルギー事業者においてはAIを活用したエネルギー生産の効率化と安定供給、消費する企業においてはAIを活用した省エネの取組みがみられる。前者の例としてはChevron、後者の例としてDeepMindが挙げられる(表3-4-9)。

■表3-4-9 エネルギー分野でのAI活用事例(海外)^{※63}

| 利用分野 | 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|---------|----------|--------------|----|---|
| エネルギー生産 | Chevron | 投資家向けレポートで公表 | 米国 | 米国の大手石油開発企業である同社は、本社のあるカリフォルニアで、AIを用いた油田の監視によって、石油の収集効率を上げ、機器の故障を未然に防いでいる。新規油田の探査においても、石油貯留層を採掘すべきか否かの判断にディープラーニングを活用している。 |
| 省エネ | DeepMind | 2016年7月公表 | 米国 | Googleの関連会社であるイギリスのDeepMindは、すでに機械学習によってGoogleグループが利用する電力を15%削減し、数億ドルのコスト削減を見込んでいる。さらにAIを用いてイギリス全体を最適化することでインフラ投資を必要とせずに電力コストを10%カットする取組みを行っている。それ以外にも、2017年5月にイギリスのNationalGrid(送電網会社)と提携し、電力コストを削減する取組みも発表している。 |

3.4.7 教育における利用動向

AIを用いた適応学習の活用は海外で先行している。代表的な取組みの一つとしてKnewtonの事例を表3-4-10に示す。その他には、米国のSchoolology、DreamBox、McGraw-Hill Education傘下のALEKSなどが適応学習サービスを提供している。また、採点にAIを活用し、効率化を図る取組みもみられる。

■表3-4-10 教育分野でのAI活用事例(海外)

| 利用分野 | 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|------|---------|--|----|--|
| 適応学習 | Knewton | 2012年1月 Knewton Adaptive Learning Platform 関連製品を発表 | 米国 | 学習者の学習履歴、他の学習者の学習行動データ、人間の学習の仕組みに関する数十年にわたる研究をもとに、適応学習を提供している。2017年2月時点で世界1,400万人以上の学習者を対象に、理解度や進度、設定した学習目標に応じた、次の学習ステップを提案しており、リコメンド実績は280億回以上に及ぶ。また、Knewtonのサービスを活用することで、指導者は、学習者の進捗状況を分析することができ、学習者一人ひとりに合わせた最適な学習環境を整えることができる。Knewtonの理論は、心理統計学や項目応答理論、認知学習論、インテリジェントチュータリングシステムに関する研究成果にもとづくものとなっている。2018年1月には、高等教育を網羅した適応学習コース「alta」を提供し始めた。 |
| 採点 | 中国政府など | 2018年5月 報道 | 中国 | 2018年に、中国国内の6万校の教育機関にて、AIによる学生の論文の評価が採用され始めたと報道されている。中国政府などが開発したAIは、作文の全体的な論理や意味を分析し、スコアを付ける。その後、作文のスタイル、構造、テーマなどに対してAIが改善点を提案するという。 |

出典:各種公開情報より作成

※63 <<https://www.nextplatform.com/2017/01/24/refining-oil-gas-discovery-deep-learning/>>

3.4.8 金融業における利用動向

FintechとAIの活用を推進する米国企業の例として、Capital One、Goldman Sachs、JPMorgan Chaseにおける取組みを紹介する(表3-4-11)。

■表3-4-11 金融業でのAI活用事例(海外)

| 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|----------------|-----------------|----|---|
| Capital One | 2016年3月 提供開始 | 米国 | <p>同社は、世界に6,500万以上の口座を持つ大手金融企業である。クレジットカード事業においては、ビッグデータを分析し、顧客ごとに異なるリスク特性を特定し、リスクに合った金利及び使用限度額を設定する。また、カード以外にも住宅ローンやコールセンターへの問合せなどあらゆるデータを収集・分析し、顧客の嗜好に沿った店舗のクーポンの発行、ポイントプログラムの提供、コールセンターでの個別対応といったサービスを提供する。</p> <p>最近の取組みでは、2016年3月にAmazonの音声アシスタントAlexaを用いたオンラインバンキングサービスの提供も開始した。2017年3月には、携帯電話のSMS(テキストメッセージ)を使い、チャットボットで口座情報や最近の支払履歴、口座の銀行番号、口座間の送金手続きなどを行えるアプリ「Eno」のパイロット展開を開始した。</p> |
| Goldman Sachs | — | 米国 | <p>大手投資銀行のGoldman Sachsは、AIによる取引アルゴリズムを活用した株取引の自動化を推進している。また、不正行為を監視・防止するため、会話分析ソリューションを手がけるAIベンチャーDigitalReasoningのソリューションを用いている。これにより、トレーダーのメールやドキュメントなどの内容の意味やニュアンスを解析し、インサイダー取引などの不正行為を発見することができる。不正行為の摘発だけでなく、こうした行為を防止する抑止力になると期待される。</p> |
| JPMorgan Chase | — | 米国 | <p>米国銀行最大手のJPMorgan Chaseは、ビッグデータやロボット工学、クラウドインフラを専門とするチームを設置するなどして、事務業務の自動化に注力している。具体的には、機械学習とクラウド技術を活用した「Contract Intelligence (COIN)」と称するソフトウェアを用い、商業融資の契約内容を審査する作業を自動化した。大幅な時間短縮と解釈ミスの削減が実現したという。</p> |

出典:各種公開情報より作成

3.4.9 物流における利用動向

物流分野では、調達物流、拠点内物流、販売物流それぞれの分野で、AIを活用する取組みがみられる(表3-4-12)。

表3-4-12 物流分野でのAI活用事例(海外)

| 利用分野 | 企業名 | 時期 | 国名 | 概要 |
|-------|-----------------------|-------------------|----|--|
| 調達物流 | RollsRoyce | — | 英国 | AIによる自動航行と陸からの遠隔操作を組み合わせたハイブリッド型の操船システムを開発している。多数の船舶が存在する航路のない港湾内など、自動航行による危険性が生じる場合は、オペレーターが陸から遠隔操作する。2016年8月までEUが支援した研究開発プロジェクト「MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks)」の取組みの一つとして進められていた。2017年10月にRollsRoyceはGoogleと契約を結んでおり、機械学習を用いてAI技術を強化している。 |
| | Otto | — | 米国 | 配車アプリを提供するUberの傘下にあるOttoは、既存のトラックに搭載可能な自動運転システムの開発に取り組んでいる。2016年10月には、米国のコロラド州にて約200kmの距離を、ドライバーがまったく操縦せずに5万本のパドワイザー缶を運搬することに成功した。なお、2018年7月にUberは自動運転トラック事業を終了することを発表した。 |
| 拠点内物流 | Geek+ | — | 中国 | AI搭載物流ロボット「EVE」をAlibabaをはじめとする企業に提供している。2017年時点で20以上の顧客の物流倉庫などで約1,000台のロボットが導入されている。また、2017年8月には日本法人も設立している。 |
| | Fetch Robotics | 2015年9月 日本販売開始 | 米国 | 倉庫内のピッキング業務を行うロボットを開発している。棚に並んだ商品を掴むロボットアームを備えたFetch、Fetchに併走してピックアップされた商品を輸送する「Freight」、人間に併走して人間がピックアップした商品を輸送する「Follow pick」といったロボットを提供する。画像認識を活用しロボットアームで商品を掴み正確にピックアップできるほか、自律移動型で進行方向上にある障害物を避けつつ目的地まで到達できる。2015年9月から日本市場でも販売している。 |
| 販売物流 | SF Holdings (順豊控股) | 2018年3月 暫定免許交付 | 中国 | 中国はドローン配送の規制緩和が進められており、2018年3月には中国民用航空局華東地区管理局が宅配大手SF Express (順豊速運) を保有するSF Holdings (順豊控股) に、ドローンを使った商品配送の暫定免許を交付した。これにより、合法的に実際の配達を行うことができるようになった。 |
| | JD.com (京東商城) | 2017年実証実験 | 中国 | インターネット通販大手のJD.com (京東商城) は無人カートによる配送技術を開発し、2017年には中国の大学構内での自動配送の実験を行っている。無人配送車で配送の「ラストワンマイル」をカバーする取組みである。 |

出典:各種公開情報より作成

3.4.10 流通業における利用動向

米国では、Amazonを筆頭に流通業でAIが活用されている。Amazonは、ECにおけるAI活用に留まらず、無人店舗Amazon Goやスマートスピーカー Amazon Echo、音声対話エンジン Alexaなど、ユーザーのデータ獲得と新たなソリューション開拓を進めている。中国では、スマートフォン決済が普及しキャッシュレス化が進んでいる。無人店舗やキャッシュレス決済に関しては中国が先端的な取組みを行っており、電子決済アプリWeChat PayとAlipayが広く普及・浸透している。また、無人店舗や無人レジも実用化が進んでおり、顔認証などのAI技術が使われている。

Amazonは、2018年1月にシアトルで無人店舗Amazon Goの第1号店をオープンした。2016年12月に計画を発表していたが、いよいよ本格的にスタートした。2018年中にさらに6店舗の開設を予定している。Amazon Goは、スマートフォンを持っていれば、入店から支払いまで店員と接することなく、レジを通る必要もない。AI技術としては、画像認識を全面的に採用し、「商品のパッケージ」、「利用者の手」などを識別する。そのほか、マイクによる音声認識、赤外線、圧力、重量センサーなどによる商品の数や移動のトラッキングなど、複数の技術を組み合わせる。Amazonは、2017年8月には米国高級食料品スーパーのWhole Foods Marketを137億ドルで買収し、注目を集めた。ネット通販の巨人であるAmazonは、実店舗との融合により、自社提供サービスの拡大や相乗効果発揮を狙っているとみられる。

デバイスの販売においても、Amazon Echoによってスマートスピーカー市場で強力なポジションを獲得し、音声認識の活用を個人レベルで身近にした。Amazonは音声対話エンジンのAlexaをサードパーティが自社製品に組み込めるエコシステムを構築しており、今後多様な場面で音声操作、音声対応の活用が見込まれる。

Amazonは、Webサイトでの購買履歴に始まり、Amazon Echoの利用データを含め様々な方法でユーザーの行動履歴を日々収集し続けている。Amazon Goは、データ収集における実店舗での購買行動分析情報の入り口とみられ、単なる自動店舗の経営というだけではない意味を持っていると考えられる。

Walmartは、2017年7月に生体認証技術と表情認証技術を活用し、店舗の中で不満を持つ顧客を検出する実証実験を開始した。店内のカメラやレジ待ちの行列のカメラで、消費者の表情や動作を認識し、サービス向上へ役立てる。AIにより「不満がある」と認識された顧客がいた場合は、店員に報告され、顧客の不満軽減による客離れ防止、SNSへの不満書込み防止、ECを上回る購買体験の向上などを目指す。

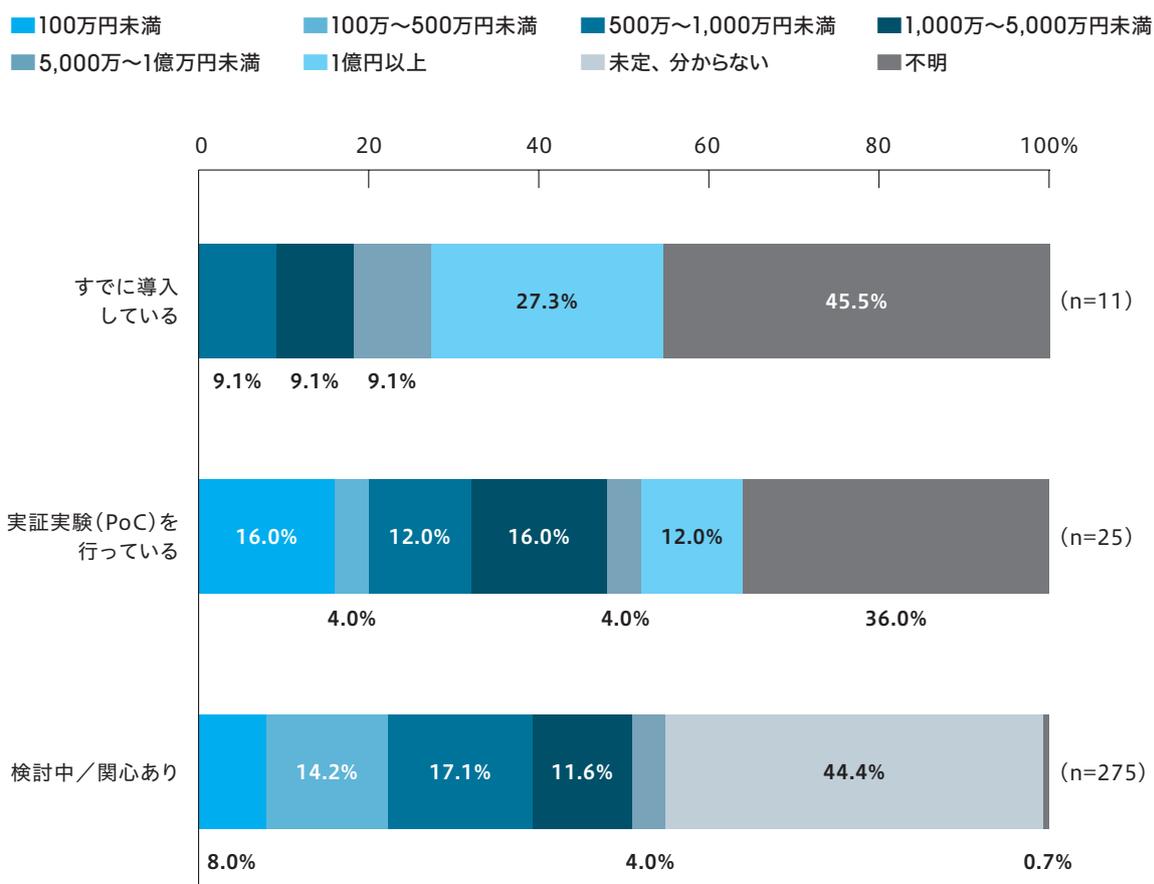
Macy'sは、IBMのWatsonを使い、米国10カ所の店舗でモバイルショッピングアシスタントアプリ「Macy's On Call」の実証実験を行っている。スマホのアプリ上で商品、在庫、店舗、サービス、施設などに関する質問を自然言語で入力すると回答を得られる。

3.5 ▷ AI導入予算・AI市場の規模

3.5.1 AI導入予算の規模

本項では、各企業がAIの導入に関し、どの程度の予算をかけているかを、「平成29年度AI社会実装推進調査(第5章参照)」の結果にもとづいて説明する。図3-5-1は、ユーザー企業のAI導入予算に関するアンケート回答をAI導入段階別に分類したものである(「検討中/関心あり」の回答者に対しては、導入する場合の想定予算を確認)。

■ 図3-5-1 AI導入予算(導入段階別)^{※64}



AIをすでに導入している企業では、「不明」を除くとAI導入予算が「1億円以上」の回答者が27.3%と最も高い割合となっている。これはAIを導入している回答者のすべてが売上高300億円以上の企業であり、そのうち売上高が1,000億円以上の企業が11社中8社を占めていることが影響していると思われる。

※64 AI導入の予算にはコンサルティング、SI、HW等を含む。

3.5.2 AI市場の規模

AIの技術進展を背景にAIの産業応用が広がりつつある。それに伴いAI市場に関する調査が実施されており、本項ではAIに関わる製品・サービス市場、AI利用による経済効果としてまとめた。これら調査結果からの共通するポイントとして、「AI市場の成長が著しく、様々な産業分野での応用が期待される」、「AIに関わる製品・サービスの供給側の市場と比較して、導入側の経済効果は非常に大きくなる」ことが挙げられる。

(1) AIに関わる製品・サービス市場

AIに関わる製品やサービス市場推計は多数行われているが、対象とするAIの範囲が多様であるため、各調査間の市場規模には大きな差異が生じている。以下に各調査結果の概要をまとめる。

① AIソフトウェア製品・サービスの世界市場

Tractica(米国)は、2016年から2025年までのAIソフトウェア製品・サービス世界市場を推計している。図3-5-2のとおり2016年の32億ドルから2025年には898億ドルと約30倍に拡大する見込みである。2017年5月に同社が行った予測に比べ、関連するユースケースの拡大に起因して上方修正されている(2017年5月の予測は、2016年は14億ドル、2025年は598億ドル)。

■ 図3-5-2 AIソフトウェア世界市場



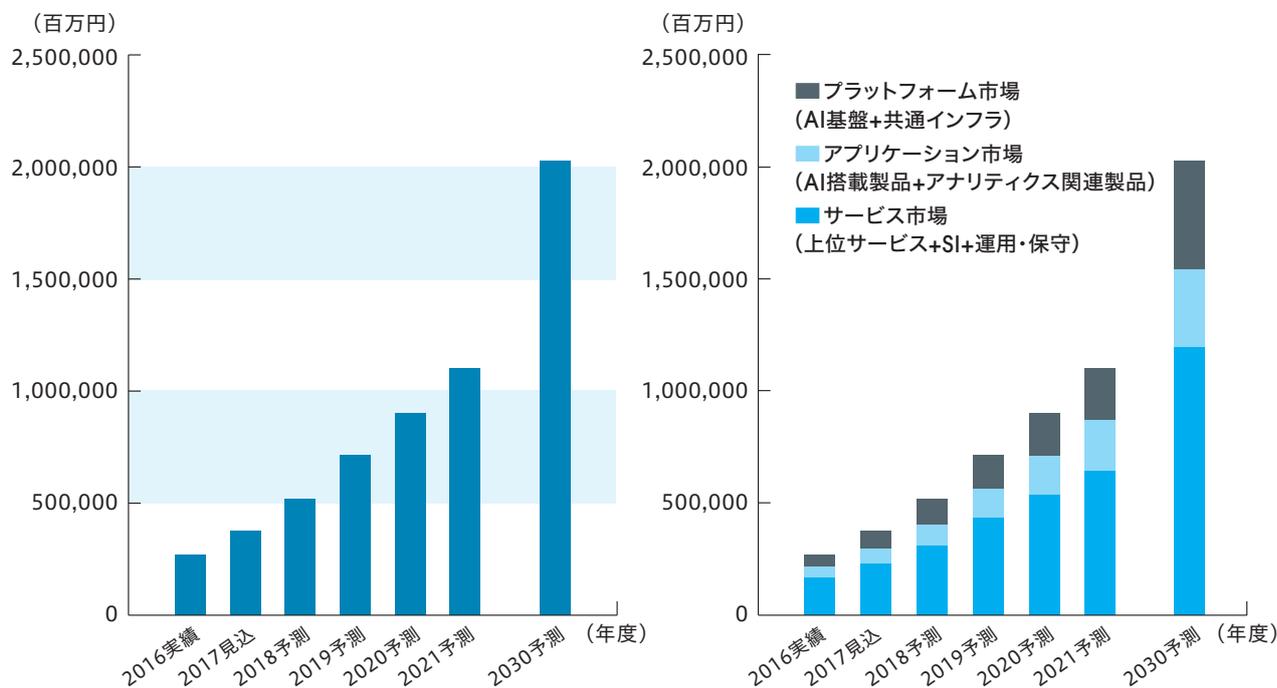
出典:Tractica“Artificial Intelligence Software Market to Reach \$89.8 Billion in Annual Worldwide Revenue by 2025”

②日本のAI市場

富士キメラ総研によると2016年度は、大手ITベンダーや専門ベンダーが、自社で培ったAI関連技術をソリューションとして体系化し、それをもとに、多くの実証実験(PoC)が開始された年になった。続く2017年度はAIの本格運用に向けた導入期になったという。今後実証実験が進むにつれ実稼働に移行する案件が増加すると見込まれ、2019年度から2021年度にかけて市場は成長期を迎えると予測する。

図3-5-3の左図のとおり、2016～2030年度までのAIのシステムやサービスの売上市場規模は2016年度の約2,700億円から2021年度の約1兆1,000億円に伸長すると見込まれており、2030年度には2兆250億円規模に達する見込みである[1]。

■ 図3-5-3 AI市場とシステム別市場予測



出典：富士キメラ総研「2018人工知能ビジネス総調査」

図3-5-3の右図は市場をサービス市場(SI;システムインテグレーション)、運用保守、上位サービスなど)、アプリケーション市場(アナリティクス関連製品やAI搭載製品など)、プラットフォーム市場(AI基盤や共通インフラなど)に分け、その推移を推定したものである。

まずサービス市場は、全体の6割程度を占めるSIがその中心であることは変わらず、そのまま市場が拡大するとみており、AI実装に向けたコンサルティングや導入検証を経て、AI環境の本格的な構築が進むと予想している。

次にアプリケーション市場は、クラウド化が進むと予測している。2016年度はデータマイニング、テキストマイニングなどアナリティクス関連製品が中心であったが、今後は営業支援システム、デジタルマーケティングなど、クラウド(SaaS)化が進んでいるAI搭載製品の伸長が進むとみている。その結果、2016年度のクラウド利用の割合はアプリケーション市場全体の30%程度で、残りはソフト導入であったが、2030年度にはクラウド利用が約60%とソフトウェア導入の割合と逆転するとみている。なお、2016年度には、全体の16%であったアプリケーション市場は、2021年度には21%まで増加すると予測している。

またプラットフォーム市場も、クラウドやAPIで提供されるAI/コグニティブサービスに対する需要が高まっている。2016年度は、クラウドでの利用がPoCなど小規模にとどまり、実稼働基盤としてはハードウェア/ソフトウェアを自ら導入してオンプレミスで構築するケースが多くみられた。将来的には機械学習やディープラーニングなど高演算処理が可能なクラウド(PaaS)が普及し、その利用が8割弱となるとみている。

③ ロボティクス関連の世界市場

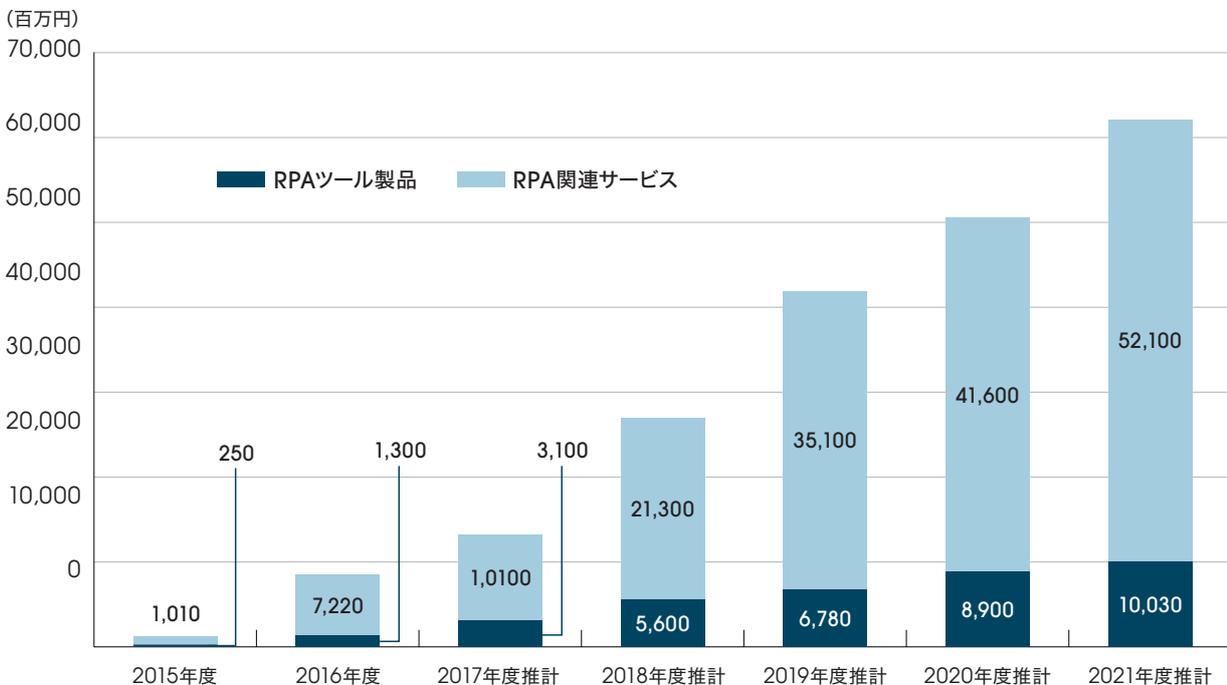
IDC Japanは、世界のロボティクス関連市場の予測を行っている^{※65}。これによると、2018年、全世界のロボティクスソリューション及びドローンソリューションの総支出額は、2017年と比べて22.1%増加し、1,031億ドルになる見通しである。この支出額は2021年には2倍以上の2,184億ドルに達し、2016年～2021年の年間平均成長率(CAGR: Compound Annual Growth Rate)は25.4%とIDCでは予測している。

IDCは、2018年のロボティクスの支出額が940億ドルに達すると見ており、2017年～2021年の予測期間を通じて、関連市場の総支出額の90%以上を占めると予測している。ロボティクスの支出額の中で、最大のシェアが見込まれるのは産業用ロボットソリューション(70%以上)であり、これに次いで、サービスロボット、コンシューマーロボットとしている。

④ 日本のRPA市場

ロボットによる、主にホワイトカラーの従事してきた業務を効率化・自動化する取組みをRPA(Robotic Process Automation)と呼び、矢野経済研究所では、その市場を予測している。従来ホワイトカラーがPCのキーボードやマウスで行ってきた定型作業を、ソフトウェア型の仮想ロボットに記憶・代行させることが可能になる。ここでは、RPAに関わるツールやコンサルティングサービス、システム開発・保守・メンテナンスなどのシステム・サービス市場を対象とする。上記の産業用ロボット、対話型ロボットなど、ハードウェア型のロボットは含めていない。図3-5-4のとおり2017年には132億円の市場が、2021年に621.3億円へと成長する見込みとしている。

■ 図3-5-4 RPA市場規模の推移(2015～2021年度)再掲



出典: 図3-3-14と同じ

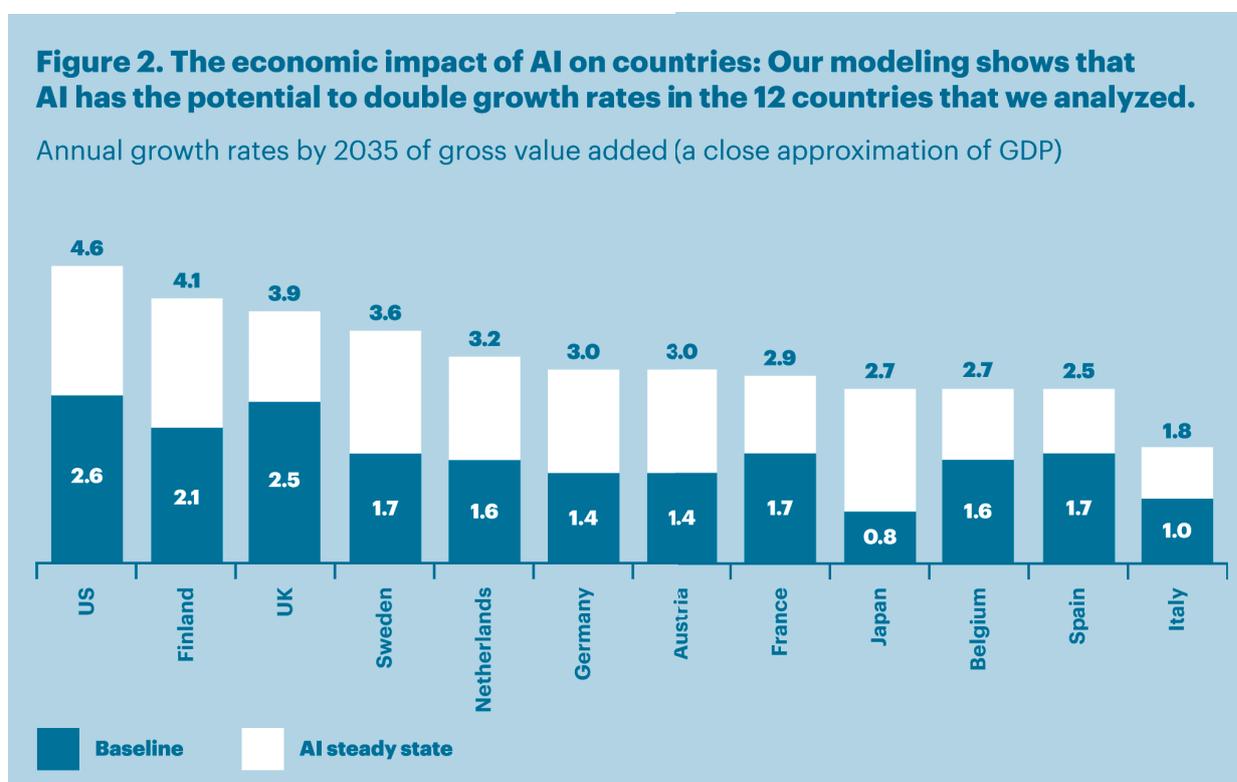
※65 世界ロボティクス関連市場予測を発表 (IDC) <<https://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20180213Apr.html>>

(2) AI利用による経済効果

ここではAI利用によって生じる経済効果についての3つの調査結果概要をまとめる。

Accentureの調査によれば、企業がAIを最大限に活用することで2035年までに収益を平均で38%向上できる可能性がある。企業のAI活用が進むことで、先進12カ国(日本、米国、フィンランド、英国、スウェーデン、オランダ、ドイツ、オーストリア、フランス、ベルギー、スペイン、イタリア)における16の業界(情報通信、製造、金融サービス、卸売・小売、運輸・倉庫、専門サービス、ヘルスケア、建設、農林水産、宿泊・飲食、水道・電気・ガス、アート・エンターテインメント、福祉サービス、公共サービス、教育、その他サービス)で、新たに年間14兆ドルの粗付加価値(GVA: GDP-税+補助金)の創出が可能になると予想している。なお、2035年までの世界各国のGVA成長率を倍増させるという予想も示されているが、その中でも日本は3倍以上の伸びとなっている(図3-5-5)。

■ 図3-5-5 AIによる主要国のGVA成長率の増加



出典: Accenture "How AI boosts industry profits and innovation" (2017/6)

PricewaterhouseCoopers (英国、PwC) の調査^{※66}によると、AIにより世界のGDPは2030年には14%以上増加(15.7兆ドル増加)し、中国では26.1% (7兆米ドル相当)、北米では14.5% (3.7兆米ドル相当)の増加になるという可能性が示されている。

マッキンゼー・グローバル・インスティテュートは、AIがビジネスにどのような影響を及ぼすかを航空会社、Eコマースなど19の産業分野の400事例を分析^{※67}し、年平均3兆5,000億ドル~5兆8,000億ドルの経済的価値を創出すると予測した。特にインパクトが大きい産業分野としては旅行

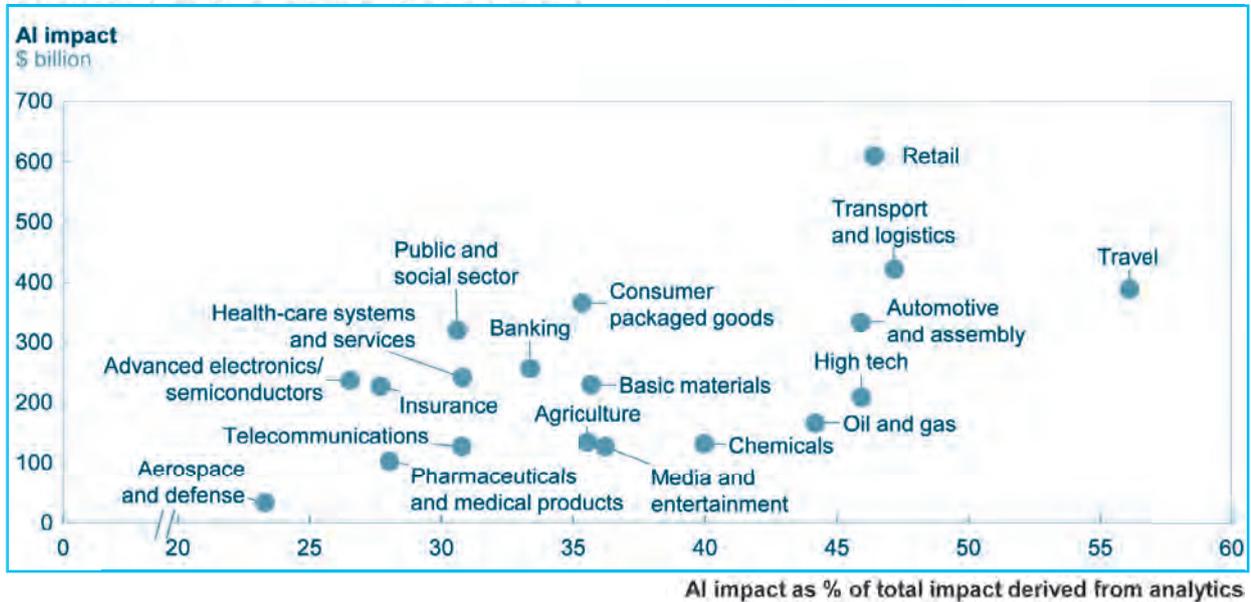
※66 PwC "Sizing the prize" (2017/6)

※67 McKinsey Global Institute "Notes from the AI frontier - Insights from hundreds of use cases" (2018/4)

業や小売業が上がっている(図3-5-6)。また、調査事例の69%がディープニューラルネットワークの活用により成果を向上可能と述べている。

■ 図3-5-6 AIが与える産業ごとのインパクト(年間)

AI has the potential to create annual value across sectors totaling \$3.5 trillion to \$5.8 trillion, or 40 percent of the overall potential impact from all analytics techniques



出典: Exhibit from "NOTES FROM THE AI FRONTIER INSIGHTS FROM HUNDREDS OF USE CASES", April 2019, McKinsey Global Institute, www.mckinsey.com. Copyright ©2018 McKinsey & Company, All rights reserved. Reprinted by permission.

◆ 参考文献

[1] 富士キメラ総研『2018工知能ビジネス総調査』, 2018

3.6 ▷ 今後の展望

本章で示すように、各産業分野におけるAI利用は着実に進展しており、実証実験レベルのみならず、多くの実用化事例も見られる。注目分野である自動運転に関しては、国内外で積極的な取り組みが進んでおり、政府も支援している。今後、安全についての検証性や説明性、社会の受容性などの課題解決を行い、実用化を進めていく必要がある。

国別の状況を見ると、中国のAIへの取り組み姿勢が顕著であり、AIベンチャーの勃興や中国政府のAI産業に対する積極的な支援策などにより、米国を追い越す勢いである。対して日本はAI分野において米中に大きく水をあけられている状況といえる。国内外のAI市場に関しては、昨年に比べやや緩やかではあるが、依然として高率の伸びを見せており、今後も有望な市場と考えられる。

なお、IPAがユーザー企業に対して行ったアンケート(資料A 企業におけるAI利用動向アンケート調査)では、AIの導入目的について効率化や生産性向上が上位となっており、収益向上への期待がうかがえる一方、実際の導入状況は導入済みが3.1%、実証実験中が7.1%と低く、導入への慎重姿勢も見受けられる。AIを適用する業務分野については、社内業務・一般業務から、コールセンター・問合せ対応、データ分析の高度化、営業・マーケティングなど幅広いニーズが挙げられている。AI導入の課題としては、「AIについての理解が不足している」が突出しており、ユーザー企業のAIリテラシー向上の必要性が明らかになっている。

今後もAIの国内外／産業別のAI利用状況を調査し、経年比較・分析を行うことにより、産業別・応用領域別のAIの社会実装状況の把握、実装課題の抽出、世界における日本のAI産業の立ち位置の明確化などを行っていくことが必要である。

特集 ▶ データで見る中国のAI動向

本書を作成するにあたって実施した利用動向や制度政策動向の調査においては、中国の政府や企業がAIに注力する状況が顕著に現れていた。そこで本書では、その勢いや方向性を感じ取れるよう、中国のAI動向を特集としてとりまとめることとした。

AIの研究開発及び利活用において、世界で最も先行するのは米国である。Google、Facebook、Amazon、Microsoft、AppleなどWeb上にビッグデータを持つ大手企業が、AI、特にディープラーニング技術の研究開発に必要となるビッグデータの収集とAIによる分析、自社サービスへのフィードバックと一層の精度向上を繰り返している。米国には、大手企業だけではなくAIベンチャー企業も数多くあり、米国AIのイノベーションに寄与している。これらの企業の取組みは、インターネットから始まったが、Googleがグループ傘下のWaymoで自動運転、Sidewalk Labsでスマートシティに取り組むなど現実社会にも進出を図っている。Amazonは、2018年1月にシアトルでAIやIoT技術によって無人化した店舗Amazon Goの第1号店をオープンさせた。デバイスの販売でも、Amazon Echoの提供とそのエコシステムの拡大により、スマートスピーカー市場で強力なポジションを獲得している。

これに対して、米国に迫る勢いで存在感を増しているのが中国である。中国では、米国とも日本とも異なるAI産業の発展の状況がみられる。AI企業としては、「BAT」^{*1}と呼ばれる3社がよく知られるが、ベンチャー企業も数多い。CB Insightsが2017年12月に発表したAI分野で活躍する全世界のスタートアップ企業「THE AI 100 2018」の100社を国別に見ると、米国が76社で最も多く、2位が中国の8社、日本から選出されているのはPreferred NetworksとLeapMindの2社である。

中国の急成長の背景には、政府による積極的かつスピーディな政策の推進と支援の実施、膨大な人口とインターネットやスマートフォンの利用者数、スマートフォンによる決済やネット通販、監視カメラネットワーク、音声などビッグデータの活用、多くの若手AI技術者の育成などがある。中国政府は、2017年7月に「新世代人工知能発展計画（次世代の人工知能開発プラン）」として方針を発表し、「（中国は）2020年までに世界トップレベルのAI技術を持つ国になり、2030年までに世界のAIイノベーションの中心地になる」としている。その後、2017年11月には4つのターゲット分野を定め、各分野のAIリーディングカンパニーを選定し、開発を後押ししている。この4分野とそれに対応する企業名は、医療分野がTencent、スマートシティがAlibaba、自動運転がBaidu、音声認識はiFLYTEKとなる。

一方で日本は、世界的な社会・経済の競争力強化を支えるAIにおいて後れを取っているといえる。とはいえ、ビッグデータと強力なコンピューターパワー、豊富な資金力や人的資源を背景とした米国や中国と同じ土俵で争うことは難しい。また、一般の企業においてはAIへの関心は高いものの、本章「資料A」に示すIPAの調査によると利用率は3%（実証実験を行っている企業を含めても1割）にすぎず、AIに対する理解不足も課題となっている。本節で紹介する先行する海外企業の技術やサービスを積極的に利用しながら、日本の強みを発揮できる分野で社会実装を加速させることが不可欠であろう。世界一のスピードで少子高齢化が進む日本においては、AIは労働力不足への対応、労働生産性の向上、高齢者のサポートなどの課題解決に向けた切り札となりうる。規制緩和、法制度の整備、

※1 Baidu：百度（バイドゥ）、Alibaba：阿里巴巴（アリババ）、Tencent：騰訊（テンセント）の3企業を指す。

ベンチャーのインキュベーション、人材育成など課題は多いが、海外の動向を参考に、官民をあげた取組みとして積極的に推進していくことが肝要である。

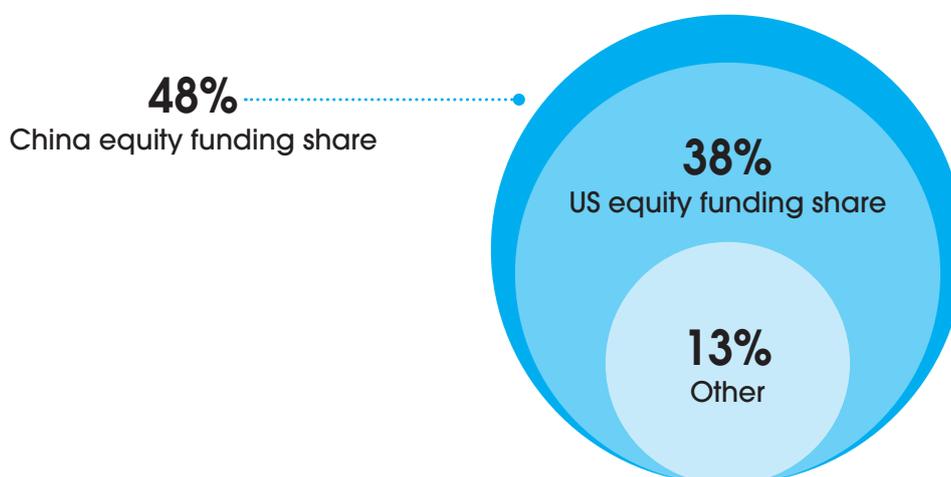
1 世界におけるAIの動向と躍進する中国

(1) AIスタートアップ企業の資金調達状況

米国調査会社のCB Insightsが2018年2月に発刊したレポート「State of AI 2018」によると、2017年のAI関連のスタートアップ企業の資金調達額合計152億ドルのうち、中国の占める比率が48%となり、米国の38%を超えて世界一となった(図3-F-1)。同レポートによると、2016年の比率では中国は11.3%であり、急速に拡大したことが分かる。

■ 図3-F-1 2017年AIスタートアップ資金調達額の国別割合

US vs China total equity funding to startups in 2017



出典:「State of AI 2018」CB Insights(2018年2月)

また、同レポートは、顔認証やAIチップの分野への投資が拡大していると指摘している。

顔認証の分野の主要プレイヤーは、Megvii (Face++ 旷視科技)、SenseTime (商湯科技)、CloudWalk (云从科技) である。最大の資金を得たのはMegviiで、2017年10月に4.6億ドルを調達した。また、CloudWalkは広州地方政府から資金の支援を受けた。表3-F-1にそれらのスタートアップの資金調達状況を示す。

■ 表3-F-1 中国顔認識技術スタートアップの資金調達状況

| 企業名 | 本社所在地 | 設定 | 資金調達状況 |
|-----------|-------|-------|---------------------|
| Megvii | 北京 | 2011年 | 2017年10月に4.6億ドルを調達 |
| SenseTime | 北京 | 2014年 | 2017年7月に4.11億ドルを調達 |
| CloudWalk | 広州 | 2015年 | 広州の地方政府から3.01億ドルを調達 |

出典:各種公開資料より作成

中国が官民をあげて推進するのは、顔認証技術やAIチップに留まらず、AI技術全般である。中国科学技術部は、2017年11月に「次世代AI発展計画推進弁公室」を設立し、第1期国家次世代AI開放・革新プラットフォームとして医療、スマートシティ、自動運転、音声認識の4分野の発展を図る計画を定めた。顔認証技術やAIチップは、要素技術として、公安・交通・金融・教育・軍事など、中国政府が主導する分野でも応用されやすいため、早い時点で投資が進んでいると推測される。

(2) 未公開企業の潜在力

CB Insightsが2017年12月に公開したレポート「The AI 100 2018」では、世界の株式非公開のAI関連企業の中から注目企業100社を選出している。同社によると、資金調達、投資元、採用、ニュースやSNSでの露出、Webトラフィック、提携、関連マーケットなど各種データを活用するアルゴリズムを使って選んでいるという。

国別では、入選企業の多い順に表3-F-2のとおりとなった。米国が76社と他国に比べて圧倒的に多く、2位は中国で8社選出されている。「The AI 100 2017」では1位米国78社、2位中国4社であり、中国が存在感を増していることがうかがえる。

■表3-F-2 「THE AI 100 2018」国・地域別企業数

| 国・地域 | 企業数 |
|-----------|-----|
| 米国 | 76社 |
| 中国(香港を含む) | 8社 |
| イスラエル | 4社 |
| イギリス | 5社 |
| 日本 | 2社 |
| カナダ | 2社 |
| フランス | 1社 |
| スペイン | 1社 |
| 台湾 | 1社 |

出典: 「THE AI 100 2018」CB Insights

中国AI企業の実態を鑑みるにあたり、同じCB Insights社が日々更新しているユニコーン・カンパニーに関する別の資料も参照する。ユニコーン・カンパニーとは、評価価値十億ドル以上の有望な未公開企業を指すが、こちらの企業の多くがAI技術を駆使して事業展開しているため、中国AI市場の実態を把握するのに一見に値すると思われる。2018年10月10日現在、このリストに278社収録されており、国別で見るとトップ5は表3-F-3のとおりである。

中国のユニコーン・カンパニーは79社(全企業数の28.4%)であり、評価価値合計は2,580.7億ドル(入選企業価値合計の29.6%)に達し、他の国を遥かに凌いで米国を追う姿勢を示している。このリストに入選された日本のユニコーン・カンパニーは1社(Prefferred Networks)のみである。

■表3-F-3 ユニコーン・カンパニー(AI分野に限らない)の国・地域別企業数

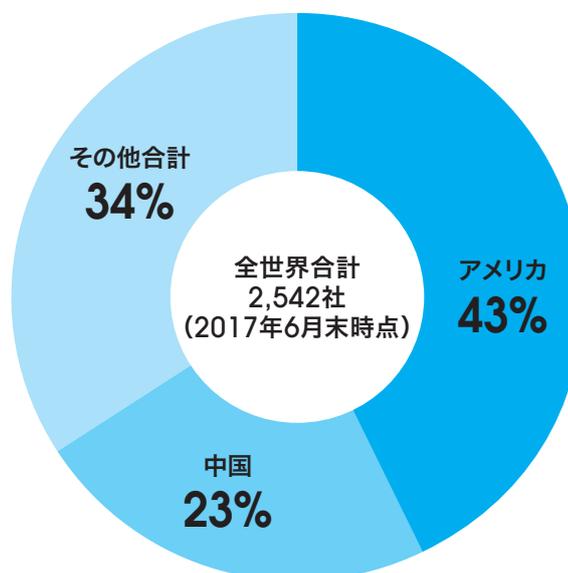
| No. | 国・地域 | 企業数 |
|-----|----------------|------|
| 1 | アメリカ | 132社 |
| 2 | 中国 | 79社 |
| 3 | イギリス | 14社 |
| 3 | インド | 14社 |
| 5 | ドイツ | 6社 |
| | その他(2社以下の国の合計) | 33社 |
| | 合計 | 278社 |

出典:CB Insights社「THE Global Unicorn Club」(2018年10月10日参照)より作成

(3) 米国と中国のAI関連企業数

騰訊研究院(Tencentグループ)の調査によると、2017年6月末段階で、全世界でAI事業に携わる企業は約2,542社存在し、内訳としては米国1,078社(構成比約43%)、中国592社(同約23%)、その他(スウェーデン、シンガポール、日本、イギリス、オーストラリア、イスラエル、インドなどの国の合計)872社(同約34%)であった(図3-F-2)。

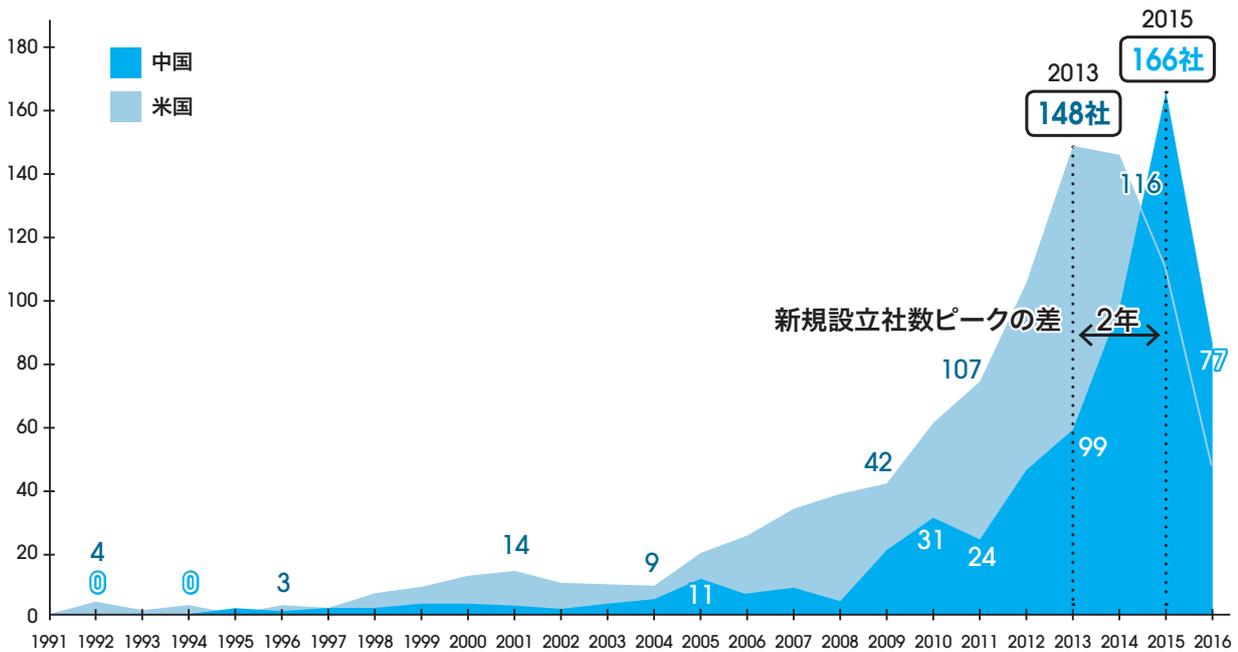
■図3-F-2 米国と中国のAI関連企業数



出典:騰訊研究院資料をもとに作成

1991年からの新規設立社数推移(図3-F-3)で見ると、米国は2013年(148社)、中国は2015年(166社)にピークを迎えた。2014年以降は、中国の新規設立社数が米国を上回る傾向にある。中国で最も早く設立されたAI企業の設立年は1996年とされており、米国から5年間後れを取っているが、中国AI企業の勢いは強い。

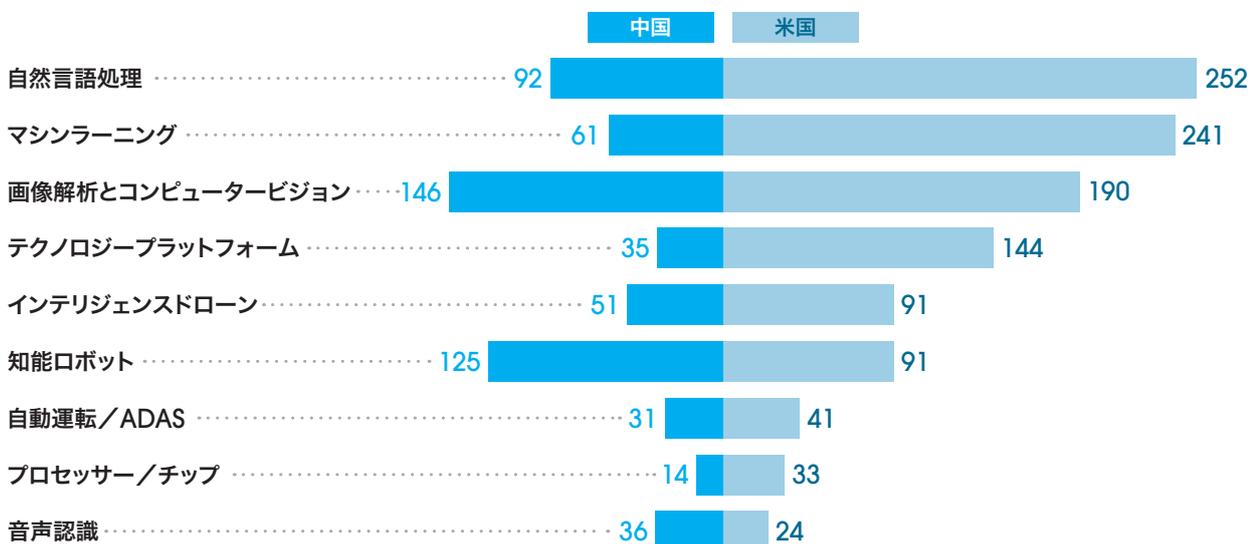
■ 図3-F-3 1991年以降の中国・米国AI関連企業新規設立社数の推移



出典：騰訊研究院資料に加筆

さらに、分野別の企業数を見ると、基本的には米国企業のほうが社数が多いが、図3-F-4のとおり、
 知能ロボットと音声認識においては、中国企業のほうが多い。

■ 図3-F-4 2017年分野別の中国・米国AI関連企業数



出典：騰訊研究院資料をもとに作成

(4) AI分野の特許出願数

AI分野の特許出願数は、米国が世界第1位、中国が世界第2位となっている。経済産業研究所「人工知能等が経済に与える影響研究」プロジェクトの「人工知能技術の研究開発戦略：世界特許分析による実証研究」によると、2015年～2016年の年平均AI関連特許出願数は、出願先国別に見ると、米国 (USPTO：米国特許商標庁) 1,550件、中国 (SIPO：中華人民共和国国家知識産権局) 306件、

日本(JPO：経済産業省特許庁)96件、PTC(国際特許)234件、欧州(EPO：欧州特許庁)102件である(表3-F-4)。

■表3-F-4 出願先別AI関連特許取得数(2015～2016年の年平均)

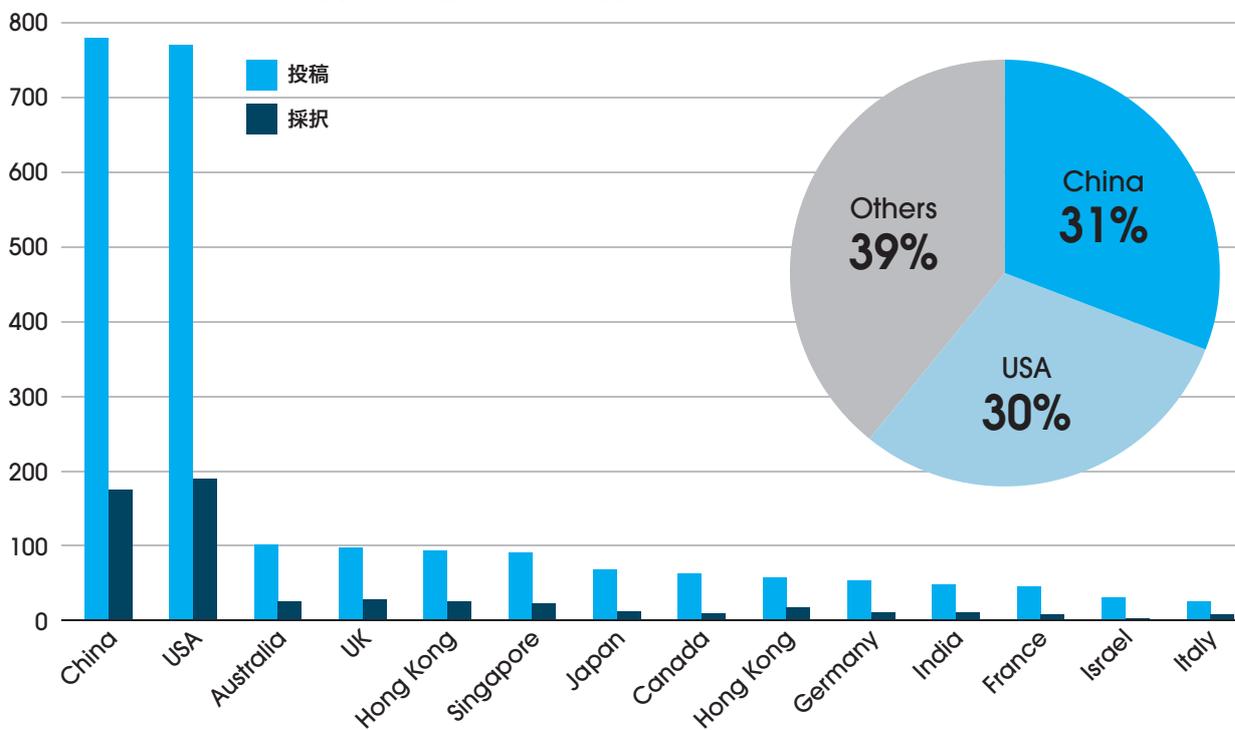
| AI技術分野 | 米/USPTO | 中/SIPO | 日/JPO | PTC | 欧/EPO |
|-------------------|---------|--------|-------|-----|-------|
| 生物学(ニューラルネット等) | 259 | 232 | 40 | 104 | 42 |
| 知識 | 738 | 45 | 25 | 58 | 26 |
| 数学 | 194 | 14 | 5 | 16 | 12 |
| その他(量子コンピューティング等) | 359 | 15 | 26 | 56 | 22 |
| 合計 | 1,550 | 306 | 96 | 234 | 102 |

出典：経済産業研究所「人工知能技術の研究開発戦略：世界特許分析による実証研究」※2をもとに作成

(5) アメリカ人工知能学会の投稿状況

JST(国立研究開発法人科学技術振興機構)のレポートによると、2017年2月に開催された、AIに関する米国で最大規模の会議「アメリカ人工知能学会AAAI(Association for the Advancement of Artificial Intelligence)」において、中国からの投稿数が31%と米国の30%を抜いた(図3-F-5)。日本は、投稿数で中国、米国、オーストラリア、シンガポールに次いで6位である。参加者を国籍別にみても、1,833名中米国964名(2016年708名)、中国275名(同156名)、日本92名(同48名)、韓国68名(同15名)、英国51名(同44名)である。参加者の5割以上が米国であるが、中国は15%を占め、人数の伸びも大きい。JSTは「中国が質量共に存在感を高めている」とコメントしている。

■図3-F-5 アメリカ人工知能学会での論文数の国別比較



出典：「第31回アメリカ人工知能学会報告」JST

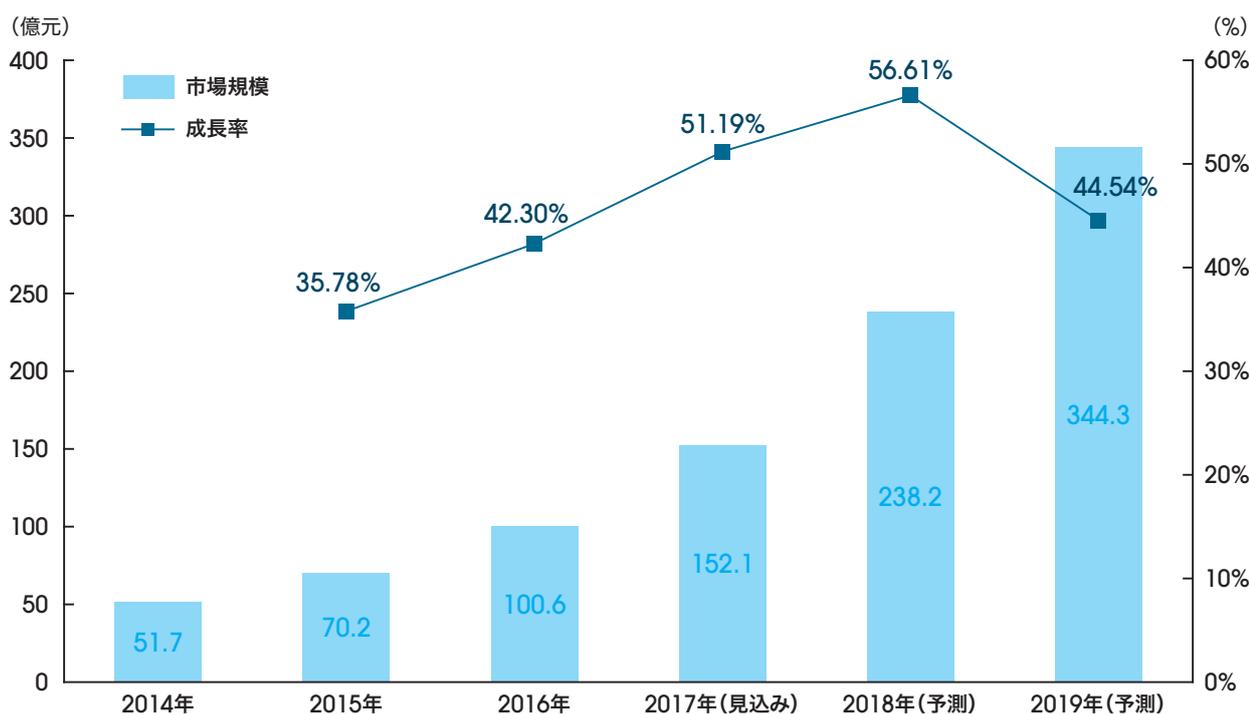
※2 独立行政法人経済産業研究所『人工知能技術の研究開発戦略：世界特許分析による実証研究 RIETIディスカッション・ペーパー：17-E-066「Trends and Priority Shifts in Artificial Intelligence Technology Invention: A global patent analysis」』藤井秀道・馬奈木俊介(2017年5月)

2 中国人工知能市場規模

(1) 市場規模推移

艾媒諮詢(iiMedia Research)の調査によると、2017年末時点で中国の人工知能市場の規模は150億人民元を突破。かつ成長率も再び50%強を記録し、過去最高を更新した(図3-F-6)。米国に比べて、中国の人工知能産業は発足が遅いものの、大手有力企業が牽引役を果たして注力した結果、4～5年の間産業全体的に著しく成長した。また、今後の数年間にも高い伸びを示すと見られている。

■ 図3-F-6 2014～2019年中国人工知能市場規模推移



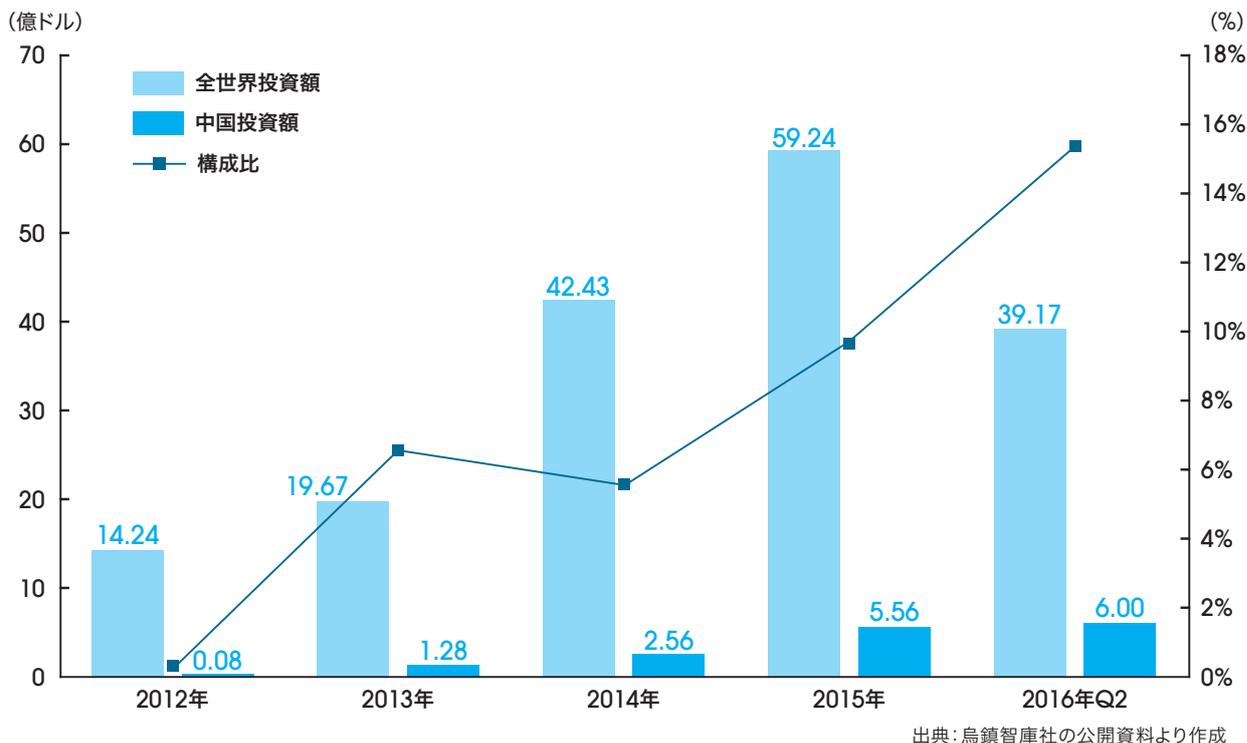
出典：艾媒諮詢(iiMedia Research)資料より作成

見た目の市場規模はそれほど大きくないとも見えるが、多くのベンチャー企業は技術開発中で製品実用化に至っていないことを考慮すると、実際はさらに大きい市場が潜んでいるという見方もできる。それを裏づける事実として、ここ数年AI市場へのファンド投資は既存市場規模を上回るほどの規模で、米国・中国の2国中心に行われた経緯がある。

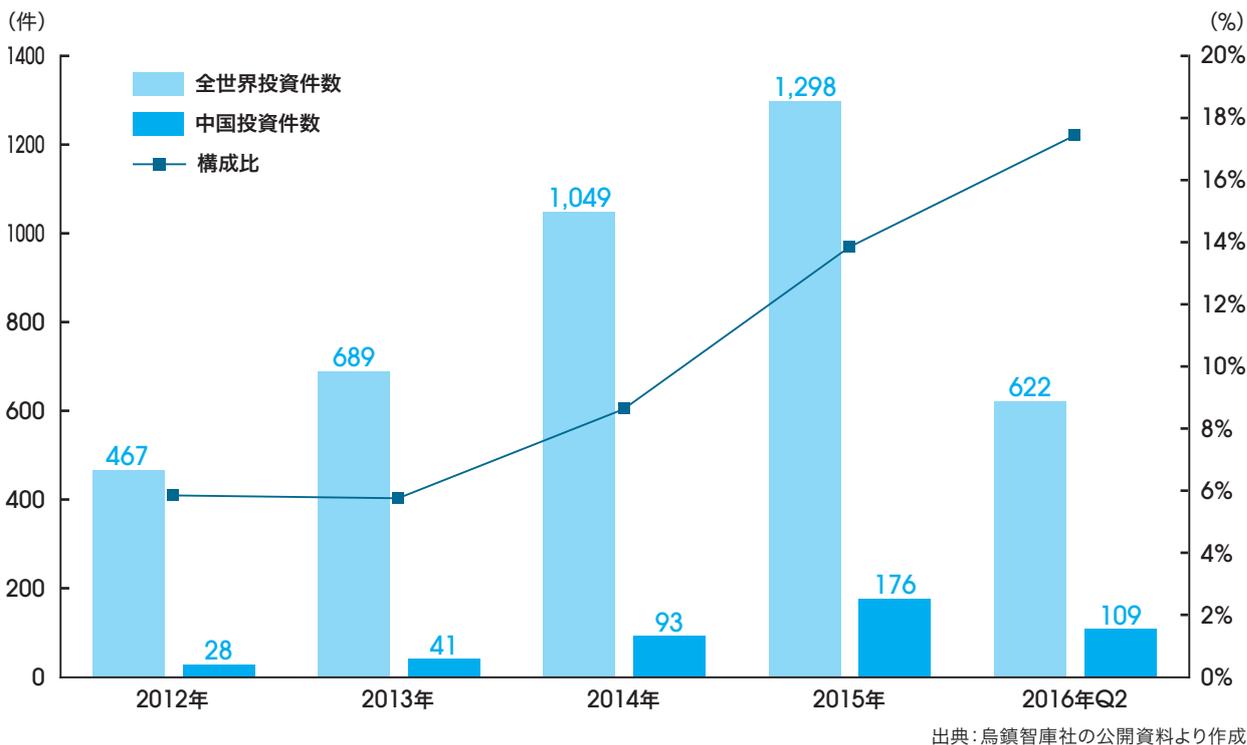
(2) ベンチャー投資額推移

烏鎮智库社の発表にもとづき、直近5年間の全世界と中国のベンチャー投資実績(投資額、投資件数)を図3-F-7、図3-F-8に示す。2013年から、世界全体に占める中国のベンチャー投資額や投資件数ともにその構成比が急増し、2016年Q2時点では17%前後を占めるようになったことが分かる。

■ 図3-F-7 2012～2016年世界・中国人工知能関連ベンチャー投資額推移

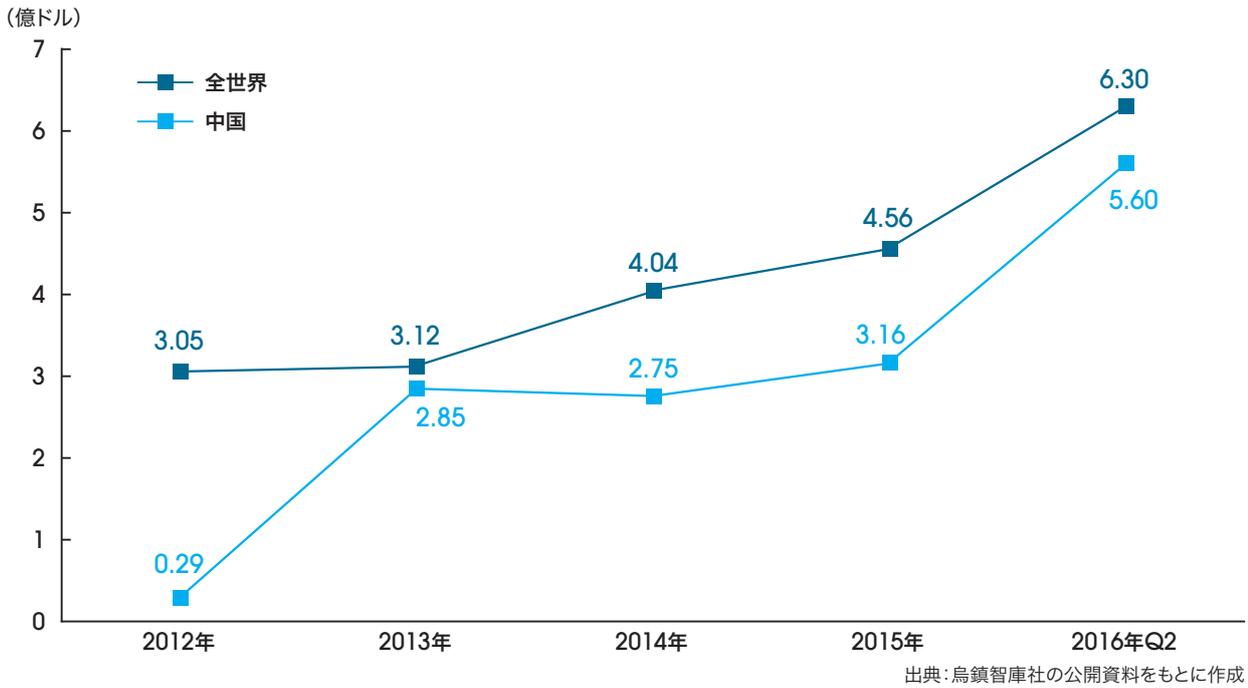


■ 図3-F-8 2012～2016年世界・中国人工知能関連ベンチャー投資件数推移



また、1件当たりの投資額で見た場合、2013年以降中国ベンチャー企業の融資能力はますます世界平均値に近づき、アメリカなど主要先進国と同期した形で推移しているといえる(図3-F-9)。

■ 図3-F-9 2012～2016年世界・中国人工知能関連ベンチャー投資平均投資額推移



一方、ITJUZI社の統計によると、2017年6月末で、中国AI市場へのファンド投資額は米国の51.1%に次いで、世界全体の33.1%を占めるようになった。

3 中国のAIリーディングカンパニー

中国のAI企業は、今や全世界においても存在感を強めている。

本特集の「1.(1) AIスタートアップ企業の資金調達状況」で紹介したように、中国政府は、2017年11月に「次世代AI発展計画推進弁公室」を設立し、第1期国家次世代AI開放・革新プラットフォームとして医療、スマートシティ、自動運転、音声認識の4つのターゲット分野を定めた。その際、各分野のリーディングカンパニーを選定し発表した。それらは、医療分野がTencent、スマートシティがAlibaba、自動運転がBaidu、音声認識はiFLYTEK(アイフライテック)である。BAT以外で選ばれたiFLYTEKは、1999年12月に安徽省合肥で設立されたAIベンチャーだが、中国語の音声認識の分野では実績豊富で、高精度の技術を開発している。音声認識のみに留まらず、2017年8月に精華大学とiFLYTEKが開発したロボットが中国の医師国家試験の筆記テストに合格したことが話題になったが、これは大量の医学知識を学習したうえで、テストの問題と選択肢について分析を行い、回答を出す技術が発揮された結果である。

BAT3社やiFLYTEKはいずれも株式を上場しており、その上場情報を表3-F-5に示す。各社は自社の強みを発揮し、AI市場において先手を打った施策を進めている。

■表3-F-5 リーディングカンパニー4社の上場情報

| 会社名 | 上場時期 | 上場場所 | 銘柄コード |
|---------|-------------|---------|-------|
| Baidu | 2005年8月5日 | 米NASDAQ | BIDU |
| Alibaba | 2014年9月19日 | 米NYSE | BABA |
| Tencent | 2004年6月16日 | SEHK | TCEHY |
| iFLYTEK | 1999年12月30日 | SZSE | 科大訊飛 |

出典:各種公開資料より作成

以下、その4社について、産業領域(インフラ、テクノロジー、アプリケーション)にまたがる産業チェーン)の構築状況、AI研究所の設立状況、人材育成策、AI業界のM&Aの4項目について、取組みを整理する。

(1) Baidu

2017年7月、Baiduは「百度AI開発者大会」で、「All in AI」戦略を打ち出した。数多くの第三者AI技術開発者とともに、自社の未来をすべてAIにかけ、中国AI市場の未来を切り開いていくと表明した。

●産業チェーン構築

Baiduは、モバイルインターネット市場で取った後れをAIで取り戻そうという志向が強く、BATの中で最もAIに注力しており、数多くの製品・プラットフォームを展開している。表3-F-6に、Baiduの各製品をインフラ、テクノロジー、アプリケーション等の産業領域別に整理した。

■表3-F-6 BaiduのAI産業チェーン構築

| 領域 | 主要製品 |
|-----------|--|
| インフラ層 | DuerOS用チップ |
| テクノロジー層 | ①Paddle- Paddle(深層学習プラットフォーム) ②BML(機械学習プラットフォーム) |
| アプリケーション層 | B2B ①Appolo計画(自動運転用ソフトウェア開発プラットフォーム) ②DuerOS(対話式AI型OS) ③BaiduBrain(総合的AI開発プラットフォーム) ④Deepspeech2(音声認識システム) |
| | B2C ①百度識図(画像認識) ②百度自動運転車 ③度秘(Duer)(パーソナルアシスタント) ④DuLight(視覚障害者専用パーソナルアシスタント) ⑤BaiduEye(ウェアラブルデバイス) ⑥Dubike(AI自転車) ⑦DuLife(ウェアラブルデバイス) 等 |

出典:各種公開資料より作成

●AI研究所の設立

2013年当時、Baiduの研究院長であった余凱氏は「All in AI」戦略を貫くよう提案し、表3-F-7に示すように、同社はこれまで数多くのAI関連研究所を設立してきた。なお、表3-F-6に示した製品の多くは、これらの研究所の成果物である。

■表3-F-7 BaiduのAI研究所

| 設立時期 | 場所 | 研究所名 |
|---------|---------|---------------------|
| 2013年1月 | 北京 | 深層学習研究室 |
| 2014年3月 | シリコンバレー | AI研究室 |
| 2014年7月 | 北京 | ビッグデータ研究室 |
| 2017年1月 | 北京 | AR研究室 |
| 2017年6月 | シリコンバレー | 度秘事業部シリコンバレー研究開発チーム |

出典:各種公開情報より作成

●人材育成

Baiduでは、研究所設立とともに2014年から「少帥計画」を公表し、30歳以下の優秀技術系社員向けに百万元以上の年収を約束した。そのため、短期間に数百人に及ぶAI人材がBaidu社に殺到するようになった。しかしその後、大きな人事異動など様々な要因からAI人材がBaiduを離れ、転職または独立してベンチャーを立ち上げるケースが多くみられた。中国AI市場に数多くのベンチャー企業を送り込んだという意味ではBaiduは大きく貢献したと言える。

●AI業界におけるM&A

Baiduは、「All in AI」戦略の実行スピードを上げるため、対外的な投資・買収を数多く実施している。表3-F-8にその活動を示す。

■表3-F-8 AI業界におけるBaiduのM&A活動

| 時期 | 種類 | 研究所名 |
|----------|----|---|
| 2016年12月 | 買収 | マーケティングの北京受教信息科技有限公司を約1億元で買収 |
| 2017年2月 | | 音声技術の塗鴉科技 (TUYA SMART) を約1億ドルで買収 |
| 2017年4月 | | 米コンピュータービジョンベンチャーのxPerceptionを買収 |
| 2017年7月 | | 音声ベンチャーのKitt.AIを買収 |
| 2013年4月 | 投資 | 音声技術のsinovoiceに投資 |
| 2014年12月 | | イスラエルの映像キャプチャーのPixellotに300万ドルを投資 |
| 2016年9月 | | Baidu Ventureを設立し、AR・VRなど新技術のために2億ドルを用意 |
| 2017年2月 | | VR/AR/MR関連の3Dイメージングの8iに2,700万ドルを投資 |
| 2018年2月 | | CITICなどと共同でスマート家電のbroadlinkに総額3.43億人民元を投資 |

出典:各種公開資料より作成

(2) Tencent

Tencentは、BaiduほどAIに対して先駆的ではなかったが、2016年後半からついに本格的に市場参入した。2017年11月の「テンセントグローバルパートナーズ」で初めてTencentのAI戦略「AI in All」を公表し、AI技術を同社の強みであるアプリケーション(ゲーム、SNS等)に活用し、マネタイズを重視した目標を強調した。

Baiduと同様に、産業チェーン構築、AI研究所、人材育成、M&A活動を、それぞれ表3-F-9、表3-F-10、表3-F-11、表3-F-12にまとめる。

■表3-F-9 TencentのAI産業チェーン構築

| 領域 | 主要製品 | |
|-----------|---|--|
| インフラ層 | 無し | |
| テクノロジー層 | ① Tencent cloud (AIクラウドサービス) ② Angel (高性能コンピューティングプラットフォーム) ③ NCNN (深層学習プラットフォーム) | |
| アプリケーション層 | B2B | ① 雲搜 (検索技術プラットフォーム) ② 文智 (中国語言語理解プラットフォーム) ③ 優図 (画像認識型ディープラーニングプラットフォーム) |
| | B2C | ① Wechat AI (音声認識・自然言語処理・画像認識ツール) ② DREAMWRITER (ニュース編集機) ③ 絶芸 (囲碁AI) ④ 天天P図 (画像編集) ⑤ 叮当 (パーソナルアシスタント) |

出典:各種公開資料より作成

■表3-F-10 TencentのAI研究所

| 分類 | 上場時期 | 場所 | 研究所名 |
|-------|----------|------|-----------------|
| 自社研究所 | 2012年12月 | 深セン | 優図実験室 |
| | 2015年7月 | 深セン | 知能計算・検索実験室 |
| | 2016年11月 | 深セン | 人工知能実験室 |
| | 2017年7月 | シアトル | シアトルAI実験室 |
| 共同研究所 | 2015年4月 | 哈爾濱 | 騰訊-哈爾濱工業大学共同実験室 |
| | 2015年11月 | 香港 | 微信-香港科技大学共同実験室 |

出典:各種公開資料より作成

■表3-F-11 Tencentの人材育成策

| 時期 | 施策 |
|------------------|--|
| 2017年5月 | 香港中文大学Computer Science&Engineering学科の教授賈佳亞氏を特別採用 |
| 2016年11月～2017年3月 | 前後して、元百度研究院副院長 張潼氏を人工知能実験室主任に、元Microsoft Research Asia 研究員 俞棟氏を副主任に、元IBM技術者 劉威氏をコンピュータービジョンセンター総監にそれぞれ登用 |
| 2016年11月～現在 | 博士共同育成プロジェクト、Rhinocerosエリート院生計画、AI lab学術フォーラムなどを実施し、名門大学の優秀卒業生を募集 |
| 2012年12月～現在 | Tencent cloudと優図実験室が共同で「AIアクセラレーター」を設立し、AI関連ベンチャーにインキュベーターサービスを提供 |

出典:各種公開資料より作成

■表3-F-12 AI業界におけるTencentのM&A活動

| 時期 | 種類 | 活動 |
|---------|----|-----------------------------|
| 2013年9月 | 投資 | 入カソフトのSougouに投資 |
| 2014年7月 | | AIベンチャーのScaled Inferenceに投資 |
| 2015年4月 | | データ分析のSkymindに数百万ドルを投資 |
| 2015年5月 | | 医療AIのCloudMedxに630万ドルを投資 |
| 2016年2月 | | 画面認識のDiffbotに数百万ドルを投資 |
| 2016年4月 | | ヘルスケアのiCarbonXに投資 |
| 2017年7月 | | AR/VR技術のObenに500万ドルを投資 |

出典:各種公開資料より作成

(3) Alibaba

EC事業で大成功を収めたAlibabaは、AIはあくまでも技術ツールの一つであるとの認識を表明している。中国で拡大する無人店舗や、店舗内カメラの映像を活用した顧客分析や遠隔操作による在庫管理などを行うスマートリテールショップなどは代表的な取組みである。2017年10月には、AIなどの先端技術開発に3年で150億ドルを投じると発表した。米国、ロシア、イスラエル、シンガポールに研究所を設立し、研究員を100人採用する計画である。AI、IoT、量子コンピューティングなどの研究を強化するとしている。

以下同様に、産業チェーン構築、AI研究所、人材育成、M&A活動をそれぞれ、表3-F-13、表3-F-14、表3-F-15、表3-F-16にまとめる。

■表3-F-13 AlibabaのAI産業チェーン構築

| 領域 | 主要製品 | |
|-----------|--|---|
| インフラ層 | 無し | |
| テクノロジー層 | ①PAI 2.0 (機械学習プラットフォーム) ②DTPAI (データマイニングプラットフォーム) | |
| アプリケーション層 | B2B | ①城市大脳 (都市全体管理・最適化システム) ②AliGenie (音声技術開発プラットフォーム) ③小Ai (歌手試合優勝予測) ④阿里緑網 (アグルト画像検出機能) ⑤阿里万象 (顧客サービスアシスト) |
| | B2C | ①天猫精霊X1 (インテリジェンスステレオ) ②阿里小蜜 (パーソナルアシスタント) ③安娜、小俊、糖糖 (Alipayの言語理解サービス機能) ④ET機器人 (音声認識、映像認識、感情分析等) |

出典:各種公開資料より作成

■表3-F-14 AlibabaのAI研究所

| 分類 | 上場時期 | 場所 | 研究所名 |
|-------|----------|---------|--|
| 自社研究所 | 2007年4月 | 杭州 | 阿里研究院 |
| | 2014年10月 | 杭州 | iDST (データ科学・技術研究院) |
| | 2016年12月 | 杭州 | 人工知能実験室 |
| | 2016年3月 | 杭州 | VR実験室 |
| | 2017年7月 | 杭州 | 螞蟻金服-人工知能実験室 |
| 共同研究所 | 2016年10月 | 北京 | 金融科技実験室 ※清華大学と螞蟻金服の共同実験室 |
| | 2017年1月 | カリフォルニア | RISE実験室 ※螞蟻金服とUniversity of California Berkeleyの共同実験室 |

出典:各種公開資料より作成

■表3-F-15 Alibabaの人材育成策

| 時期 | 施策 |
|----------|--|
| 2012年3月 | 「阿里星計画」を打ち出し、全世界に対し優秀人材を募集 |
| 2013年8月 | Purdue University教授の漆遠を採用し、iDSTの3大責任者の一人に登用 |
| 2013年4月 | 元Google研究員の閔万里氏を採用し、人工知能首席科学者に登用 |
| 2014年12月 | 著名作家の涂子沛氏を採用し、iDSTの3大責任者の一人に登用 |
| 2014年7月 | Michigan State University教授の金榕氏を採用し、iDSTの3大責任者の一人に登用 |
| 2016年7月 | Microsoftパートナーの周靖人氏を採用し、Alicloud首席科学者に登用 |
| 2016年7月 | IEEE Fellow受賞者の華先勝氏を採用し、iDSTのコンピュータービジョン責任者に登用 |
| 2017年5月 | AI業界識者のMichael I.Jordan氏を雇用し、螞蟻金服シンクタンク首席に登用 |
| 2017年6月 | 元Amazonシニア科学者の任小楓氏を採用し、iDST副院長に登用 |
| 2017年3月 | 「NASA計画」を発表し、機械学習、AIチップ、IoT、OS、バイオ認識の新しい開発チームを構築 |

出典：各種公開資料より作成

■表3-F-16 AI業界におけるAlibabaのM&A活動

| 時期 | 種類 | 活動 |
|----------|----|---|
| 2014年7月 | 投資 | 元Alibaba M Studio責任者の祝銘明氏が創立した音声識別のRokidに投資 |
| 2014年11月 | | 深層学習のFace++に投資 |
| 2015年6月 | | ソフトバンク傘下のロボットベンチャーSBRHに145億円を投資 |
| 2017年8月 | | AIチップのcambriconに投資 |
| 2017年8月 | | AIチップのDeephiに投資 |
| 2017年10月 | | 達摩院を設立し、今後の3年間で1,000億人民元を投資し、世界各地で研究所を設立予定 |
| 2017年11月 | | AIチップのKneronに数千万ドルを投資 |

出典：各種公開資料より作成

(4) iFLYTEK

iFLYTEK社は、複数のAI領域で事業を展開するBAT3社と異なり、音声認識技術に特化した企業であり、この分野で高い実績をあげている。設立が1999年と比較的早く、2000年代からAIの開発に取り組んでいる。MIT Technology Reviewが選出した「50 Smartest Companies 2017」では6位にランクインしており、海外においても知名度が高い。以下同様に、産業チェーン構築、AI研究所、M&A活動をそれぞれ表3-F-17、表3-F-18、表3-F-19にまとめる（人材育成はコメントのみ）。

表3-F-17 iFLYTEKのAI産業チェーン構築

| 領域 | 主要製品 |
|-----------|---|
| インフラ層 | 音声認識チップ |
| テクノロジー層 | ①訊飛開放平台（オープンプラットフォーム） AIUI、身分認証、ロボット、ゲームなどの業界ソリューションを提供しながら、法人・個人開発者に訊飛のノウハウを共有し、共同で技術開発を図る。 ②AIUIマンマシンインターフェースモジュール ハードウェア・ソフトウェアを一体化させた遠距離音声識別システム |
| アプリケーション層 | ■教育ソフト ①暢言智慧校園（音声コントロール対応学校管理システム） ②暢言智慧課堂（教学用ソフト） ③暢言智能語音（二言語対応教学ソフト） ④訊飛啓明標準化考場解決方案（試験現場セキュリティ管理システム） ⑤訊飛啓明網上閱卷系統（オンライン試験審査システム） ⑥訊飛啓明招生考試管理平台（学生募集・試験管理システム） ⑦国家普通語智能測試系統（中国語能力評価システム） ⑧訊飛聽說智能測試系統（聴力試験管理システム） ⑨中国少数民族漢語水平等級考試系統（少数民族向け中国語能力評価システム） ⑩音楽等級考試智能模擬測試系統（音楽専門能力評価システム） ⑪大学英语筆記考試智能閱卷与分析系統（大学生向け英語筆記試験オンライン審査システム） ⑫英語聽說智能考試与教学系統（英語聴力能力教学・試験システム） ⑬大学英语四・六級口語考試系統（大学英语能力4級・6級口頭試験システム） ⑭普通話模擬測試与学習系統（中国語能力学習・模擬試験システム） ⑮智学網（教学補佐プラットフォーム） ⑯熊宝報聽写（教科書朗読補佐ソフト） ⑰熊宝背課文（教科書暗唱補佐ソフト） ■通信業向けソリューション ①音声合成エンジン ②音声識別エンジン ③声紋識別エンジン ■ハードウェア ①曉曼機器人（知能ロボット） |
| | 2B ■ツール（ソフトウェア） ①訊飛輸入法（入力ソフト） ②録音宝（音声⇒テキスト転換ソフト） ③開心熊宝（インタラクティブ児童教育ソフト） ④靈犀（知的アシスタント） ⑤聽說無憂（英語学習ソフト） ■音楽アプリ ①個性彩鈴（カスタマイズ可能な着メロアプリ） ②蝦咪音樂Bar（音声コントロール可能なカラオケアプリ） ③叮咚智能音箱（アシスタント機能付きスマートステレオ） ④音楽語音搜索（音楽検索エンジン） ■ハードウェア ①開心熊宝雲夥伴（アシスタント知能ロボット） ②開心熊宝雲電話手表（アシスタント型ウェアラブルデバイス） ③阿爾法小蛋、阿爾法機器人（アシスタント知能ロボット） ④訊飛智能護眼灯（音声喚起可能な护眼型デスクライト） ⑤小飛魚（運転用アシスタント） ⑥曉訳翻譯機（多言語知能翻訳マシン） ⑦音声⇒テキスト転換機 ⑧iTV（音声制御機能付きリモコン） |

出典: 各種公開資料より作成

■表3-F-18 iFLYTEKのAI研究所

| 分類 | 時期 | 場所 | 研究所名 |
|-------|---------|----|--|
| 自社研究所 | 2005年 | 合肥 | 科大訊飛研究院を設立 |
| | 2008年 | 合肥 | 国家863計画成果産業化基地を設立 ※国家プロジェクトの請負 |
| | 2010年 | 合肥 | 国家知能語音高技術産業化基地を設立 |
| | 2011年 | 合肥 | 語音及語言信息処理国家工程実験室を設立 |
| 共同研究所 | 1980年 | 合肥 | 人機語音通信実験室を設立 ※国家智能計算機研究開発中心と共同設立 |
| | 2000年 | 合肥 | 中国科学技術大学、中国社会科学院と共同実験室を設立 |
| | 2002年 | 合肥 | 科大訊飛エンジニアリング修士クラス、科大訊飛科学研究ワークステーション、軟件学院 育成基地の3つを設立 ※中国科学技術大学と共同設立 |
| | 2005年4月 | 合肥 | Nuanceと共同実験室を設立 |
| | 2006年 | 北京 | 清華一訊飛音声技術共同実験室を設立 |
| | 2014年 | 合肥 | 中国声谷を設立 国有企業である安徽省信息産業投資控股有限公司と共同設立 |

出典：各種公開資料より作成

■表3-F-19 AI業界におけるiFLYTEKのM&A活動

| 時期 | 種類 | 活動 |
|----------|----|------------------------|
| 2014年8月 | 投資 | 業務用ロボットの雲迹科技に投資 |
| 2016年4月 | | 知的ロボットのRooboに投資 |
| 2016年8月 | | AIチップのcambriconに投資 |
| 2016年10月 | | 教育用VRの訊飛幻境に投資 |
| 2016年11月 | | 知能テレビゲームの小Y游戲に投資 |
| 2017年1月 | | 英語作文分析ツールのRealSkillに投資 |
| 2017年5月 | | 知能化ステレオの叮咚音響に投資 |
| 2017年6月 | | 音声制御マウスの咪鼠科技に投資 |
| 2017年8月 | | 自動運転の主線科技に投資 |
| 2018年1月 | | AI情報メディアの機器之心に投資 |

出典：各種公開資料より作成

●人材育成

同社では、中途採用を行うことが少なく、基本的に「721育成モデル」にもとづいて人材を社内で育成している。また、中国科学技術大学、清華大学から毎年優秀な卒業生を優先採用している。

4 中国の有力AIベンチャー企業

前項で説明したリーディングカンパニー4社に加え、中国のAIベンチャー企業も、各分野において猛スピードで成長しており、そのうちの多くはグローバルにおいても高い競争力を持っている。特に知能ロボット、音声認識の2分野においては、中国ベンチャー企業の数も多く、中国国内の膨大なユーザー数(例えば携帯電話経由のネットユーザー数は11億人)にもとづくデータ量やフィードバックを武器に、ユーザー体験を常に改善し、素早く最新技術を導入して開発を行っている。

まず、本特集の「1.(2) 未公開企業の潜在力」で示した「The AI 100 2018」に選ばれた8社のベンチャー企業の概要を表3-F-20に示す。

■表3-F-20 CB InsightS「The AI 100 2018」に選ばれた中国AIベンチャー8社の概要

| 社名 | 分野 | 概要 |
|--|-----------|--|
| Beijing Byte Dance Telecommunications (北京字節跳動科技) | ニュース&メディア | SNSや閲覧傾向の分析などから個人の好みを把握し、独自のデータマイニングやレコメンド技術を利用したニュース情報アプリを提供。 |
| Cambricon Technologies Corporation (寒武紀科技) | ハードウェア | ディープラーニング用のチッププロセッサであるCambricon-1Aを提供。 |
| CloudMinds Technology (達闡科技) | ロボティクス | クラウドベースのスマートロボット、クラウドネットワーク、大規模機械学習プラットフォーム、スマートターミナル及びロボットのコントロール技術を提供する |
| Megvii Technology (北京曠視科技) | 業種共通 | 顔認識技術のプラットフォーム「Face++」の運営とモバイルゲームスタジオを運営する。 |
| Shanghai Liulishuo Information Technology (流利説) | 教育 | 世界有数のAIを活用した教育サービスのテクノロジーを持つ。主力製品のLiulishuoは、ディープラーニングを用いて開発されたAI英語教師アプリで、パーソナライズされた適応学習機能を持つ。 |
| Mobvoi (羽扇智) | 業種共通 | 音声認識技術を有し、音声検索機能を持つスマートウォッチTicwatchや、飛行機・電車・レストラン・ホテル・旅行者用のナビゲーションなどの情報を提供するツールChumen Wenwenを提供する。 |
| SenseTime group (商湯科技) | 業種共通 | ディープラーニング技術をコンピュータービジョンに適用し、顔認識技術を開発する。モバイル、金融サービス、セキュリティ、自動運転などの分野に画像認識技術を提供する。 |
| UBTECH Robotics (優必選科技) | ロボティクス | 人型ロボットの開発における有力企業。 |

出典:各種公開情報より作成

このほかにも、多くのAIベンチャー企業が活動している。表3-F-21は、①自然言語処理、②マシンラーニング、③画像解析とコンピュータービジョン、④音声認識、⑤プロセッサ・チップ・センサー、⑥知能ロボット、⑦テクノロジープラットフォーム、⑧インテリジェンスドローン、⑨自動運転/ADAS、⑩知的インタラクティブシステム等10分野の有力ベンチャー企業をまとめたものである。

表3-F-21 中国有力AIベンチャー企業リスト

| No. | ブランド名 | 企業名 | 事業分野 | 本部所在都市 |
|-----|----------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | trio.ai(三角獣) | 三角獣(北京)科技有限公司 | 自然言語処理 | 北京 |
| 2 | 来也 | 北京来也網絡科技有限公司 | | 北京 |
| 3 | 語義Cloud | 聚燭信息技術(上海)有限公司 | | 上海 |
| 4 | 半個医生 | 杭州蕙泉健康諮詢有限公司 | | 杭州 |
| 5 | BOSON | 上海玻森数抛科技有限公司 | | 上海 |
| 6 | 商鵲網 | 南京雲在商鵲信息科技有限公司 | | 南京 |
| 7 | 小機器人 | 上海智臻智能網絡科技股份有限公司 | | 上海 |
| 8 | 風報 | 上海風報企業征信服務有限公司 | | 上海 |
| 9 | 風語者機器人 | 北京中通網絡通信股フェン有限公司 | | 北京 |
| 10 | 头条 | 北京字節跳動科技有限公司 | | 北京 |
| 11 | GOWILD | 深セン狗尾草智能科技有限公司 | | 深セン |
| 12 | 易手邦 | 北京中微通信信息技術有限公司 | | 北京 |
| 13 | CLOUD CLONE | 杭州云分身機器人科技有限公司 | | 杭州 |
| 14 | 第四範式 | 第四範式(北京)技術有限公司 | マシンラーニング | 北京 |
| 15 | BAIDU IDL | 北京百度網訊科技有限公司 | | 北京 |
| 16 | ALI IDST | 阿里巴巴(中国)網絡技術有限公司 | | 杭州 |
| 17 | 華為雲 | 華為軟件技術有限公司 | | 南京 |
| 18 | 滴滴出行 | 滴滴出行科技有限公司 | | 天津 |
| 19 | 京東 | 北京京東參百陸拾度電子商務有限公司 | | 北京 |
| 20 | 地平線 | 深セン地平線機器人科技有限公司 | | 北京 |
| 21 | DIX | 深セン市騰訊計算機系統有限公司 | | 深セン |
| 22 | TUPUTECH | 広州図普網絡科技有限公司 | | 画像解析と コンピュータービジョン |
| 23 | SENSETIME | 北京市商湯科技開発有限公司 | 北京 | |
| 24 | YITU | 上海依図網絡科技有限公司 | 上海 | |
| 25 | Yi+ | 北京陌上花科技有限公司 | 北京 | |
| 26 | FACE++ | 北京曠視科技有限公司 | 北京 | |
| 27 | DeepGlnt | 北京格靈深瞳信息技術有限公司 | 北京 | |
| 28 | ReadSense | 上海閱面網絡科技有限公司 | 上海 | |
| 29 | 雲从科技 | 広州雲从信息科技有限公司 | 広州 | |
| 30 | PERCIPIO.XYZ | 上海図漾信息科技有限公司 | 上海 | |
| 31 | MALONG | 深セン碼隆科技有限公司 | 深セン | |
| 32 | DeepCare | 北京羽医甘藍信息技術有限公司 | 北京 | |
| 33 | 酒味曠 | 佛山市味曠購信息技術有限公司 | 佛山 | |
| 34 | intell ifusion | 深セン雲天励飛技術有限公司 | 深セン | |
| 35 | infer VISION | 北京推想科技有限公司 | 北京 | |
| 36 | 12siana | 図瑪深維医療科技(北京)有限公司 | 北京 | |
| 37 | TURNICON | 図麟信息科技(上海)有限公司 | 上海 | |
| 38 | UNISOUND | 北京雲知声信息技術有限公司 | 音声認識 | 北京 |
| 39 | YOUNGTONE | 上海優同科技有限公司 | | 上海 |
| 40 | 車羅卜 | 北京棠駕科技有限公司 | | 北京 |
| 41 | 思昂教育 | 北京凌声芯語音科技有限公司 | | 北京 |
| 42 | 科大訊飛 | 科大訊飛股フェン有限公司 | | 合肥 |
| 43 | AISPEECH | 蘇州思必馳信息科技有限公司 | | 蘇州 |
| 44 | 捷通華声 | 北京捷通華声科技股フェン有限公司 | | 北京 |
| 45 | 雲歌信息 | 杭州雲歌信息科技有限公司 | | 杭州 |
| 46 | 馳声 | 蘇州馳声信息科技有限公司 | | 蘇州 |
| 47 | 出門問問 | 北京羽扇智信息科技有限公司 | | 北京 |
| 48 | ThinkIT | 北京中科信利技術有限公司 | 北京 | |
| 49 | OLAMI | 威盛電子(上海)有限公司 | プロセッサー・ チップ・センサー | 上海 |
| 50 | DEEPHI | 北京深鑿科技有限公司 | | 北京 |
| 51 | VIMICRO | 北京中星微電子有限公司 | | 北京 |
| 52 | Cambricon | 北京中科寒武紀科技有限公司 | | 北京 |
| 53 | NVIDIA | 商輝達半導體(上海)有限公司 | | 上海 |
| 54 | MEDIATEK | 聯發博動科技(北京)有限公司 | | 北京 |
| 55 | 地平線 | 深セン地平線機器人科技有限公司 | | 北京 |
| 56 | NOVUMIND | 北京異構智能科技有限公司 | | 北京 |
| 57 | 大立科技 | 浙江大立科技股フェン有限公司 | | 杭州 |
| 58 | CISTA | 上海芯攝達科技有限公司 | 上海 | |

(続く)

| | | | | |
|-----|-------------------|----------------------|--------------------|-----|
| 59 | SAISUN | 瀋陽新松機器人自動化股フェン有限公司 | 知能ロボット | 瀋陽 |
| 60 | DFROBOT | 上海智位機器人股フェン有限公司 | | 上海 |
| 61 | EFORT | 埃夫特智能裝備股フェン有限公司 | | 蕪湖 |
| 62 | TAMI | 塔米智能科技(北京)有限公司 | | 北京 |
| 63 | UBTECH | 深セン市優必選科技有限公司 | | 深セン |
| 64 | Merber Technology | 北京曼寶科技發展有限公司 | | 北京 |
| 65 | ECOVACS | 蘇州科沃斯機器人電子商務有限公司 | | 蘇州 |
| 66 | Xrobot | 深セン市銀星智能科技股フェン有限公司 | | 深セン |
| 67 | roobo | 北京智能管家科技有限公司 | | 北京 |
| 68 | iRayrobot | 阿亦睿機器人科技(上海)有限公司 | | 上海 |
| 69 | ESTUN | 南京埃斯頓自動化股フェン有限公司 | 南京 | |
| 70 | CANBOT | 深セン市紫光傑思谷科技有限公司 | 深セン | |
| 71 | BeagleData | 天雲融創數拋科技(北京)有限公司 | テクノロジー プラットフォーム | 北京 |
| 72 | elensdata | 北京一覽群智數拋科技有限責任公司 | | 北京 |
| 73 | PerfxLab | 澎峰(北京)科技有限公司 | | 北京 |
| 74 | henghao data | 廣州衡昊數拋科技有限公司 | | 廣州 |
| 75 | ideepmind | 深思考人工智能機器人科技(北京)有限公司 | | 北京 |
| 76 | 第四範式 | 第四範式(北京)技術有限公司 | 北京 | |
| 77 | DJI | 深セン市大疆創新科技有限公司 | インテリジェンス ドローン | 深セン |
| 78 | FLYPRO | 深セン飛豹航天航空科技有限公司 | | 深セン |
| 79 | XAIRCRAFT | 廣州極飛科技有限公司 | | 廣州 |
| 80 | KeyShare | 湖南基石信息技術有限公司 | | 長沙 |
| 81 | ehang | 廣州億航智能技術有限公司 | | 廣州 |
| 82 | ZEROTECH | 零度智控(北京)智能科技有限公司 | | 北京 |
| 83 | GDU | 普宙飛行器科技(深セン)有限公司 | | 深セン |
| 84 | JIYUAV | 極翼機器人(上海)有限公司 | | 上海 |
| 85 | SKY Intelligence | 西安斯凱智能科技有限公司 | | 西安 |
| 86 | AIBIRD | 武漢智能鳥無人機有限公司 | | 武漢 |
| 87 | YUNEEC | 昊翔電能運動科技(昆山)有限公司 | | 蘇州 |
| 88 | AEE | 深セン一電科技有限公司 | | 深セン |
| 89 | 千牛無人機 | 湖南千牛無人機科技有限公司 | | 岳陽 |
| 90 | MOLA | 上海九鷹電子科技有限公司 | 上海 | |
| 91 | 百度自動運転 | 北京百度網訊科技有限公司 | 自動運転/ADAS | 北京 |
| 92 | 地平線 | 深セン地平線機器人科技有限公司 | | 北京 |
| 93 | MOMENTA.AI | 北京魔門塔科技有限公司 | | 北京 |
| 94 | UISEE | 馭勢科技(北京)有限公司 | | 北京 |
| 95 | Smarter Eye | 北京中科慧眼科技有限公司 | | 北京 |
| 96 | Holomatic | 禾多科技(北京)有限公司 | | 北京 |
| 97 | tusimple | 北京圖森未來科技有限公司 | | 北京 |
| 98 | MINIEYE | 深セン佑駕創新科技有限公司 | | 深セン |
| 99 | ZongMu | 縱目科技(上海)股フェン有限公司 | | 上海 |
| 100 | uinnova | 北京優諾科技有限公司 | | 北京 |
| 101 | vidoo | 天津鋒時互動科技有限公司 | 知的インタラクティブ システム | 天津 |
| 102 | HISCENE | 亮風台(上海)信息科技有限公司 | | 上海 |
| 103 | seengene | 北京悉見科技有限公司 | | 北京 |
| 104 | NOITOM | 北京諾亦騰科技有限公司 | | 北京 |
| 105 | SENSCAPE | 觸景無限科技(北京)有限公司 | | 北京 |
| 106 | ORBEC | 深セン奧比中光科技有限公司 | | 深セン |
| 107 | img | 北京英梅吉科技有限公司 | | 北京 |
| 108 | USENS | 杭州凌感科技有限公司 | | 杭州 |

出典:各種公開資料より作成

5 個別技術分野ごとの有力企業

中国の有力AIベンチャー企業の中から個別技術分野ごと(ロボット、ドローン、音声認識、自然言語処理技術、自動運転、Deep Learning、CVIP(Computer Vision and Image Processing))に抽出し、資本金設立時期などの企業主要諸元、主要製品・技術及びその会社の強みを説明する(表3-F-22～表3-F-28)。

(1) ロボット：瀋陽新松機器人自動化股フェン有限公司

■表3-F-22 瀋陽新松機器人自動化股フェン有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 瀋陽新松機器人自動化股フェン有限公司／SAISUN |
| 登録地 | 遼寧省瀋陽市渾南新区 |
| 登録資本金 | 156,024万人民元 |
| 企業属性 | その他股フェン有限公司（株式上場済） |
| 設立時期 | 2000年4月30日 |
| URL | http://www.siasun.com |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・各種ロボット（工業用、運搬用、アシスト、掃除、特殊用途くトラスマニピュレーター等）、医療用、エネルギー分野向け等） ・物流用運搬装置、自動化製造ライン、3Dプリンター、知的交通用装置等 |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・中国科学院傘下企業 ・業界初の上場市場、年商約25億人民元 ・中国ロボット協会会長企業、中国ロボット標準化全体企画リーグ企業 ・「第一回革新的企業」入選企業 ・自動車、家電、通信、金属加工、インテリア、太陽光発電、食品・医薬、エネルギー・石油化学、紡績・印刷・物流、教育、半導体など多数の業界において導入実績を有する。 |

出典：各種公開資料より作成

(2) ドローン：深セン市大疆創新科技有限公司

■表3-F-23 深セン市大疆創新科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 深セン市大疆創新科技有限公司／DJI |
| 登録地 | 広東省深セン市南山区 |
| 登録資本金 | 3,000万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司（台湾／香港／マカオ法人独資） |
| 設立時期 | 2006年11月6日 |
| URL | http://www.dji.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・民生用ドローン／専門用ドローン ・ドローン用メガネ、撮影安定システム、ドローン用パワーシステム、ドローン用コントローラー ・その他ドローン用周辺装置 |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・企業価値100億米ドル以上、年間売上約180億人民元 ・海外市場の売上が高く、100以上の国へ輸出 ・米国におけるシェアNo.1、全世界におけるシェア約70% |

出典：各種公開資料より作成

(3) 音声認識：北京雲知声信息技术有限公司

■表3-F-24 北京雲知声信息技术有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 北京雲知声信息技术有限公司／UNISOUND |
| 登録地 | 北京市海淀区 |
| 登録資本金 | 1,846万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司（中外合弁） |
| 設立時期 | 2012年6月12日 |
| URL | http://www.unisound.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・ハードウェア（AIチップ、スマートロボット） ・応用ソリューション（スマート家電、スマート車載、スマート医薬、スマート教育） ・「モノのインターネット」に関する協力型開発オープンプラットフォーム |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・ファンドから計約6億人民元融資し、企業価値10億米ドル、年間売上約6,000万人民元 ・音声技術の関連特許を約50件登録 ・安静環境下中国語音声認識正確率：約96% ・騒音環境下中国語音声認識正確率：約80% ・対応言語：中国語、広東語、英語、ドイツ語、スペイン語等 |

出典：各種公開資料より作成

(4) 自然言語処理技術：蘇州思必馳信息科技有限公司

■表3-F-25 蘇州思必馳信息科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 蘇州思必馳信息科技有限公司／AISPEECH |
| 登録地 | 江蘇省蘇州工業園区 |
| 登録資本金 | 2,000万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2007年10月26日 |
| URL | http://cn.aispeech.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・音声入力ソフト ・AIOS（各OSで作動し、音声技術をパッケージングしたmeta operating system） ・応用ソリューション（スマートカー、スマート家電、スマートロボット向け） ・ヒューマニゼーション型知能音声対話技術プラットフォーム |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・Alibabaを始め、複数のファンドが約4億人民元投資 ・上海交通大学と智能語音技術実験室を共同設立 ・Man-Machine Interaction関連技術の論文を80以上も国際主要メディアで発表し、ISCA等から優秀賞を受賞 ・AIOS（Artificial Intelligence Speech Operating System）を提供して、Alibaba系列の高徳、阿里汽車、蝦米音楽や喜馬拉雅などと協力し、智能車載デバイス専用OSの「YunOS Carware」を共同開発 |

出典：各種公開資料より作成

(5) 自動運転・ADAS：馭勢科技(北京)有限公司

■表3-F-26 馭勢科技(北京)有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 馭勢科技(北京)有限公司/UISEE |
| 登録地 | 北京市房山区 |
| 登録資本金 | 1,034万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司(中外合弁) |
| 設立時期 | 2016年2月3日 |
| URL | https://www.uisee.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ■製品 ・L1~L3無人運転自動車、場所限定したL4無人運転自動車、物流用無人運転自動車、自動パーキングシステム ■技術 ・自動運転車用深層学習アルゴリズム、マルチセンサーによる融合的アルゴリズム、意思決定・コントロールアルゴリズム、位置推定アルゴリズム ■プラットフォーム ・遠隔モニタリング・コントロールシステム、Man-Machine Interactionシステム、自動運転車用運営システム |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・シリーズAまで約5,000万人民元融資、設立1年目で価値5億人民元突破 ・ZHENFUND、Sinovation Ventures等有力ファンドが投資 ・創業メンバーにはIntel、Google出身者が多い ・Reddot Award 2017入賞 ・杭州来福士広場、広州空港で無人運転自動車を運営 |

出典：各種公開資料より作成

(6) Deep Learning：北京深鑑科技有限公司

■表3-F-27 北京深鑑科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|---|
| 企業名 | 北京深鑑科技有限公司/DEEPhi |
| 登録地 | 北京市海淀区 |
| 登録資本金 | 2,000万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2016年3月3日 |
| URL | http://www.deephi.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・スマートIPC(深層学習加速モジュール)、スマートNVR/DVRモジュール(深層学習加速モジュール) ・映像構造化サーバー(深層学習加速モジュール)、深層圧縮ツールDECENT、ニューラルネットワークコンパイラDNNC、FPGAプラットフォームにもとづくDPU、「雨燕」深層学習処理プラットフォーム |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・Alibaba、Samsung Venturesなど大手ファンドが投資、現在まで約5億人民元を融資 ・企業価値10億人民元以上 ・清華大学から技術サポートを受ける、主要創業メンバーは全員清華大学出身者 |

出典：各種公開資料より作成

(7) CVIP：広州図普網絡科技有限公司

■表3-F-28 広州図普網絡科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|---|
| 企業名 | 広州図普網絡科技有限公司/TUPUTECH |
| 登録地 | 広東省広州市天河区 |
| 登録資本金 | 100万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2014年4月1日 |
| URL | http://www.tuputech.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ■製品 <ul style="list-style-type: none"> ・「最美搜衣」（衣装検索エンジン）、商業施設における顧客認識、流動分析システム ■技術 <ul style="list-style-type: none"> ・アダルトコンテンツ識別、暴力コンテンツ識別、政治人物識別、物体・場面識別 ・生放送モニタリング、顔面認識、文字認識、画像の芸術的処理 |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・現在まで2億人民元強を融資 ・創業者は元TencentのQQメール責任者、Wechat開発参加者 ・毎日10億枚以上の画像を処理できる ・浙江大学とAI Labを共同設立、多数の動画サイトや政府機関と業務提携 |

出典：各種公開資料より作成

6 産業応用分野ごとの有力企業

中国の有力AIベンチャー企業の中から産業応用分野ごと（金融、医療、セキュリティ、家電、交通、無人コンビニ）に抽出し、資本金設立時期などの企業主要諸元、主要製品・技術及びその会社の強みを説明する（表3-F-29～表3-F-34）。

(1) 金融：深セン市前海第四範式数拠技術有限公司

■表3-F-29 深セン市前海第四範式数拠技術有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 深セン市前海第四範式数拠技術有限公司 |
| 登録地 | 深セン市前海深港合作区 |
| 登録資本金 | 1,516万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司（中外合弁） |
| 設立時期 | 2014年9月17日 |
| URL | https://www.4paradigm.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ■技術 <ul style="list-style-type: none"> ・「AI - Driven Enterprise Core System」（企業向けAIシステム構築ツール） ・「AI Prophet (SaaS)」（上記システムのSaaS版） ・「PROPHET」（AI開発のオープンプラットフォーム） ■製品 <ul style="list-style-type: none"> ・金融業界ソリューション ・10億単位位の過去取引履歴データベースにもとづく不正取引の検知、破産予測、資産予測、リスク認識流失予防等。ユーザー一人一人にリアルタイムにプレジジョンマーケティング、人工知能にもとづくカスタマサービス ■コンサルティング <ul style="list-style-type: none"> ・AI構築の事前調査、企画策定、実施をオンデマンドサポート |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・Sinovation Ventures、sequoia capなど大手ファンドが投資、企業価値約5億人民元 ・創業者の一人はBaidu「鳳巢システム」の元責任者 ・中国工商銀行、中国銀行、中国建設銀行から戦略的投資を受けた ・光大銀行クレジットカードセンターとAI実験室を共同設立 |

出典：各種公開資料より作成

(2) 医療：深セン碳雲智能科技有限公司

■表3-F-30 深セン碳雲智能科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|---|
| 企業名 | 深セン碳雲智能科技有限公司 |
| 登録地 | 深セン市前海深港合作区 |
| 登録資本金 | 1,287万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司（中外合弁） |
| 設立時期 | 2015年10月20日 |
| URL | http://www.icarbonx.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・Meum™（デジタルヘルスマネジメントプラットフォーム） ※スマートフォンAPPを通して栄養、スポーツ、美容の3つの健康指標を監視 |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・「THE AI 100 2017」入賞 ・Tencentなどから14億人民元を融資、企業価値10億米ドル ・病理診断業界でSomaLogic、HealthLoop等に投資 ・創業メンバーに遺伝子技術BGI出身者が複数名いる ・イスラエルAI開発企業Imagu Vision Technologiesを買収 ・南欧マルタで子会社設立 ・SomaLogic、HealthTell、PatientsLikeMe、AOBiome、GALT、Imagu、天津強微特生物科技有限公司の7社と「デジタルライフアライアンス」を設立し、この7社に4億米ドルを投資 ・全世界でMeum™のユーザー数は100万人突破 |

出典：各種公開資料より作成

(3) セキュリティ：北京曠視科技有限公司

■表3-F-31 北京曠視科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|---|
| 企業名 | 北京曠視科技有限公司 |
| 登録地 | 北京市海淀区 |
| 登録資本金 | 3,000万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2011年10月8日 |
| URL | https://www.faceplusplus.com.cn/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ■技術 <ul style="list-style-type: none"> ・Brain++（深層学習アルゴリズムエンジン） ■製品 <ul style="list-style-type: none"> ・Megvii C1（顔面撮影・追跡モニタリングカメラ） ・KoalaCam（顔面認識機能付き受付ロボット） ・Face++（顔面認識人工知能開発オープンプラットフォーム） ・FaceID（顔面認識とQCR身分検証にもとづくサービスプラットフォーム） ・Image++（深層学習にもとづく画像認識サービスプラットフォーム） ■ソリューション <ul style="list-style-type: none"> ・セキュリティ、金融、物件管理、商業施設などの分野向けに各種顔面認識、画像認識技術サービスを導入したトータルソリューションを提供 |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・ANT FINANCIALなど有力ファンダから総額33億人民元の投資を受けた、企業価値約15億米ドル ・同社のセキュリティソリューションは万科集団、Sinovation Ventures、ANT FINANCIAL、中国民生銀行などで導入された ・「50 Smartest Companies 2017」入賞（第11位） |

出典：各種公開資料より作成

(4) 家電：杭州古北電子科技有限公司

■表3-F-32 杭州古北電子科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|---|
| 企業名 | 杭州古北電子科技有限公司 |
| 登録地 | 杭州市濱江区 |
| 登録資本金 | 1,315万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2013年7月30日 |
| URL | http://www.broadlink.com.cn/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ■ハードウェア ・スマートリモコン、スマートコンセント、スマートWi-Fi、PM2.5モニター、スマートセンサー、スマートカーテン、スマート空気浄化機 ■ソフトウェア ・「智慧星」（スマート家電の音声制御ソフト） ・「易控」（既存家電をリモートコントロールさせるソフト） ■ソリューション ・CloudThink（インターネットゲートウェイ、空気浄化、音声制御、セキュリティ、照明の5つを統合したホームオートメーションシステム） ・BroadLink DNA（ブランドをまたいだコントロール・データ共有プラットフォーム） |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・企業価値10億人民元弱、E C大手の京東も株主、シリーズDまで4.8億人民元を融資 ・創業メンバー2人はメルボルン大学で博士号取得 ・多数の大手家電メーカーとBroadLink DNAを通して提携し、ブランドをまたいだコントロール・データ共有を実現 |

出典：各種公開資料より作成

(5) 交通：滴滴出行科技有限公司

■表3-F-33 滴滴出行科技有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|--|
| 企業名 | 滴滴出行科技有限公司 |
| 登録地 | 天津経済開発区 |
| 登録資本金 | 5,000万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2015年7月29日 |
| URL | http://www.didichuxing.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・「滴滴出行」（グローバル・ワンストップ総合交通プラットフォーム） タクシー、白タク、カーシェアリング、公共バス、ドライバー代行、カーレンタル、中古車取引、自動車保険など自動車関連のほぼすべてのサービスを提供 ・「滴滴出行SDK」 第三者向け交通サービスSDKプラットフォーム |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・企業価値500億米ドル、シリーズFまで41のファンドから1,560億人民元を融資 ・テンセント系の滴滴打車、アリババ系の快的打車が合併した巨大企業 ・創業メンバーには元Alipay責任者、レノボ会長の親族がいる。 ・登録ユーザー数4.5億人、年間サービス提供回数約75億回 ・新エネルギー自動車や自動運転技術の開発にも注力 ・Wechatの常駐機能として10億人にサービス提供 |

出典：各種公開資料より作成

(6) 無人コンビニ：深蘭科技(上海)有限公司

■表3-F-34 深蘭科技(上海)有限公司の会社概要

| 項目 | 内容 |
|---------|---|
| 企業名 | 深蘭科技(上海)有限公司 |
| 登録地 | 上海市長寧区 |
| 登録資本金 | 620万人民元 |
| 企業属性 | 有限責任公司 |
| 設立時期 | 2012年8月3日 |
| URL | https://www.deepblueai.com/ |
| 主要製品・技術 | <ul style="list-style-type: none"> ■製品 ・「quiXmart」：スマート無人小売システム ・「TakeGo」：胡麻信用と事業提携したスマート事後決済システム ・「Metamind」：スマート顧客サービスシステム ■ソリューション ・小売向け、エンタテインメント向け、ロボット向け、スマートコミュニティ |
| 強み評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・シリーズAまで3.4億人民元を融資 ・同社はCEOが設立した3社目のベンチャー企業 ・ANT FINANCIALと業務提携 ・日本、オーストラリア、ニュージーランド、米国へ市場参入実施中 ・Amazon Goよりも市場参入が早い |

出典：各種公開資料より作成

7 AIに関する中国政府の制度、政策

(1) 中国政府のAI産業に対する姿勢

中国中央政府の産業促進政策は、社会主義国家としての特色もあり、マクロ的な中期計画や目的志向的な指導意見が述べられているが、今後の中国の方向性を明確化するものでもある。政策の大枠が示された後には、地方政府を含め、実施細則、重点プロジェクト支援、コア技術、推進プロセスまでを細かくタイムリーに指導するため、企業支援に大きな役割を果たしている。

政府の優遇施策には、地方政府による税免除・低減、補助金、融資サポート、法律・税務面の支援、特定プロジェクトごとの支援、中央政府と地方政府の連携による産業センターなど研究開発のインフラ整備、複数の政府機関(発展改革委員会、工業和信息化部、科学技術部など)が共同出資で政府系ファンドを作り投資を行うものなどがある。地方政府が具体的な優遇対象を決める立場にある。ベンチャー企業に対しても、事務所の提供、法律・税務面のサポート、トレーニング、さらに技術、ビジネスチャンスのマッチングなどを行う。ただし、中国政府は優遇策によって効果の最大化を図る目的で、有力な大企業に優遇策を集中する傾向も見られる。

AIなどの先端分野の産業振興に関しては、中国政府は新技術に対してとてもオープンな姿勢であり、国家競争力向上につながるものであるなら国を挙げて政策の方向性を考案する。政策の立案や修正においては、多くの企業の意見を幅広くヒアリングし、十分に取り入れながら実情にあった政策とする。政策は政府と企業が共同で作成しているともいえる。

地方政府は、中国国内の他の地域に対して機先を制して先進の産業を育成することを狙うため、中央政府よりさらに急進的で、実施細則の考案も迅速である。自動運転のような先進分野において、成功事例が出れば有力企業の工場や拠点の誘致のため、先を争って土地・税収・融資などの面で大きな

優遇策を提供することもありえとみられる。

自動運転を例にとると、2017年7月に、Baiduの自動運転車が無許可で公道の走行試験を行い、公安局から処罰を受けた。わずか5カ月後に北京政府は「自動運転車両道路試験促進関連工作に対する北京市の指導意見」と「北京市自動運転道路試験管理実施細則（試行）」を執行した。迅速な規制緩和により、自動運転の進展を支援する方針を示したものである。

また、工業・信息化部と地方政府がタイアップし、自動運転専用試験基地の構築にも力を入れている。SAEレベル4（高度自動運転）用の試験場を含め、大手企業と地方政府の提携により構築されるものも多い。自動運転の大規模な実証実験など、一企業だけでは行えないものは地方政府が支援を行い、その結果データの蓄積や技術の進展が進んでいる。

(2) AI促進政策一覧

2015年4月から今まで、中国では特に製造業のレベルアップを図り、AIを含む先進的製造技術の導入を目指して、「中国製造2025」を中心に一連の促進政策が発表された（表3-F-35）。

■表3-F-35 AI促進政策一覧^{※3}

| No. | 公布時期等 | 公布政策名 | 公布機関 | 政策番号 |
|-----|-------------|-----------------------------|---|---|
| 1 | 2015年4月から毎年 | 智能製造モデルプロジェクト | 工業・信息化部 | 工信庁装函(2015)204号 工信部装函(2016)261号 工信庁装函(2017)215号 |
| 2 | 2015年5月1日 | 中国製造2025 | 国務院 | 国発(2015)28号 |
| 3 | 2015年7月1日 | インターネットプラス行動の積極的推進に関する指導意見 | 国務院 | 国発(2015)40号 |
| 4 | 2016年3月17日 | 国民経済と社会発展第十三次五カ年計画綱要 | 国務院 | 無 |
| 5 | 2016年4月12日 | 5つの重要課題の実施指南 | 工業・信息化部、発展改革委員会、科学技術部、財政部 | 無 |
| 6 | 2016年5月18日 | インターネットプラス AI三カ年行動実施方案 | 発展改革委員会、科学技術部、科学技術部、中共中央網絡安全和信息化領導小組弁公室 | 工信部科(2017)315号 |
| 7 | 2016年5月20日 | 製造業とインターネットの融合発展の深化に関する指導意見 | 国務院 | 国発(2016)28号 |
| 8 | 2016年7月28日 | 第十三次五カ年 国家科技創新計画 | 国務院 | 国発(2016)43号 |
| 9 | 2016年8月1日 | 中国製造2025国家級モデル区 | 工業・信息化部 | 無 |
| 10 | 2016年8月1日 | 装備製造業標準化・品質向上計画 | 国家質量監督檢驗檢疫総局、国家標準化管理委員会、工業・信息化部 | 国質検標聯(2016)396号 |
| 11 | 2016年11月29日 | 第十三次五カ年 国家戦略的新興産業発展計画 | 国務院 | 国発(2016)67号 |

※3 No.6の「インターネットプラス AI三カ年行動実施方案」は、中国語で“‘‘互联网+’’人工智能三年行动实施方案”であり、「互聯網+」人工智能三年行動実施方案とも訳される。No.22の「智能汽車双発展戰略（意見募集版）」は中国語で「智能汽车创新发展战略」であり、「知能自動車創新發展戰略（意見徵收稿）」とも訳される。

| | | | | |
|----|-------------|---|----------------------------------|------------------|
| 12 | 2016年12月8日 | 智能製造發展計畫（2016-2020年） | 工業・信息化部、財政部 | 工信部聯規(2016)349号 |
| 13 | 2016年12月1日 | 中国智能網聯汽車技術發展路線図 | 中国智能網聯汽車産業創新聯盟（業界組織であり、政府機関ではない） | 無 |
| 14 | 2017年1月6日 | 智能製造綜合標準化・新モデル応用重点プロジェクト | 工業・信息化部 | 工信庁装函(2017)8号 |
| 15 | 2017年1月23日 | 第一回知的生産システムソリューションプロバイダー推薦目録 | 工業・信息化部 | 工庁装(2017)946号 |
| 16 | 2017年4月1日 | 汽車産業中長期發展計畫 | 工業・信息化部、發展改革委員会、科学技術部 | 工信部聯装(2017)53号 |
| 17 | 2017年6月1日 | 国家車聯網産業標準体系建設指南 | 工業・信息化部、国家標準化管理委員会 | 工信部聯科(2017)332号 |
| 18 | 2017年7月1日 | 新世代人工智能發展計畫 | 国務院 | 国発(2017)35号 |
| 19 | 2017年10月11日 | 2018年「インターネットプラス」、人工智能革新發展、デジタルエコノミー等重要モデルプロジェクトの実施に関する通知 | 發展改革委員会 | 発改弁高技(2017)1668号 |
| 20 | 2017年10月31日 | ハイエンド智能再製造行動計畫（2018-2020年） | 工業・信息化部 | 工信部節(2017)265号 |
| 21 | 2017年12月14日 | 新世代智能産業の發展促進に関する三カ年計畫 | 工業・信息化部 | 工信部科(2017)315号 |
| 22 | 2018年1月1日 | 智能汽車創新發展戰略（意見募集版） | 發展改革委員会 | 意見募集中のため無し |
| 23 | 2018年1月16日 | 智能製造標準体系建設指南（2018年版）（意見募集版） | 工業・信息化部、国家標準化管理委員会 | 意見募集中のため無し |
| 24 | 2018年4月10日 | 大学におけるAI革新行動計畫 | 教育部 | — |
| 25 | 2018年4月21日 | 河北雄安新区規画綱要 | 中国共産党中央委員会と国務院 | — |

出典：各種公開資料より作成

(3) 主要政策-1 新世代人工知能發展計畫

この計畫は中国AI産業發展の指針であり、2020年～2030年までを3つのステップに分け、今後の注目分野、実現目標、AI産業市場規模、関連産業市場規模まで細かく規定している。表3-F-36にその概要を示すが、「(中国は)2020年までに世界トップレベルのAI技術を持つ国になり、2030年までに世界のAIイノベーションの中心地になること」を目標としている。

■表3-F-36 新世代人工知能発展計画の概要※4

| 時期 | 注目分野 | 目標 | AI産業市場規模の目安 | 関連産業市場規模の目安 |
|-------|--|--|-------------|-------------|
| 2020年 | <ul style="list-style-type: none"> ・ビッグデータ ・自律知能システム ・クロスミディアム知能 ・群知能 ・ハイブリッドエンハンスド知能 ・AI基礎理論 等 | AIの技術・応用レベルは世界先進レベルと同期し、経済発展の大きな牽引役とする。 | 1,500億人民元 | 1兆人民元 |
| 2025年 | <ul style="list-style-type: none"> ・知的生産 ・インテリジェント・メディシン（医薬） ・インテリジェントシティ（都市） ・インテリジェントアグリカルチャー（農業） ・国防建設 ・AI関連法規制 ・AI安全評価・管理監督体系 等 | AIの基礎理論研究を飛躍的に発展し、一部の技術・応用レベルは世界一を誇り、中国産業グレードアップ・発展モデル転換の原動力とする。 | 4,000億人民元 | 5兆人民元 |
| 2030年 | <ul style="list-style-type: none"> ・脳型知能 ・自律知能 ・ハイブリッド知能 ・群知能 ・社会統治 ・国防建設 ・インダストリアルバリューチェーン 等 | AIの理論研究、技術、応用レベルが全体的に世界一を誇り、世界主要AI革新大国を実現する。 | 1兆人民元 | 10兆人民元 |

出典：新世代人工知能発展計画より作成

(4) 主要政策-2 「インターネットプラス」、人工知能革新発展、デジタルエコノミー等重要モデルプロジェクトの実施に関する通知

2017年に通知されたこの政策では、インターネットプラス、人工知能革新発展、デジタルエコノミーの3分野において、優秀な大手企業がさらにスピーディに発展を遂げられるよう、補助金を付与することを目的としている。詳細金額は未公表だが、1社当たり数百万人民元～数千万人民元、合計数十億人民元～数百億人民元と想定される。うち、表3-F-37は人工知能革新発展関連の状況である。このように、中国政府はAI産業にファンドよりも率先して巨額投資をする姿勢を表明している。

※4 中国語で「新一代人工智能发展规划」という。日本では「新一代人工知能発展計画」とも訳される。

■表3-F-37 インターネットプラス、人工知能革新発展、デジタルエコノミー等重要モデルプロジェクトの実施に関する通知 補助金付与対象の条件

| 分類 | 補助金付与対象分野 | 統括政府機関 |
|------------|---|------------------------------|
| インターネットプラス | ①クラウドコンピューティング ・新世代クラウドコンピューティングOS産業化 ・エッジコンピューティングに向けたクラウドサービスサポートプラットフォームの建設・応用 ・ヘテロジニアス・コンピューティングに向けたクラウドサービスサポートプラットフォームの建設・応用 ②モノのインターネット ・位置情報にもとづいたIoT超低電力消費チップ（モジュール）産業化・大規模応用 ・自動運転、工業分野に向けたハイエンドセンサーの産業化 ③「インターネットプラス」協同製造サービスプラットフォーム | 各地方の 発展改革委員会、 中央管理企業 |
| 人工知能革新発展 | ①コア技術の研究開発・産業化 ・深層学習知的チップの産業化 ・深層学習応用に向けたオープンソースプラットフォームの建設・応用 ②基礎資源公共サービスプラットフォーム ・高正確性顔面認識システムの産業化及び応用 ・高感度性音声認識システムの産業化及び応用 ③インテリジェント無人システム応用プロジェクト ・高信頼性無人航空機製品の産業化 ④知的ロボット研究開発・応用プロジェクト | |
| デジタルエコノミー | ①行政事務情報システム統合共有応用モデルプロジェクト ②ビッグデータを採用した革新応用プロジェクト ③デジタルエコノミー公共インフラ ④中国－アセアン情報港プロジェクト ⑤「一帯一路」デジタルシルクロード建設合作プロジェクト | 関連中央政府 機関、各地方の 発展改革委員会 |

出典：各種公開資料より作成

8 人材育成政策

中国政府はAIの国際市場における主導権を奪取するべく、リーディング人材の育成、海外からの呼び寄せ、大学でのAI学科の開設などを通して、高度なAI人材の争奪戦に本腰を入れている。

(1) 新世代人工知能発展計画

まず「新世代人工知能発展計画」では人材育成に関して、表3-F-38のように規定している。

■表3-F-38 新世代人工知能発展計画の人材育成施策

| 項目 | 内容 |
|---------------|---|
| リーディング人材の育成 | <ul style="list-style-type: none"> 可能性のあるリーディング人材を支援・育成し、AI基礎研究、応用研究、運営保守等細分分野の専門技術人材の育成を強化する。 AI理論、方法、技術、製品、応用など複数分野を貫通した複合型人才、「AI+経済、社会、管理、標準、法律等」複数分野横断的な複合型人才育成を重視する。 重要研究開発プロジェクト・基地・プラットフォームの建設を通して、AIのハイエンド人材を集中させ、一部の領域においてハイレベルの研究開発チームを形成する。 国内の革新的人材、チームに対して世界一流のAI研究開発機構との業務連携を奨励・引導する。 |
| 海外からの呼び寄せ | <ul style="list-style-type: none"> 特別な採用ルートや特殊な採用優遇を執行し、AIのハイエンド人材の的確な導入を実現する。特に、神経認知、機械学習、自動運転、スマートロボットなど国際的なトップレベルの科学者とハイレベルの開発チームの導入に重点を置く。 プロジェクト単体提携、技術コンサルティングなど柔軟的な人材導入手法を取る。 「千人人材計画」等既存の人材導入計画を活用して、AI分野の優秀人材導入を強化する。 ヒューマンリソース原価計算の関連政策を充実し、企業、科学研究機構の海外人材導入活動を奨励する。 |
| 大学におけるAI学科の開設 | <ul style="list-style-type: none"> AI分野の合理的な学科構築を充実し、国内大学でAI学院の建設を加速させ、AI専攻の博士・修士課程の募集人数を増やす。 国内大学には、既存の学科（特に数学、コンピューティング、物理学、生物学、心理学、社会学、法学等）と融合して「AI+α」式の複合型の人材育成方式を模索する。 AI分野において産学研連携を強化し、大学、科学研究機構と企業とのAI学科の協力を奨励する。 |

出典：新世代人工知能発展計画より作成

(2) 策定中の「AI版千人人材計画」

千人人材計画とは2008年に中国政府が決定した人材導入政策であり、国家発展と関連する戦略的目標を巡り5～10年間をかけて、重点プロジェクト、重点学科、重点研究所、中央企業(国有企業)、金融機構、ハイテク産業園区等を受け、さらに海外ハイエンド人材の採用(もしくは交流)を重点的に実施することを目的とする。

この計画は「海外高層人材引進工作小組」という組織が統括しており、そのメンバーは中央組織部、人力資源・社会保障部が教育部、科学技術部、中国人民銀行、国有資産監督管理委員会、中国科学院、中央統戦部、外交部、発展・改革委員会、工業・信息化部、公安部、財政部、僑務弁公室、中国工程院、自然科学院基金委員会、国家外国専門家局、共産主義青年団、科学技術協会など多数の中央政府機関と合同して構成されていた。さらに、「中央組織部人材工作局」で「海外高層人材引進工作専項弁公室」を設立し、千人人材計画の具体的実施を担当する。現在まで、12回にわたり、各分野の優秀人材を合計6,000人採用することができた。

AI分野の多くの専門家から、AI分野においても、「AI版千人人材計画」の実施が提唱されており、すでに中国政府は具体的に検討し始め、近い将来に発表するという説もある。

LinkedIn中国の公開レポートによると、中国のAI技術者のうち9%は留学・海外勤務の経験がある。海外から中国に採用されたAI人材の構成は表3-F-39のとおりである。

■表3-F-39 中国における海外からのAI人材の採用実態

| 国名 | 構成率 |
|---------|-------|
| アメリカ | 43.9% |
| イギリス | 15.3% |
| フランス | 10.4% |
| オーストラリア | 7.7% |
| カナダ | 7.1% |
| ドイツ | 6.5% |
| 日本 | 5.3% |
| インド | 3.8% |

出典:LinkedIn中国2017年7月公開レポートより作成

(3) 中国AI人材主要育成大学TOP20

LinkedIn中国の2017年7月の公開レポートをもとに、AI産業で働く中国人技術者の出身校をまとめ、同じ出身校の技術者の人数順でトップ20のランキングを作成した。表3-F-40のとおり、北京(6校)と上海(5校)の2都市に集中している。

■表3-F-40 中国AI人材主要育成大学トップ20

| ランキング | 大学名 | 所在都市 |
|-------|----------|----------|
| 1 | 上海交通大学 | 上海市 |
| 2 | 清華大学 | 北京市 |
| 3 | 北京大学 | 北京市 |
| 4 | 浙江大学 | 浙江省杭州市 |
| 5 | 復旦大学 | 上海市 |
| 6 | 北京郵電大学 | 北京市 |
| 7 | 北京航空航天大学 | 北京市 |
| 8 | 华中科技大学 | 湖北省武漢市 |
| 9 | 哈爾濱工業大学 | 黒竜江省哈爾濱市 |
| 10 | 同済大学 | 上海市 |
| 11 | 中国科学技術大学 | 安徽省合肥市 |
| 12 | 北京理工大学 | 北京市 |
| 13 | 中山大学 | 広東省広州市 |
| 14 | 武漢大学 | 湖北省武漢市 |
| 15 | 南京大学 | 江蘇省南京市 |
| 16 | 中国人民大学 | 北京市 |
| 17 | 西安交通大学 | 陝西省西安市 |
| 18 | 上海財経大学 | 上海市 |
| 19 | 上海大学 | 上海市 |
| 20 | 華南理工大学 | 広東省広州市 |

出典:LinkedIn中国2017年7月公開レポートより作成

中国では2017年時点で約5万人以上のAI人材を有しており、上記大学や研究開発機構(例えば中国科学院等)からも毎年数千人のAI関連人材を輩出し、さらにアメリカをはじめとする先進国からもAI人材の交流・採用が大規模に行われている。そのため、アメリカとの人材数の格差は縮小傾向にあると考える。

9 倫理的問題及び安全性への対応

中国において、AIの倫理的問題や安全性に関する理論研究は、スタートしたばかりであり、実際の活動はまだまだこれからであると言わざるを得ない。

(1) 倫理的問題

現状では、倫理・安全性に関する理論の構築に向けて、新世代人工知能発展計画では表3-F-41のとおり将来計画を述べている。この目標を達成するのは、早くとも2030年となる見通しである。

■表3-F-41 倫理的問題の解決目標

| 時期 | 倫理的問題解決目標 |
|-------|--|
| 2020年 | 一部領域において、AIの倫理規範及び法規制を基礎的に確立させる。 |
| 2025年 | AI関連法規制、倫理規範、政策体系を基礎的に設立し、AI安全評価・管理モニタリング能力を形成させる。 |
| 2030年 | より成熟したAI関連法規制、倫理規範、政策体系を整備させる。 |

出典:新世代人工知能発展計画より作成

(2) 安全性

倫理的問題とも関連しているが、新世代人工知能発展計画では、具体的には以下の施策が考案されている。

AI関連法律、倫理的問題、社会的問題の研究を強化し、AI産業の健康的発展に寄与できる法規制、倫理・道徳的枠組みを確立する。

AI産業と関係する民事・刑事責任特定、プライベート・知的財産権保護、情報の安全的利用などの法律問題について研究を行い、追跡・責任追及制度を樹立し、AIの法的組織体及びその権利、義務、責任を明確化する。

自動運転、サービス型ロボット等重点分野において、安全管理法規の研究を加速させ、新技術の高速な応用に資する法律的基礎を固める。

AIの倫理的問題を研究し、倫理・道徳の多角視点判断構造及びMAN-MACHINE協同実施の倫理的枠組みを構築する。

AI製品の研究開発者に関する道徳規範・行為規則を制定し、AIの潜在的被害と収益の評価体制を強化し、複雑な環境における突発事件の解決対策を考案する。

AIのグローバルガバナンスに積極的に参与し、国際的な共同課題の研究を強化することで、AI関連法規制、国際的規則に関する国際協業を深める。

国家安全や秘密保持分野に対するAIの影響を研究・評価し、人員・技術・もの・管理を貫通した安全保護体系を整備し、AIの安全モニタリング・早期警報システムを構築する。

AIの技術発展に対する予測、研究判断、追跡研究を強化し、問題意識志向で技術と産業のトレンドを的確に把握する。

リスク意識を深め、リスク評価・リスクヘッジを重視し、先手を打った予防策・引導策を強化する。短期的には就職への影響、長期的には社会倫理への影響に注目し、AIの発展を制御可能な範囲内に抑える。

健全・公開・明らかなAIモニタリング体系を構築し、設計者責任と応用者監督を両立させた二層管理監督体系を施行し、AIのアルゴリズム、製品開発、成果応用に対する全局的なモニタリングを実現する。

AI産業・企業の自粛を促すなどして管理を強化し、データの乱用、個人情報の侵害、倫理道徳に反した行為への刑罰を重くする。

AIのネットワークセキュリティ技術の研究開発、AI製品とそのネットワークの安全保護を強化する。

動的なAI研究開発応用評価体制を構築し、AIの設計、製品とシステムの複雑性、リスク性、不確定性、説明可能性、潜在的経済影響などの問題を巡り、体系的なテスト方法・指標体系を開発し、分野横断的なAIテストプラットフォームを構築し、AI安全認証を推進し、AI製品・システムのコア機能の性能を評価する。

出典：新世代人工知能発展計画より作成

資料A 企業におけるAI利用動向アンケート調査

本アンケート調査は、第5章で解説している「平成29年度AI社会実装推進調査」において実施したものである。本調査では、AIの導入状況をより正確に把握するために、導入していない企業に対する設問も厚くすることで未導入企業の回答を促している。また、ユーザー企業（AIの利用対象となる企業）の集計からAIベンダー企業を除外することにより、AIベンダーが自社製品を社内で試用しているケースなどをユーザー企業に含めないようにしている。

A.1 調査目的及び調査概要

企業を対象にAIの利活用についてアンケート調査を行った。調査目的と調査概要を表A-1に示す。

表A-1 調査目的及び調査概要

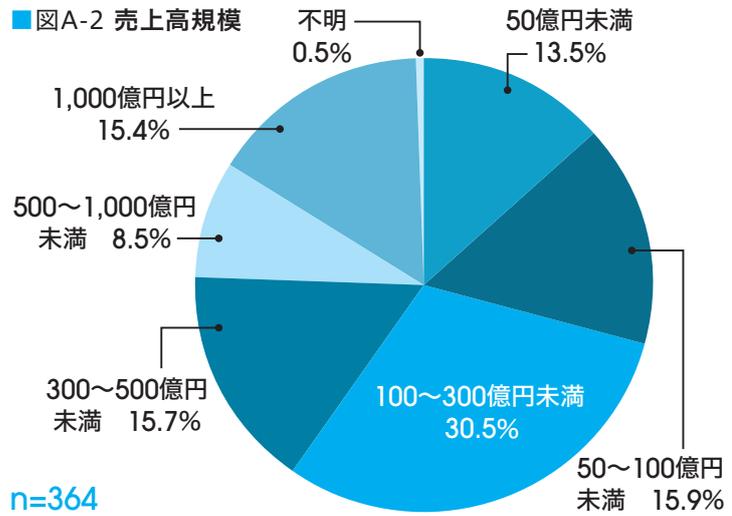
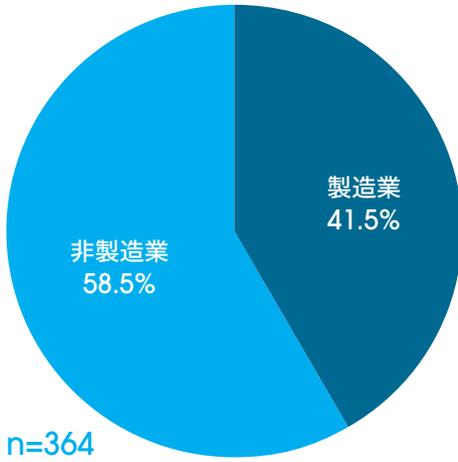
| No. | 項目 | 概要 |
|-----|--------|--|
| ① | 調査目的 | この調査は、民間企業等（事業者団体等を含む。以下「企業」という）のAIの活用実態と課題を把握することを目的としている。 |
| ② | 調査対象 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 経済産業省の情報処理実態調査で調査対象となっている26業種（製造業、非製造業）の中から5,000事業者を調査対象として、質問票を郵送にて送付した。回答は郵送及びWeb受付を併用した（回収率7.3%）。 ・ 回答者の部門及び役職は経営層又はICT関連事業部門の責任者もしくは担当者となっている。 |
| ③ | 調査対象期間 | 2018年1月25日～2018年2月9日 |
| ④ | 調査件数 | 364件（信頼水準95%としたときの標本誤差は±5.14%） |
| ⑤ | 留意点 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 調査対象企業に小規模企業は含まれていない。また、日本の産業統計と比較すると回答企業には大企業が多い。 ・ 本調査でいうAIにはRPA※1など、高度なAI技術でないものを含む。 ・ 四捨五入の関係により、数値の合計値が一致しない場合がある。 ・ 回答企業の属性について、ベンダー企業は3.8%、ユーザー企業は96.2%となっており、ベンダー企業の結果については補足的内容として記載する。 ・ 複数回答と記していないものは単数回答となっている。 |

※1 RPA：Robotic Process Automation。ホワイトカラー職種（バックオフィス・間接部門）の業務オペレーションに対する、ソフトウェアロボットによる業務自動化の取組み。

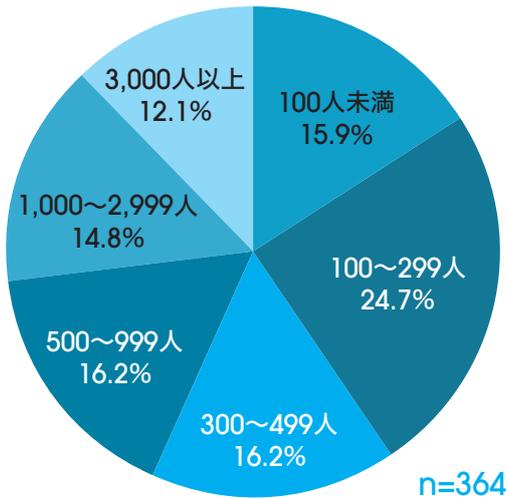
A.2 回答企業の属性

アンケートに回答した企業の属性を「図A-1業種」、「図A-2 売上高規模」、「図A-3 従業員規模」、「図A-4 AIに対する立場」に示す。

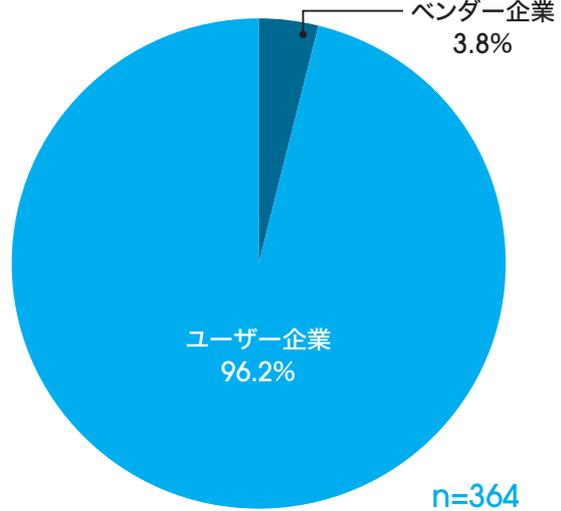
■ 図A-1 業種^{※2}



■ 図A-3 従業員規模



■ 図A-4 AIに対する立場



※2 製造業は次の業種を含む。食料品・飲料・たばこ・飼料製造業、繊維工業、パルプ・紙・紙加工製造業、化学工業、石油・石炭・プラスチック製造業、窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、非鉄金属製品・金属製品製造業、電気機械器具製造業、情報通信機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、その他の機械器具製造業、その他の製造業。非製造業は次の業種を含む。農林漁業・同協同組合、鉱業、建設業、電気・ガス・熱供給・水道業、映像・音声情報制作・放送・通信業、新聞・出版業、情報サービス業、運輸業・郵便業、卸売業、小売業、金融・保険業、医療業(国・公立を除く)、教育(国・公立を除く)、学習支援業、その他の非製造業。

A.3 AIの利活用状況

ユーザー企業にAIの利活用状況を尋ねたところ、すでに導入している企業の比率は3.1%となった。「実証実験(PoC)を行っている」(7.1%)を合計しても10.2%に留まる(図A-5)。

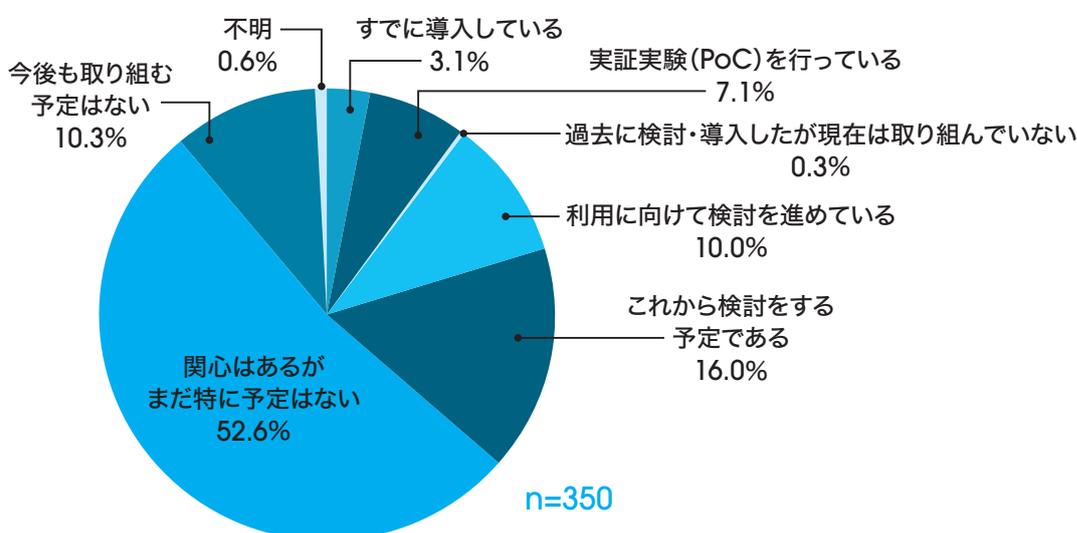
ただし、「利用に向けて検討を進めている」(10.0%)、「これから検討をする予定である」(16.0%)、「関心はあるがまだ特に予定はない」(52.6%)を合計すると78.6%となり、AIに対する関心は非常に高いといえる。

『AI白書2017』のアンケート調査ではAIに「取り組んでいる」と回答した企業の割合は23.0%であり、今回の調査の「すでに導入している」と「実証実験(PoC)を行っている」を合計した10.2%より倍以上高い割合となっていた。この理由としては、以下の3点が推定される。

- ・『AI白書2017』の調査対象が上場企業3,787社である一方、今回の調査対象は非上場企業を含めた。売上高規模が大きい企業のほうが利用率が高い傾向にあるため、非上場企業の分、利用率が低下した。
- ・本調査では、AIの導入状況をより正確に把握するため、導入していない企業に対する質問も厚くすることで未導入企業にも回答してもらえるように工夫した。
- ・ユーザー企業の集計からAIベンダー企業を除外することにより、AIベンダーが自社製品を社内で試用しているケースなどをユーザー企業に含めないこととした。

※『AI白書2017』のアンケート回答企業(国内)298社のうち「情報サービス業」が51社(17.1%)であったことに対し、本調査のユーザー企業の回答企業350社のうち「情報サービス業」は8社(2.3%)。

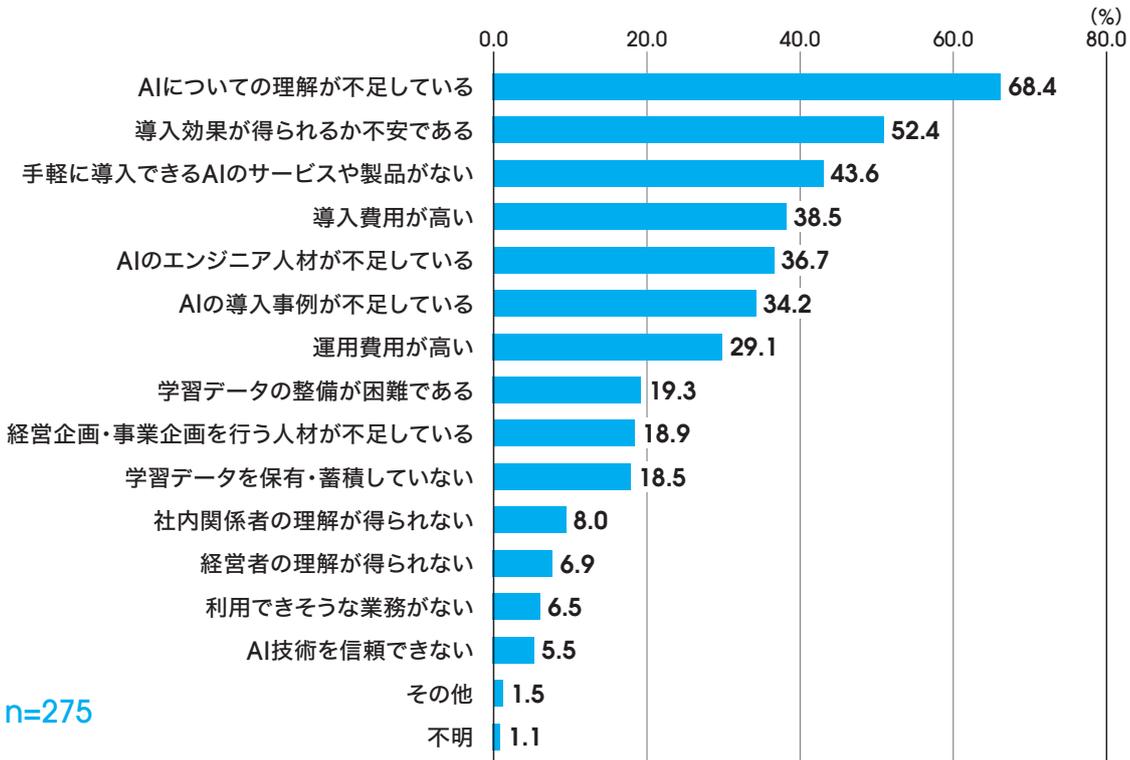
■ 図A-5 企業におけるAIの利用率^{※3}



「検討を進めている」、「検討予定」、「関心はある」と回答した企業において、実際にAIを導入する場合の課題について尋ねたところ、「AIについての理解が不足している」が最多で68.4%に達した(図A-6)。次いで「導入効果が得られるか不安である」が52.4%である。多くの企業が、AIに関心はあっても理解できていない、また導入効果に対しても不安を持っているという状況である。

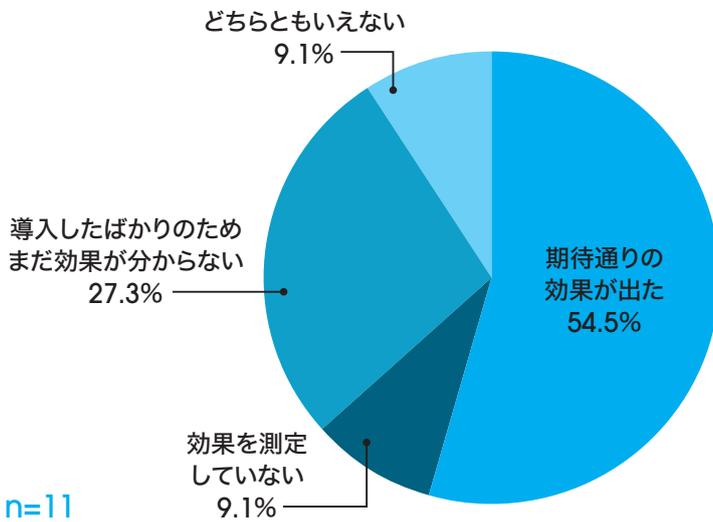
※3 回答企業のうち、AIを用いたビジネスを行う企業を除いた、ユーザー企業350件が集計対象。(350件は信頼水準95%としたときの標本誤差±5.24%)

■ 図A-6 AIを利用する際の課題(複数回答)



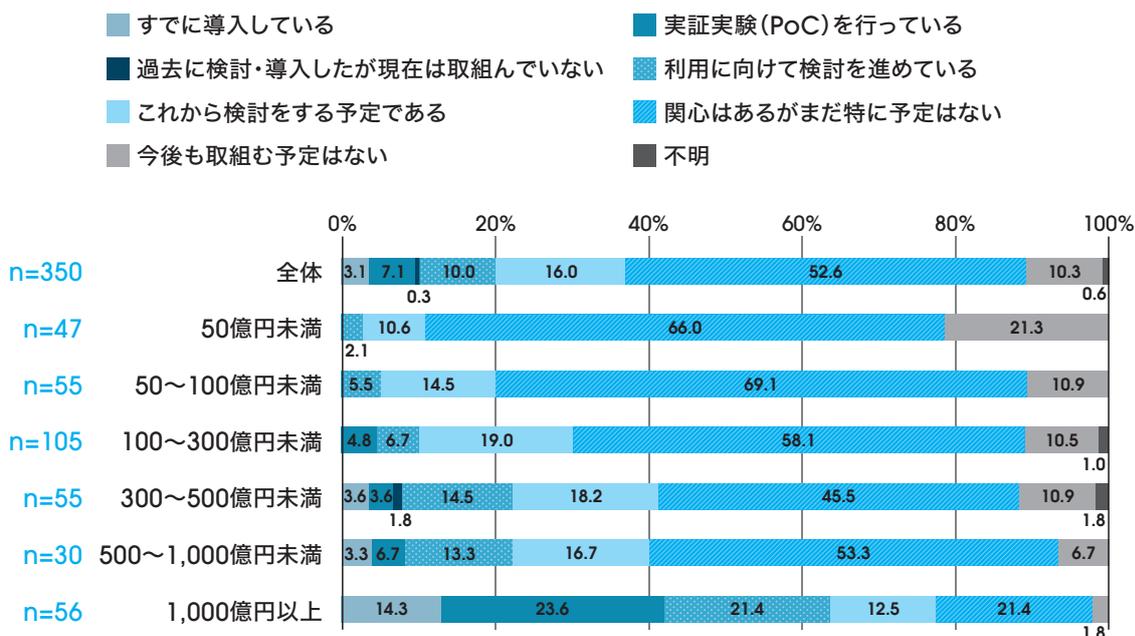
また、「すでに導入している」企業に、AI導入の効果を評価してもらうと、54.5%が「期待通りの効果が出た」と回答している(図A-7)。

■ 図A-7 AI導入の効果



売上高規模別にAIの利活用状況を見ると、売上高規模の大きな企業ほど「すでに導入している」と「実証実験(PoC)を行っている」を合計した割合が高く、売上高1,000億円以上の企業では42.9%に達している。現段階ではAIの導入、実証実験の中心は大企業といえる(図A-8)。AIを利用しているのは一部の先進的な大手企業が中心であり、中堅中小企業への利用層の裾野の拡大はまだみられない。

■ 図A-8 AIの利活用状況(売上高規模別)※4

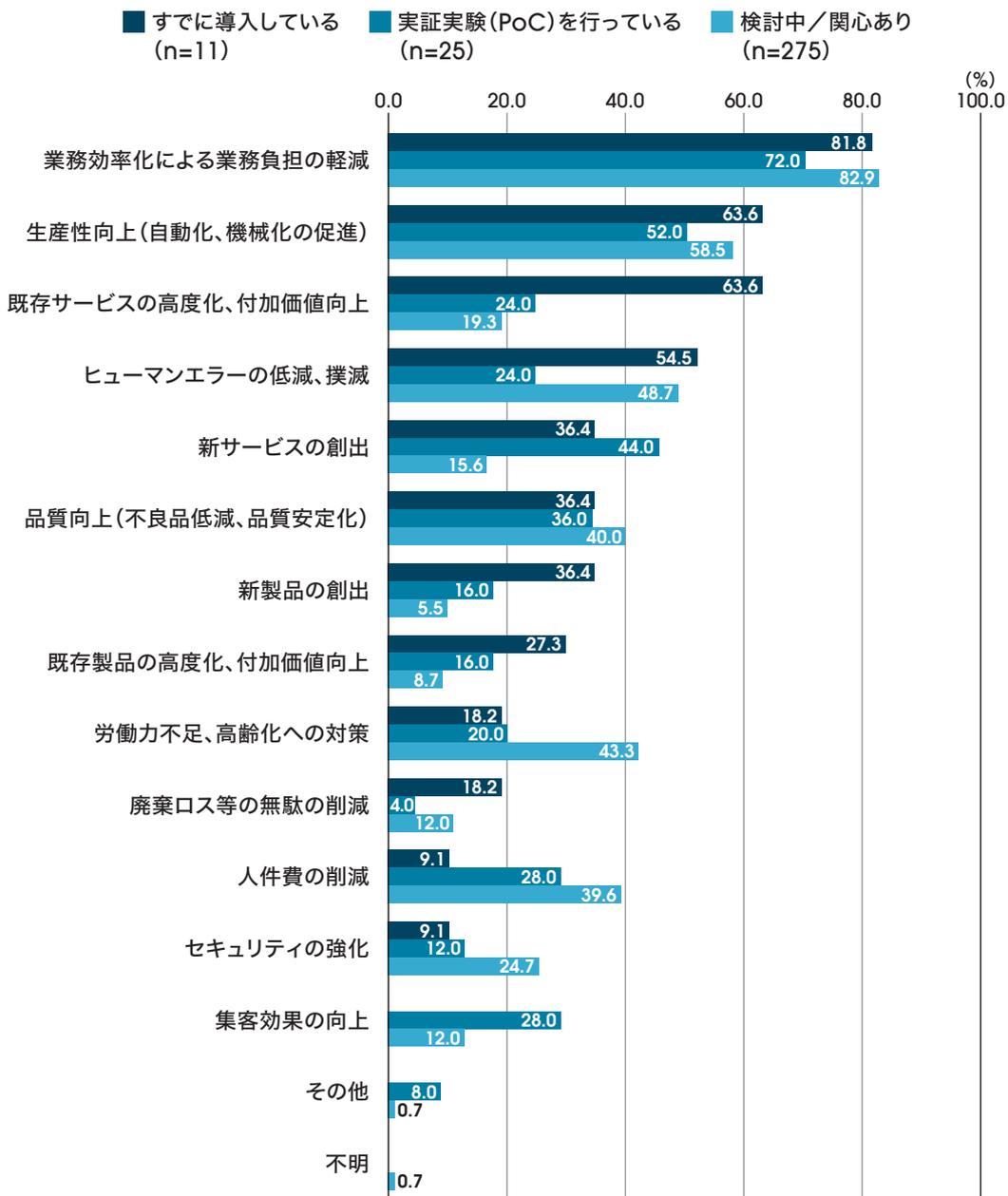


A.4 導入目的

AIの導入目的を尋ねたところ、「すでに導入している」、「実証実験(PoC)を行っている」、「検討中／関心あり」のいずれの段階においても「業務効率化による業務負担の軽減」(すでに導入している：81.8%、実証実験(PoC)を行っている：72.0%、検討中／関心あり：82.9%)がトップになっており、「生産性向上(自動化、機械化の促進)」(すでに導入している：63.6%、実証実験(PoC)を行っている：52.0%、検討中／関心あり：58.5%)が続いている(図A-9)。

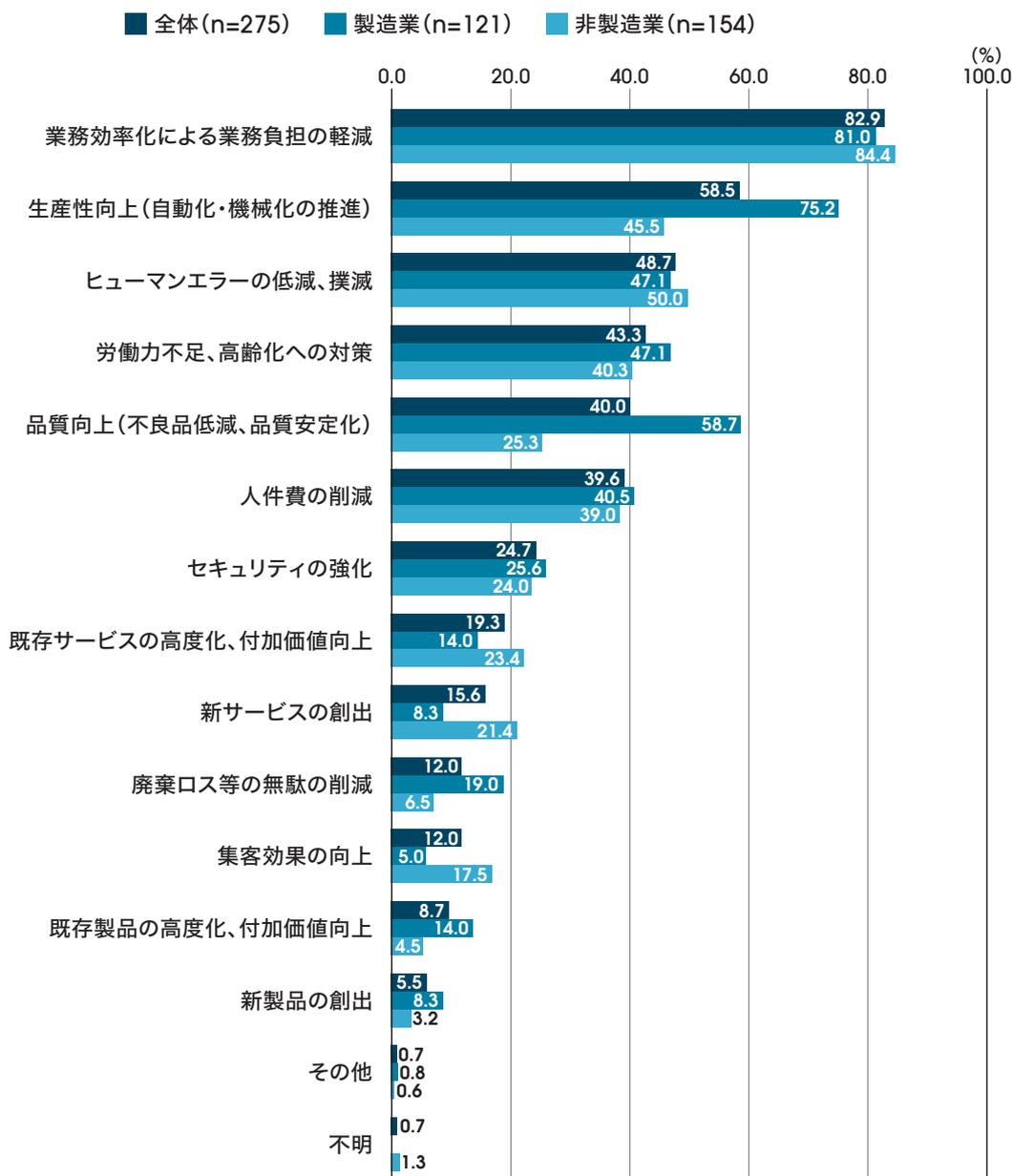
※4 全体には売上高不明の2社を含む。

■ 図A-9 AIの導入目的(導入段階別)



検討中/関心ありの企業における業種別AIの導入目的をみると、製造業と非製造業でポイント差が大きくなったのは「品質向上(不良品低減、品質安定化)」(製造業：58.7%、非製造業：25.3%で製造業プラス33.4ポイント)、「生産性向上(自動化、機械化の促進)」(製造業：75.2%、非製造業：45.5%で製造業プラス29.7ポイント)、「新サービスの創出」(製造業：8.3%、非製造業：21.4%で非製造業プラス13.1ポイント)である(図A-10)。

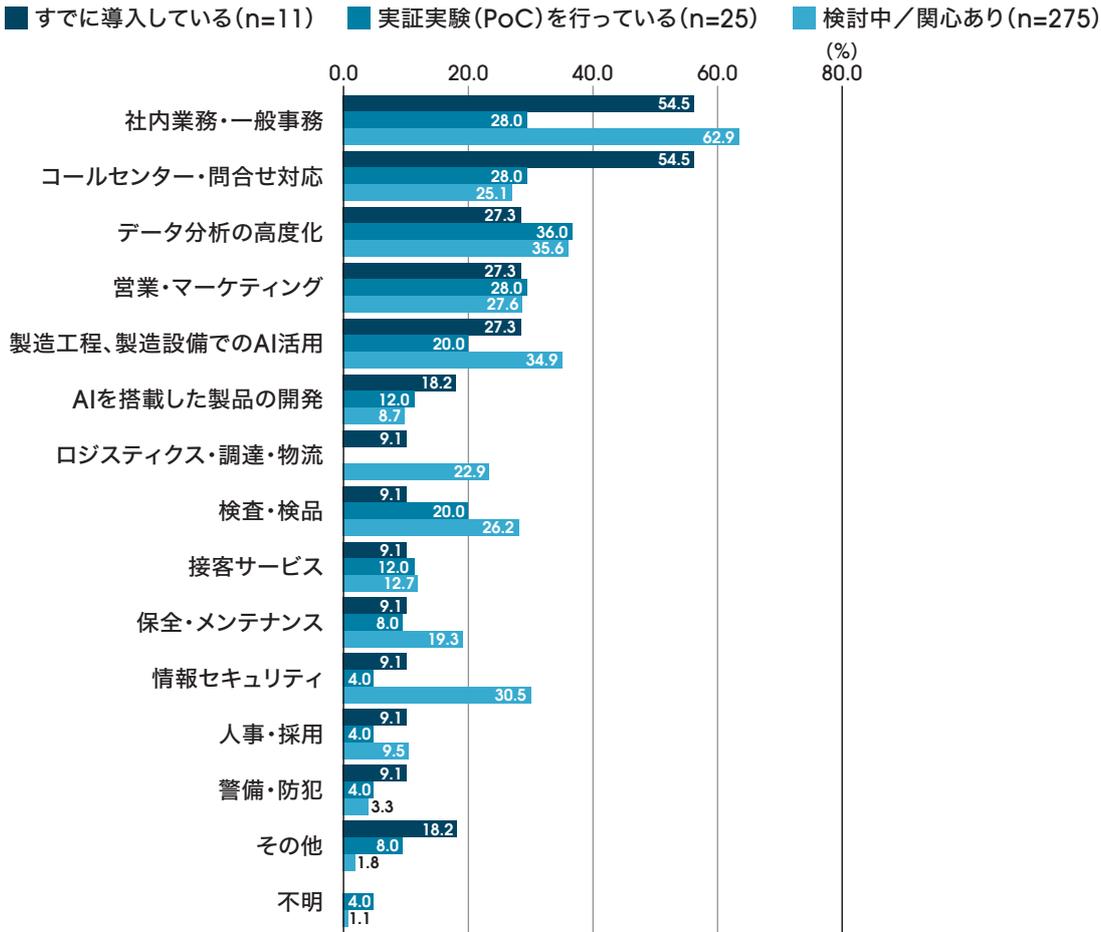
■ 図A-10 検討中／関心ありの企業におけるAIの導入目的(業種別)(複数回答)



A.5 AIを適用する業務分野

導入段階別にAIを適用する業務分野を尋ねたところ、「社内業務・一般事務」(すでに導入している：54.5%、実証実験(PoC)を行っている：28.0%、検討中／関心あり：62.9%)、「営業・マーケティング」(すでに導入している：27.3%、実証実験(PoC)を行っている：28.0%、検討中／関心あり：27.6%)、「製造工程・製造設備でのAI活用」(すでに導入している：27.3%、実証実験(PoC)を行っている：20.0%、検討中／関心あり：34.9%)、「データ分析の高度化」(すでに導入している：27.3%、実証実験(PoC)を行っている：36.0%、検討中／関心あり：35.6%)の4つはいずれの段階でも割合が高い。「コールセンター・問合せ対応」は、他の分野と比べると「すでに導入している」企業(54.5%)と「実証実験(PoC)を行っている」企業(28.0%)では割合は高いが、「検討中／関心あり」の企業(25.1%)では割合は低くなっている(図A-11)。

■ 図A-11 AIを適用する業務分野(導入段階別)

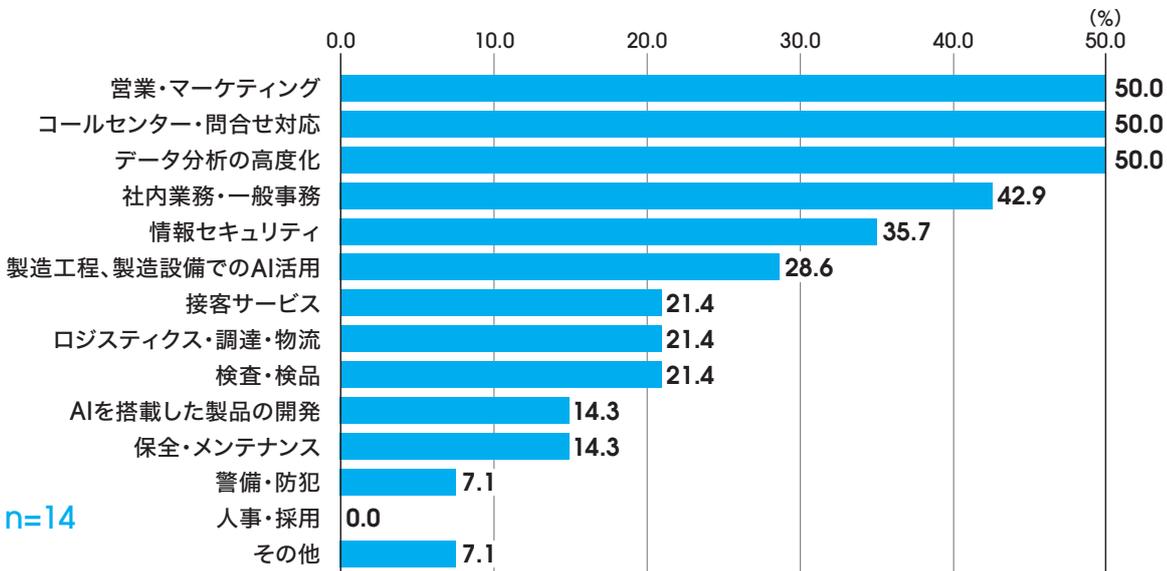


【AI技術やAIを使ったソリューション、製品の提供について】

ベンダー企業は、標本の大きさが14と小さいため、参考として調査結果を掲載する。

ベンダー企業に、提供するAI技術やソリューション・製品の活用分野を尋ねた。その結果、「営業・マーケティング」、「コールセンター・問合せ対応」、「データ分析の高度化」が50.0%と最も高い割合になった(図A-12)。

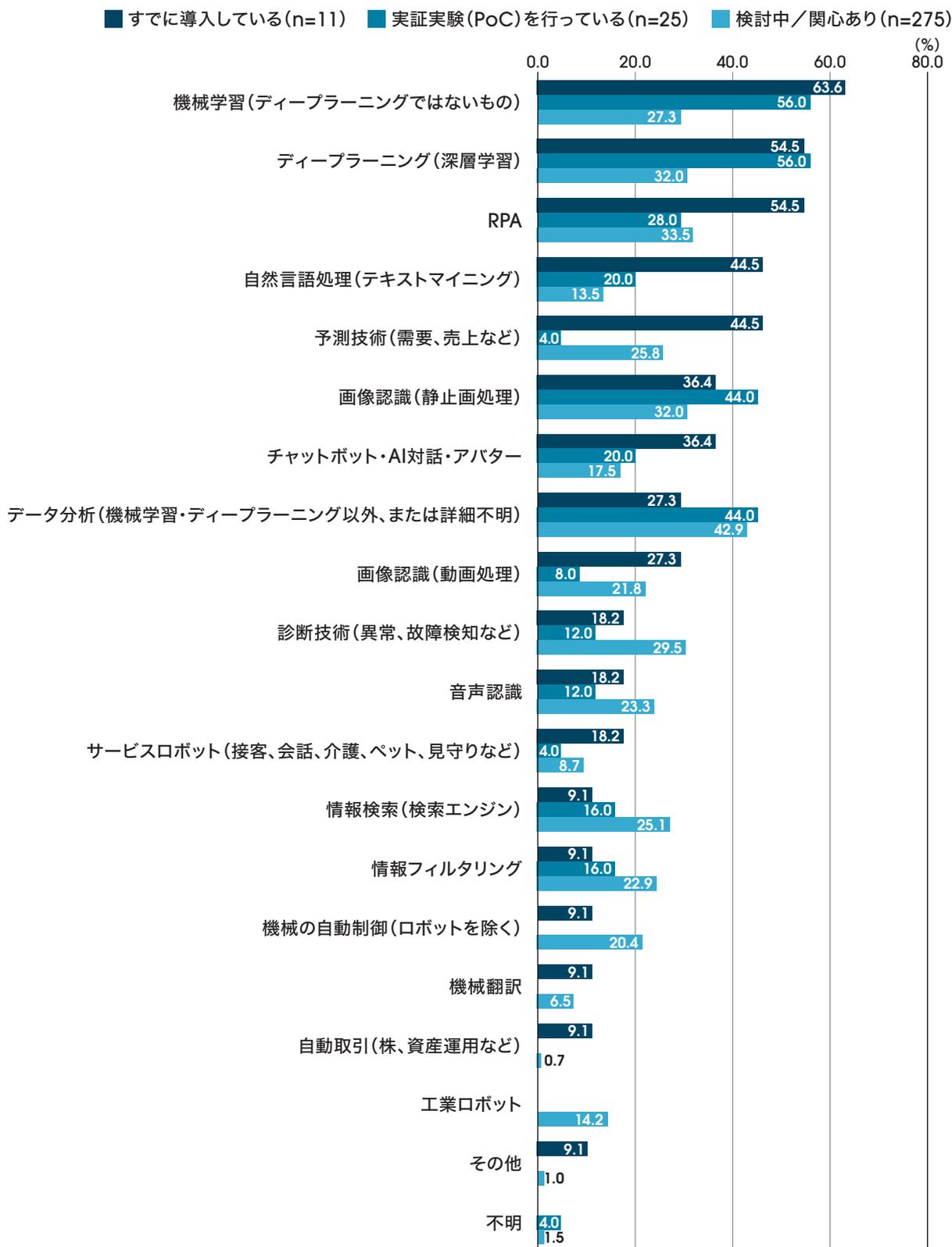
■ 図A-12 ベンダーが提供する技術やソリューション・製品の活用分野(複数回答)



A.6 活用中／検討中のAI技術

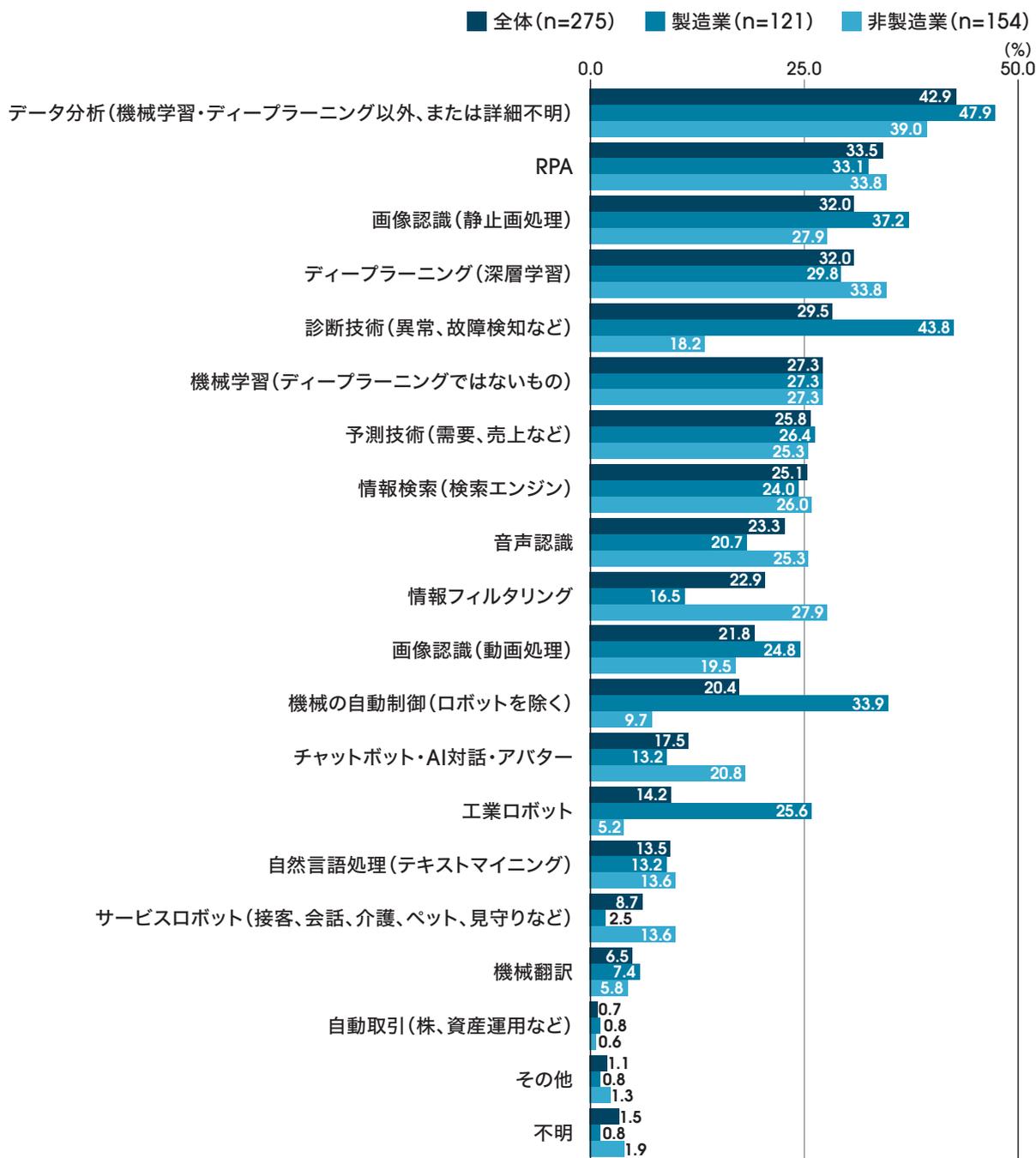
導入段階別に活用中／検討中のAI技術を尋ねたところ、「ディープラーニング(深層学習)」(すでに導入している：54.5%、実証実験(PoC)を行っている：56.0%、検討中／関心あり：32.0%)と「RPA」(すでに導入している：54.5%、実証実験(PoC)を行っている：28.0%、検討中／関心あり：33.5%)は、いずれの段階の企業でも割合が高くなっている(図A-13)。

■ 図A-13 活用中／検討中のAI技術(導入段階別)(複数回答)



AIについて検討中／関心ありの企業に、検討したい／関心があるAI技術を尋ねた。業種別にみた上位3項目は図A-14のとおりである。製造業では、「データ分析(機械学習・ディープラーニング以外、または詳細不明)」(47.9%)が最も高い割合となり、「診断技術(異常、故障予知など)」(43.8%)、「画像認識(静止画処理)」(37.2%)が続く。非製造業では、製造業同様、「データ分析(機械学習・ディープラーニング以外、または詳細不明)」(39.0%)がトップであるが、「ディープラーニング(深層学習)」と「RPA」が33.8%で続いている。

■ 図A-14 検討中／関心ありのAI技術(業種別)(複数回答)

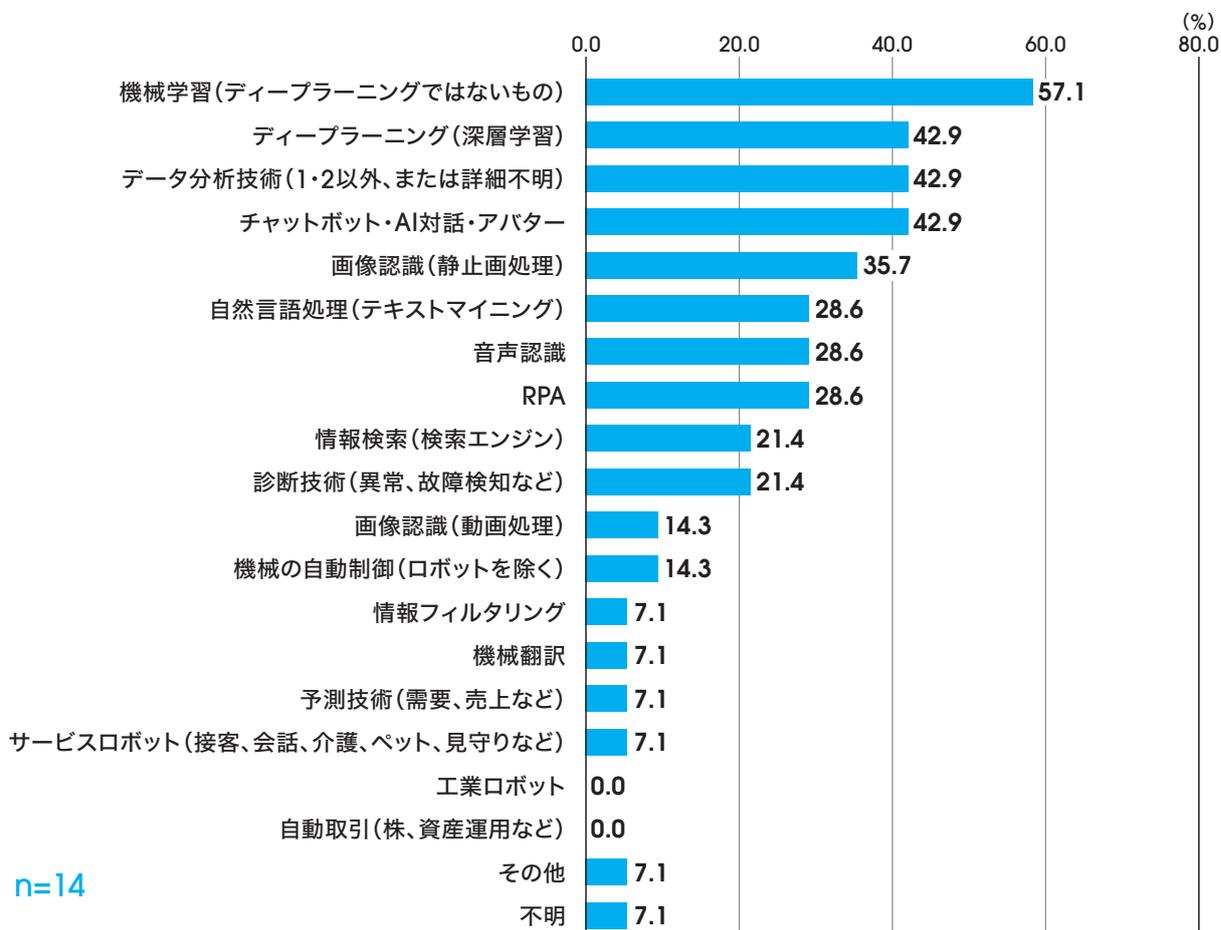


【提供する技術やソリューションで活用しているAI技術】

ベンダー企業は、標本の大きさが14と小さいため、参考として調査結果を掲載する。

ベンダー企業に、提供するAI技術やソリューションにおいて、活用しているAI技術を尋ねた。その結果、トップは「機械学習(ディープラーニングではないもの)」(57.1%)であった(図A-15)。

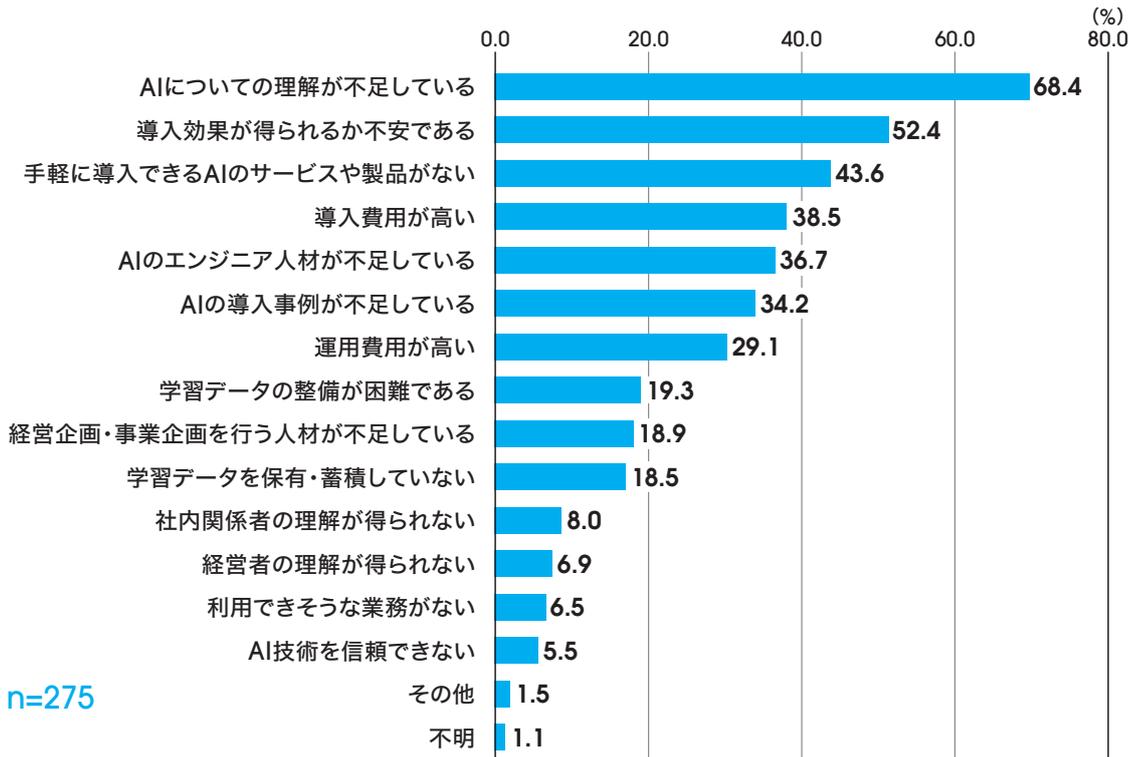
■ 図A-15 活用しているAI技術(複数回答)



A.7 AIを導入／検討する上での課題

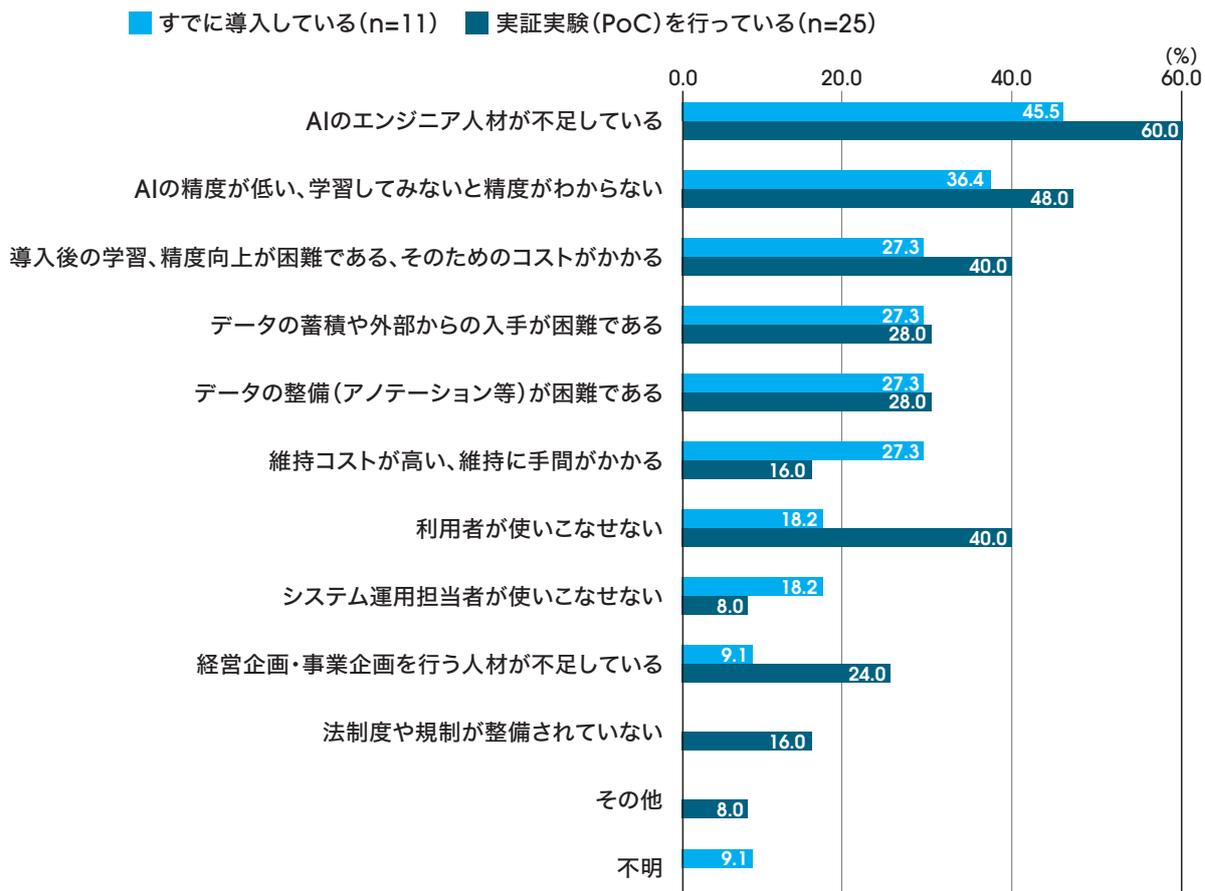
AIについて「利用に向けて検討を進めている」、「これから検討をする予定である」、「関心はあるがまだ特に予定はない」という企業に対し、AIを導入するにあたっての課題を尋ねたところ、「AIについての理解が不足している」が68.4%で最も高い割合になった。「導入効果が得られるか不安である」(52.4%)、「手軽に導入できるAIのサービスや製品がない」(43.6%)が続いている。AIの利活用を進めていくためには、まずAIに対する知識・理解を深めていく取組みが必要である(図A-16)。

■ 図A-16 AIを導入するにあたっての課題(複数回答)



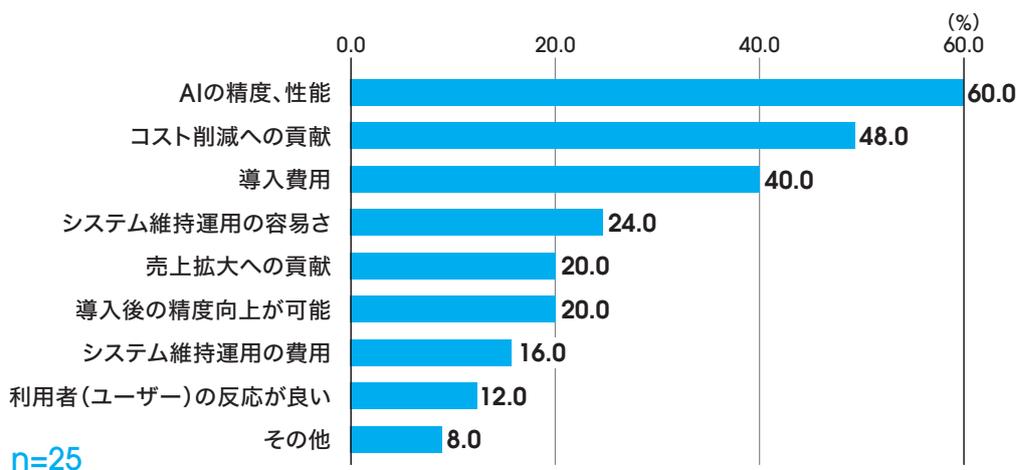
「すでに導入している」、「実証実験(PoC)を行っている」企業について、AIを導入するにあたっての課題を尋ねたところ、ともに「AIのエンジニア人材が不足している」(すでに導入している：45.5%、実証実験(PoC)を行っている：60.0%)の割合が高かった。また、「AIの精度が低い、学習してみないと精度がわからない」(すでに導入している：36.4%、実証実験(PoC)を行っている：48.0%)も両段階で挙げられている(図A-17)。

■ 図A-17 AIを導入／検討する上での課題(導入段階別)(複数回答)



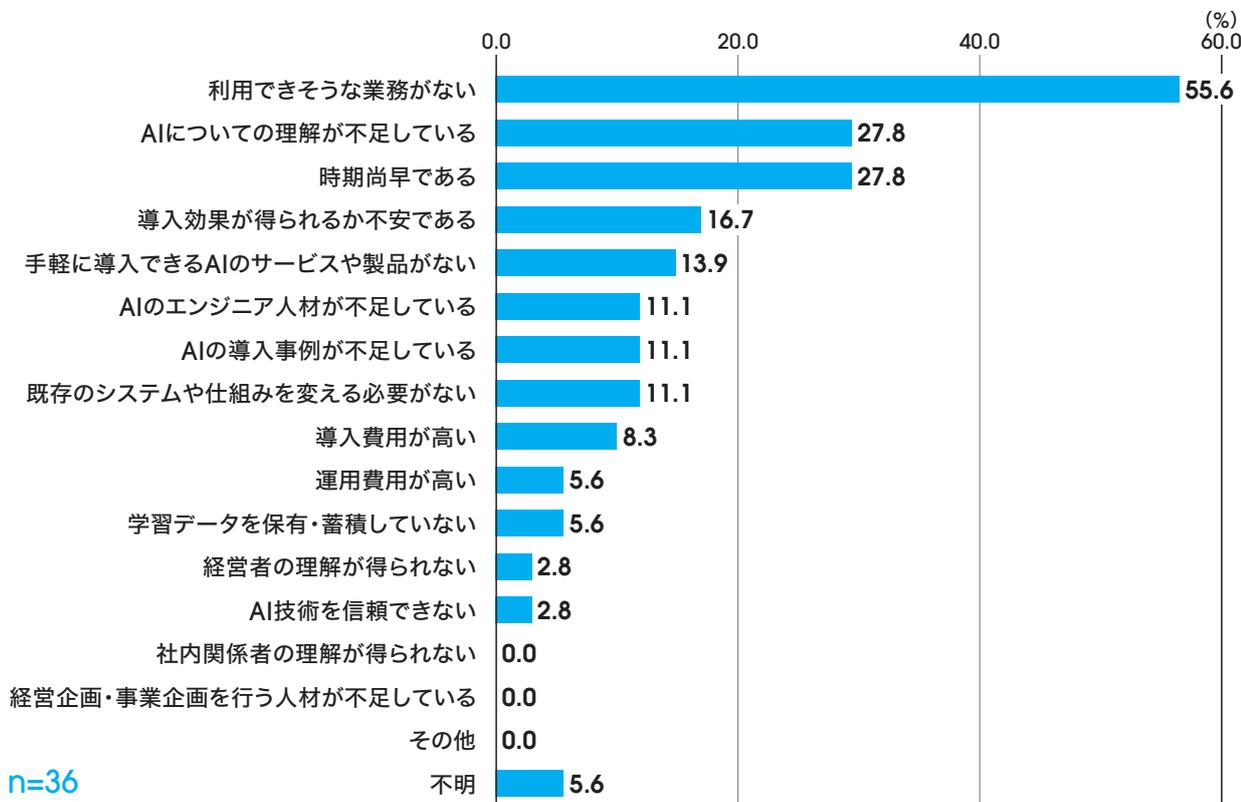
実証実験(PoC)を行っている企業がPoC実施後に実導入するかを決定する際に重視するポイントを尋ねたところ、最も高い割合になったのは「AIの精度、性能」(60.0%)であった。「コスト削減への貢献」(48.0%)、「導入費用」(40.0%)が続いている(図A-18)。

■ 図A-18 PoC実施後に重視するポイント(3つまで)



AIについて「今後も取り組む予定がない」と回答した企業に検討しない理由を尋ねたところ、トップは「利用できそうな業務がない」(55.6%)であった。「AIについての理解が不足している」と「時期尚早である」が27.8%で続いている(図A-19)。

■ 図A-19 AIの利用を検討しない理由(複数回答)

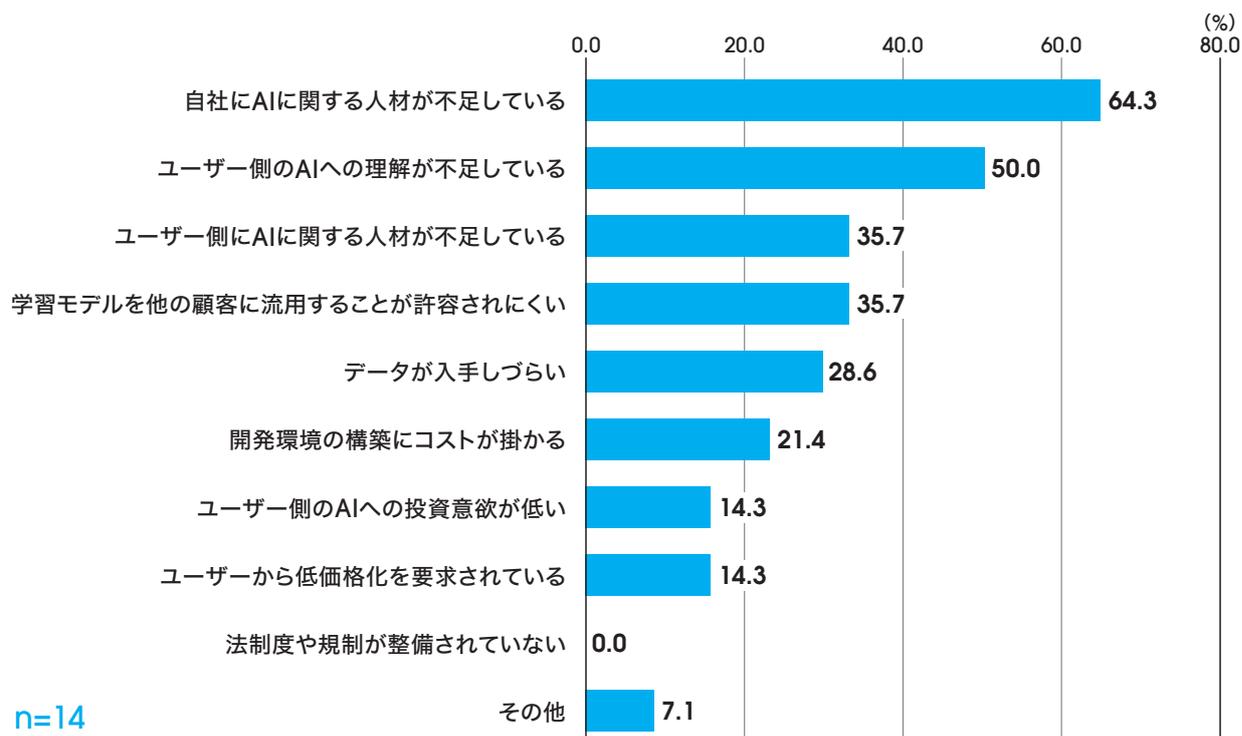


【AIベンダーがビジネスを推進する上での課題】

ベンダー企業は、標本の大きさが14と小さいため、参考として調査結果を掲載する。

ベンダー企業にAIビジネスを推進するうえでの課題を尋ねた。その結果、「自社にAI人材が不足している」が64.3%と最も高い割合になった。「ユーザー側のAIへの理解が不足している」が50.0%、「ユーザー側にAIに関する人材が不足している」と「学習モデルを他の顧客に流用することが許容されにくい」が35.7%で続いている(図A-20)。AIビジネスを推進するうえでは、ベンダー企業側、ユーザー企業側ともにAIに関する人材が不足していることが課題になっている。

■ 図A-20 AIベンダーがビジネスを推進する上での課題(複数回答)

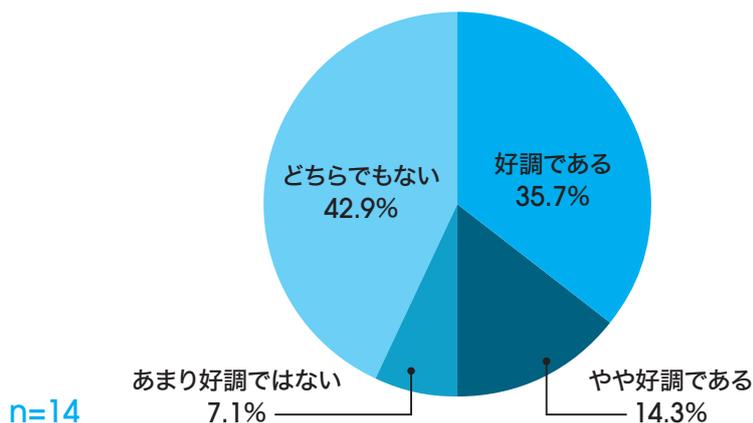


【AIベンダーのビジネスの状況】

ベンダー企業は、標本の大きさが14と小さいため、参考として調査結果を掲載する。

ベンダー企業にAIビジネスの状況について尋ねたところ、「好調である」と「やや好調である」の合計が50.0%であった(図A-21)。

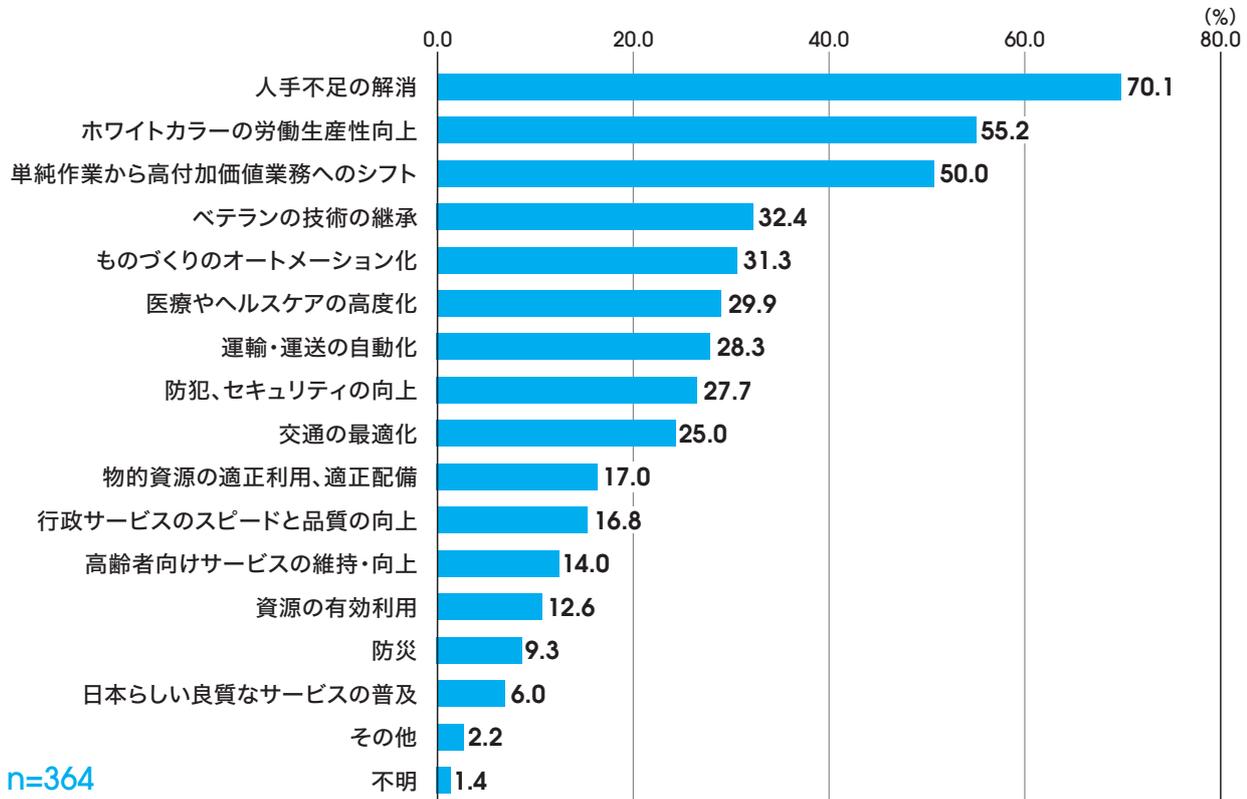
■ 図A-21 AIベンダーのビジネス状況



A.8 AIが解決すると期待する社会的課題

AIが今後解決すると期待する社会的課題を尋ねたところ、最も高い割合になったのは、「人手不足の解消」(70.1%)であった(図A-22)。「ホワイトカラーの労働生産性向上」(55.2%)、「単純作業から高付加価値業務へのシフト」(50.0%)が続いている。AIの導入目的について図A-9で示したが、上位は効率化や生産性向上であった。AIへの期待が導入目的につながっているといえる。

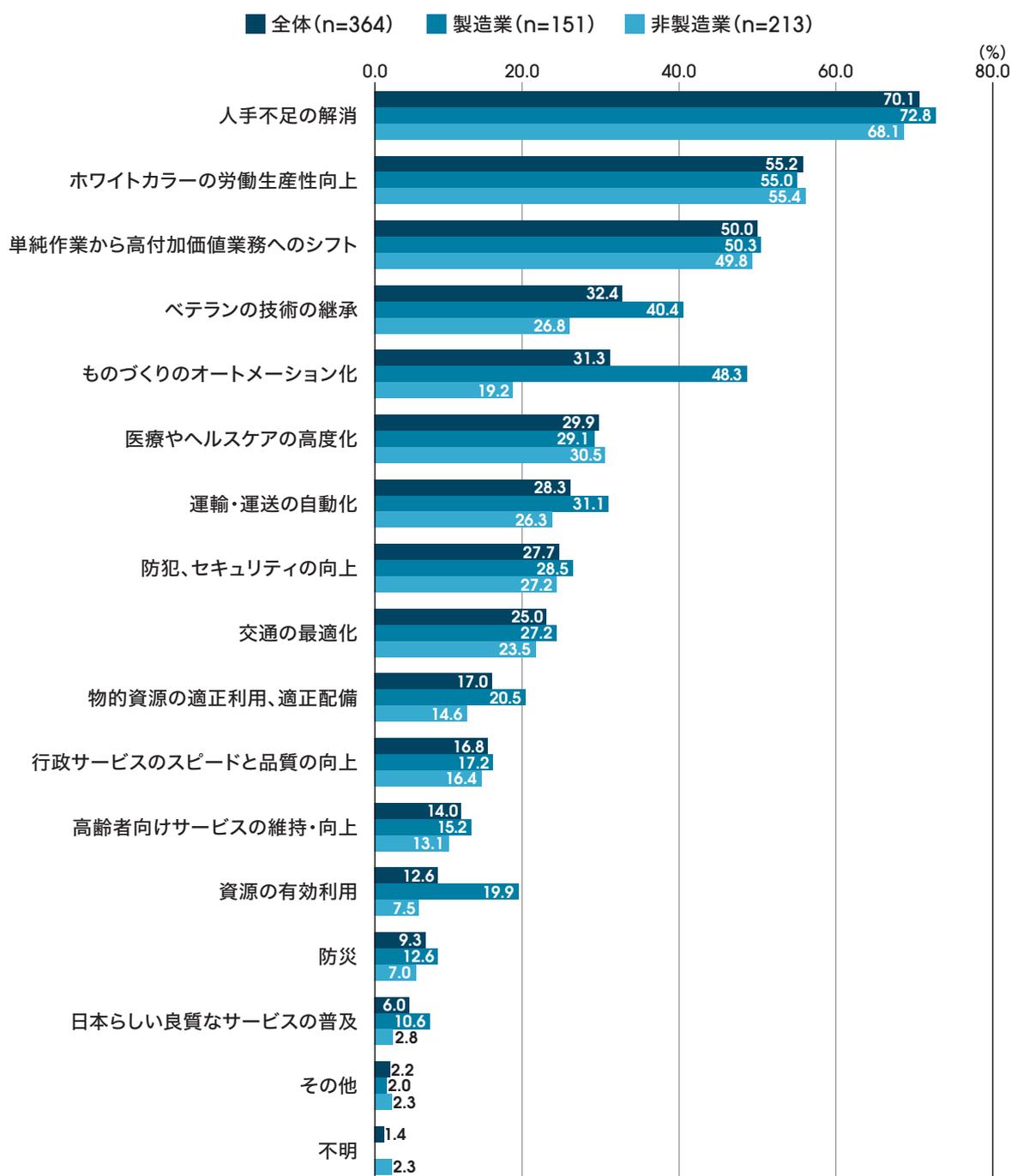
■ 図A-22 AIが解決すると期待する社会的課題(複数回答)^{※5}



AIが解決すると期待する社会的課題を、業種別にみる。「人手不足の解消」(製造業：72.8%、非製造業：68.1%)、「ホワイトカラーの労働生産性向上」(製造業：55.0%、非製造業：55.4%)、「単純作業から高付加価値業務へのシフト」(製造業：50.3%、非製造業：49.8%)は、業種を問わず高い割合を占めている(図A-23)。一方、製造業と非製造業を比較した際にポイント差が大きな項目は、「ものづくりのオートメーション化」(製造業：48.3%、非製造業：19.2%で製造業プラス29.1ポイント)、「ベテラン技術の継承」(製造業：40.4%、非製造業：26.8%で製造業プラス13.6ポイント)、「資源の有効活用」(製造業：19.9%、非製造業：7.5%で製造業プラス12.4ポイント)である。

※5 本アンケートは法人としての回答をお願いしたが、回答者の意見として、AI全般の現状認識を尋ねている。

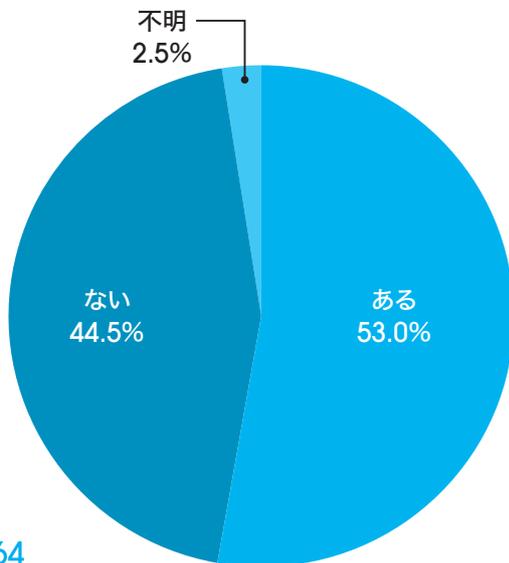
■ 図A-23 AIが解決すると期待する社会的課題(業種別)



A.9 AIに対する懸念点

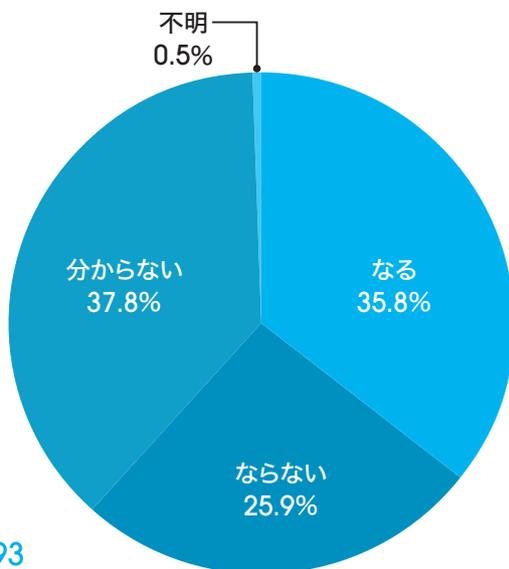
AIに対しては、安全性や信頼性、事故発生時の責任、雇用などの問題が議論されている。これらの点も含め、AI導入において懸念があるか質問したところ、「ある」と回答した企業は53.0%と過半数を超えた(図A-24)。

■図A-24 AIに対する懸念点^{※6}



「ある」と回答した企業に対し、さらにその懸念点がAI利用を妨げる要因となるかについて尋ねたところ、懸念点がAIの利用を妨げる要因になると回答した企業は35.8%であった(図A-25)。

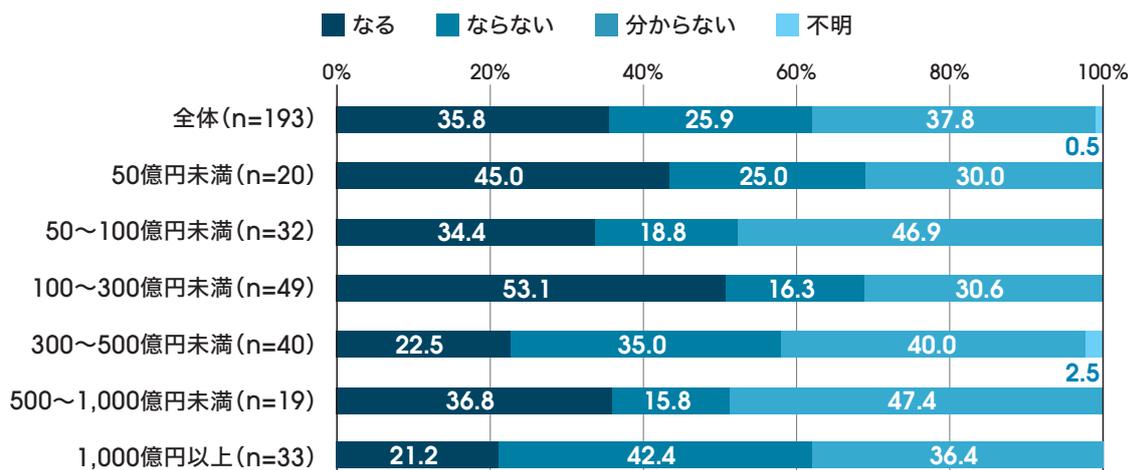
■図A-25 AIに対する懸念がAIの利用を妨げるか^{※7}



ただし、懸念点がAI利用を妨げる要因となるかについて売上高規模別にみると、売上高1,000億円以上の企業では、懸念点がAIの利用を妨げる要因とは「ならない」が42.4%と「なる」の21.2%を大きく上回る(図A-26)。

※6※7 本アンケートは法人としての回答をお願いしたものであるが、回答者の意見として、AI全般の現状認識を尋ねている。

■ 図A-26 AIに対する懸念がAIの利用を妨げるか(売上高規模別)



以下では、AIに対する懸念点として挙げた自由回答をまとめた (n=184)。

「責任の所在が不明瞭である」、「信頼性・安全性に不安がある」といった内容を含む回答の割合が高く、約3割ずつを占めた。次いで、「AIが下す判断の精度に不安がある」、「処理プロセスがブラックボックス化している」という回答が続き、それぞれ約1割となっていた。

以下、具体的な回答内容について例示する。

◆責任の所在が不明瞭である。

- ・AIが下した判断をもとに業務を行った結果、事故や損害が発生した場合に責任の所在が不明瞭である。
- ・責任について、AIを利用する企業または開発企業が負うかを法整備等で定める必要がある。
- ・AIが決定した判断や行為を監視する役割が必要と考える。

◆信頼性・安全性に不安がある。

- ・特に人命に関わる医療分野や、高度な内容の業務を行う場合に、AIの信頼性・安全性について不安がある。
- ・悪意のある第三者がデータを改ざんしたり、AIが作成したモデルを意図的に崩すケースなど、AIの悪用を不安視している。
- ・信頼性・安全性に関する不安から、AIが行う業務の範囲を定めるべきである。
- ・AIが十分な信頼性・安全性を確保するには時間や労力が必要と考える。

◆AIが下す判断の精度に不安がある。

- ・データが不足した場合や誤ったデータを学習した場合に、AIが下す判断の精度の低下を危惧する。
- ・完全に新しい領域にAIを導入するケースでは、データが存在しない、あるいは不足していることが多いため、AIの判断の精度が低くなると考える。

◆処理プロセスがブラックボックス化していてAIの出力結果を検証できない。

- ・誤作動時などに、AIが下した誤った判断を検出する方法の模索が課題と考える。

◆AIに依存し、人間のノウハウや判断力が低下する。

◆高付加価値業務にシフトすることができない人材の雇用創出が問題となる。

◆自社のデータが外部に流出するなど、セキュリティに不安がある。

◆AI技術開発に強みをもつ海外ベンダーに競争力が一極集中する。

◆AIを管理する難易度が高い。

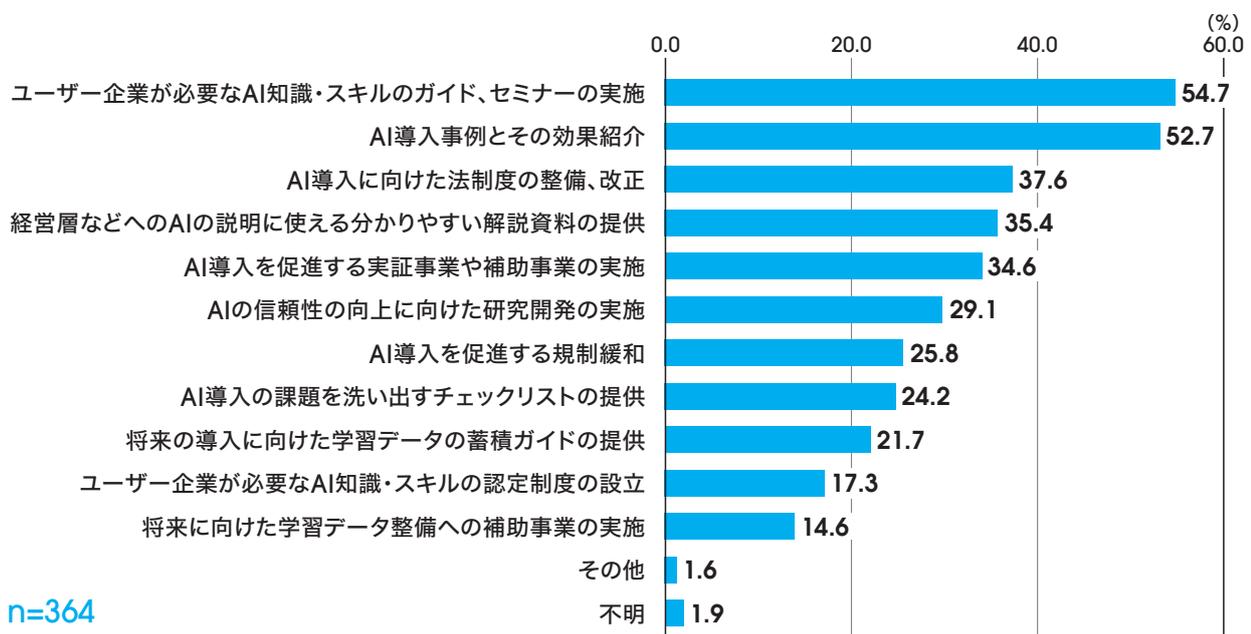
◆AIを保守・メンテナンスする人材が不足している。

- ◆費用が高い。
- ◆災害など緊急時の対応に不安がある。
- ◆AIは臨機応変な対応が可能かを疑問視している。
- ◆AIは社会的モラルを学習することが可能かについて、不安がある。

A.10 公的機関への要望

AIの利活用について国やIPAに対する要望を尋ねたところ、最も高い割合になったのは「ユーザー企業が必要なAI知識・スキルのガイド、セミナーの実施」(54.7%)であった。「AIの導入事例とその効果紹介」が52.7%、「AI導入に向けた法制度の整備、改正」が37.6%で続いている(図A-27)。

■図A-27 国やIPAへの要望(複数回答)^{※8}



A.11 AIへの関心、活用に関する意見

AIへの関心、活用に関する考えや意見などについて尋ね、以下に自由回答をまとめた^{※9}(n=71)。

- ◆中小企業でも導入可能となる、低価格なAIを希望する。
- ◆AIを完全には理解しきれていない。そのため、AIの長所・短所についての説明や、導入事例や具体的なソリューションを知りたい。
- ◆直感的に理解可能で、AIを解説した分かりやすい資料が欲しい。
- ◆どんなデータを集積すべきか決めるなど、AI活用に向けたデータ環境の整備が必要である。
- ◆学習用データは個人情報保護などとの関係で法整備が必要と考える。
- ◆AIを信頼することに不安がある。
- ◆昨今AIブームが高まっているが、マスコミはAIについて正確性よりも話題性重視で報道しており、AIへの正しい理解が必要である。

※8※9 本アンケートは法人としての回答をお願いしたものであるが、回答者の意見として、AI全般の現状認識を尋ねている。

MEMO

日本の人工知能

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

辻井潤一

科学においても、科学者の生まれ育った文化的な土壌が彼らの発想や研究内容に影響を及ぼす。真理探究を目指す科学に比べると、社会課題の解決や新たなビジネスの創出を目指す技術の研究開発では、それが行われる地域、社会の状況、産業構造がより直接的な影響をもつ。

AIには、知的能力の計算論的な解明という科学の側面と、社会課題の解決やビジネス創出を目指す技術を作り出す工学の側面とがある。AI研究の醍醐味は、この科学と工学との相互連環にあるが、本稿では、AIの技術的・工学的な側面に焦点を当て、現代日本という社会を前提に、そこでの技術戦略を考える。巨大IT企業が主導してきた米国のAI、膨大な人口とマーケットを持つ中国のAIと、日本が目指すAIとはおのずと重点の置き方に違いがある。

1 実世界AI、協調型AI

国立研究開発法人・産業技術総合研究所の人工知能研究センター(AIRC)では、その設立(2015年)にあたり、実世界に埋め込まれるAI(実世界AI)、人間と協調するAI(協調型AI)を目標に掲げた。実世界AIには、2つの側面があった。一つは、知能の研究というより、実世界の課題を解決するAI技術に重点を置くということ。もう一つは、サイバー空間のAIから、(1)実世界からデータを取り込むセンサー技術、(2)実世界に働きかけるロボット技術という、日本が強い隣接分野とAI技術とを統合していくことで、物理空間にかかわりをもつAI技術を目指すこと、サイバーフィジカル・システム(CPS)という文脈でのAI技術を目指すということ、であった。

自律性は、AIを特徴づける最大のものであるが、逆にAIの有効性を限定するものでもある。実世界AIがより広い分野で活用されるためには、閉じた自律性ではなく、もう一つの自律系である人間と協調できる開いた自律系であるべきというのが、2つ目の協調型AIである。

画像、音声、センサーからのデータなどを解釈し、意味を与える認識系の技術は、深層学習の出現で急速な発展を遂げている。また、試行錯誤から望ましい動作を学習していく強化学習、あるいは、与えられた手本から動作を学習する逆強化学習の進展は、行動系の技術を進展させた。この2つの技術の進展により、AI技術は、サイバー空間に閉じたAIから、IoT×AI、Robot×AIという実世界AIへと進化している。また、サイバー空間から飛び出した実世界AIは、サイバー空間に閉じたAIに比べると、人間社会に直接的でより大きな影響を及ぼすことから、人間とAIとの関係の根本的な見直しが必要となる。この見直しは、社会制度の変革、AI時代の責任と倫理など、幅の広い分野で同時並行的に行われているが、技術的な観点からは、人間と共存する協調型AIの技術に収斂していく。

このように、現在のAI研究は、国際的にも、我々の当初目標であった実世界AIと協調型AIという2つの軸を中心に発展してきている。この国際的な流れの中で、日本はどのような戦略で次のAI技術の研究開発に取り組んでいくのがよいか？ 以下では、我々の研究センターで行ってきた議論をもとに、私見を述べる。

2 日本の強み

日本が、AIで中国の後塵を拝しているという危惧をよく耳にする。

中国には、Alibaba、Baidu、Tencentなどの企業のほか、Toutiaなど急成長を遂げている企業がある。これらの企業は、世界各地に研究所を設立するなど、国際的にAI人材を集めつつある。ただ、彼らの成功を支える技術を見ると、いわゆるAI技術の割合はさほど大きくはない。また、使われるAI技術にも飛びぬけて独創的なものがあるわけでもない。これらの企業の成功は、技術をビジネスに展開する力、巨大な国内マーケットと収集できるデータ量の大きさ、新ビジネスを作り出す起業家精神、AIビジネスの社会展開を容易にする緩い規制など、技術以外の社会的、文化的な要因が大きい。また、中国の大学、公的研究機関には、2025年に向けての国家的戦略で、AI・ロボットに膨大な公的資金が流れ込んでいる。このようなAI産業が育つための社会的な変革をどのように引き起こすかが重要となるが、本稿の範囲を超える。以下では、技術の方向づけに関する議論を中心とする。

日本には、中国が持つ巨大なマーケットとそれに伴うデータの収集力はない。しかしながら、成熟した社会である日本には、医療・介護・交通などのすぐれた社会システムや、きめ細かなサービスを提供する観光産業、先進的な技術を持った製造業など、国際的に強い競争力をもつ業界がある。また、物性科学、生命科学、物理学など、多くの分野で、世界最高水準の研究者の集団がいる。このような日本社会がもつ強みを活かすことで特徴のあるAI技術を作り出していくことが、日本のAI戦略では重要であろう。

昔のAIが、プロ棋士同士の棋譜データベースを必要としたように、データにもとづく現在のAIはお手本となるデータ(訓練データ)を必要とする。古典的なAI技術であるWebサーチの推薦システムでは、ユーザーからのクエリやクリック履歴を大量に収集することで、お手本データを作り、個々のクエリに対して優先度付きの推薦リストを返す。このようなサイバー空間でのマス・マーケットをターゲットとしたAIでは、膨大なユーザー集団を抱えることで、ユーザーのプロファイルや行動履歴のデータを収集することが成功の鍵となった。

しかしながら、膨大なユーザー集団からのデータ収集というアプローチは、製造業、医療、科学技術研究の加速のためのAI技術には、通用しない。このような多様な分野に適用される実世界AIでは、個々の生産現場や個々の病疾患、個々の科学技術分野ごとに質の良いデータを収集する必要がある。日本は、このための良質なデータを収集できる現場と分野専門家という人材を多く持っており、マス・マーケット型のサイバー空間AIとは違った技術を発展させるポテンシャルを持っている(図1)。

同様の議論は、介護のAI技術にも当てはまる。ほかの社会に先行して高齢化が進む日本は、介護AI技術を発展させるための多くの現場を持っている。経済成長期に集中的に建設されたインフラの劣化も日本の社会課題であるが、これを解決するインフラ維持のAI技術も同様である。日本は、これらの分野でのAI技術をほかの社会に先行して開発し分野をリードするポテンシャルを持っている。

■ 図1 「日本型AI」に向けた取組みの必要性



出典:「日本が取り組むべき今後のAI基盤技術の方向」(平成30年5月23日 産業技術総合研究所人工知能研究戦略本部)

3 日本の人材、分野の専門家

「AI技術を使いたいが、データがない」とか、「米国や中国の巨大IT企業とは、収集できるデータ量で負ける」とか、AI技術とデータに関する議論が盛んである。

実世界AIでの「使えるデータがない」には、2つの側面がある。一つは、お手本データ(訓練データ)がないこと、すなわち、「人間の解釈がついた訓練データがない」ということ。もう一つは、データの文脈依存性、すなわち、実世界AIのためのデータが個別環境に強く依存することである。ある環境のデータで訓練されたAI技術は、別の環境では使えず、新たな環境でのデータを集めなければならない。このデータの文脈依存性は、対局の環境とは全く関係なく、盤面にすべての情報がある碁には見られなかった性質である。

訓練データの不足は、データを解釈し意味に結び付ける知識の問題と密接に絡み合っている。ImageNetを使った画像認識技術が急速に進展した背景には、WordNetというオントロジーが存在し、そのオントロジーのクラス(人間、車、猫、など)を膨大な画像にアノテーションすることで大量の訓練データを用意できたことがある。WordNetのクラスは、一般人が容易に判断できたから、クラウドソーシングで比較的安価に大量の訓練データが作れた。実世界AIでは、このような訓練データを作成すること自体が課題となる。

製造業、介護の現場にセンサーを持ち込めば、大量の生データを取得できる。しかし、これらの生データを解釈し意味を与えたデータは少なく、多くの場合、人手で意味付与(アノテーション)を行わなければならない。このアノテーションは、ImageNetの場合とは違って、当該分野の熟練した技術者や介護者など、その分野の専門家が必要であり、大きなコストがかかる。また、熟練した技術者や介護者を集めるだけで、良い訓練データが作成できるわけでもない。多くの場合、専門家による意味づけも個々の専門家によって変動する。この変動を極小化するために、専門家が暗黙裡に持っている知見を明示的に取り出し、共通化していく必要がある。

また、個々の製造業や介護現場には、大きな多様性がある。専門家が同じ意味、解釈を与える「もの」や「こと」も、個々の現場環境や観察手段によって表面上は違ったデータとなる。このデータの文脈依存性を克服し、データの転用可能性を担保していくには、専門家の解釈を支えている知識、すなわち個々の観察データよりも高い抽象レベルの知識、を扱う必要がある。

4 2つのボトルネック

実世界AIの開発に、実世界の課題に取り組む分野の専門家の関与が必要なことは、ある意味、自明である。ただ、AI研究者は分野に依存しないAI技術の開発に注力し、分野専門家をループに入れる技術は置き去りにされてきた。

「知識は力なり」を標榜した第2期のAIブームでも、知識の形式的な記述系と推論アルゴリズムに研究の重点が置かれ、記述される知識そのものは、当該分野の専門家のインタビューや専門家の内省により獲得できる、とされていた。

このアプローチは、(1) 専門家の関与に必要な時間とコストが大きいこと、(2) 形式性の高い規則で明示的に記述できないノウハウ的な知識が膨大にあること、(3) ノウハウ的な知識は専門家による差が大きいこと、などが原因となり失敗に終わる。いわゆる知識獲得のボトルネック(Knowledge Acquisition Bottleneck)である。

「データは力なり」とする現在のブームは、専門家のノウハウ的な知識をデータから自動的に学習することで、一見、これらの困難を回避しているかに見える。ただ、(1)のインタビューや内省のコストは、訓練データを作成するアノテーション・コストという形で残っている。(3)の専門家ごとの

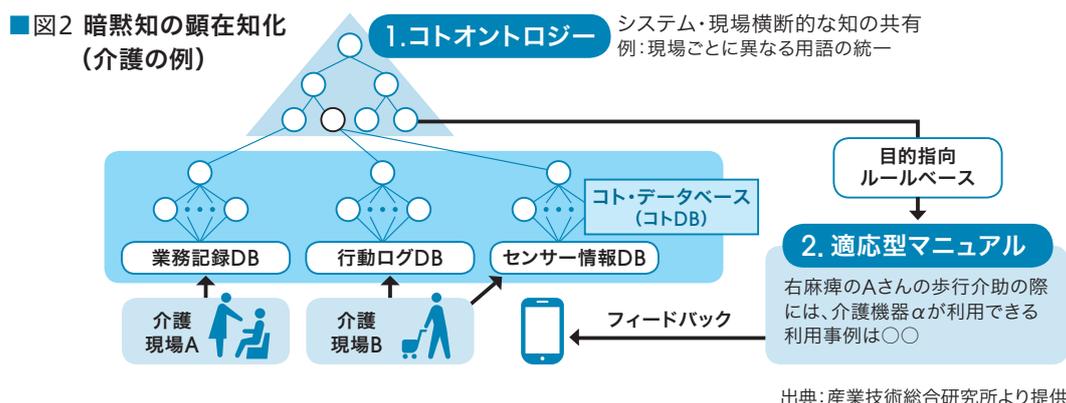
差異は、アノテーションの揺れとして残り、良質の訓練データ作成の難しさとなっている。また、(2)の暗黙的なノウハウ獲得は学習で解消されつつあるが、獲得結果がブラックボックス化し、信頼性や操作性の欠如という別の課題として残されている。(1)(3)は、データ獲得のボトルネック(Data Acquisition Bottleneck)あるいは、データ・アノテーションのボトルネック(Data Annotation Bottleneck)と呼ぶべきものであろう。

この知識とデータ獲得のボトルネックは、いずれも、分野の専門家が持つ知見をAIシステムに移行する段階の困難である。そもそも、優れた分野専門家の層が薄い社会では、実世界AIの研究開発はできない。データ取得の環境と優れた専門家集団をもつ日本は、これらを積極的に活用するための技術、2つのボトルネックを解消するAI技術の開発に力を注ぐべきであろう。

5 人を活かすAI

実世界AIでは、実世界での課題解決に従事する専門家の知見をAIシステムに流し込むことが必要である。現在のAI技術は、専門家の知見をデータへのアノテーションという、極めて狭いチャンネルで行っている。日本がもつ優れた専門家集団を活かすためには、このチャンネルを多様化する技術、例えば、次のような技術の研究開発が必要となろう。

1. シミュレーション技術とデータ中心のAI技術の融合：シミュレーションは、専門家の知見にもとづいて対象をモデル化し、対象を計算機内で再現する手法である。いわば専門家の理解にもとづくトップダウン的な対象のモデル化手法であり、データ中心の機械学習・深層学習と相補的なものである。日本には、生命科学、物理・化学分野の専門家が開発してきたスーパーコンピュータ上のシミュレーター・プログラムから、化学プラントや電力網シミュレーター、エンジンのシミュレーターまで、様々な分野に大きな貯えがある。シミュレーターが生成するデータは、専門家による意味づけが明確なデータでもある。専門家集団の知の集積であるシミュレーターとデータからの学習技術によるモデルとを組み合わせる技術の開発は、今後のAI技術にとって重要となろう。
2. 暗黙知の顕在化、オントロジー構築：データへのアノテーション付与は、専門家の暗黙裡の知見を取り出す手段である。ただ、単純にアノテーションを専門家に依頼するだけでは、専門家ごとの揺れがない良質な訓練データは作成できない。深層学習、(逆)強化学習が得意とする認識系・行動系の問題では、専門家自身もうまく説明できない統合的で直観的な判断がある。専門家ごとの揺れの解消には、この暗黙知をデータ分析により顕在化し、それを専門家集団として共有していく必要がある。共通オントロジーの構築という、第2期のAIがトップダウン的に取り組んだ課題をボトムアップなデータ分析と融合する手法を確立する必要がある。データ分析を抽象度の

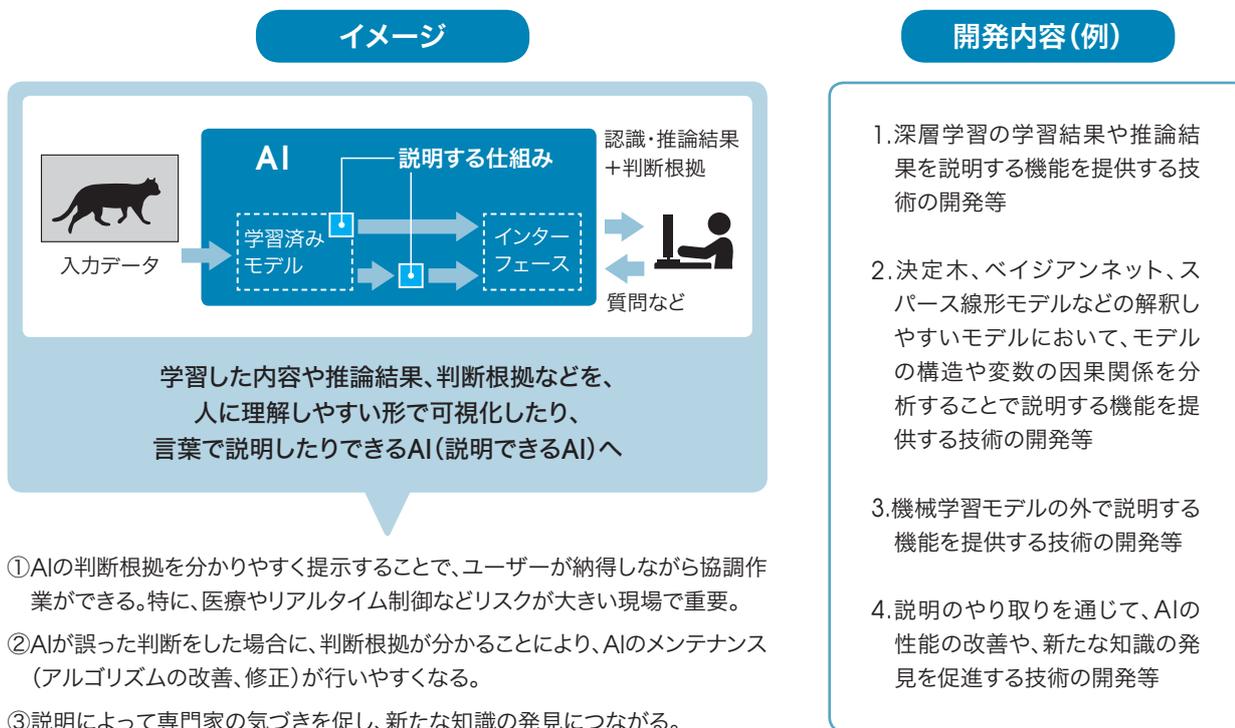


高いオントロジーと結び付けることは、データの文脈依存性を克服し、異なる環境で収集されたデータの相互流用性を高めることにつながる(図2)。

3. 学習結果の透明化手法：深層学習や入力と出力を直接結び付けるEnd-to-Endシステムは、データからの学習結果がブラックボックス化する。これを透明なものにしていくことは、前項のデータ分析をトップダウン的な知識の整理と結び付けるうえでも重要となる。データ分析としての透明度が高い機械学習手法(例えば、ベイジアン・モデル、決定木、ランダムフォレストなど)と深層学習を融合する技術、あるいは、深層学習の結果を説明するための技術など、米国DARPAの説明できるAIのプロジェクト(XAI)で研究開発が進められている技術は、専門家の知見をより積極的に活用していくためにも重要であろう。専門家が持つ暗黙知は、本来、統合的で直観的な、明示的な説明が困難なものである。これを体現する学習結果がブラックボックス化するのは自然なことであるが、これをできる限り透明化することで、共有できる顕在知化する技術が必要となろう(図3)。

■図3 XAI(AIの説明性向上)

- ・機械学習によりAIの性能が向上しているが、AIの判断の理由・根拠などが説明できないことが実用化のボトルネックとなっている。そのため、AIの説明性の向上が社会的に要請されている。
- ・特に、医療やリアルタイム制御(例：自動運転)などのリスクが大きい現場においては、医師などのユーザーがAIの判断を理解し納得して利用できることが重要。
- ・説明のやり取りを通じたAIの性能の改善や新たな知識の発見にもつながる。



出典：DARPA「Explainable Artificial Intelligence」^{※1}より産業技術総合研究所作成

※1 <<https://www.darpa.mil/attachments/XAIProgramUpdate.pdf>>

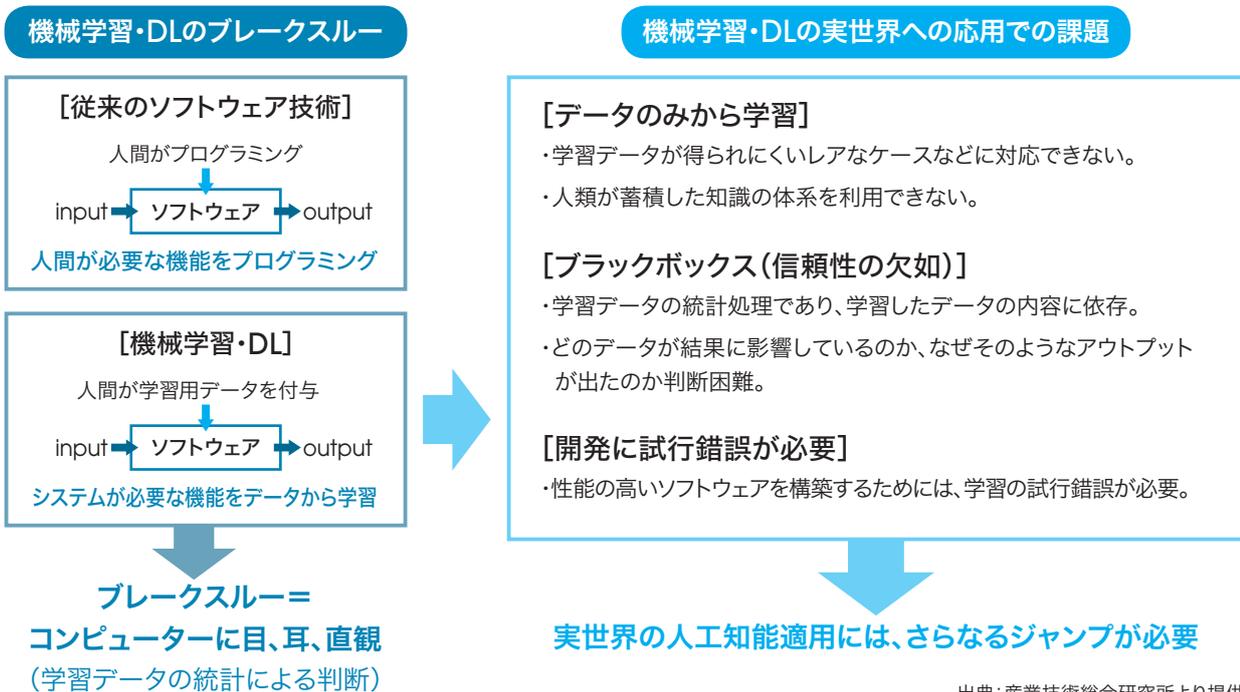
4. 逆強化学習、模倣学習などの発展形、規則の直接教示：試行錯誤によって最適な行動を学習するボトムアップ的な強化学習は、単純な動作の学習には有効であるが、複合的な動作系列の学習には多くの課題を残している。専門家という手本をうまく活用することで膨大な試行錯誤を避ける逆強化学習や模倣学習をさらに発展させることが必要であろう。また、人間の学習が、習熟度の高い専門家からの言語的な教示で無駄な試行錯誤なく素早く行われるように、規則の直接的な教示で学習を加速させる技術の開発が必要となろう。
5. 専門家の知見を反映したモデル構築：物質の特性を推測したり、蛋白質と化合物の相互作用を予測したりするタスクでは、その分野の専門家が持つ知見を深層学習のモデル構築に反映させることで、性能が向上する。また、言語処理においても、深層学習以前の系列学習の手法 (CRF: Conditional Random Field) をLSTMに組み込んだり、文法構造が持つ階層構造をニューラルネットの構造に反映させたりすることで、精度が向上する。専門家が自らの知見をモデル構築に反映させること、深層学習のモデル記述言語を一種のプログラム言語として当該分野の専門家が自らの知見を反映したモデルを開発していくことが今後必要となる。このためには、専門家が深層学習などの技術を道具として直接自らの知見をモデル化できる必要がある。現在の技術をさらに工学として体系化し、ツールとしてユーザービリティを向上する必要があるであろう。
6. 第2期と第3期AIの融合：専門家の知見を反映した規則集合による推論系と第3期のデータからの推論系の融合は、次世代AIの課題を集約するものであろう。論理推論や知識グラフ (オントロジー) による推論をニューラルネットに組み込む手法などに、新たな展開がみられるが、医療診断など、より専門性が高く、複雑度の高い知識系でも有効に機能する技術の開発が必要になろう。人間の思考には、D.KahnemanのいうSlowな思考 (熟考型の思考) とFastな思考 (直観的な反射型の思考) が混在している。前者は第2期AIブーム、後者は現在のデータにもとづくAIが取り扱う思考、推論形式である。医療診断などでは、この両者を自然に融合していく技術が必要となろう。
7. 専門家との対話システム：アノテーションの付与が、有効なデータをシステム側が人間に提示していく能動学習 (Active Learning) は、訓練データ作成のコストを下げる手法として有効である。訓練データの作成だけでなく、判断や行動の過程においても、人間と対話できるAIシステムは、協調型AIの究極の形であろう。このためには、透明度が高いシステムの発展形として、自らの学習結果や判断結果を専門家が理解できる説明として生成する能力、あるいは、人間が持つ意図や人間からの新たな情報を加味することで、判断・行動を結果させる能力など、人間による制御可能性を向上させる技術を開発する必要があるであろう。

6 AIの信頼性、AI工学

日本が優位性をもつ製造業や医療、介護などへのAI適用では、マス・マーケットを対象とした推薦型AIシステムに比べて、はるかに高い信頼性が要求される。また、現在、AIシステムの構築には、構築に従事する技術者の経験と勘や、開発過程での試行錯誤に依存する部分が多い。AIシステム開発のための系統的な方法論の確立も大きな課題となる(図4)。

■図4 AI技術の進展と課題

- ・機械学習(深層学習を含む)は、人がプログラミングするのではなく、人がデータを提供することにより生成される、データの統計処理を行うソフトウェアであり、第三次人工知能ブームを引き起こすブレークスルーとなった。
- ・しかしながら、これらの技術は、実世界に応用していくためには、技術上の限界があり、今後、さらに一段と超えた高度な人工知能技術が必要。



AIシステムの信頼性にはいくつかの軸がある。前節の透明度が高く、動作機構が分野専門家にとって理解可能なシステム、あるいは、判断が説明できるシステムは、システムに対する人間の信頼度を向上させるうえで、重要な軸となる。

もう一つの大きな軸は、訓練データにかかわる軸である。この軸はさらに複数の軸に細分して考えることができる。訓練データは、入力と出力の具体的例を大量に与えることで、構築されるAIシステムの仕様を与えている。一つの軸は、この訓練データが、システムが動作する可能な環境を十分にとらえているか、という軸である。AIシステムは、動作する環境の変化に応じて適切な行動・判断をする自律性を持つが、変化する環境の範囲があらかじめ限定できない場合には、訓練データと実際の動作環境との差が深刻な誤動作の原因となる。

自動運転車やドローンなどの場合、AIシステムが実世界で遭遇する場面があらかじめ限定しがたいため、訓練データでは尽くされていない、予期せぬ場面での誤動作が生じうる。シミュレーション技術の活用により、起こりうる可能な場面でのデータを生成しそれを訓練データとして学習するなど、専門家をもつ対象の合理的な理解とデータからの学習機能とを組み合わせる技術が必要となる。

もう一つは、訓練データという外延的な仕様記述がもつ弱点に関係している。内包的な仕様記述の理想形として、論理式での仕様がある。これとプログラムの論理表現との関係でプログラムの正当性が証明(Verification)できる。このような論理による正当性が証明できない場合でも、内包的な定義がある場合には、その定義にあったテスト・データを網羅的に生成し、動作の正しさを確認することができる。

これに対して、訓練データという外延的な仕様記述では、正解のついたテスト・データを別に用意し、それに対する動作を確認する検証(Validation)を積み重ねるしか今のところ方策がない。これには、アノテーションのついたテスト・データを大量に用意するというコストの問題が生じる。深層学習での識別器性能を向上させるGAN(Generative Adversarial Network)の手法を信頼性向上のためのデータ生成に使うなど、今後の研究に待つところが多い。

信頼性に関する問題には、AIシステムの自律的な判断と行動が、人間社会が持つ倫理、道徳、法律などと整合性が取れるかという、技術と社会との接点にかかわるものもある。また、実世界AIでは、AI技術と制御技術、AI技術とセンサー技術などを組み合わせた総合システムとしての信頼性を議論する必要がある。これらは、この論考の範囲を超えるが、これらはAI技術が社会全般に浸透していく過程で避けられない課題となろう。

データからの学習を基盤としたAI技術は、これまでのトップダウン的なソフトウェア開発とは全く逆の、ボトムアップ的なシステム構築方法論になっている。近年喧伝されてきたプロトタイピング、アジャイルなシステム構築という、トップダウン的なシステム構築法に対するアンチテーゼ的な方法論の典型といってもよいであろう。しかしながら、現在のAIシステム開発は、開発者の経験と試行錯誤に依拠する部分が大きく、システム構築のための方法論やそのためのツールなどは未成熟である。このことが、実世界AIに必要な分野専門家が関与する際の障害となっている。これを解決して系統的なシステム構築の工学体系にしていくことは、日本のAI戦略にとっても重要であろう。

7 おわりに—人材育成、社会変革

AIによる社会変革は急速に進みつつあるが、これまでの変革は大きな変革の序章であろう。この変革がIT企業が中核となって進んでいくのか、AI技術を使う側の組織が中心となっていくのかは、AI技術を取りまく社会や産業構造に依存する。日本やヨーロッパ諸国の多くは後者のモデルを採ろうとしているように見える。米国や中国では、IT企業が中心に社会変革を主導しているように見える。ただ、この場合も、巨大化したIT企業がその資金力を使って投資やM&Aを繰り返し、他業種へと進出しており、技術的にはAI技術と他産業のもつ技術との融合が進展している。

日本が強い製造業へのAI技術の適用は、製造業がもつ技術とAI技術との融合を進めることで、日本が特徴あるAI技術を生み出すポテンシャルを持った分野である。また、医療や介護の分野では、国の関与が大きい福祉国家である北欧で、国家主導でデータ収集とその活用が進み、これらの分野でのAI技術が発展している。日本でも、国の方向づけと資金の投入によって、これらの分野でのAI技術が発展する可能性を持っている。医療や介護は、巨大IT企業による民間主導だけではできない社会変革を伴う。同様に、農業のように国ごとにその在り方が変わる分野でも、日本が特徴のある技術を生み出す可能を持つ。

明らかに不足しているAI人材の育成は急務の課題であるが、それにとどまらず、AI以外の分野の専門家の活用、他分野の技術とAI技術の融合的な技術を開発できる人材の育成など、多様な分野での変革を視野に入れた人材育成を行っていく必要がある。AIによる社会変革は、いま始まったばかりである。

MEMO

制度政策動向

- 4.1 総論
- 4.2 知的財産
- 4.3 AIに関する原則、ガイドライン等
- 4.4 制度改革
- 4.5 国内の政策動向
- 4.6 海外の政策動向

制度政策動向

4.1 ▷ 総論

本章では、AIに関係する制度政策動向として、知的財産権、開発基準、制度改革及び政策動向について説明する。

「4.2 知的財産」に関しては、国内では内閣の知的財産戦略本部において議論が行われており、平成30年6月には「知的財産推進計画2018」及び「知的財産戦略ビジョン」が公表されている。平成29年3月に公表された「新たな情報財検討委員会報告書」では、「AIの作成・利活用推進のための知的財産権の在り方」として「AI学習用データ」、「AIのプログラム」、「学習済みモデル」及び「AI生成物」が論点となっているが、「知的財産戦略ビジョン」ではその検討成果を一步進め、将来における「価値」とそれを生む仕組みの想定や検討課題について提言している。AIに関連する法制度上のトピックとしては、著作権法及び不正競争防止法の改正が挙げられる。

「4.3 AIに関する原則、ガイドライン等」では、AI自身のリスク、人間がAIを利用して引き起こすリスク、既存の社会秩序への負の影響、法律・社会の在り方のリスクなどについての国内外の議論を紹介する。まず、海外においては、2018年2月の欧州連合(EU)のガイドライン「自動処理による個人に関する意思決定(decision)及びプロファイリングに関する規定」や、2018年6月にカナダ・シャルルボワで開催されたG7首脳会合(サミット)における「人工知能の未来のためのシャルルボワ共通ビジョン」などを説明する。次に国内での議論として、海外における開発基準に関する検討の活発化を踏まえ、平成30年5月より、人工知能技術戦略会議の下に設置された「人間中心のAI社会原則検討会議」について説明する。

「4.4 制度改革」では、AIの社会実装に係る制度改革として注目すべきものとして、「自動運転」と「ドローン」などのモビリティに係る制度改革と「パーソナルデータ」、「匿名加工されたデータ」、及び「個人に関与しないデータ」などのデータ流通に係る制度改革について説明する。

「4.5 国内の政策動向」では、内閣府が示した未来社会のビジョンSociety 5.0において主要な基盤技術の一つとして位置づけられているAI技術の推進について^{※1}、AIの研究開発から社会実装までの政府の横断的かつ主要省庁における取組みを紹介する。

「4.6 海外の政策動向」では、AI分野で先行する米国と中国、AIに関する積極的な取組みが注目されるEU、英国、ドイツ、フランス、インドの動向を説明する。

※1 Society 5.0のビジョンを示した第5期科学技術基本計画では、AI技術は「超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要な基盤技術」に位置づけられている。同基盤技術には他に、サイバーセキュリティ、IoTシステム構築、ビッグデータ解析、デバイス、などが含まれている。

4.2 ▷ 知的財産

4.2.1 国内のAI知的財産関連施策の動向

内閣知的財産戦略本部の「知的財産推進計画2018」では、重点事項を「(1) これからの時代に対応した人材・ビジネスを育てる」、「(2) 挑戦・創造活動を促す」、「(3) 新たな分野の仕組みをデザインする」の3つに整理しており、(3)の中で「データ・AI等新たな情報財の知財戦略強化」を挙げている。表4-2-1に施策の方向性を整理する。

■表4-2-1 「データ・AI等新たな情報財の知財戦略強化」の施策の方向性

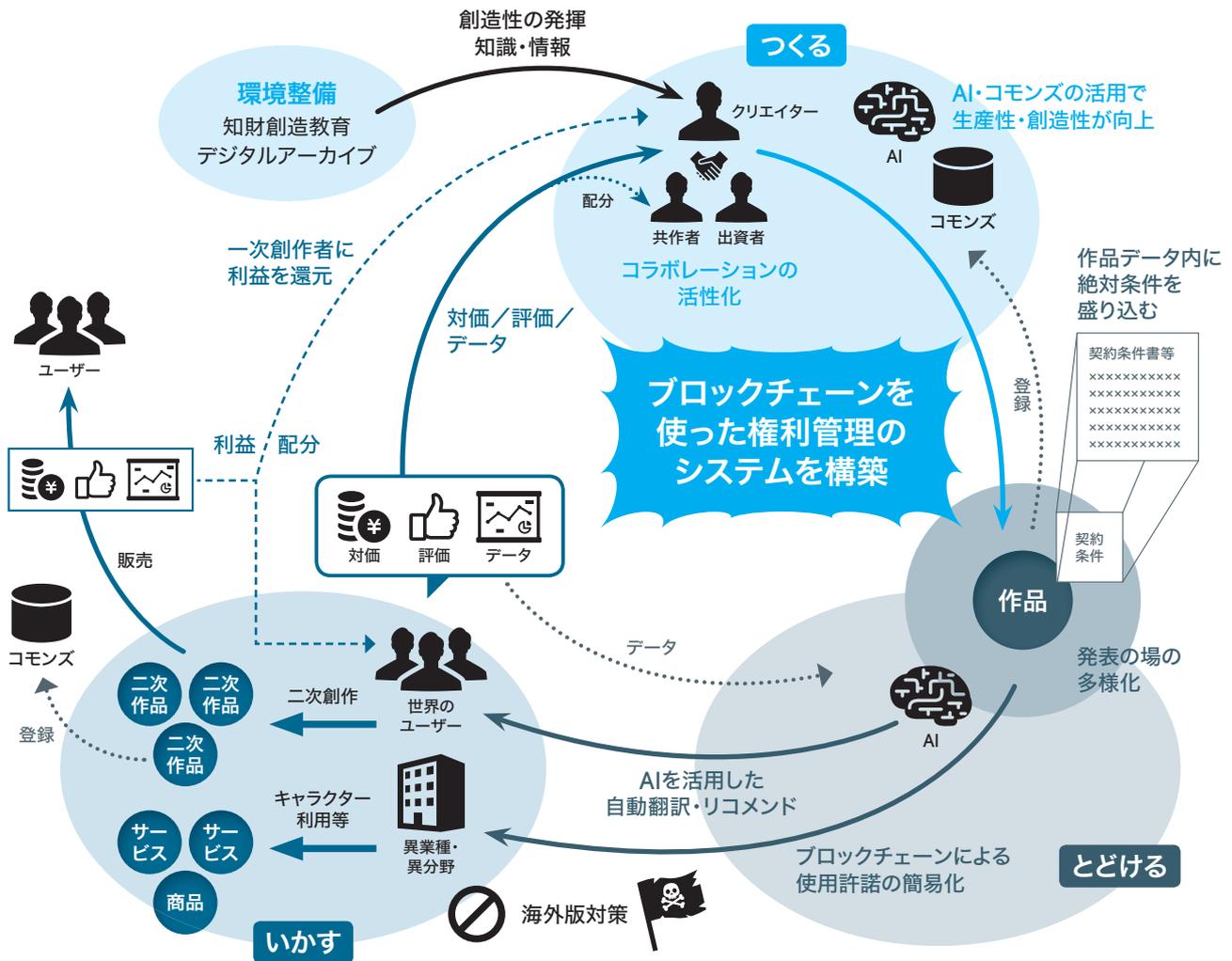
| 期間 | 主体 | 「知的財産推進計画2018」施策の方向性 |
|-------|----------------------|--|
| 短期・中期 | 経済産業省 | 「データの利用権限に関する契約ガイドラインver1.0」を全面改訂し、データに関する契約の深掘りのほか、新たにAIの開発・利用を巡る契約の考え方について整理を行う。また、改訂されたガイドラインについて、契約当事者間での活用についてはデータ・AIの利活用を促進するため、その周知を行い普及を加速するとともに、利用上の課題の継続的把握や国際展開に向けた検討も行う。 |
| | 内閣官房 総務省 経済産業省 | 情報信託機能の認定スキームに関する指針の運用の推進や官民が連携した実証実験の実施等による情報銀行の実装の検討、我が国におけるデータポータビリティの在り方等に関する検討を継続する。 |
| | 内閣官房 厚生労働省 | 保健医療データを連結し、迅速・円滑に利用可能な仕組みの構築に向け、データ利活用推進のための必要な措置を講ずる。 |
| | 内閣府 関係府省 | オープンサイエンス推進のため、国際的な議論の動向や事例を注視するとともに、国益や研究分野の特性等を意識したオープン・アンド・クローズ戦略に留意し、データポリシーやデータマネジメントプランの策定について検討を行う。 |
| | 農林水産省 | ICT等を活用して、幅広くデータの取得・共有・活用ができる農業データ連携基盤を整備すること等によって、「スマート農業」、「スマート林業」及び「スマート水産業」の実現に向けて取り組む。特に農業分野においては、取得したデータを他者に提供・使用許諾する際の具体的な契約条項のひな型等の検討を行い、農業データ連携基盤等に活用できるデータ利活用・契約に関するガイドラインを作成する。 |
| | 関係府省 | 技術やサービスの動向、海外の知財制度の動向の定点観測の実施と、それを踏まえたさらなる法整備等の必要性の検討。特に、学習用データ、AIプログラム、学習済みモデル、AI生成物について、技術やサービス等の変化に伴う知財制度の在り方を継続的に検討する。 |
| 短期 | 経済産業省 文部科学省 | コンテンツの利活用を促進するため、ブロックチェーン等技術を活用した著作物の管理・利益配分の仕組みの構築のための検討を行う。 |
| | 文部科学省 | 著作権法における柔軟性のある権利制限規定の整備を踏まえ、法の適切な運用環境を整備するために、ガイドラインの策定、著作権に関する普及・啓発、及びライセンス環境の整備促進などの必要な措置を講ずる。 |

出典：知的財産戦略本部「知的財産推進計画2018」をもとに作成

前年度に公開された「知的財産推進計画2017」では、データ・AIの利活用促進に向けて不正競争防止法及び著作権法の改正やデータ契約ガイドラインの整備等が挙げられていたが、これらが計画どおり実施されたことから「知的財産推進計画2018」では、そのフォローアップ、データ・コンテンツ利活用の一層の推進などに視点が向けられたものと考えられる。

また、同本部が平成30年6月に公表した「知的財産戦略ビジョン」では、新しい価値を次々に構築し、世界に発信していく「価値デザイン社会」のコンセプトとその実現の鍵となる知的財産に関連する仕組みを提案している。本ビジョンを実現する活動の支えとなる具体的なシステムの例の中でAIに関連するものとしては「次世代のコンテンツ創造・活用システムの構築」がある(図4-2-1)。

■ 図4-2-1 検討課題「次世代のコンテンツ創造・活用システムの構築」



出典：知的財産戦略本部「知的財産戦略ビジョン」（2018年6月）

本システムにおいてAIは、生産性の向上、新たな創作表現の実現、マーケティングや翻訳等ローカライズの円滑化などに利用するイメージとなっている。具体的には、コンテンツ制作現場へのAI等新技術導入を支援するとともに、先進的なコンテンツ制作・表現技術の普及を図ったり、マーケティング（AIによるリコメンド等）やローカライズ（自動翻訳等）によるコンテンツの世界同時展開を支援することが挙げられている。なお、構築されたコンテンツが素早く、幅広く配信されつつ、適正な対価を関係者に還元するためにブロックチェーン技術の活用もイメージされている。

4.2.2 国内のAI知的財産関連課題の検討

知的財産戦略本部が平成29年3月に公表した「新たな情報財検討委員会 報告書」は、「データ・人工知能（AI）の利活用促進による産業競争力強化の基盤となる知財システムの構築に向けて」という副題のとおり、前年度の同本部次世代知財システム検討委員会が公表した報告書でも検討されていたデータとAIに特化した内容となっている。対象となっている課題は表4-2-2のとおりである。

■表4-2-2 「新たな情報財検討委員会 報告書」の論点

| 大項目 | 論点 |
|-----------------------------|---|
| 第1. データ利活用促進のための知財制度の在り方 | (1) 契約（民法）に関する論点 |
| | (2) 不法行為（民法）に関する論点 |
| | (3) 営業秘密・不正競争防止法に関する論点 |
| | (4) データ利活用促進に向けた論点 |
| 第2. AIの作成・利活用促進のための知財制度の在り方 | (1) AI学習用データに関する論点 （「データ作成者」と「AI学習を行う者」が異なる場合の著作権法上の課題等） |
| | (2) AIのプログラムに関する論点 |
| | (3) 学習済みモデルに関する論点 |
| | (4) AI生成物に関する論点 |

出典：知的財産戦略本部「新たな情報財検討委員会報告書」（2017年3月）

以下では、「第2. AIの作成・利活用促進のための知財制度の在り方」の論点について整理する。

(1) AI学習用データに関する論点

学習に使用するデータの知的知財制度については「第1. データ利活用促進のための知財制度の在り方」の論点に包括されており、ここでは著作権法第47条の7（平成30年の改正により平成31年1月1日以降は著作権法30条の4第2号）に関する論点が検討されている。

我が国の著作権法は、同条により、コンピューター等を用いた情報解析のために行われる複製等を許容する権利制限規定を有している。具体的には、コンピューターによる情報解析を目的とする場合に限り、元となるデータに第三者の著作物が含まれている場合であっても、必要と認められる限度において著作物を記録または翻案し、学習用データを作成することができる（情報解析を行う者の用に供するために作成されたデータベースの著作物を除く）。情報解析が営利目的であっても適用される点で、諸外国の規定よりも適用範囲が広いといえる。

ただし同条では、譲渡や公衆送信が規定されていないため、学習用データを作成する主体（データ作成者）と、実際にAI学習を行う主体（AI学習を行う者）が異なるとき、データ作成者からAI学習を行う者へ学習用データを提供または提示する行為が著作権法上違法と解されるおそれがある。本論点では、この課題にもとづいて検討が行われた。

著作権法の改正

上記の議論を踏まえ、平成30年の著作権法改正により、同法47条の7（2019年1月1日以降、同法30条の4第2号）は、様々な機械学習に対応できるように、その適用範囲が拡大された。具体的には、コンピューターを用いない情報解析も含まれることになるとともに、自ら解析を行う場合のみならず、情報解析を行う他人のためにAI開発用データセットを作成することや、解析終了後のデータセットを情報解析する他人に送信することも可能になる。同条は、現状でもすでにAI開発や機械学習の発展にとって極めて有用なものであったが、今回の改正によって、さらなる拡充が図られたため、将来的にますますイノベーションの促進が期待されるところである。

(2) AIのプログラムに関する論点

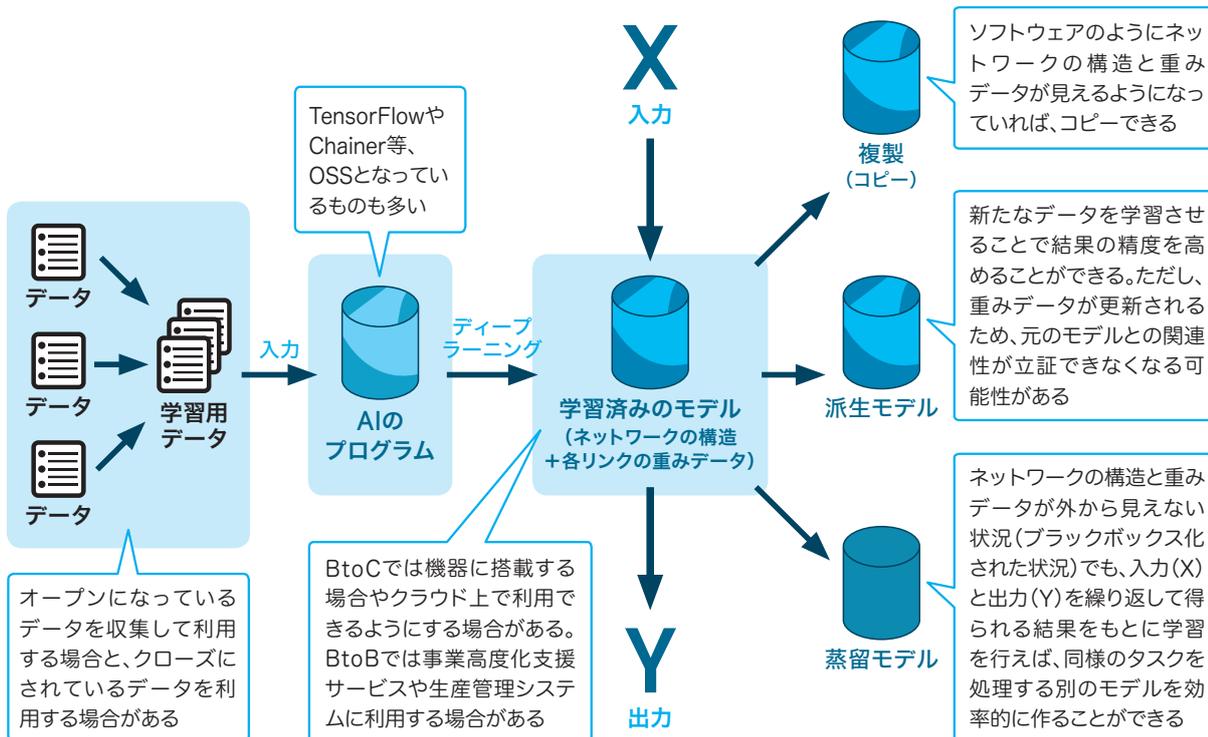
深層学習に利用されるGoogleのTensorflow、Preferred NetworksのChainerなど、学習データから学習済みモデルを生成したり、現実のデータをもとに推論するためのプログラム(AIのプログラム)が検討対象となっている。AIのプログラムの多くは無償で使用できるオープン・ソース・ソフトウェア(OSS)として公開されており、作成のインセンティブ付与のために、現状の特許法、著作権法以外の追加措置が必要かどうか検討されている。これに対しては、現行知財制度で対応可能であることなどから、特に追加的措置は行わず、状況を注視していくことが適当としている。

(3) 学習済みモデルに関する論点

学習済みモデルは、「AIのプログラムとパラメーターの組み合わせ」であることから、現行知財制度上、著作権法の要件を満たせば「プログラムの著作物」として保護される可能性がある(パラメーターがAIプログラムと別に保持されている場合は必ずしも明確ではないと考えられる)。また、要件を満たせば特許法または不正競争防止法で保護される。

しかしながら、学習済みモデルから生成される「派生モデル」及び「蒸留モデル」(図4-2-2)については、学習済みモデルと比較して容易に作成できるうえ、元のモデルとの関連性を立証することが困難であることから、学習済みモデルの知的財産保護上の課題となりうると指摘されている。

■ 図4-2-2 学習済みモデルに関わる課題の状況



出典:知的財産戦略本部「新たな情報財検討委員会報告書」(2017年3月)

そこで「派生モデル」及び「蒸留モデル」を考慮した学習済みモデルの保護の在り方について「契約」、「特許権」、「著作権」及び「新しい権利」の観点で検討が行われている(表4-2-3)。

表4-2-3 「派生モデル」及び「蒸留モデル」を考慮した学習済みモデルの保護の在り方の検討

| 保護手段 | 「新たな情報財検討委員会報告書」における検討結果 |
|------------|--|
| 契約 | <ul style="list-style-type: none"> ・契約当事者以外に効力が及ばないという限界はあるものの、技術変化などに対する柔軟な対応が可能で、国内外でも活用できることから、具体的な検討を進めることが適当。 |
| 特許権 | <ul style="list-style-type: none"> ・学習済みモデルが特許権で保護された場合には、元の学習済みモデルと「蒸留モデル」及び「派生モデル」との関連性が立証できるか否かにかかわらず、これらのモデルが特許発明の技術的範囲に属することを立証できれば、これらへの権利行使が可能。 ・学習済みモデルの発明該当性については、産業構造審議会知的財産分科会特許制度小委員会審査基準専門委員会ワーキンググループで議論中。 <p>※同ワーキンググループ第11回会合（平成29年2月開催）ではAIの学習済みモデル発明該当性について検討、第12回会合（平成30年1月開催）ではソフトウェア関連発明に係る審査基準等の基本的な考え方を変更せずに、ソフトウェア関連発明に係る審査基準等を発明該当性や進歩性を中心に明確化するための点検・改訂を行うことを承認。</p> |
| 著作権 | <ul style="list-style-type: none"> ・学習済みモデルが著作権で保護されたとしても、その「派生モデル」については、元のモデルに依拠しかつ類似性があることの立証が難しい。「蒸留モデル」についても元のモデルへのデータ入出力の繰り返しだけで作成されるため、元のモデルに依拠しているとは認められないという指摘もあり、権利行使が困難。 |
| 新しい権利による保護 | <ul style="list-style-type: none"> ・AIの技術の変化は非常に激しいことに加え、蒸留モデルのようにデータが違っていてもほとんど同じ性能のAIを作ることができることや、新しい権利が国内だけで通用する制度になる可能性があることから、拙速に導入すべきではないとの指摘あり。 |

出典：知的財産戦略本部「新たな情報財検討委員会報告書」（2017年3月）をもとに作成

また、現状のビジネスにおいては、学習済みモデルを営業秘密として管理しつつ、出力等の結果を使ってサービスを提供するビジネス形態がある（学習済みモデルは不正競争防止法により保護される）。しかし、学習済みモデルを研究・開発の観点から再利用するなどのためにインターネット上などで公開する場合には、秘密管理性及び非公知性の要件を満たさなくなり、不正競争防止法による保護はなくなる。

そこで、秘密として管理せずに利活用を広く進めることを支援するような法的な枠組みがビジネス上の選択肢として必要かどうかという問題を、データ利活用促進に向けた公正な競争秩序の確保の検討の中で併せて検討することが適当、としている。

不正競争防止法の改正

以上のような議論の結果、平成30年の不正競争防止法の改正により、たとえ秘密管理性や非公知性の要件を満たさなくても、「業として特定の者に提供する情報として電磁的方法…（中略）…により相当量蓄積され、及び管理されている技術上又は営業上の情報」を「限定提供データ」として、一定の不正行為から保護されることになった（改正後不正競争防止法2条7項）。これによって、例えば、あるコンソーシアム内で共有されているビッグデータがIDとパスワードで管理されているような場合、これを不正の手段によって取得・使用・開示する行為等に対して差止等を請求できることになる。なお、この改正法は平成31年7月1日に施行される。

(4) AI生成物に関する論点

AIの生成物に関して、「AIを用いたサービスに関する保護の可能性」、「AIを活用した創作（著作物）に関する保護の可能性」及び「AI生成物が問題となる（悪用される等）可能性」の3つの課題について検討が行われている（表4-2-4）。

表4-2-4 AI生成物に関する課題の検討

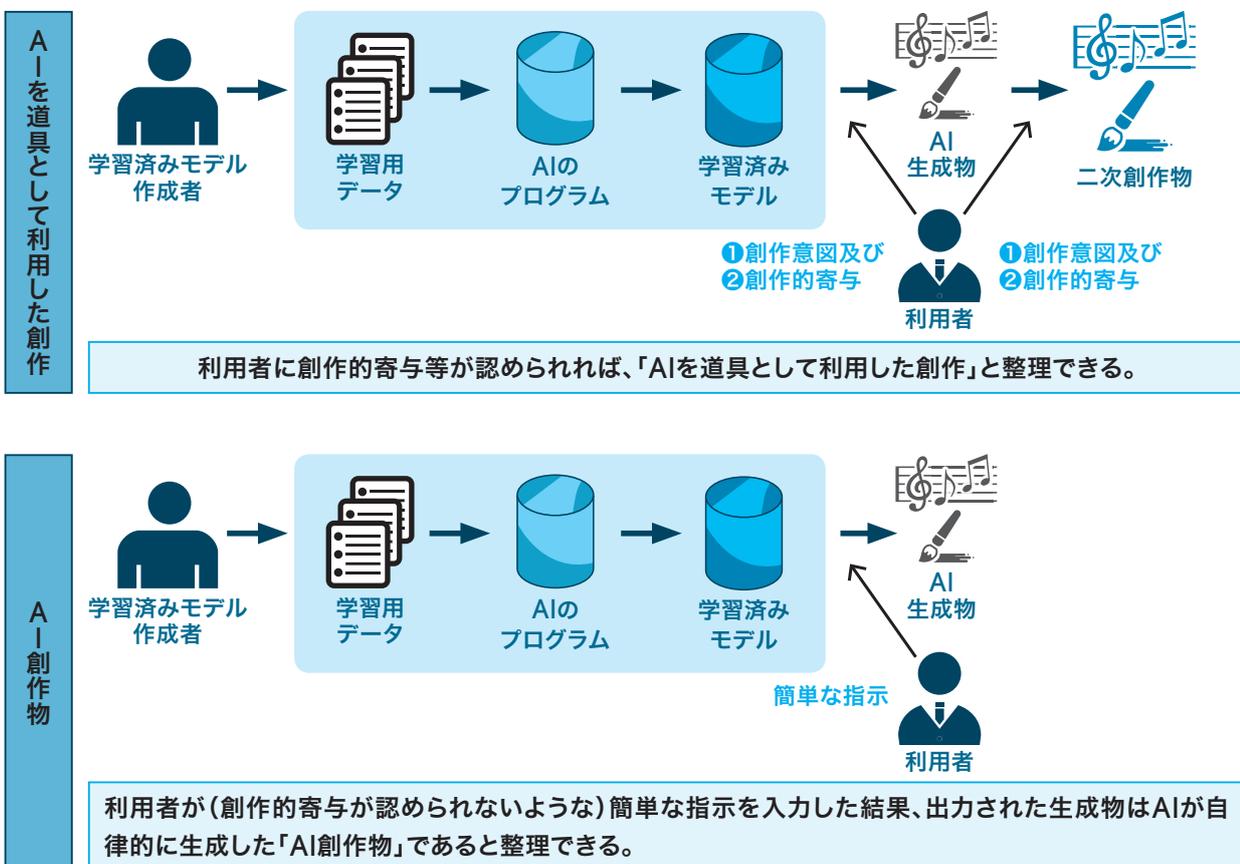
| 課題 | 「新たな情報財検討委員会報告書」における検討結果 |
|--------------------------|--|
| AIを用いたサービスに関する保護の可能性 | AI生成物を用いたサービスの提供方法についてはビジネス関連発明として特許の可能性があり、一方でビジネス関連発明は日本国外においては認められないおそれがあるため各国の特許庁と引き続き国際的な調和の取組みを行うことが必要。 |
| AIを活用した創作(著作物)に関する保護の可能性 | (下記a) 参照 |
| AI生成物が問題となる(悪用される等)可能性 | 第三者の著作物であるデータ(音楽データ等)で機械学習した学習済みモデルが元のデータと類似するデータを出力する場合の問題、AI創作物を人間の創作であるとして市場に供給する問題が挙げられており、いずれも現状では明確な判断が難しく、事例や利活用状況を注視し、引き続き検討することが適当。 |

出典:知的財産戦略本部「新たな情報財検討委員会報告書」(2017年3月)をもとに作成

a) AIを活用した創作(著作物)に関する保護の可能性

「AIを活用した創作(著作物)に関する保護の可能性」については、深層学習を利用したAI生成物の著作物性及び著作者に関する検討が行われている。具体的には、学習済みモデルの利用者に創作意図がありかつ創作的寄与があれば、生み出されたAI生成物には著作物性が認められ利用者が著作者になる(図4-2-3上図)一方で、創作的寄与が認められないような簡単な指示に留まる場合はAI創作物として、現行の著作権法上は著作物と認められない(図4-2-3下図)と整理している。

図4-2-3 「AI生成物」のイメージ



※なお、AIが創作意図をもって完全自律的に創作する場合(強いAIの場合)はAI創作物に該当する。

出典:知的財産戦略本部「新たな情報財検討委員会報告書」(2017年3月)をもとに作成

ただし、具体的にどのような創作的寄与があれば著作物性が肯定されるかについては、利用者が学習済みモデルに画像を選択して入力するなど何らかの関与があればよいという指摘や、単にパラメータの設定を行うだけであれば創作的寄与とはいえないのではないかとの指摘があり、現時点で、具体的な方向性を決めることは難しく、AI技術の進展に注視しながら、具体的な事例に即して引き続き検討することが適当、としている。

4.2.3 海外のAI知的財産関連動向

AIと知的財産法制度を巡っては、昨今、日本国内で盛んな議論が展開されているが、諸外国においては、我が国のように大きな政策課題として論じられている国は見当たらない^{*2*3}。ただ、諸外国においても、AIと知的財産法について以下のような状況がある。

(1) AI生成物の著作権保護

第一に、AI生成物と著作権法に関しては、AI生成物が著作権保護を受ける著作物といえるかが問題となるが、諸外国においても、著作権保護を受ける著作物とは、あくまで人間によって創作されたものであることが前提とされている。AIによって自動的に生成された作品は、たとえ客観的な価値が高いとしても、人間によって創作されたといえない以上、著作物として著作権保護を受けることはないとの考えが一般的である。

ただし、英国著作権法(Copyright, Designs and Patents Act;CDPA)は、同法制定時(1988年)から、人間が関与しない「コンピューター創作物」(computer-generated work)について「著作権」(copyright)による保護を認めている^{*4*5}。ここにいう「コンピューター生成」(computer-generated)とは、「著作物の人間の著作者が存在しない状況において著作物がコンピューターにより生成されることをいう」と定義され(178条)、「コンピューターにより生成される(computer-generated)文芸、演劇、音楽又は美術の著作物の場合には、著作者は、著作物の創作に必要な手筈(the arrangements necessary)を引き受ける者であるとみなされる」と規定されている(9条3項)^{*6}。そして、「コンピューターにより生成される著作物の場合には…(中略)…、著作権は、著作物が生成された暦年の終わりから50年の期間の終わりに消滅する」と規定されている(12条7項)。なお、コンピューター生成物に著作者人格権は適用されない(79条2項c号、81条2項)。

※2 知的財産戦略本部・新たな情報財検討委員会においても、2017年1月30日～2月3日にかけて、欧州委員会、マックスプランク研究所及びミュンヘン大学の有識者に対する欧州調査が行われたが、「AIの行った行為の責任に関する議論はされているが、知財に関する議論はほとんど行われていない」とされている(知的財産戦略本部 検証・評価・企画委員会 新たな情報財検討委員会「新たな情報財検討委員会報告書」別添参考資料集p.10(参考7) 欧州におけるデータ・AIを巡る議論の状況)参照。

※3 なお、欧州議会の法務委員会における問題提起として、Draft Report with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)), European Parliament Website <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML%2BCOMPACT%2BPE582.443%2B01%2BDOC%2BPDF%2BV0//EN>>参照。また、ごく最近の議論として文献[1]等も参照。

※4 なお、同様の立法例は、アイルランド著作権法(21条f号、30条等)、ニュージーランド著作権法(5条2項a号、22条2項等)、インド著作権法(2条d項6号)、南アフリカ著作権法(1条1項5号)、バルバドス著作権法(10条4項等)、香港著作権条例(11条3項、17条6項、91条2項c号、93条2項、198条)にも見られる。これらは英国法の影響を受けたものであるが、規定の内容はそれぞれ微妙に異なるものがある。

※5 裁判例として、Nova Productions Ltd v Mazooma Games Ltd,[2006] EWHC 24 (Ch).参照。また、文献[2]も参照。

※6 英国著作権法の和訳については、「外国著作権法 イギリス編」著作権情報センターウェブサイト<<http://www.cric.or.jp/db/world/england.html>>参照。

(2) AI生成物の特許保護

第二に、AIと特許法に関しては、AIを用いて生成された新しい技術が特許法上の「発明」として特許を取得できるかという点が問題である。だが、最近の調査研究によれば、諸外国(米国、欧州、英国、ドイツ、フランス、中国、韓国)においても、AIによる自律的な創作は、AIが自然人でないために「発明者」の要件を満たさず、また権利主体を特定できないことから、権利の客体になりえないと考えられている。ただし、AIを道具として人が創作を行ったと評価できる場合は、発明として特許法の保護対象となりうるかとされ、この場合は、創作への貢献を個別具体的に評価することによって、自然人である発明者が認定されるとのことである^{*7}。

(3) 学習済みモデルの保護

第三に、学習済みモデル自体が、著作権法上の著作物や特許法上の発明として法的保護を受けるかどうか問題になる。最近の調査研究によれば、諸外国においても、学習済みモデルが少なくともプログラム及びパラメーターと評価できる場合には、一般のプログラムと同様に特許法上の保護を受け得るとされることである^{*8}。しかしながら、様々なタイプの学習済みモデルが考えられ、また将来も発生する中で、それらの法的な位置づけに関して理解や問題意識が共有されているかどうかについては、今後も注視する必要があると考えられる。

(4) 情報解析の確保

第四に、機械学習のために他人の著作物等を大量に解析することが著作権侵害に当たらないかが問題となるが、諸外国においても、テキスト及びデータ解析(text and data mining)に関する著作権の制限規定を巡って議論が行われている。

すでに、英国著作権法には、2014年改正によって、テキスト及びデータ解析(text and data analysis)に関する権利制限規定(29A条)が設けられている。同条によれば、非商業的な目的による調査を唯一の目的として(for the sole purpose of research for a non-commercial purpose)行うコンピューターによる解析(computational analysis)に伴う複製は、十分な出所明示を行うことを条件として、著作権侵害に当たらないとされる^{*9}。このように、同条の規定は、解析が非商業的目的(non-commercial purpose)で行われることを要件としているが、解析自体が非営利の目的で行われていれば、その成果を営利目的で公開したり、商業利用したりすることは妨げられないと解釈されている^{*10}。

また、ドイツにおいても、2017年7月17日に改正された著作権法に、60d条[Text und Data Mining]の規定が見られる。同条によれば、学術的な研究のために多数の著作物を自動的に解析する場合であれば、著作物を複製及び一定の公衆提供することが許容される。ただ、非商業的な目的(nicht-kommerzielle Zwecke)で行うことが条件とされる。

※7 一般社団法人知的財産研究教育財団知的財産研究所「AIを活用した創作や3Dプリンティング用データの産業財産権法上の保護の在り方に関する調査研究報告書」

※8 前掲注(※7) p.40以下参照。

※9 和訳については、前掲注(※6)も参照。

※10 “Exceptions to copyright: Research” GOV.UK. Website <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/375954/Research.pdf>

さらに、2016年9月14日に公表された欧州指令案^{※11}においても、テキスト及びデータ解析に関する権利制限規定が見られる(3条)。同条によれば、適法にアクセスできる著作物等を、科学的調査のためにテキスト及びデータ解析を行う目的で、研究機関(research organisations)によって行われる複製及び抽出に関する権利制限規定を定めることが、加盟国の義務とされる。これに反する契約も無効とされる(同条2項)。

ただ、権利者は、著作物等が蔵置されるネットワークやデータベースの、セキュリティが確保されるための措置を請求できる(同条3項)などともされている。

◆参考文献

- [1] Andres Guadamuz, "Do androids dream of electric copyright? Comparative analysis of originality in artificial intelligence generated works" *Intellectual Property Quarterly*, 2017 (2).
- [2] Mark Perry and Thomas Margoni, " From Music Tracks to Google Maps: Who Owns Computer Generated Works" *Computer Law and Security Review*, 2010, vol.26, pp621-629.
- [3] 奥邨弘司「人工知能が生み出したコンテンツと著作権.著作物性を中心に」『パテント』vol.70 No.2.

※11 "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Copyright in the Digital Single Market" European Commission Website <<https://ec.europa.eu/digitalsingle-market/en/news/proposal-directive-europeanparliament-and-council-copyright-digital-single-market>>

4.3 ▷ AIに関する原則、ガイドライン等

人工知能(AI)は、従来の技術に比べて、「知性」という人間の本質に近いところについて「人間の代替」になる可能性があるという、従来の技術にはない側面を持っている。そのため、その開発方法や利用に関する種々の不安や社会における位置づけの難しさへの様々な懸念などが想定されている。このような不安や懸念を想起させるAIを社会実装する際のリスクについては、AI自身のリスク、人間がAIを利用して引き起こすリスク、既存の社会秩序への負の影響、及び法律・社会の在り方のリスクが議論されている。特に近年では、AIの開発者が担うべき(または免れるべき)責任や、具体的な規律や執行の形態・内容をはじめとしたそれらの社会的位置づけについて、国内外で検討が進められている。

本節ではまず、AIの研究開発や利活用等にあたって考慮すべき倫理等に関する基本原則の海外における取組みを紹介し、それを受けた形で進んでいる国内の「AI社会原則」に関する議論を紹介する。

4.3.1 海外における取組み

(1) 政府における議論

欧州連合(EU)、英国、米国における開発基準に係る検討経過を表4-3-1にまとめる。

欧州連合(EU)第29条データ保護作業部会(注:当時、現在は欧州データ保護会議(EDPS)に改組)は、EU一般データ保護規則(General Data Protection Regulation ; GDPR)に係る解釈の一環として、ガイドライン「自動処理による個人に関する意思決定(decision)及びプロファイリングに関する規定」^{*12}を、2018年2月に採択した。同ガイドラインでは、機械による自動処理を含めたプロファイリング行為及びそれによる意思決定が容易に実現・提供されていること、またこうした意思決定が、便益だけでなく個人の権利及び自由に重大なリスクとなりうるとしたうえで、①プロファイリングや自動処理による意思決定に関する一般指針(透明性、公正性、目的の限定、データミニマイゼーション、正確性の担保等)、②(法執行の影響を含む)個人に重大な影響を及ぼしうる自動処理のみによる意思決定に関する指針としての「決定に服さない権利」の確立や、例外規定の設置等を示している。また、データ主体の権利として、「情報を与えられる権利」、「アクセス権」、「情報を修正する権利」、「異議申立権」等が具体化された。その他、(行動ターゲティング広告を含む)子供を対象とした行為への適切な保護措置の必要性や、データプライバシー影響評価の必要性等が示されている。

※12 Article 29 Data Protection Working Party “Guidelines on Automated individual decision-making and Profiling for the purposes of Regulation 2016/679, wp251 rev.01” <http://ec.europa.eu/newsroom/article29/document.cfm?doc_id=49826>

表4-3-1 各国の政府における主要な取組み

| 年月 | 取組みの主体 | 取組みの内容 |
|-----------|--------------------------------------|--|
| EU | | |
| 2018年2月 | 欧州委員会 第29条データ保護作業部会 (現：欧州データ保護会議) | 「自動処理による個人に関する意思決定 (decision) 及びプロファイリングに関する規定」を採択 |
| 2018年3月 | 欧州科学・新技術倫理グループ | 「AI・ロボティクス・自律システムに関する声明 (ステートメント)」を公表 |
| 2018年4月 | 欧州委員会 | 「AI倫理ガイドライン」を策定することを発表 |
| 2018年6月 | 欧州委員会 | 「欧州AIアライアンス」を設立 「AIに関するハイレベル専門家グループ」を設立 |
| 英国 | | |
| 2017年11月 | 大蔵省 財務大臣 | 「データ倫理イノベーションセンター」を設立することを発表 |
| 2018年4月 | 貴族院 (上院) AI特別委員会 | 「英国におけるAI：英国はAIを活用できる準備ができていますか？」を公表 |
| 2018年5月 | 庶民院 (下院) 科学技術委員会 | 「アルゴリズムにおける意思決定」に関する報告書を公表 |
| 2018年6月 | デジタル・文化・メディア・スポーツ省 | 「データ倫理イノベーションセンター」に関する素案を公表し、公開諮問を開始 (2018年9月まで) |
| 米国 | | |
| 2016年10月 | 大統領府 (ホワイトハウス) | AIの社会実装に向けた課題を網羅的に整理した報告書「人工知能の未来に備えて」を公表 |
| 2018年5月 | 大統領府 (ホワイトハウス) | 「AIサミット」を開催 |
| 2018年6月 | 人工知能選抜委員会 | 初会合が開催 |

出典：各種公開情報をもとに作成

欧州委員会の独立諮問機関である欧州科学・新技術倫理グループ (EGE) は、「AI・ロボティクス・自律システムに関する声明 (ステートメント)」^{※13}を2018年3月に公表した。同声明では、AIやロボット等を含む自律システムの設計、利用、ガバナンスに関して、「EU条約・基本権憲章に含まれる価値に基づく倫理原則」として、以下を提示した。

- ①人間の尊厳
- ④正義・公平・連帯
- ⑦セキュリティ・安全性・心身の整合性
- ②自律性
- ⑤民主主義
- ⑧データ保護とプライバシー
- ③責任
- ⑥法の支配と説明責任
- ⑨持続可能性

これに関連して欧州委員会は、産官学に加え、消費者団体、労働組合、市民団体等のEU内外の複数のステークホルダーを含めた「欧州AIアライアンス」、及び上記の倫理原則にもとづくガイドライン案の策定を目指した「AIに関するハイレベル専門家グループ」を2018年6月に組成した。さらに欧州委員会は、2030年代に欧州で完全自動運転社会を実現する工程の一環として、AI倫理ガイドラインを策定する旨を2018年4月に発表し、欠陥製品に対する法的な明確さの確保に向け、AIに関連する製造物責任指令の解釈に関する技術開発のガイダンスを2019年中に発表することを、それぞれ明らかにしている。

英国は、2017年11月に「データ倫理イノベーションセンター (Centre for Data Ethics and Innovation)」の新設を予定していることを明らかにした。同センターは、AIの安全かつ倫理的なイノベーションを目指したものである。これに関連して、同国貴族院 (上院) のAI特別委員会は、

※13 European Group on Ethics in Science and New Technologies “Artificial Intelligence, Robotics and 'Autonomous' Systems” <http://ec.europa.eu/research/ege/pdf/ege_ai_statement_2018.pdf>

2018年4月に報告書「英国におけるAI：英国はAIを活用できる準備ができていますか？」^{*14}を、また庶民院（下院）の科学技術委員会は、2018年5月に「アルゴリズムにおける意思決定」^{*15}に関する報告書をそれぞれ公表した。これらの報告書では、英国経済成長の中核としてのAI推進において、倫理的アプローチの必要性を提唱しているほか、国内外で採用されることが期待されるAIに関する倫理行動規範（Code of Practice）の策定や、AIによってもたらされる脅威やリスクと対峙するために必要と考えられる事項にもとづく勧告が示されている。さらにこれらの提言を受けて、英国デジタル・文化・メディア・スポーツ省（DCMS）は2018年6月に、同センターの役割・活動内容・運営方法に関する素案を示したうえで、公開諮問を開始した。素案では、同センターに対して長期的な運営能力・独立性・法的権限を与えること等が言及されている。

一方、米国大統領府（ホワイトハウス）は、2016年10月、政府機関におけるAIの利活用など公益に資するAIの利活用の在り方について提言を行うとともに、自動走行車など個別分野ごとにAIの規制の在り方に関する論点を整理した報告書「人工知能の未来に備えて（Preparing for the Future of Artificial Intelligence）」^{*16}を発表した。AI対応システム（AI-enabled systems）について、①統御可能であること ②オープンで、透明で、理解可能であること ③人々と効果的に機能すること ④その操作は人間の価値や願望と一致し続けるであろうことを求める内容となっている。報告書に併せて「米人工知能研究開発戦略（National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan）」^{*17}も公表、連邦政府の予算によるAI研究の方針を策定している。

また、米国大統領府（ホワイトハウス）は2018年5月、政府機関、産業界、学術界の代表を集めたAIサミットを開催した^{*18}（「4.6.1 米国」参照）。同会議は、米国がAIについて主導的立場をとるための必要な政策を検討することを目的に設置され、AI研究開発に関するエコシステムの構築・支援、関連する人材の育成、イノベーションを阻害する要因の撤廃、効果が期待される応用の可能性、等の議題が設定された。また、研究開発に関しては、連邦政府のAI投資計画を推進する人工知能選抜委員会を設立し、省庁間調整を円滑に進めることが公表された。またこれに続いて、2018年6月にも非公開の検討会合が行われた。しかしながら、これらの会議においては、応用開発や産業振興等を中心に据えており、倫理面での議論は具体的には行われていない模様である。このように米国では、データプライバシーを基本的人権の一部と位置づけることで市民の利益を当初から優先する欧州とは異なり、倫理に関する検討よりも技術や産業としての発達を先行させるというアプローチが進んでいることがうかがえる^{*19}。

(2) 国際的な枠組みにおける議論

国際的な枠組みにおける主要な会議を表4-3-2に示す。

※14 UK House of Lords, Select Committee on Artificial Intelligence Committee “AI in the UK: ready, willing and able?” <<https://publications.parliament.uk/pa/ld201719/ldselect/ldai/100/100.pdf>>

※15 UK House of Commons, Science and Technology Committee, “Algorithms in decision-making” <<https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmsctech/351/351.pdf>>

※16 <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf>

※17 NEDO「米人工知能研究開発戦略計画」について<<https://nedodcweb.org/reports/report2016/2016-10-25/>>

※18 White House Office of Science and Technology Policy “SUMMARY OF THE 2018 WHITE HOUSE SUMMIT ON AI FOR AMERICAN INDUSTRY” <<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/05/Summary-Report-of-White-House-AI-Summit.pdf>>

※19 ただし、カリフォルニア州議会は2018年6月にGDPRを踏まえた消費者プライバシー法を成立させており、州レベルの個人の権利保護に向けた動きが見られる（California Consumer Privacy Act 2018, Ab375）

表4-3-2 国際的な枠組みにおける主要な会議

| 年月 | 会議名 | AIに関する主な議題・決定事項 |
|-----------------------|--|---|
| OECD: 経済協力開発機構 | | |
| 2017年10月 | AI: Intelligent Machines, Smart Policies | OECDと総務省の共催。AIの普及が社会にもたらす機会と課題、政策の役割と国際協調について議論。 |
| 2017年11月 | デジタル経済政策委員会 (CDEP) | OECDのAIに関する今後の取組みについて議論。事務局が分析レポートを作成し、理事会勧告作成に向けた作業に着手することに合意。 |
| G7: 先進国首脳会議 | | |
| 2016年4月 | 情報通信大臣会合 (香川・高松) | 高市総務大臣(当時)から、「AI開発原則」を紹介。併せて、AI開発原則の策定を含め、AIに関する国際的な議論及び検討を進めることを提案。 |
| 2017年9月 | 情報通信・産業大臣会合 (イタリア) | デジタル経済におけるイノベーション及び成長を主導する人間中心のアプローチによるAI技術の発展を、法律や政治、また価値観と協調しながら推進するという認識の共有に合意。 |
| 2018年3月 | イノベーション大臣会合 (カナダ) | 「未来の仕事に備える」をテーマに、IoT、ビッグデータ、AI等の新たなイノベーションが社会・経済や労働市場に及ぼす影響について議論。 |
| 2018年6月 | G7サミット (カナダ) | 「人工知能の未来のためのシャルルボワ共通ビジョン」を首脳合意文書として支持。 |
| G20: 主要20か国・地域 | | |
| 2017年5月 | ビジネスサミット (ドイツ) | 「貿易・投資」「エネルギー・気候・資源の効率的利用」「金融・インフラ」「デジタル化」「雇用・教育」「責任ある企業行動・反汚職」「中小企業」の7つのタスクフォースを開催、AIについても議論がなされた。 |
| 2018年8月 | デジタル経済大臣会合 (アルゼンチン) | デジタル化を社会経済のさらなる発展につなげていくためにG20各国が協力して取り組むべき事項について、大臣宣言及び付属文書が採択された。 |

出典: 各種公開情報をもとに作成

経済協力開発機構(OECD)は、2017年10月に、AIに関する政策をテーマとする国際会議「AI: Intelligent Machines, Smart Policies」^{*20}を開催した。同会議では、OECD加盟国を中心とした産学民官の有識者による検討が進められ、日本からは総務省情報通信政策研究所が発表した「AI開発ガイドライン(仮称)」が紹介された。また、2017年11月にはデジタル経済政策委員会(Committee on Digital Economy Policy: CDEP)が開催され、OECDにおけるAI検討の今後の取組みについて検討が行われた結果、①事務局による分析レポートの作成(注: 2018年5月のCDEPにおいて「社会におけるAI」と題するレポートが発表)、②2019年以後に理事会勧告作成に向けた作業に(加盟国の意向を踏まえたうえで)着手すること、等について同意が得られた。

G7では、2016年4月に香川県高松市で開催された情報通信大臣会合において、高市総務大臣(当時)から人間がAIを安全・安心に使いこなすことができるよう、AIの研究開発にあたり留意することが期待される事項を整理した「AI開発原則」を紹介するとともに、AI開発原則の策定を含め、AIに関する国際的な議論及び検討を進めることを提案、各国からの賛同が得られた。

2017年9月にイタリア・トリノで開催された、情報通信・産業大臣会合の閣僚宣言において、AIの急速な進歩が経済及び社会に膨大な便益をもたらすこと、また効率性の向上やコスト削減、さらに複雑な環境におけるより良い意思決定の実現に資することを踏まえ、デジタル経済におけるイノベーション及び成長を主導する人間中心のアプローチによるAI技術の発展を、法律や政治、また価値観と協調しながら推進するという認識の共有が合意^{*21}された。また2018年3月にG7イノベーショ

*20 Conference on AI: Intelligent machines, smart policies - Organisation for Economic Co-operation and Development<<http://www.oecd.org/going-digital/ai-intelligent-machines-smart-policies/>>(閲覧日2018/07/23)

*21 G7 “Multistakeholder Exchange On Human Centric AI For Our Societies”<<http://www.g8.utoronto.ca/ict/2017-G7-ICT-Annex2-AI.pdf>>

ン大臣会合がカナダ・モントリオールで開催された際には、「未来の仕事に備える」をテーマに、AIやIoT等によってもたらされる技術革新が経済社会や労働市場に及ぼす影響について検討が行われた。さらに、2018年6月カナダ・シャルボワで開催されたG7首脳会合(サミット)において、「人工知能の未来のためのシャルボワ共通ビジョン」*22が首脳合意文書として示された。同ビジョンでは、「人間中心のAIとその商業的普及を促進し、引き続き適切な技術的、倫理的かつ中立的なアプローチを前進させる」、「投資促進と共に産業界が説明責任、保証、責任、セキュリティ、安全、ジェンダー及び他の偏見並びに潜在的な不正利用に関連する全ての問題に対処する」、等のコミットメントが記載されている。

G20では、2017年5月にドイツ・ハンブルグで開催されたビジネスサミットにおいて、「貿易・投資」「エネルギー・気候・資源の効率的利用」「金融・インフラ」「デジタル化」「雇用・教育」「責任ある企業行動・反汚職」「中小企業」の7つのタスクフォースにおける議論が行われた。AIに関しては、下記の議論が行われた。

- ・人工知能(AI)の変革の可能性を受け入れるべきである。
- ・AI展開の初期段階にあることを踏まえ、先制的な規制によって潜在力とイノベーションを抑制しないことが重要。
- ・G20諸国政府は、潜在的な社会経済的影響の理解を高めるため、すべての利害関係者と協力することが必要。

また、2018年8月にアルゼンチン・サルタで開催されたデジタル経済大臣会合では、閣僚宣言及び付属文書が採択され、デジタル経済に必要な要素として、適切な政策枠組み、消費者の信頼やプライバシー保護、IPRを確保した情報等の自由な流通等が盛り込まれた。また、人工知能やサイバーセキュリティといった重要事項とともに、デジタルガバメントの推進などに継続して取り組んでいくという、次のG20議長国としての日本のイニシアティブが歓迎された。

(3) 民間における議論

民間における主要な取組みを学会と産業界に分けて表4-3-3に示す。

■表4-3-3 民間における主要な取組み

| 年月 | 取組みの主体 | 取組みの内容 |
|------------|--------------------------|---|
| 学会 | | |
| 2016年12月 | IEEE | 「倫理的に調整された設計：自律的インテリジェントシステムと共にある人間の幸福の優先順位に関するビジョン」の公表 |
| 2017年12月 | IEEE | 「倫理的に調整された設計：自律的インテリジェントシステムと共にある人間の幸福の優先順位に関するビジョン」の改訂 |
| 産業界 | | |
| 2016年9月 | Partnership on AI | 「信条(Tenets)」の公表 |
| 2017年2月 | Future of Life Institute | 「アシロマAI原則」の公表 |
| 2017年10月 | 米国情報技術工業協議会(ITI) | 「AI政策原則」の公表 |
| 2017年12月 | UNIグローバルユニオン | 「倫理的AIのための10原則」の公表 |

出典：各種公開情報をもとに作成

※22 外務省「人工知能の未来のためのシャルボワ共通ビジョン(仮訳)」<<https://www.mofa.go.jp/files/000373836.pdf>>

まず学会では、米国電気電子学会 (IEEE) の「自律・知的システムの倫理 (Ethics of Autonomous and Intelligent Systems) に関するグローバル・イニシアティブ」が、報告書「倫理的に調整された設計：自律的インテリジェントシステムと共にある人間の幸福の優先順位に関するビジョン (第2版)」^{*23}を2017年12月に公表した。同報告書は、AIの倫理的な社会実装の在り方について、市民を含めた多くのステークホルダーによる議論の喚起、倫理的なナッジ (選択肢の提示と誘導) を実現するIEEE P7000シリーズ等の標準や認証プログラムの策定、各国の政策形成の促進を目的に、2016年12月に公表された第1版の後に寄せられたフィードバックなどを踏まえて作成された。新たに加えられた項目としては、人間の規範や価値に関する判断を自律型知的システムに実現させる方法論の検討や、汎用人工知能または自律型兵器に特化した課題についても検討されている。また、感情 (affective) コンピューティング、政策、自律型インテリジェントシステムにおける伝統的倫理感、複合現実、幸福などの項目が追記されている。

次に産業界では、政府や大学、NPOのほかAmazon、Google、Facebook、IBM、Microsoft、Appleという競合する企業群が、AIが人々と社会に与える影響に関する議論等を共同で行うためのNPOとして2016年9月に設立した「Partnership on AI」は、AIの研究・技術について、プライバシーとセキュリティの保護、当事者の利益の理解・尊重、社会的責任、頑健性・堅牢性の確保、人権の尊重、説明可能性などを内容とする「信条」 (Tenets) を掲げている^{*24}。

研究者などにより構成され、人類の存続を脅かす危機を緩和するために活動を行っている組織「Future of Life Institute」は2017年1月にカリフォルニア州アシロマで開催されたBENEFICIAL AI 2017^{*25}の成果である「アシロマAI原則 (Asilomar AI Principles)」^{*26}を公表している。本原則は「研究課題」、「倫理と価値」及び「長期的な課題」の3分類、計23の原則からなっている。

IBM、Microsoft、Google、Amazon、Facebook、Appleなど米国の主要ICT企業のほか、キャノン、富士通、パナソニック、トヨタ、東芝など日系企業も参加している米国情報技術工業協議会 (ITI; Information Technology Industry Council) は2017年10月、「AI政策原則 (AI Policy Principles)」を公表した^{*27}。産業界の責任に関する原則として、責任ある設計及び実装、安全と制御可能性、頑健で代表性のあるデータ、解釈可能性、自律性に応じたAIシステムに関する責任を掲げるとともに、政府の役割に関する原則、官民協働に関する原則も掲げている。

サービス業や情報産業等の労働者で構成される国際的な労働組合である「UNI グローバルユニオン」 (UNI Global Union) は、労働者の利益を擁護し職場における権力の健全な均衡を維持する観点から、AIの倫理に関する「倫理的AIのための10原則」^{*28}を2017年12月に公表した。具体的には、①透明性、②「倫理的なブラックボックス (注：航空機に搭載されたもののように機械の動作を記録する装置)」の実装、③人間と地球への貢献、④人間による指揮、⑤偏向のないAI、⑥便益の分配、

※23 IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems “Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Wellbeing with Autonomous and Intelligent Systems, Version Two - Request For Public Discussion” <http://standards.ieee.org/develop/indconn/ec/ead_v2.pdf>

※24 Partnership on AI/Partnership on AI <<https://www.partnershiponai.org/tenets/>>

※25 Future of Life Institute/BENEFICIAL AI 2017 <<https://futureoflife.org/bai-2017/>>

※26 アシロマの原則 (日本語版) <<https://futureoflife.org/ai-principles-japanese/>>

※27 ITI new release <<https://www.itic.org/news-events/news-releases/iti-unveils-first-industry-wide-artificial-intelligence-policy-principles>>

※28 UNI Global union “10 Principles for Ethical Artificial Intelligence” <http://www.thefutureworldofwork.org/media/35420/uni_ethical_ai.pdf>

⑦適切な（雇用環境の）移行の確保とそれに伴う基本的自由や権利の確保に向けた支援、⑧国際的な統治の確立、⑨ロボットに責任を帰することの禁止、⑩軍事利用促進の禁止から構成されている。

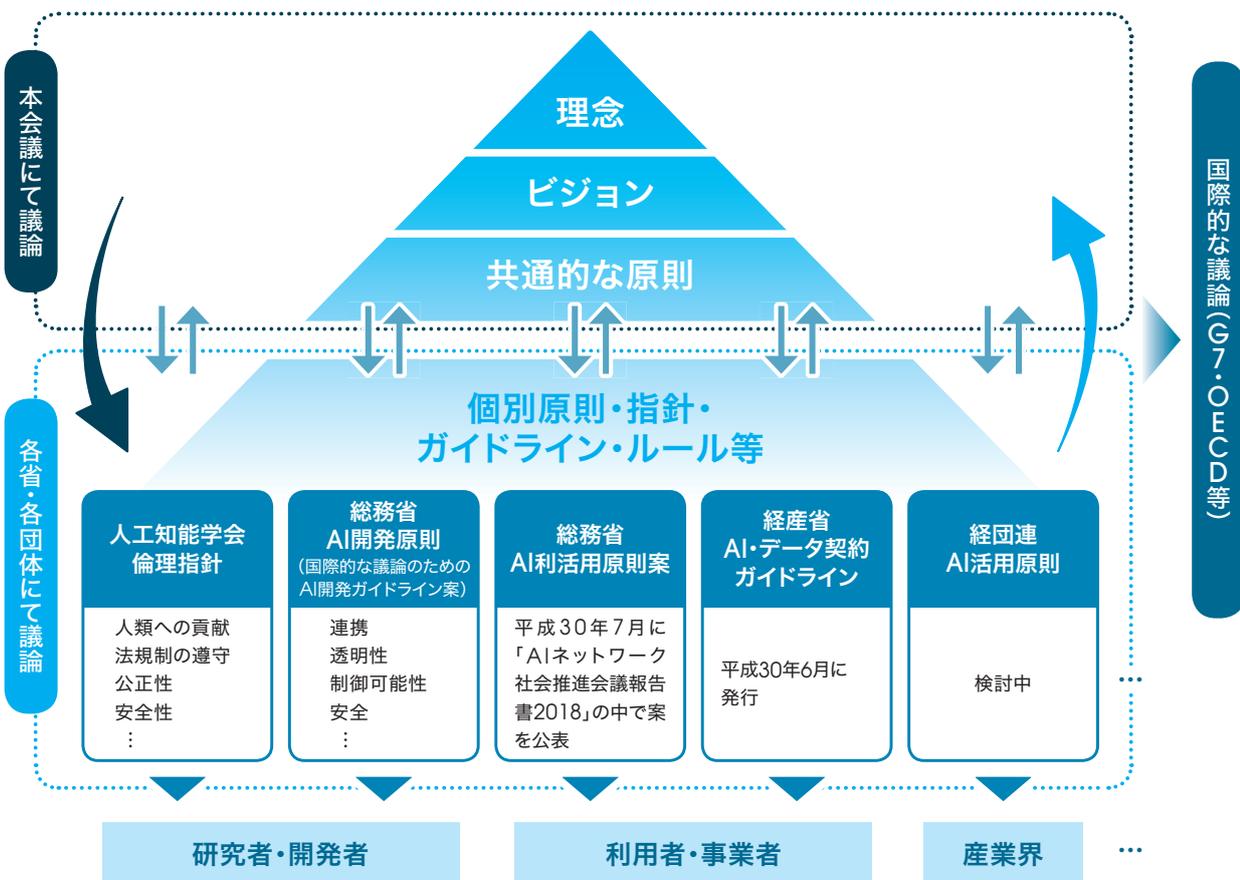
4.3.2 我が国における「AI社会原則」の議論

(1) 「人間中心のAI社会原則検討会議」に関連する動向

我が国においては、前項に示した海外における開発基準に関する検討の活発化を踏まえ、人工知能技術戦略会議の下に平成30年5月より、「人間中心のAI社会原則検討会議」が設置された。同検討会議は、AIをより良い形で社会実装し共有するための基本原則となる人間中心のAI社会原則（Principles of Human-centric AI society、以下「原則」という）を策定し、同原則をG7及びOECD等の国際的な議論に供することを目的としている。また、AI技術並びにAIの中長期的な研究開発及び利活用等をするにあたって考慮すべき倫理等に関する基本原則については、産学民官のマルチステークホルダーによる幅広い視野からの調査・検討を行うことを目的としている。現在、平成30年度中に一定の結論を得ることを目指して、検討が進められている（図4-3-1）。

■ 図4-3-1 「人間中心のAI社会原則検討会議のアウトプットレベル(案)」

本会議のアウトプットレベルは、Society 5.0に向けて、個別課題に対するガイドライン等を検討する各省や各団体等のAIに関わるマルチステークホルダーが、共通的に押さえておくべき考えを示した理念やビジョン、原則等とする。



出典:内閣府「人間中心のAI社会原則検討会議(第2回) アウトプットのレベルと今後の進め方について」※29

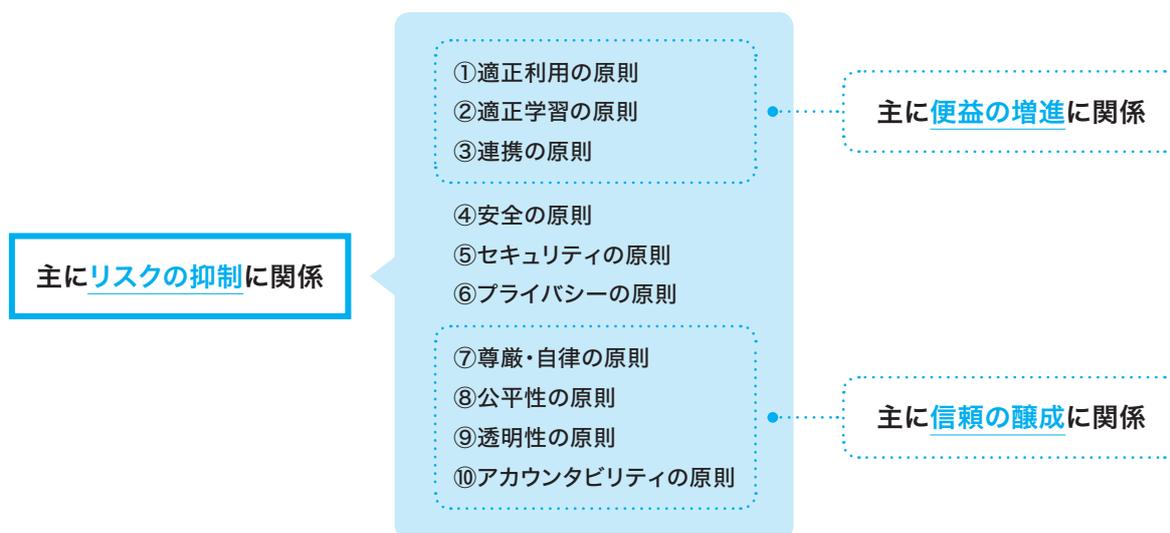
※29 内閣府「人間中心のAI社会原則会議(第2回)資料」<<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/2kai/siryu4.pdf>>

同会議では、現在各省、各団体、各業界、各分野で検討されている、様々な指針、ガイドライン、原則をある程度共通的に包含し、またはこれら分野ごとの取組みに対して共通する上位の理念やビジョン、また原則等を検討するとしている。その際、AIをフル活用して実現すべき大きな理念はもとより、自由意思や分散社会、または人間中心などといった、長期的に変わることのない大きな原則や、我が国としてのAI社会の理念を踏まえたうえで実現すべきSociety 5.0の社会イメージ等を整理しながら、政府向け、産業界向け、研究者、ユーザーといったステークホルダーを対象とし、それらが採るべき行動等の共通原則の取りまとめを成果として念頭に置いている^{※30}。

一方、こうした検討に先立ち、平成29年2月に人工知能学会倫理委員会が「人工知能学会倫理指針」を正式に発表した^{※31}。また、政府における取組みとして、平成28年から平成29年1月に設置された、総合科学技術・イノベーション会議の「人工知能と人間社会に関する懇談会」において、倫理、法、制度、経済、社会的影響など幅広い観点から、AIが進展する未来の社会を見据えて、国内外の動向を俯瞰したうえで、AIと人間社会の関わりについて今後取り組むべき課題や方向性の検討が行われた^{※32}。

加えて、総務省情報通信政策研究所「AIネットワーク社会推進会議」では、2017年にAIのアルゴリズム開発者を対象として発表した「AI開発ガイドライン(仮称)」に続き、それ以外のAIシステムの利用者及びデータ提供者を対象とした「AI利活用原則案」の検討に一定のめどがついたとして、同研究会の取りまとめ資料である「報告書2018」の中で同原則案を公表した(図4-3-2、表4-3-4)。

■ 図4-3-2 「AI利活用原則案」



出典:総務省「AIネットワーク社会推進会議 報告書2018」^{※33}

※30 内閣府「人間中心のAI社会原則検討会議(第2回) 議事録」<<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/2kai/gizi2.pdf>>

※31 人工知能学会倫理委員会「人工知能学会倫理指針」<<http://ai-elsi.org/archives/471>>

※32 人工知能と人間社会に関する懇談会<<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/ai/>>

※33 <http://www.soumu.go.jp/main_content/000564147.pdf>

■表4-3-4 「AI活用原則案」の解説と主な論点

| AI活用原則 | |
|----------|---|
| 各活用原則の解説 | |
| 1 | <p>適正利用の原則</p> <p>利用者は、人間とAIシステムとの間及び利用者間における適切な役割分担のもと、適正な範囲及び方法でAIシステムまたはAIサービスを利用するよう努める。</p> |
| | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) 適正な範囲・方法での利用 (イ) AIの便益とリスクの適正なバランス (ウ) AIソフトのアップデート及びAIの点検・修理等 (エ) 人間の判断の介在 (オ) 利用者間の役割分担 (カ) 関係者間の協力</p> |
| 2 | <p>適正学習の原則</p> <p>利用者及びデータ提供者は、AIシステムの学習等に用いるデータの質に留意する。</p> |
| | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) AIの学習等に用いるデータの質への留意 (イ) 不正確または不適切なデータの学習等によるAIのセキュリティ脆弱性への留意</p> |
| 3 | <p>連携の原則</p> <p>AIサービスプロバイダー、ビジネス利用者及びデータ提供者は、AIシステムまたはAIサービス相互間の連携に留意する。また、利用者は、AIシステムがネットワーク化することによってリスクが惹起・増幅される可能性があることに留意する。</p> |
| | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) 相互接続性と相互運用性への留意 (イ) データ形式やプロトコル等の標準化への対応 (ウ) AIネットワーク化により惹起・増幅される課題への留意</p> |
| 4 | <p>安全の原則</p> <p>利用者は、AIシステムまたはAIサービスの利活用により、アクチュエーター等を通じて、利用者等及び第三者の生命・身体・財産に危害を及ぼすことがないよう配慮する。</p> |
| | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) 人の生命・身体・財産への配慮</p> |
| 5 | <p>セキュリティの原則</p> <p>利用者及びデータ提供者は、AIシステムまたはAIサービスのセキュリティに留意する。</p> |
| | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) セキュリティ対策の実施 (イ) セキュリティ対策のためのサービス提供等 (ウ) 不正確または不適切なデータの学習によるAIのセキュリティ脆弱性への留意</p> |
| 6 | <p>プライバシーの原則</p> <p>利用者及びデータ提供者は、AIシステムまたはAIサービスの利活用において、他者または自己のプライバシーが侵害されないよう配慮する。</p> |
| | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) 他者のプライバシーの尊重 (イ) パーソナルデータの収集・分析・提供等におけるプライバシーの尊重 (ウ) AIを利用したプロファイリングを行う場合におけるプライバシー等の配慮 (エ) 自己等のプライバシー侵害への留意 (オ) パーソナルデータの流出の防止</p> |

| | |
|----|--|
| | <p>尊厳・自律の原則</p> <p>利用者はAIシステムまたはAIサービスの利活用において、人間の尊厳と個人の自律を尊重する。</p> |
| 7 | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) 人間の尊厳と個人の自律の尊重</p> <p>(イ) AIによる意思決定・感情の操作等への留意</p> <p>(ウ) AIと人間の脳・身体を連携する際の生命倫理等の議論の参照</p> |
| | <p>公平性の原則</p> <p>AIサービスプロバイダー、ビジネス利用者及びデータ提供者は、AIシステムまたはAIサービスの判断によって個人が不当に差別されないよう配慮する。</p> |
| 8 | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) AIの学習等に用いられるデータの代表性への留意</p> <p>(イ) アルゴリズムによる不当な差別への留意</p> <p>(ウ) 人間の判断の介在</p> |
| | <p>透明性の原則</p> <p>AIサービスプロバイダー及びビジネス利用者は、AIシステムまたはAIサービスの入出力の検証可能性及び判断結果の説明可能性に留意する。</p> |
| 9 | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) AIの入出力の記録・保存</p> <p>(イ) 説明可能性の確保</p> |
| | <p>アカウントビリティの原則</p> <p>AIサービスプロバイダー及びビジネス利用者は、消費者的利用者や間接利用者を含むステークホルダーに対しアカウントビリティを果たすよう努める。</p> |
| 10 | <p>【主な論点】</p> <p>(ア) アカウントビリティを果たす努力</p> <p>(イ) AIに関する利用方針の通知・公表</p> |

出典：総務省「AIネットワーク社会推進会議 報告書2018」をもとに作成 ※34

同会議では、AIの利活用の促進やAIネットワーク化の健全な進展に向けて、便益の増進とリスクの抑制を図り、AIに対する信頼を醸成することを目的に、AIシステムの開発者ではなく、AIシステムの利用者及びデータ提供者がAIの利活用において留意することが期待される事項を取りまとめている。ここでいう利用者には、開発・提供されたAIシステムを利用して顧客（最終消費者や最終利用者を含む）にサービスを提供する企業利用者も含まれる。

また、AI利活用原則案は、AI開発ガイドライン案と同様に、AIの便益及びリスクが国境を越えて広く波及することが見込まれることから、国際的な議論のためのものとするとともに、規制の導入を目指すものとするは適当ではないことから、非規制的かつ非拘束的なもの（いわゆるソフトロー）としている。また、AI関連技術やAIの利活用が今後とも飛躍的に発展することが期待されることから、国際的な議論を踏まえ、AI利活用原則案を不断に見直し、必要に応じて柔軟に改訂することを表明している。

ただし、平成30年7月末時点では、同原則はまだ「案」の状態であり、⑦において示されている「主な論点」についても、AIネットワーク社会推進会議における検討や報告書公表時のパブリッ

※34 <http://www.soumu.go.jp/main_content/000564147.pdf>

クコメントの結果を受けて整理したものにはすぎない。そのため、今後、AI利活用原則案の各原則の内容に関して整理された論点を踏まえ、最終的なアウトプットの取りまとめに向けて検討を行うとしている。

なおその際には、最終的なアウトプットの在り方についても、検討を行うものとしている。具体的には、AI開発ガイドラインのように、分野共通の「ガイドライン」という形や名称で取りまとめるか、また、分野ごとの問題の性質、国ごとの法制度等に相違があることに鑑み、各分野のステークホルダー等が分野ごとのガイドライン等を策定する際に参照する基本的な指針(メタガイドライン)として取りまとめるかなどがある。また、これらの検討とともに、最終的なアウトプットを人々に周知し、普及させるため、利用者等の類型ごとに整理したり、特に消費者的利用者向けに分かりやすいメッセージを発信することが重要であるものと考えられ、「ハンドブック」や「マニュアル」などリテラシー教材(利用者の手引き)を作成し、それらにもとづいてワークショップを行うなどの手段・方法等についても検討対象として示されている。

経済産業省は「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」を平成30年6月に発表した。これは、平成29年12月に設置された「AI・データ契約ガイドライン検討会」及びその下部の作業部会において検討された具体的なユースケースにもとづき、契約によるデータの利活用やAIの利用・開発を促進し、契約締結時の法的論点などを整理することを目的としたもので、「AI編」及び「データ編」の2編で構成されている。

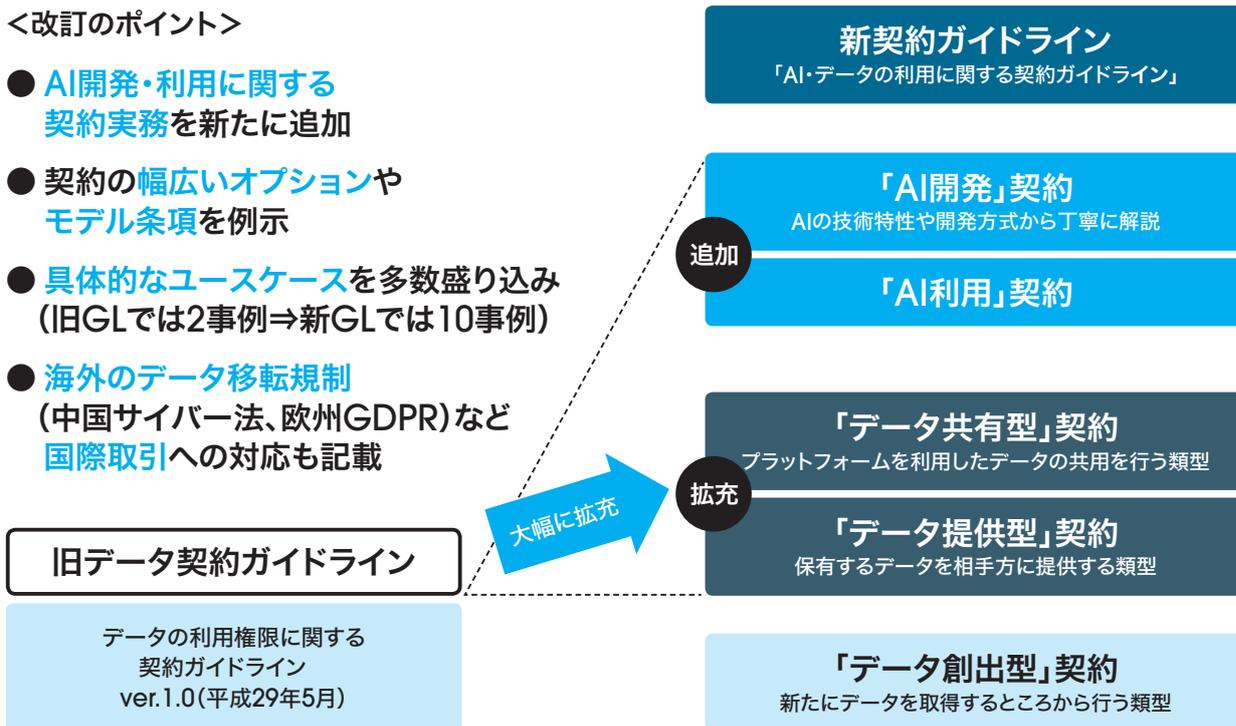
このうちAI編は、主に機械学習技術の台頭を踏まえ、ソフトウェアの開発契約や利用契約を作成する際に考慮すべき基礎的理解、及びトラブルの防止に向けた方法等を整理したものである。具体的には、学習済みモデルの内容・性能等が契約締結時点では必ずしも定まっていないこと、それらの内容・性能が学習データに依存していること、学習データの生成ではノウハウの重要性が高いこと、成果物だけでなく中間的な生成物も含めて再利用の需要の存在等の技術特性にもとづく契約の実態や留意事項が説明されている。また、開発契約に関しては、AI技術の特性を考慮した「探索的段階型」の開発方式が提案されている。具体的には、すなわち①アセスメント段階、②プルーフ・オブ・コンセプト(PoC)段階、③開発段階、④追加学習段階が提示され、段階ごとに検証と確認を経ながら開発を進める方式が提案されている。この他、外国企業との契約における留意事項等が示されている。

またデータ編は、データの取扱いに関する法的論点や契約での取り決め方が契約類型別に整理されている。類型としては、データ提供型(一方の当事者から他方の当事者へのデータ提供)、データ創出型(複数の当事者によって生成されるデータの取扱い)、データ共用型(プラットフォームを介したデータ共用)に分類されており、それぞれにおける契約条項例や留意事項について説明されている(図4-3-3)。

■ 図4-3-3 AI・データの利用に関する契約ガイドラインの全体像

<改訂のポイント>

- AI開発・利用に関する契約実務を新たに追加
- 契約の幅広いオプションやモデル条項を例示
- 具体的なユースケースを多数盛り込み(旧GLでは2事例⇒新GLでは10事例)
- 海外のデータ移転規制(中国サイバー法、欧州GDPR)など国際取引への対応も記載



出典：経済産業省「AI・データの利用に関する契約ガイドライン 概要資料」^{※35}

今後の展開としては、本ガイドラインの普及促進の他、翻訳を含む国際展開、民間の業界団体等における分野別ガイドラインの策定、ビジネス環境や技術変化に応じた改訂などが期待される。

一般社団法人日本経済団体連合会は、日本企業のAI及びその関連分野における国際的な産業競争力を向上させることを目的に、未来産業技術委員会の下に「AI活用原則タスクフォース^{※36}」を設置し、第1回会合を平成30年1月に開催した。同タスクフォースでは、我が国が提唱するSociety 5.0と、国際的なテーマとなっているSDGsの実現に、どのようにAIを展開すべきかという提案と、それに付随する重要施策の提言を目的としている。現在、①社会的・産業的インパクトの認識、②リスクとその回避・軽減方法の提案、③公共財としてのAI技術(AI as Social Goods)を論点として、平成30年内の取りまとめに向けて検討が進められている。

(2) その他の政策や民間による取組みの動向

一般社団法人産業競争力懇談会(COCN: Council on Competitiveness - Nippon)は、「人工知能間の交渉・協調・連携」に関する検討を産学官連携の下で行い、最終報告書を平成30年2月に公表した。この検討は、同法人の平成29年度の推進テーマの一つとして位置づけられたものである。具体的な対象としては、製造業務における一連のサプライチェーンにおける受発注契約の支援を対象とした「製造バリューチェーン分野」と、交通管制連携やマルチ・モーダルの交通リソース融通を対象とした「交通・人流分野」に絞り、両分野のユースケースを設定して、想定されるステークホルダーへのヒアリングを実施したうえで課題分析を行っている。結果としては、

※35 経済産業省「AI・データの利用に関する契約ガイドライン概要」<<http://www.meti.go.jp/press/2018/06/20180615001/20180615001-4.pdf>>

※36 一般社団法人日本経済団体連合会「Mission Statement — 経団連 AI 活用原則 TF」<<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/1kai/sanko1.pdf>>

ネットワーク外部性の突破が主たる課題として挙げられており、いわゆるスモールスタートを初段とした交渉・協調・連携による社会実装の段階的な推進をその解決方法として挙げている。その際、①当事者でのシミュレーション、②限定環境下での一部当事者による実動作、③限定環境下での当事者の拡大、④一般環境へ拡大、といった段階的アプローチが必要だと指摘している。

厚生労働省は、医療等の現場において、世界中から報告される膨大な科学的知見を評価・分析するとともに、患者等に係る大量の生体情報を把握して、患者に最適な医療や安全な医療を提供すること、また医療従事者等の負担を減らし、将来にわたる国民への質の高い保健医療サービスの提供に資するべく、医療等従事者を支援していくことが求められていることから、「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会」を設置し、平成29年1月に第1回会合が開催された。同懇談会は、AIがディープラーニングの登場により新たな局面を迎えたとして、こうした新たなAIの特性を踏まえ、その活用が患者・国民にもたらす効果を明らかにするとともに、保健医療等においてAIの導入が見込まれる領域を見据えながら、開発推進のために必要な対応及びAIを用いたサービス等の質・安全性確保のために必要な対応等を検討することを目的に進められ、平成29年6月に報告書^{※37}を取りまとめ公表した。

報告書では、技術の強みと解決が期待される課題の両面から、AI開発を進めるべき重点領域として、ゲノム医療、画像診断支援、診断・治療支援、医薬品開発、介護・認知症対応、手術支援の6点を選定し、個別のAI技術の開発促進に加え、AIの有効性・安全性確保のために適切なルール整備が必要との見解が示されている。また、AI活用促進に向け、十分な質・量を備えたデータベースの整備を起点に、開発の推進と活用によって保健医療が循環的に向上する「保健医療循環AI開発エコシステム」の重要性が提唱されている。一方で、AIによる判断が患者・国民のためにならない可能性があることにも言及し、AIはあくまでコンピューターによる人間の知的活動の支援のためのものであり、AIによる予測を含めた各種状況を踏まえて人間が最終判断を下す必要性は今後も残ること、将来的にはAIシステムを使いこなす人間の能力向上が必要であること、等も併せて指摘されている。

懇談会を踏まえたその後の対応として、制度については、医薬品医療機器法との関係から、どのようなものが医療機器に該当するのかの検討、市販後経時的に性能が変化することを想定した評価指標の検討が行われている。また医師法との関係からは、AIによる診療支援は、あくまでも医師の最終的な判断を補助するものであり、今後のAIの技術の進歩にかかわらず、意思決定の責任は医師が負うものとして議論が進んでいる。

さらに、AI開発及び利活用促進に向けて幅広い視点から議論を行い、我が国において取り組むべき事項を検討するために、保健医療分野AI開発加速コンソーシアム^{※38}が開始され、平成30年7月23日に、第1回が開催された。

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）・官民データ活用推進会議、データ活用基盤・課題解決分科会道路交通ワーキングチームは、IT総合戦略本部が平成29年5月に

※37 厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 報告書」<<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000169230.pdf>>

※38 厚生労働省「第1回 保健医療分野AI開発加速コンソーシアム 資料」<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000148680_00002.html>

決定したITS・自動運転に係る国家戦略「官民ITS構想・ロードマップ2017」において、高度自動運転実現に向けた2025年までのシナリオを策定するとともに、市場化を見据えた制度整備と、技術力のさらなる強化について重点的な整理を受け、平成29年9月に「自動運転に係る制度整備大綱サブワーキングチーム」を設置した。2020年をめどに目指す高度自動運転システムの実現に向けて「ドライバーによる運転」を前提とした交通関連法規の多岐にわたる見直しが必要となるため、高度自動運転実現に向けた政府全体の制度整備の方針（大綱）をまとめることを目的に検討が進められた。その結果、平成30年4月に高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議において、「自動運転に係る制度整備大綱」^{*39}が決定された。大綱においては、以下の論点について制度整備の方向性が示されている。

- ①安全性の一体的な確保（関係省庁連携による客観的な指標にもとづく走行環境条件の設定等）
- ②自動運転車の安全確保の考え方（自動運転車の安全性要件のガイドライン化、評価指標の国際的な議論を踏まえた検討、自動運転車における保安基準の策定、物流・移動サービスにおける在り方等）
- ③交通ルールの在り方（条件付きレベル3、限定地域でのレベル4の検討の方向性、物流サービスにおける検討の方向性、2020年実用化等を見据えた交通ルールの検討等）
- ④責任関係（民事責任、刑事責任、自動運転車の走行中のデータ保存に係る検討等）
- ⑤運送事業に関する法制度との関係（道路運送法、貨物自動車運送事業法との整合等）

なお、自動運転に係る技術は急速に進歩しており、その実情を踏まえる必要があるとして、大綱で引き続き検討を行うとした項目も含めすべての法制度の項目に関して、今後もフォローアップ会合を開催し、制度見直しの検討を継続的に実施するとしている。

また、同じく高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）・官民データ活用推進戦略会議は、平成30年6月に「世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」^{*40}を取りまとめ、同月に閣議決定された。同計画は、従来のIT戦略の取組み・成果をもとに、政府の取組みを地方・民間まで広める「デジタル・ガバメントの実現」に向け、「IT新戦略の策定に向けた基本方針」や「デジタル・ガバメント実行計画」を策定し、取組みのさらなる拡充・横展開に着手している。これは、「世界最先端デジタル国家」の創造に向け、政府の行政サービスを起点として、紙中心のこれまでの行政の在り方等を含めた大改革を断行することで、国民が安全で安心して暮らせ、豊かさを実感できる社会を実現することを目的に検討されたものである。重点取組みの中の「抜本改革を支える新たな基盤技術等」の一つとしてAIを位置づけているほか、RPA等を活用したデジタル自治体行政の推進、また「世界最高水準の生産性を有する港湾物流の実現」等の分野横断型データ連携におけるユースケースの推進等が掲げられている。また、AIの社会・経済にもたらすインパクトやリスクの評価の国際的な共有、関連する社会的・経済的・倫理的・法的課題の解決に資するガバナンスの在り方に関して、G7やOECD等の場における国際的な議論を通じた検討と推進の必要性が指摘されている。

※39 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「自動運転に係る制度整備大綱」<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180413/auto_drive.pdf>

※40 高情報通信ネットワーク社会推進戦略本部「世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」<https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/digital_sengen_honbun_2018.pdf>

4.4 ▷ 制度改革

本節では、AIの社会実装に係る制度改革として注目すべきものとして、モビリティに関する制度改革とデータ流通に係る制度改革の2つについて解説する。機械学習ではデータとフィードバックによりアルゴリズムが改善されるため、2つの制度改革を組み合わせ、いかにAIの学習環境を整備できるかが重要となる。

前者は開発したAIを物理空間で学習させるための制度改革である。本節ではモビリティ領域の制度改革の方向性や実証実験の現状などを解説する。

後者はデータの循環をデジタル空間で滞りなく行うための制度改革である。本節では様々な領域におけるデータ流通について、それぞれ制度改革を概説する。

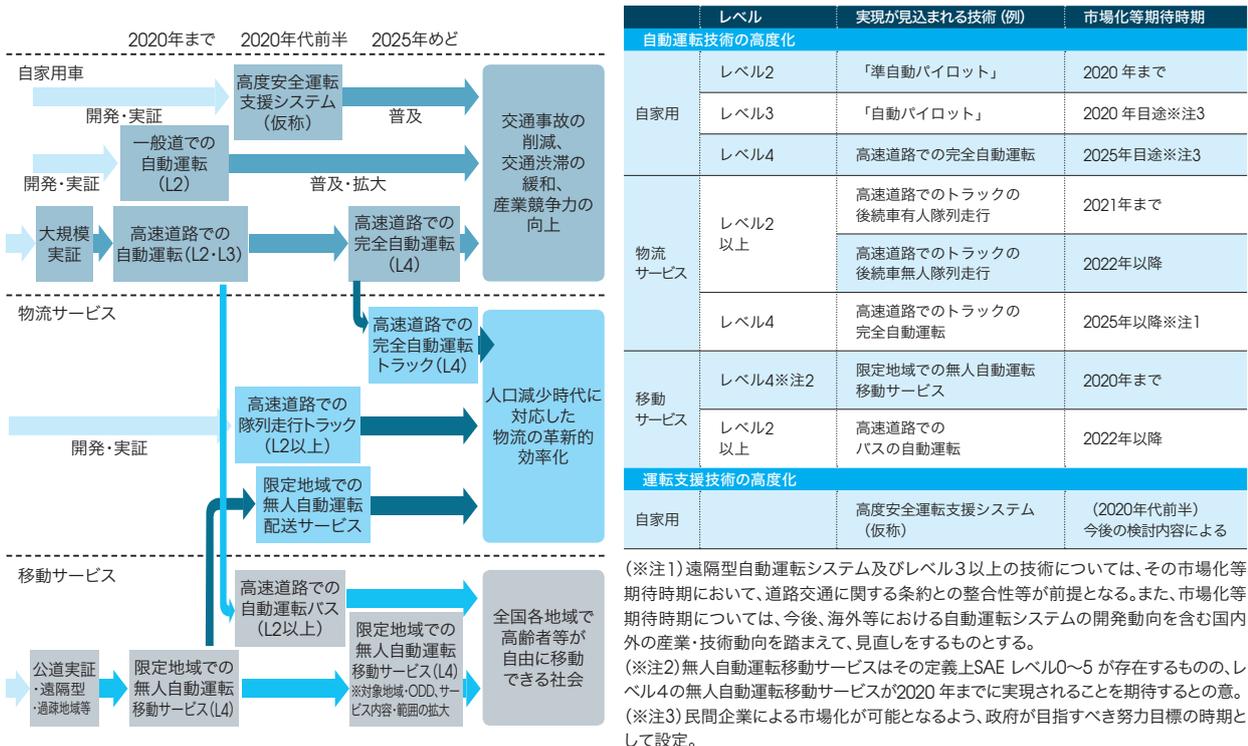
4.4.1 ▶ モビリティに係る制度改革

(1) 自動運転に係る制度整備

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）・官民データ活用推進戦略会議は、平成26年から「官民ITS構想・ロードマップ」を毎年度策定しており、平成30年6月には4度目の改定となる「官民ITS構想・ロードマップ2018」が閣議決定された。2018年版では、基本的に2017年までの方針を継承しつつ、後述の自動運転に係る制度整備大綱や実証実験の動向を踏まえて、関係府省庁における重点的な取組施策などが改訂されている。

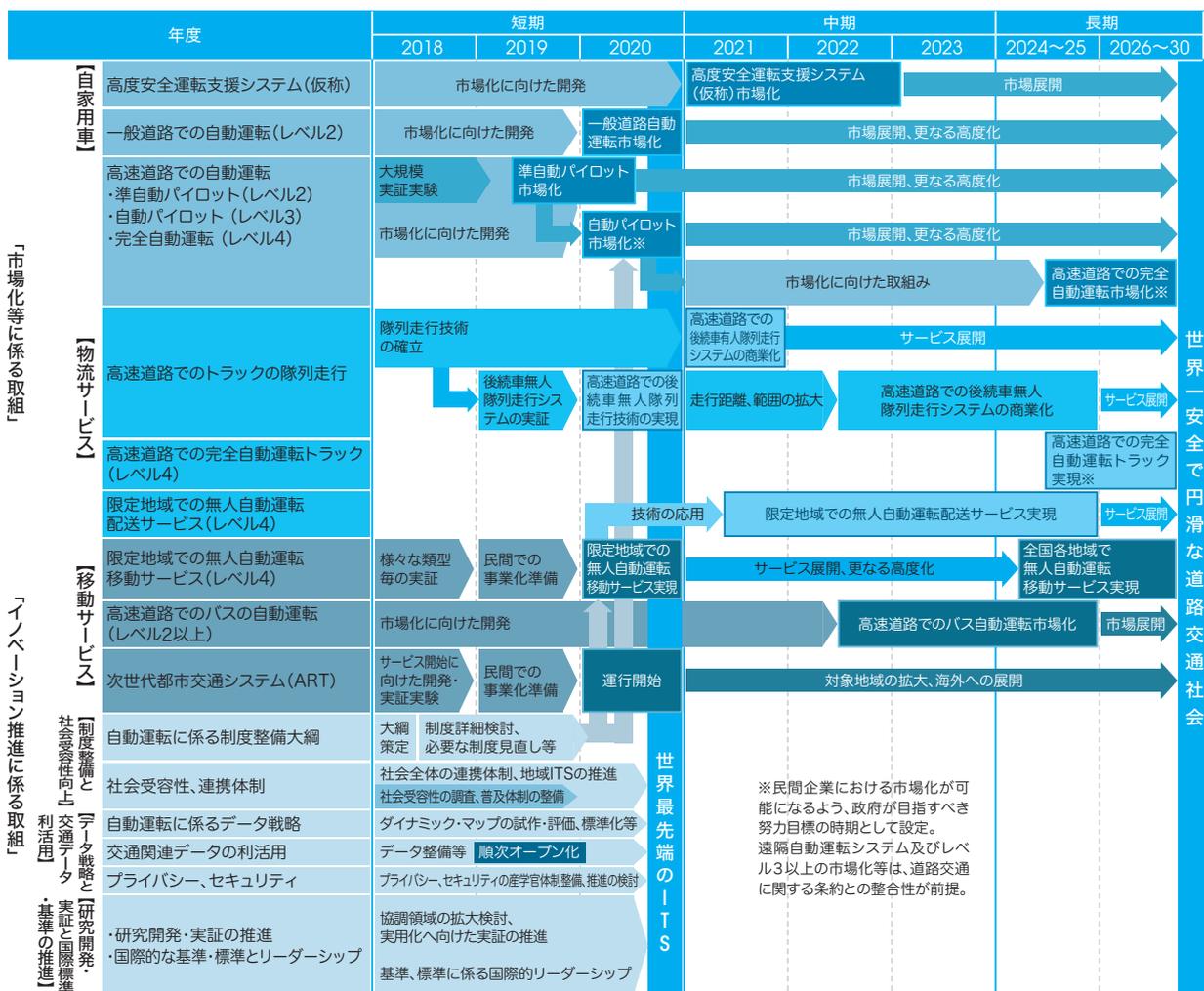
図4-4-1に、この中で示されたロードマップ概要を示す。2025年完全自動運転を見据え、自家用、物流サービス、移動サービスごとに分けた市場化・サービス実現のシナリオ及び実現時期を示している。また、ロードマップ全体像を図4-4-2に示す。

■ 図4-4-1 「官民ITS構想・ロードマップ2018」の市場化・サービス実現シナリオと実現時期



出典：高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「官民ITS構想・ロードマップ2018」

図4-4-2 官民ITS構想・ロードマップ2018(ロードマップ全体像)



出典：高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「官民ITS構想・ロードマップ2018」※41

それに先立ち、平成30年4月、同本部・同会議は、レベル3以上の高度な自動運転の2020年めどの実現に向けた道路交通関連の法制度の見直しについて、政府全体の方向性を取りまとめた「自動運転に係る制度整備大綱」を公表した。同大綱では、高度自動運転の初期段階である、2020以降2025年ごろの、公道において自動運転車と従来の非自動運転車(一般車)が混在するいわゆる「過渡期」を想定・検討範囲とし、官民ITS構想・ロードマップに掲げる政府目標において、2020～2025年に市場化が期待される自動運転の実用化に必要な法制度の在り方を検討対象としている。この間に、我が国で市場化が期待される自動運転車は、自家用自動車としてだけでなく、物流・移動サービスにおいても活用が期待されている。以下に具体的な検討対象を示す。

(a) 自家用自動車における検討対象

- ① 高速道路での自動運転(レベル2、レベル3)
- ② 一般道での自動運転(レベル2)

※41 <<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryou9.pdf>>

(b) 物流サービスにおける検討対象

- ① 高速道路でのトラックの隊列走行
- ② 高速道路での自動運転(レベル 3)

(c) 移動サービスにおける検討対象

- ① 限定地域での無人自動運転移動サービス(レベル 4)
- ② 高速道路での自動運転(レベル 3)

なお、自動運転のレベルについては、「3.3.2 自動車産業における利用動向」で示したとおり、SAE^{※42} InternationalのJ3016(2016年9月)にもとづくものである(表4-4-1に再掲)。

■表4-4-1 自動運転の定義の概要

| レベル | 名称 | 定義概要 | 安全運転に係る監視、対応主体 |
|-----------------------------|----------|---|--------------------------|
| 運転者が一部またはすべての動的運転タスクを実行 | | | |
| 0 | 運転自動化なし | 運転者がすべての動的運転タスクを実行 | 運転者 |
| 1 | 運転支援 | システムが縦方向または横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行 | 運転者 |
| 2 | 部分運転自動化 | システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行 | 運転者 |
| 自動運転システムが(作動時は)すべての運転タスクを実行 | | | |
| 3 | 条件付運転自動化 | システムがすべての動的運転タスクを限定領域において実行 作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答 | システム (作動継続が困難な場合は運転者) |
| 4 | 高度運転自動化 | システムがすべての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行 | システム |
| 5 | 完全運転自動化 | システムがすべての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に(すなわち、限定領域内ではない)実行 | システム |

出典:高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「自動運転に係る制度整備大綱」をもとに作成^{※43}

同大綱では自動運転に係る制度の見直しに向けた進め方として、走行速度を低速に抑える、走行範囲として決まったルートのみを走行する、あるいは走行する天候・時間などを限定するなどの走行環境条件設定による安全性の担保を図ることとし、自動運転の実用化に向け、段階的に進めることとしている。また、重点的に検討する範囲とその方向性として、以下を示した。

- ①安全性の一体的な確保(関係省庁連携による客観的な指標にもとづく走行環境条件の設定、等)
- ②自動運転車の安全確保の考え方(自動運転車の安全性要件のガイドライン化、評価指標の国際的な議論を踏まえた検討、自動運転車における保安基準の策定、物流・移動サービスにおける在り方、等:道路車両運送法等)
- ③交通ルールの在り方(条件付きレベル3、限定地域でのレベル4の検討の方向性、物流サービスにおける検討の方向性、2020年実用化等を見据えた交通ルールの検討、等:道路交通法等)

※42 Society of Automotive Engineers

※43 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180413/auto_drive.pdf>

- ④責任関係(民事責任、刑事責任、自動運転車の走行中のデータ保存に係る検討、等：自動車損害賠償保障法、民法、製造物責任法、自動車運転死傷処罰法等)
- ⑤運送事業に関する法制度との関係(道路運送法、貨物自動車運送事業法との整合、等)

図4-4-3に制度整備大綱にもとづいた主な取組み事項と2020年の実現イメージを示す。

■ 図4-4-3 制度整備大綱にもとづいた主な取組み事項と2020年の実現イメージ

| 制度整備大綱にもとづいた主な取組み事項 | 2020年の実現イメージ |
|---|--|
| <p>■ 車両安全確保の考え方</p> <ul style="list-style-type: none"> ①安全性に関する要件等を2018年夏までにガイドラインとして策定 ②日本が議論を主導し、車両の安全に関する国際基準を策定 ③使用過程車の安全確保策の在り方について検討 <p>■ 交通ルールの在り方</p> <ul style="list-style-type: none"> ④自動運転システムが道路交通法令の規範を遵守するものであることを担保するために必要な措置を検討。<u>国際的な議論(ジュネーブ条約)</u>にて引き続き関係国と連携してリーダーシップを発揮し、その進展及び技術開発の進展等を踏まえ、速やかに国内法制度を整備 ⑤無人自動運転移動サービスにおいては、当面は遠隔型自動運転システムを使用した現在の実証実験の枠組みを事業化の際にも利用可能とする <p>■ 安全性の一体的な確保(走行環境条件の設定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑥自動運転の安全性を担保するための走行環境条件(低速、限定ルート、昼間のみ等)を検討・策定 <p>■ 責任関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑦万一の事故の際にも迅速な被害者救済を実現 ⑧関係主体に期待される役割や義務を明確化し、刑事責任を検討 ⑨走行記録装置の義務化の検討 | <p>(1) 自家用自動車の高速道路での自動運転</p>   <p style="border: 1px solid #0070C0; padding: 2px; font-size: small;">イメージ画像であり、自動運転中に運転者ができることについては、現在検討中</p> <p>(2) 限定地域での無人自動運転移動サービス</p>  |

出典：高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「自動運転に係る制度整備大綱(案)(概要)」

このうち、「自動運転車の安全確保の考え方」については、自動運転車が満たすべき安全性の要件のガイドラインを策定すること、また、「責任関係」ではデータ記録装置(イベントデータレコーダー(EDR)、ドライブレコーダー等)の設置義務化(2020年をめど)などの施策が打ち出された。

2018年9月、制度整備大綱の方針を踏まえ、国土交通省より「自動運転車の安全技術ガイドライン」が公表された^{※44}。本ガイドラインは、自動運転車の導入初期段階において車両が満たすべき安全要件を定めることにより、国際的な議論を踏まえた安全基準や安全性評価(基準認証)手法が策定されるまでの間においても、適切に安全性を考慮した自動運転車の開発、実用化を促すことを目的としている。

これを踏まえ、本ガイドラインでは、自動運転の実現において、「自動運転システムが引き起こす人身事故^{※45}がゼロとなる社会の実現を目指す」ことを目標として設定し、自動運転車の開発・普及促進を行う意義を明確にしている。この目標の達成に向けて、自動運転車が満たすべき車両安全の定義

※44 <<http://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>>

※45 本ガイドラインにおける「自動運転システムが引き起こす人身事故」とは、自動運転システムに責任がある事故のことを指し、故意の飛び出し等被害者側に責任がある事故や整備不良等に起因する事故は含まないとしている。

を、「許容不可能なリスクがないこと」^{※46}、すなわち、自動運転車の運行設計領域(ODD)^{※47}において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないことと定め、この定義に基づいて自動運転車が満たすべき車両安全要件を設定し、その安全性を確保することとしている。以下にガイドラインに示す自動運転車の安全性に関する10項目の要件を示す。

- ①運行設計領域(ODD ; Operational Design Domain)の設定
- ②自動運転システムの安全性
- ③保安基準等の遵守等
- ④ヒューマン・マシン・インターフェース(ドライバー状態の監視機能等の搭載)
- ⑤データ記録装置の搭載
- ⑥サイバーセキュリティ
- ⑦無人自動運転移動サービス用車両の安全性(追加要件)
- ⑧安全性評価
- ⑨使用過程における安全確保
- ⑩自動運転車の利用者への情報提供

自動運転の実証実験のための環境整備については、道路交通法を所轄する警察庁が、平成28年5月に「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン」を公表している。同ガイドラインでは、①車両が保安基準に適合しており、②運転者が実験車両の運転席に乗車して監視と緊急時に必要な操作ができ、③法令を遵守して走行する、という3つの条件を満たしていれば、特段の許可や届出なしに実施可能であることが明確化された。

また、平成29年2月に国土交通省は、「道路運送車両の保安基準に基づく関係告示の改正」(自動運転車両の基準緩和認定制度の創設)を行い、ハンドルやアクセル・ブレーキペダル等を備えない車両でも、速度制限、走行ルートの限定、緊急停止ボタンの設置等の安全確保措置を講じれば、公道実証実験が可能になった。

さらに警察庁は、平成29年6月に「遠隔型自動運転システムの公道実証実験に係る道路使用許可の申請に対する取扱いの基準」を公表し、実験車両の運転者席に運転者がいなくても、外部に遠隔監視・操作者がいれば道路使用許可を受けて公道実証実験が可能になった。これにより、遠隔型自動運転システムによる実証実験の実施が開始された。

2018年7月現在において進められている実証実験を図4-4-4に示す。国主導のプロジェクトとしては、行政の自動走行に係る公道実証プロジェクトとして、「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス」^{※48}が13件、「ラストマイル自動運転」^{※49}が4件、「沖縄におけるバス自動運転、

※46 「安全側面の規格への導入指針の国際規格」(ISO/IEC Guide 51:2014)において、安全の定義を「許容不可能なリスクがないこと」、許容可能なリスクを「現在の社会の価値観に基づいて、与えられた状況下で受け入れられるリスク」と定めており、本ガイドラインにおける自動運転車が満たすべき車両安全の定義は、この国際規格の定義に沿って設定している。

※47 運行設計領域(ODD : Operational Design Domain)とは、自動運転システムが正常に作動する前提となる設計上の走行環境に係る特有の条件のことをいう。

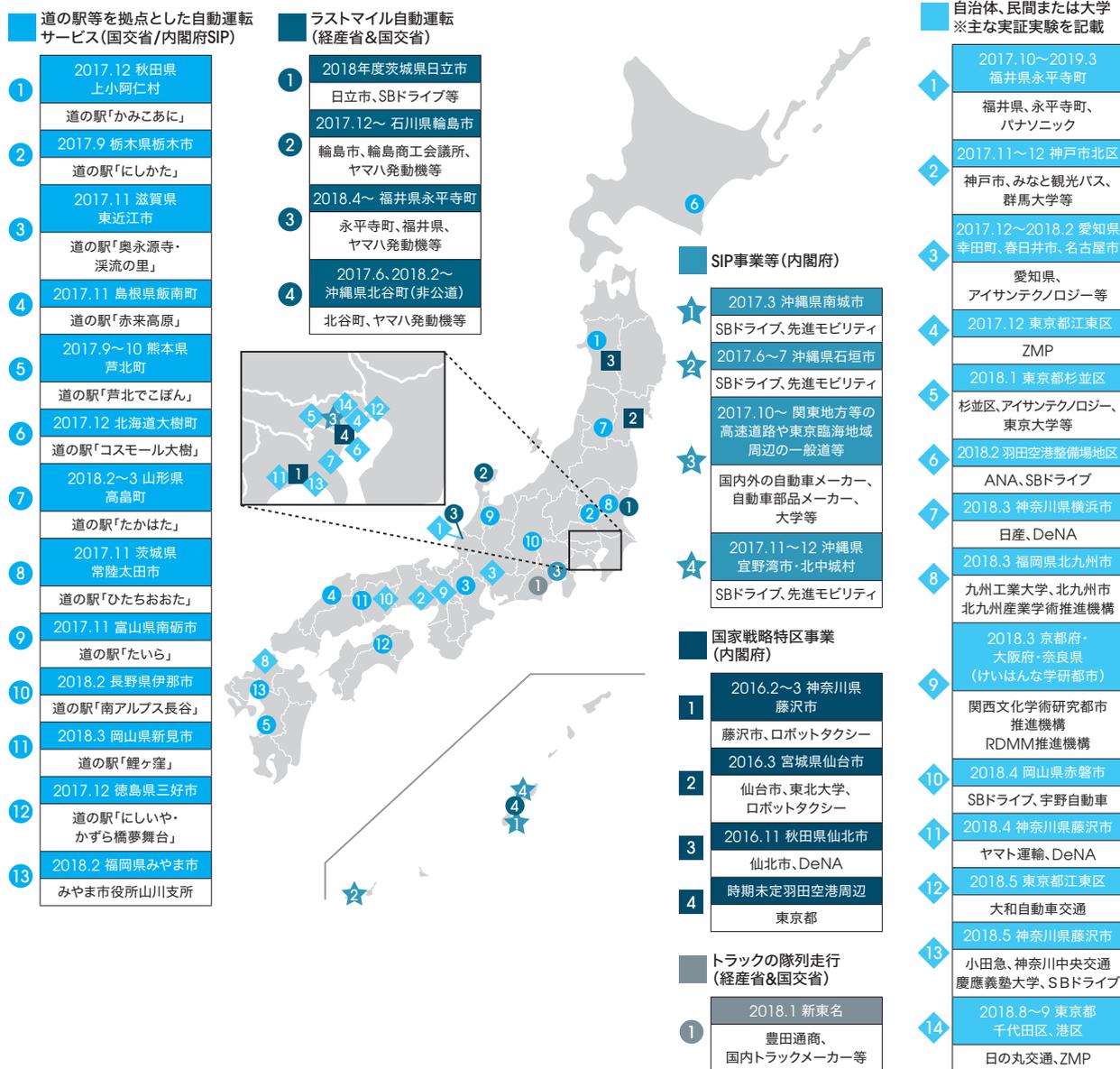
※48 高齢化が進行する中山間地域において、人流・物流を確保するため、「道の駅」等を拠点とした自動運転サービスの実証実験を行うプロジェクトである。

※49 2020年度にラストマイル自動運転による移動サービスを実現するため、車両技術の開発及びモデル地域での事業性検討を実施するプロジェクトである。

大規模実証実験などの内閣府SIP事業^{※50}が4件、「内閣府の国家戦略特区事業」が4件、「高速道路におけるトラックの隊列走行」^{※51}が1件、実施されている。これに加え、自治体、民間または大学において、14件の実証事業も実施されている(具体的内容については「3.4.2 自動車産業における利用動向」参照)。

■ 図4-4-4 日本における主な自動運転実証実験(予定含む)

平成30年7月25日時点



出典:国土交通省 第1回自動運転等先進技術に係る制度整備小委員会 配付資料「自動車の安全確保に係る制度及び自動運転技術等の動向について」^{※52}

(2) ドローン

小型無人機(ドローン)の活用においては、航空法による空域制限等との整合性が課題となってきたが、平成27年12月に改正航空法が施行され、小型無人機を飛行させる空域及び飛行方法の基本

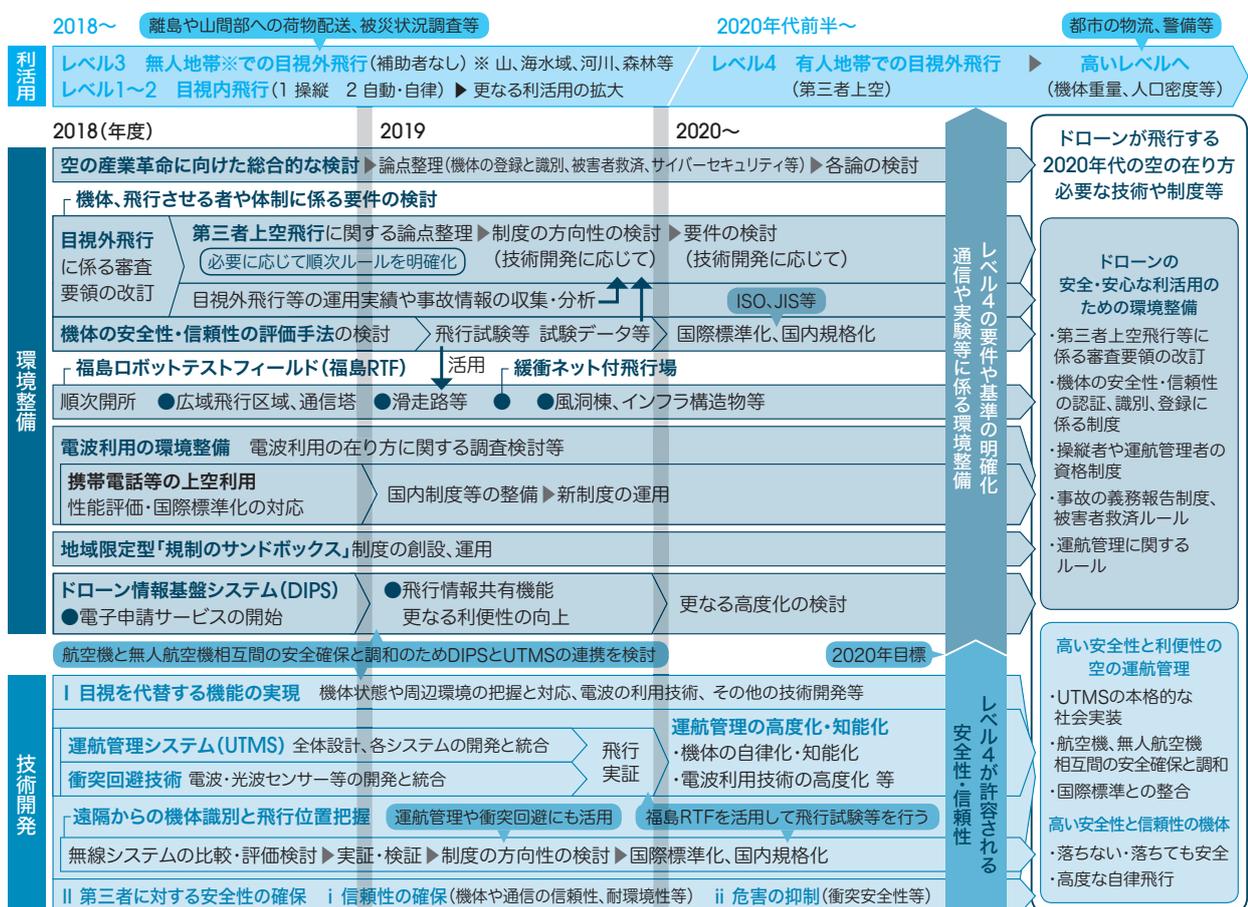
※50 高度な自動走行システムの実現に向けた産学官共同で取り組むべき研究開発課題についての技術検証を実施するプロジェクトである。

※51 2020年度に高速道路での後続無人隊列走行を実現するため、車両技術の開発及び事業として成立・継続するために必要な要件・枠組みについて検討を実施するプロジェクトである。

※52 <<http://www.mlit.go.jp/common/001253813.pdf>>

的な飛行ルールが定められた。また、それを受けて同年に「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」が立ち上げられており、同会議は毎年度、ドローンの利活用や環境整備に関するロードマップを策定している。平成30年6月に公表された「空の産業革命に向けたロードマップ2018」では、2018年ごろから無人地帯、2020年代前半から有人地帯について、それぞれ目視外飛行によるドローンの利活用を本格化させる方針が示されている(図4-4-5)。

■ 図4-4-5 空の産業革命に向けたロードマップ2018(小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備)



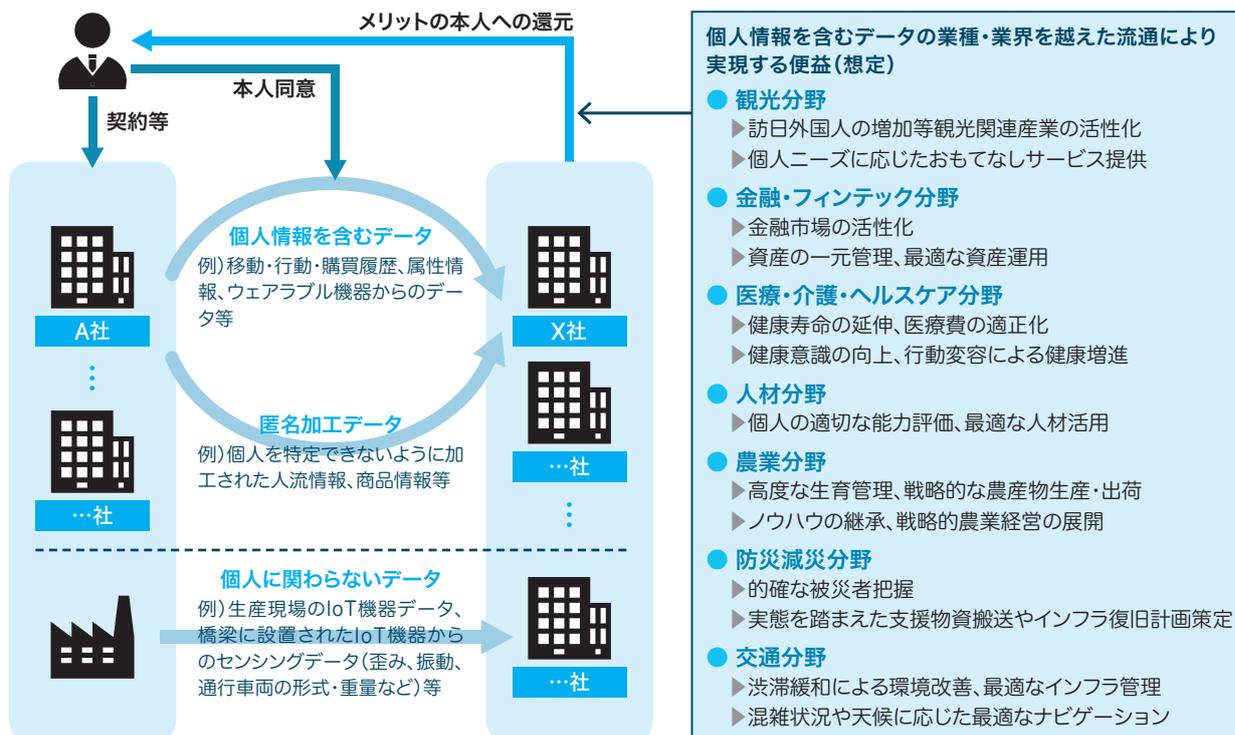
出典：小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会「空の産業革命に向けたロードマップ2018」※53

4.4.2 データ流通に係る制度改革

データ流通に係る制度改革については、①パーソナルデータ(個人情報を含むデータ)、②匿名加工されたデータ、③個人に関わらないデータ(モノに対するIoT機器データ、産業データなど)の3つに分類することができる(図4-4-6)。本項では、これらの分類ごとに、平成29年度以降の主要な取組みをまとめる(表4-4-2)。①については、PDS(Personal Data Store)や情報銀行など、個人を起点としたデータ流通を促進する新たな仕組みが提案されている。②については、平成30年5月の次世代医療基盤法の施行を踏まえ、医療情報の取扱いに大きな変革が生じている。③は内閣府の総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)の主導するデータ連携基盤や、産学官が連携したIoT推進コンソーシアムなどで、事業者間の相互運用性にもとづくデータ流通が推進されている。

※53 <http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/2018kaiteiroadmap.pptx>

■ 図4-4-6 データ流通環境の整備



※個人に関わらないデータであっても他のデータと組み合わせることによって、個人の特定につながる可能性があることに留意が必要

出典：内閣官房情報通信技術総合戦略室「AI、IoT時代におけるデータ活用ワーキンググループ中間とりまとめの概要」※54

■ 表4-4-2 データ流通・活用に関する主な取組み状況

| 年月 | 関係省庁等 | 取組み内容 | 本項の該当箇所※ |
|----------|----------------------|---|--------------|
| 平成29年4月 | 経済産業省／総務省 | 「データ流通プラットフォーム間の連携を実現するための基本的事項」を公表 | ③個人に関わらないデータ |
| 平成29年5月 | 個人情報保護委員会 | 「改正個人情報保護法」が施行 | ②匿名加工されたデータ |
| 平成29年7月 | 総務省 | 情報通信審議会「IoT／ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方」第四次中間答申 | ①パーソナルデータ |
| 平成29年11月 | 民間団体 | 一般社団法人データ流通推進協議会が設立 | ③個人に関わらないデータ |
| 平成30年1月 | 内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 | データ連携基盤サブワーキンググループが設立 | ③個人に関わらないデータ |
| 平成30年3月 | 経済産業省／総務省 | 「カメラ画像利活用ガイドブックver2.0」を公表 | ①パーソナルデータ |
| 平成30年5月 | 内閣官房 健康・医療戦略室 | 「次世代医療基盤法」が施行 | ②匿名加工されたデータ |
| 平成30年6月 | 経済産業省 | 「生産性向上特別措置法」が施行 | ③個人に関わらないデータ |
| | 総務省／経済産業省 | 「情報銀行の認定に係る指針ver1.0」を公表 | ①パーソナルデータ |
| 平成30年8月 | 経済産業省／総務省 | 「新たなデータ流通取引に関する検討事例集ver2.0」を公表 | ①パーソナルデータ |
| | 経済産業省／総務省 | 「データポータビリティに関する検討会とりまとめ」を公表 | ①パーソナルデータ |

※注 本項で取り上げた箇所に応じた区分であり、①②③は三者択一ではない点に留意する。例えば「改正個人情報保護法」は、②匿名加工されたデータの箇所でも取り上げているが、①パーソナルデータも対象としている。

出典：内閣官房 情報通信技術総合戦略室「データ流通・活用に関する動向」などを参考に作成 ※55

※54 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunkadata_ryutsuseibi/dai2/siryou1.pdf>

※55 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/detakatuyo_wg/dai1/siryou3.pdf>

(1) パーソナルデータ

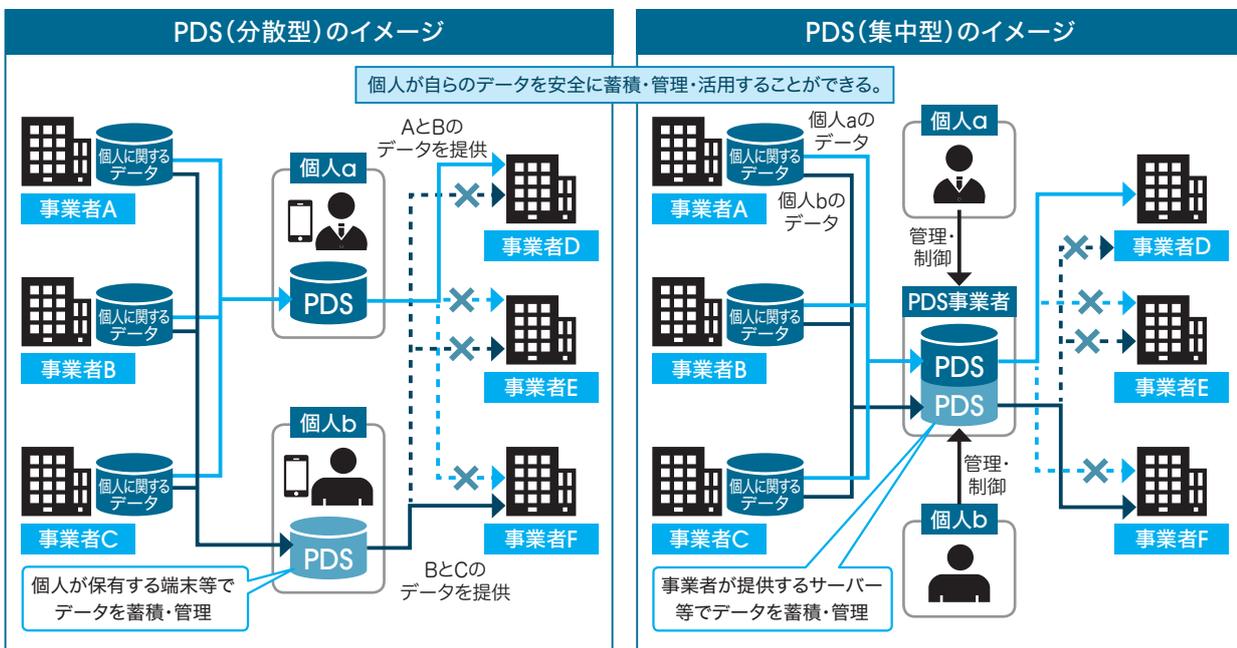
内閣官房IT総合戦略室では、平成28年に「AI、IoT時代におけるデータ活用ワーキンググループ」を立ち上げ、個人の関与の下でのパーソナルデータの流通・活用を進める仕組みを検討した。その結果を受けて平成29年に公開された中間取りまとめでは、①PDS、②情報銀行、③データ取引市場の3つの仕組みについて定義や推奨指針が示されている(図4-4-7、図4-4-8、図4-4-9)。

この中で省庁として検討が進んでいるのは、②の情報銀行である。総務省は平成29年7月に公表した「IoT / ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方 第四次中間答申」の中で、情報信託機能を担う者については、民間の団体等によるルールの下で任意の認定制度が実施されることが望ましいとして、社会実装に向けた検討を加速する方針を示した。同年11月、総務省は経済産業省「情報信託機能の認定スキームの在り方に関する検討会」を立ち上げ、情報信託機能を担う者に求められる要件や、認定の運用スキーム等認定制度の在り方について検討した。検討結果は平成30年6月に「情報信託機能の認定に係る指針 ver 1.0」として公表されており(図4-4-10)、今後も検討が進められる予定である。

経済産業省及び総務省は、平成29年11月から「データポータビリティに関する調査・検討会」^{※56}を開催し、データポータビリティがパーソナルデータの流通にもたらす効果などについて、調査・検討を実施した^{※57}。

■ 図4-4-7 PDSの定義

PDS(Personal Data Store)とは、他者保有データの集約を含め、個人が自らの意思で自らのデータを蓄積・管理するための仕組み(システム)であって、第三者への提供に係る制御機能(移管を含む)を有するもの。

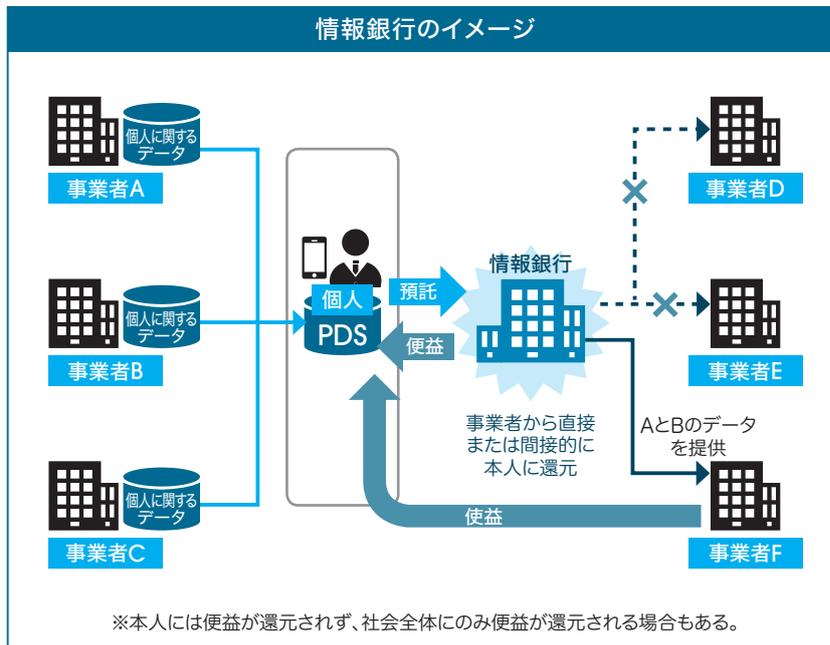


※PDS、情報銀行、データ取引市場は、それぞれ排他的なものではなく、同一の者が複数の機能を担うことも想定される。
 出典：内閣官房情報通信技術総合戦略室「AI、IoT時代におけるデータ活用ワーキンググループ中間とりまとめの概要」^{※58}

※56 データポータビリティとは、本人が提供した官民が保有するデータを、再利用しやすい形で本人に還元または他者に移管できることである。出典：総務省「データポータビリティに関する調査検討会の開催」<http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin01_02000237.html>
 ※57 データポータビリティに関する調査・検討について<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/detakatuyo_wg/dai1/siryou4-2.pdf>
 ※58 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/data_ryutsuseibi/dai2/siryou1.pdf>

■ 図4-4-8 情報銀行の定義

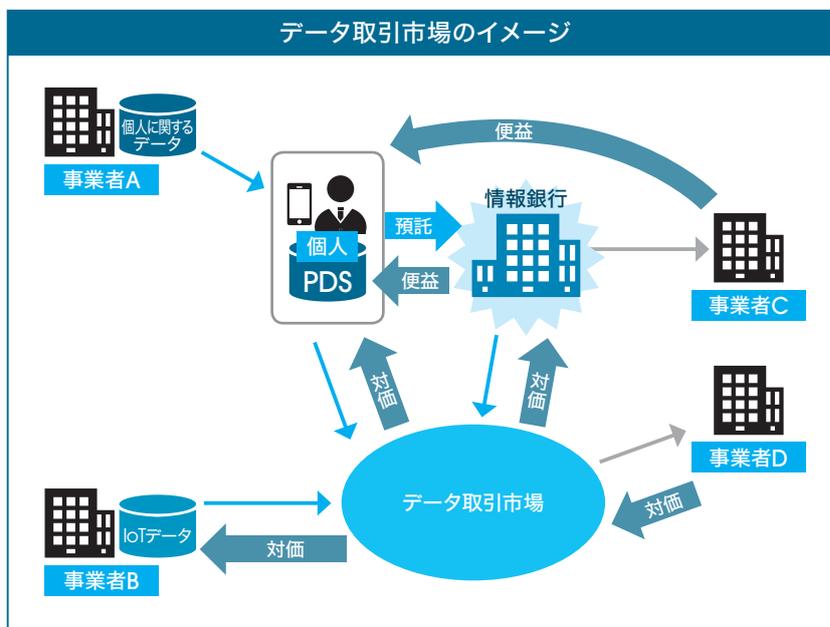
情報銀行(情報利用信用銀行)とは、個人とのデータ活用に関する契約等にもとづき、PDS等のシステムを活用して個人のデータを管理するとともに、個人の指示または予め指定した条件にもとづき個人に代わり妥当性を判断のうえ、データを第三者(他の事業者)に提供する事業。



出典:内閣官房情報通信技術総合戦略室「AI、IoT時代におけるデータ活用ワーキンググループ中間とりまとめの概要」※59

■ 図4-4-9 データ取引市場の定義

データ取引市場とは、データ保有者と当該データの活用を希望する者を仲介し、売買等による取引を可能とする仕組み(市場)。

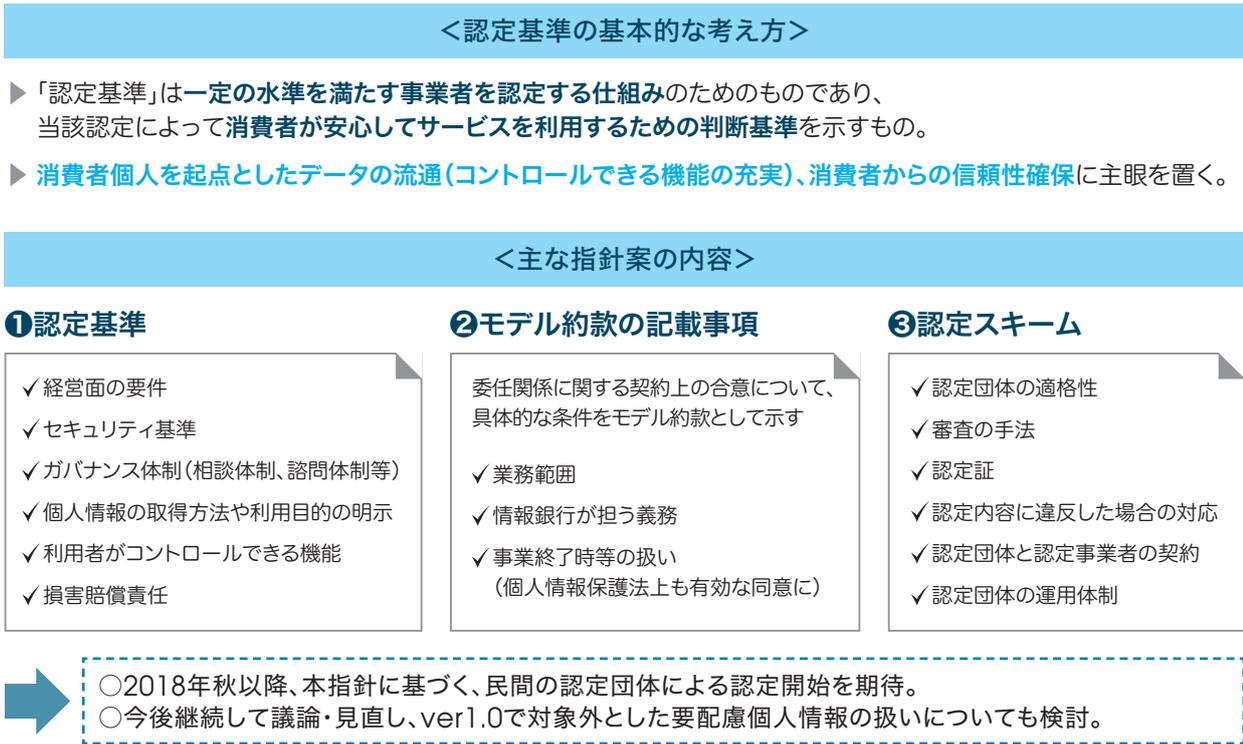


出典:内閣官房情報通信技術総合戦略室「AI、IoT時代におけるデータ活用ワーキンググループ中間とりまとめの概要」※60

※59 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/data_ryutsuseibi/dai2/siryou1.pdf>

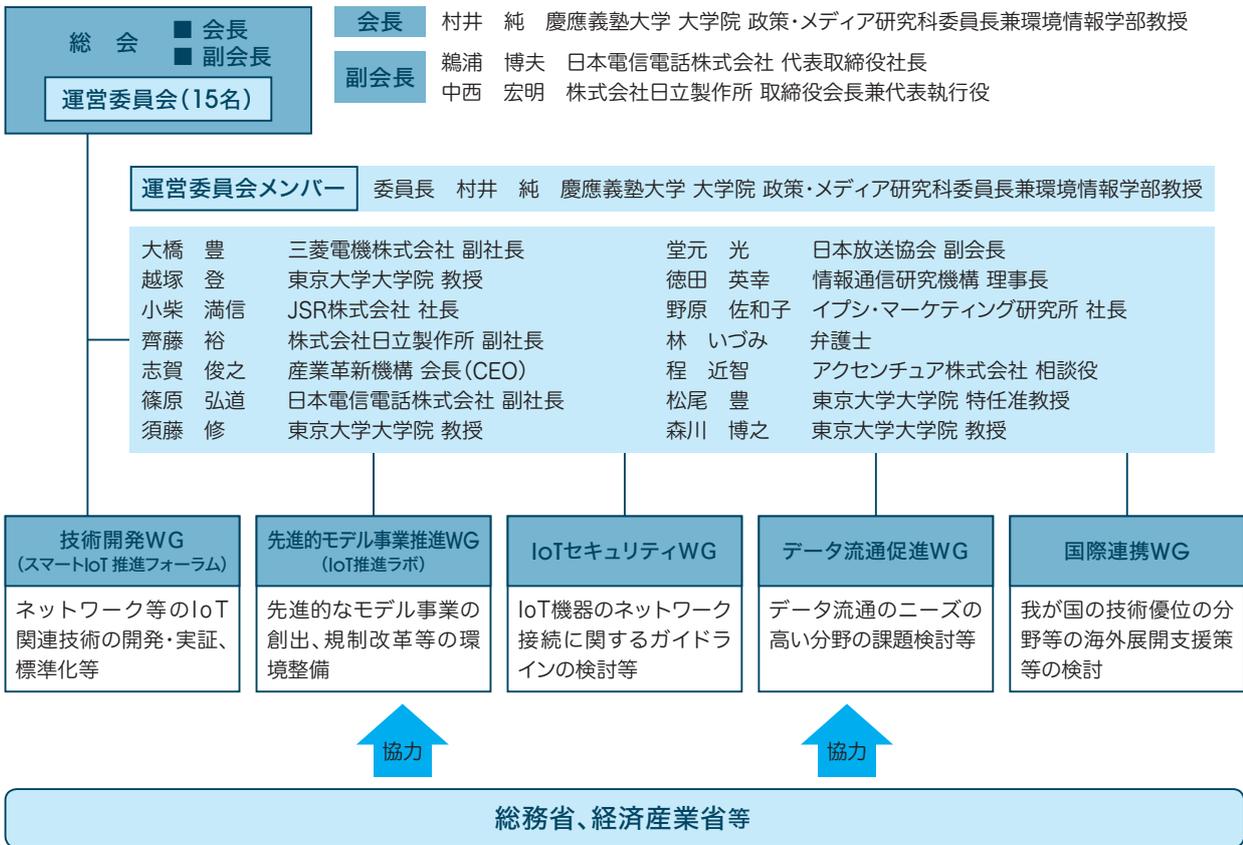
※60 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/data_ryutsuseibi/dai2/siryou1.pdf>

■ 図4-4-10 「情報信託機能の認定に係る指針ver1.0」の概要



出典：総務省「『情報銀行』の社会実装に向けた取組」※61

■ 図4-4-11 IoT推進コンソーシアム



出典：総務省「平成30年版 情報通信白書」※62

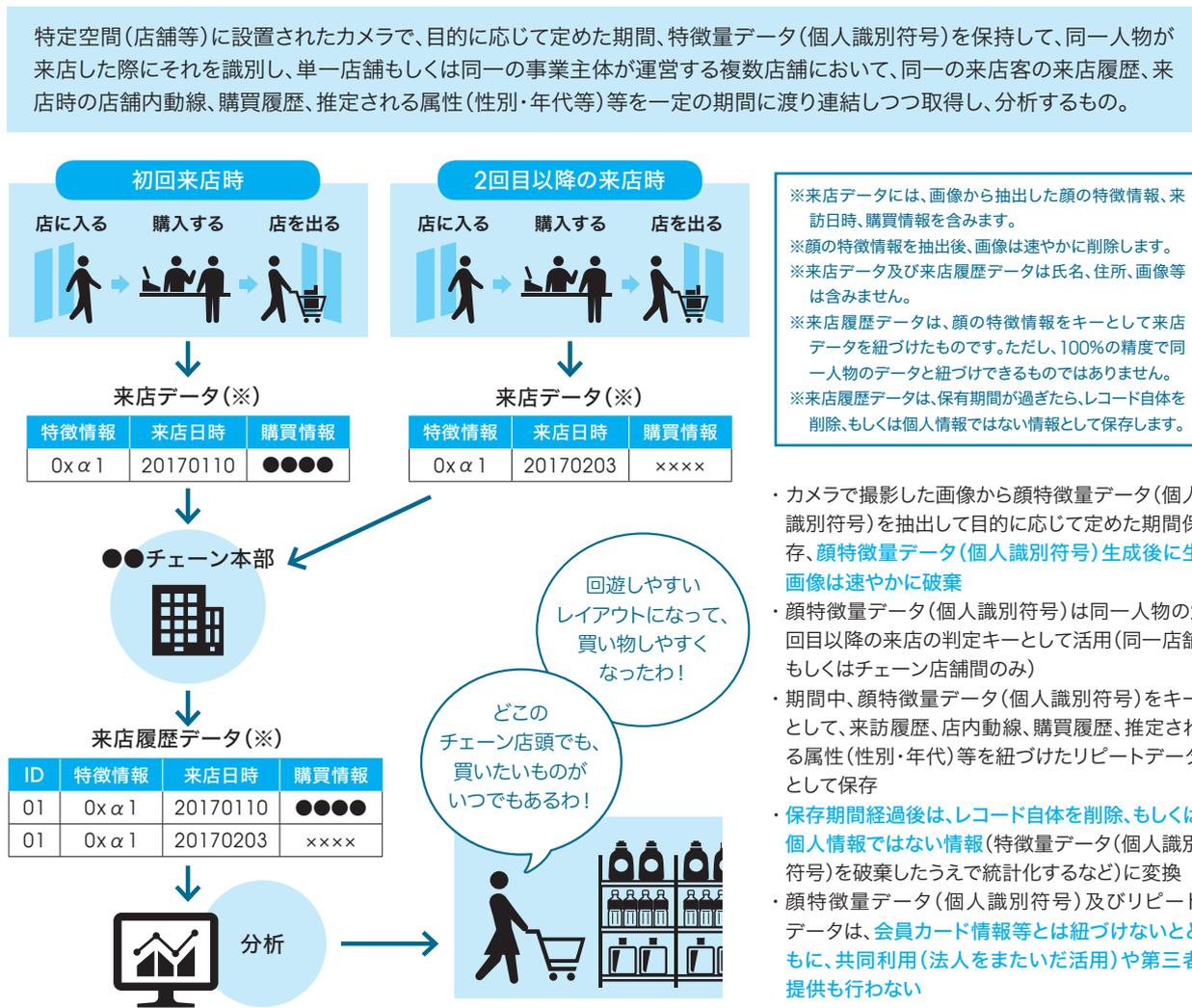
※61 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/detakatuyo_wg/dai1/siryou4-1.pdf>

※62 <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/30honpen.pdf>>

産学官が連携したデータ流通に係る取組みとしては、平成27年に設立されたIoT推進コンソーシアムの「データ流通促進ワーキンググループ」が、総務省や経済産業省と共同で様々な提言等を実施している(図4-4-11)。例えばデータ流通促進WGでは、データ流通を伴うBtoB(BtoBtoCを含む)ビジネスの検討事例をもとに、個人情報の取扱いにおける注意事項など、事業者がデータ取引契約で抱える課題へのアプローチ方法が議論されている。検討結果は平成29年3月に「新たなデータ流通取引に関する検討事例集ver.1.0」として取りまとめられており、平成30年8月にはver.2.0が公表された。ユースケースごとの検討結果に加え、データの取得・加工・提供者が共通して参照可能な項目について、委員からの助言が共通意見として整理されており、業界を横断したデータ利活用に資することが期待されている。

また平成30年3月には、カメラ画像利活用サブワーキンググループにおける検討結果をもとに「カメラ画像利活用ガイドブックver2.0」が公表された。平成29年1月に公表されたver.1.0に対し、同一人物が来店した際に来店履歴や購入履歴などを分析する「レポート分析」がユースケースとして追加されており、配慮事項や全体構成が改訂されている(図4-4-12)。

■ 図4-4-12 カメラ画像利活用ガイドブックver2.0:レポート分析



出典: 経済産業省「カメラ画像利活用ガイドブックの改訂 概要」※63

※63 <<http://www.meti.go.jp/press/2017/03/20180330005/20180330005-2.pdf>>

(2) 匿名加工されたデータ

匿名加工情報とは「特定の個人を識別することができないよう個人情報を加工し、当該個人情報を復元できないようにした情報」^{※64}のことである。平成27年9月の個人情報保護法の改正により新設された制度であり、一定のルールの下で、本人の同意が不要となるパーソナルデータの利活用を促進することを目的としている。

匿名加工情報それ自体は特定の産業を対象としているわけではないが、特に注目されているのが医療分野での活用である。平成30年5月に施行された「医療分野の研究開発に資するための匿名加工医療情報に関する法律」（次世代医療基盤法）は、医療情報の取得と利活用を促進することを目的としており、匿名加工医療情報の作成を認定事業者に集約するスキームが設計されている（図4-4-13）。医療情報は要配慮個人情報に該当するため、匿名加工医療情報を第三者提供するには本人の同意が必要となるが、同法で規定されたスキームに従えば、オプトアウト手続きによる医療情報の取得と匿名加工処理された同情報の第三者提供が可能となる。

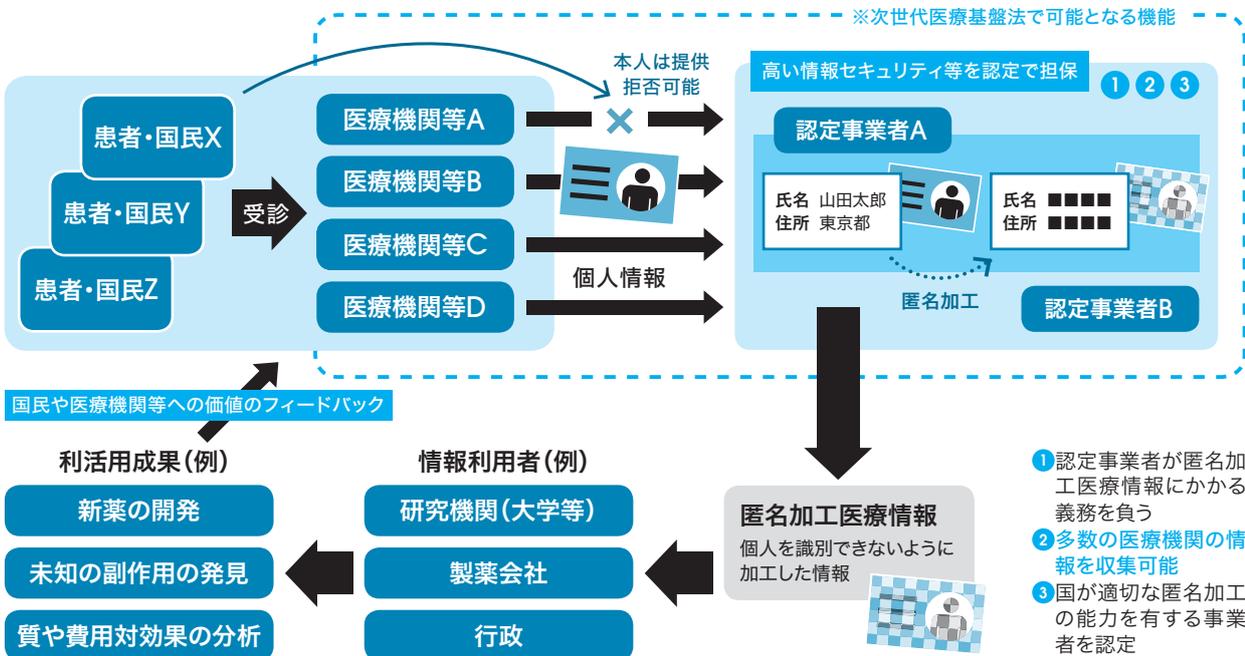
■ 図4-4-13 次世代医療基盤法の全体像

個人の権利利益の保護に配慮しつつ、匿名加工された医療情報を安心して円滑に利活用することが可能な仕組みを整備。

①高い情報セキュリティを確保し、十分な匿名加工技術を有するなどの一定の基準を満たし、医療情報の管理や利活用のための匿名化を適正かつ確実に行うことができる者を認定する仕組み（＝認定匿名加工医療情報作成事業者）を設ける。

②医療機関等は、本人が提供を拒否しない場合、認定事業者に対し、医療情報を提供できることとする。認定事業者は、収集情報を匿名加工し、医療分野の研究開発の用に供する。

【次世代医療基盤法のイメージ図】



出典：内閣官房 健康・医療戦略室「次世代医療基盤法の施行に向けた検討の状況について」^{※65}

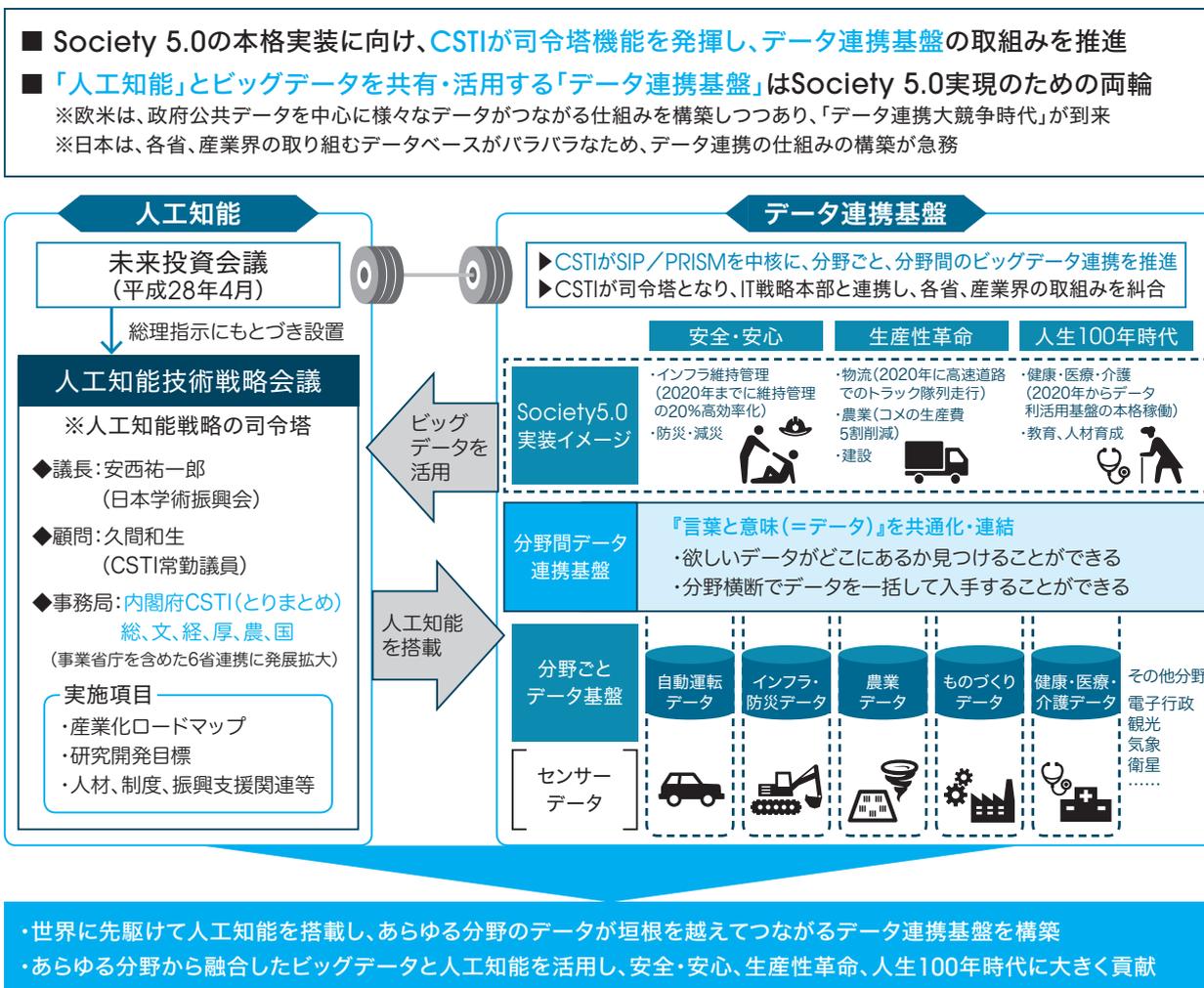
※64 出典：個人情報保護法委員会「匿名加工情報制度について」<<https://www.ppc.go.jp/personal/tokumeikakouInfo/>>（閲覧日2018/07/23）

※65 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryou/jisedai_kiban/dai5/siryou1.pdf>

(3) 個人に関わらないデータ

内閣府の総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)は、平成30年1月より「データ連携基盤サブワーキンググループ」を設置し、人工知能とビッグデータを共有・活用する「データ連携基盤」の取組みを推進している(図4-4-14)。同プロジェクトは、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)などの研究開発プロジェクトで進められていた分野内でのデータ連携の取組みを、分野間の連携にまで推し進め、分野横断的プラットフォームを構築することを目指している。連携の主な課題としては、多様なデータフォーマットなどの存在が挙げられており、データの構造や語彙の標準化が計画されている(図4-4-15)。具体的な連携対象分野としては、①防災・減災、②インフラ維持管理、③自動走行、④農業、⑤材料、⑥海洋、⑦宇宙、⑧G空間情報センター、⑨地球環境情報PF、などが予定されている。

■ 図4-4-14 データ連携基盤の整備



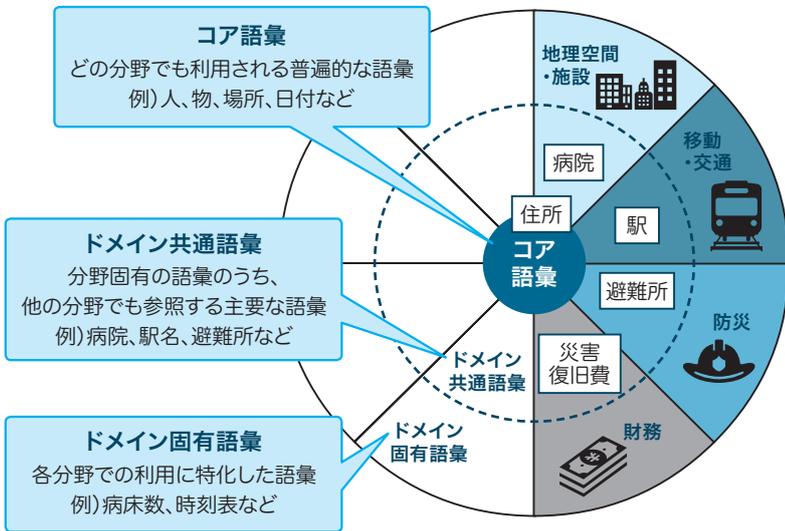
出典: 内閣府「Society 5.0の本格実装 ～データ連携基盤の整備～」※66

※66 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryu/haihui034/siryu1-5.pdf>>

■ 図4-4-15 共通語彙基盤 (IMI; Infrastructure for Multi-layer Interoperability)

分野横断でのデータ交換を目的としたフレームワーク (世界最先端IT国家創造宣言で推進)

- ・デジタル・ガバメントの基盤として取り組まれるが、将来は社会全体で活用することを前提に設計を実施
- ・米国政府の推進するNIEMと同様に、社会の中核になるコア語彙と分野別の専門分野 (ドメイン) 語彙を体系的に整理



IMIの特徴

- ・分野横断 (社会基盤のコアな情報を重点推進)
- ・グローバル連携 (EU、米国との情報交換)
- ・IoTへの配慮 (将来的な連携を視野に入れて設計)
- ・オープンデータでの活用 (社会全体のデータ活用を促進)
- ・検索性向上への配慮 (検索サービス標準の参照)
- ・既存システムへの配慮 (既存データを活かしてデータ連携時に活用)

国内の実装状況

- ・政府機関、自治体、民間で導入が開始
- ✓ 国が保有する4百万法人の情報を提供する「法人インフォメーション」でIMIを全面採用
- ✓ 埼玉県では県下市町村を含んだ広域の情報提供に導入
- ✓ 多くのオープンデータ関連プロジェクトで活用

海外との連携状況

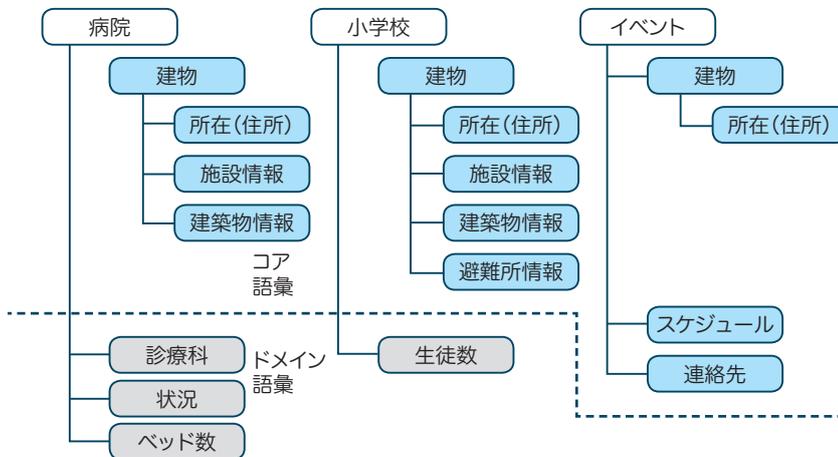
- ・EUのデータ標準プロジェクト総会に毎年参加 (講演等)
- ・米国も2年に一度情報交換
- ・行政コアデータとオープンデータを同時に進める方式は、日本独自のもので注目されている

関連プロジェクト

- ・文字の標準化
氏名、法人名、地名等を正確に交換する仕組み
- ・行政データ連携標準 (仮称) の検討
日付、住所等の社会の基本中の基本データの標準化
- ・コード整理
施設ID等の共通的に使用できるコードの整理

体制

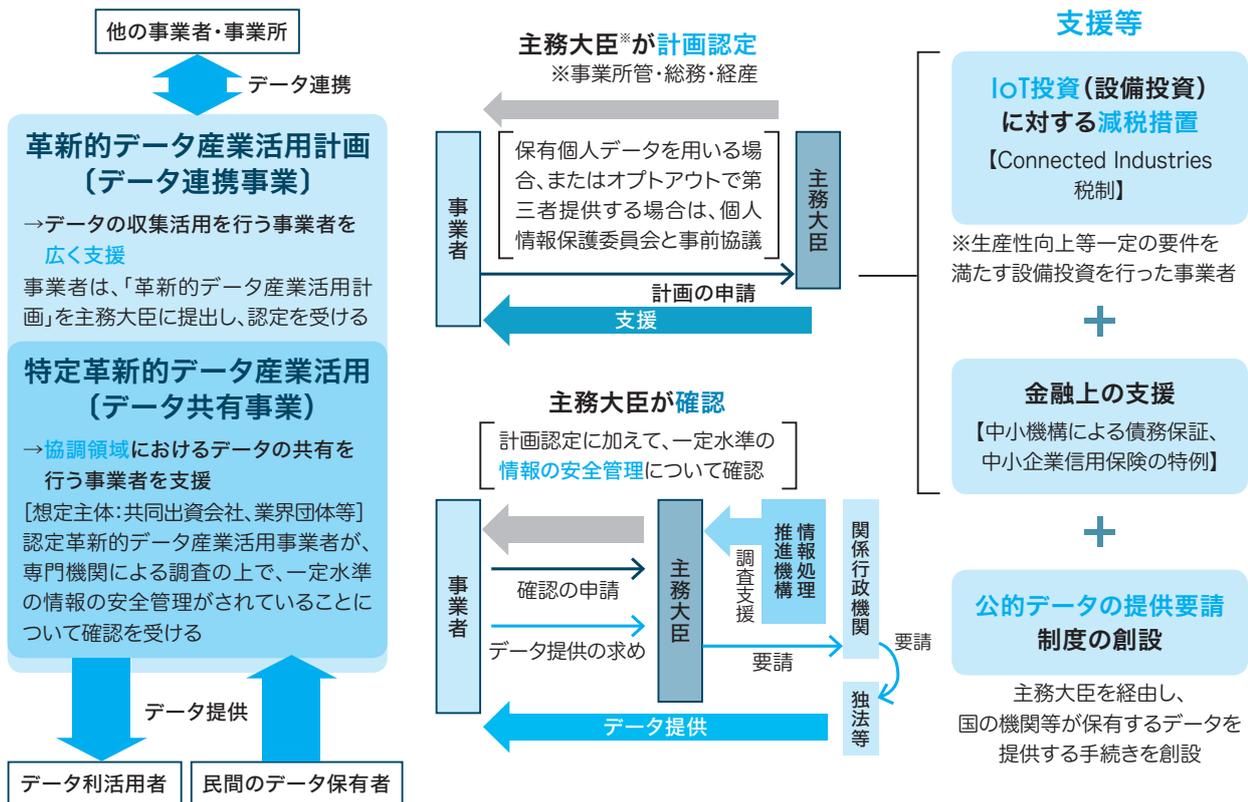
- ・創造宣言の中で取り組まれてきたが、官民データ活用推進基本法が整備されたこともあり、重点化
- ・IT総合戦略室が経済産業省、情報処理推進機構と推進



出典：内閣府「Society 5.0実現に向けたデータ連携基盤 現状と課題」※67

※67 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/datarenkei/1kai/siryu3.pdf>>

■ 図4-4-17 産業データ共有事業の認定制度



出典：経済産業省「『Connected Industries』関連政策の進捗等について」※71

産学官が連携したデータ流通に係る取組みとしては、前述のIoT推進コンソーシアムが、平成29年4月に「データ流通プラットフォーム間の連携を実現するための基本的事項」を公表している。同コンソーシアムは、平成29年2月より「データ連携サブワーキンググループ」を開催し、データ流通プラットフォームを提供する事業者がデータ連携のために最低限共通化すべき事項について検討してきた。その検討結果として、データカタログ(メタデータ)とカタログ用APIの整備が必要事項として整理されている。

また平成29年11月には、IoT推進コンソーシアム・総務省・経済産業省などでの検討を踏まえて、一般社団法人データ流通推進協議会が設立された。同協議会の目的は「データ提供者が安心して、かつスムーズにデータを提供でき、またデータ利用者が欲するデータを容易に判断して収集・活用できる技術的・制度的環境を整備すること等」※72であり、データ流通事業者間の相互連携の推進や、データフォーマットの整備などを行う。

◆参考文献

- [1] Article 29 Data Protection Working Party, "Guidelines on Automated individual decision-making and Profiling for the purposes of Regulation 2016/679, wp251rev.01", 2018. http://ec.europa.eu/newsroom/article29/document.cfm?doc_id=49826
- [2] European Group on Ethics in Science and New Technologies, "Artificial Intelligence, Robotics and 'Autonomous' Systems", 2018. http://ec.europa.eu/research/ege/pdf/ege_ai_statement_2018.pdf
- [3] G7, "Multistakeholder Exchange On Human Centric AI For Our Societies", 2017. <http://www.g8.utoronto.ca/ict/2017-G7-ICT-Annex2-AI.pdf>

※71 <http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/pdf/201806_progress.pdf>

※72 出典：一般社団法人データ流通推進協議会 団体概要 <<https://data-trading.org/about>>

- [4] IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems, “Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Wellbeing with Autonomous and Intelligent Systems, Version Two - Request For Public Discussion”, 2017, http://standards.ieee.org/develop/indconn/ec/ead_v2.pdf
- [5] UK Parliament Artificial Intelligence Committee, “AI in the UK: ready, willing and able?”, 2018. <https://publications.parliament.uk/pa/ld201719/ldselect/ldai/100/100.pdf>
- [6] UNI Global, “10 Principles for Ethical Artificial Intelligence”, 2017. http://www.thefutureworldofwork.org/media/35420/uni_ethical_ai.pdf
- [7] White House Office of Science and Technology Policy, “SUMMARY OF THE 2018 .WHITE HOUSE SUMMIT ON AI FOR AMERICAN INDUSTRY”, 2018. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/05/Summary-Report-of-White-House-AI-Summit.pdf>
- [8] 外務省「人工知能の未来のためのシャルルボワ・共通ビジョン(仮訳)」, 2018. <https://www.mofa.go.jp/files/000373836.pdf>
- [9] 一般社団法人日本経済団体連合会「Mission Statement - 経団連 AI 活用原則 TF」, 2018. <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/1kai/sanko1.pdf>
- [10] 内閣府「Society 5.0の本格実装 ～データ連携基盤の整備～」, 2017. <http://www8.cao.go.jp/cstp/siryu/haihui034/siryu1-5.pdf>
- [11] 内閣府「Society 5.0実現に向けたデータ連携基盤 現状と課題」, 2018. <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/datarenkei/1kai/siryu3.pdf>
- [12] 内閣府「人間中心のAI社会原則検討会議(第2回) アウトプットのレベルと今後の進め方について」, 2018. <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/2kai/siryu4.pdf>
- [13] 内閣府「人間中心のAI社会原則検討会議(第2回) 議事録」 <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/2kai/gizi2.pdf>
- [14] 内閣官房 情報通信技術総合戦略室「AI、IoT時代におけるデータ活用ワーキンググループ中間とりまとめの概要」, 2017. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/data_ryutsuseibi/dai2/siryu1.pdf
- [15] 内閣官房 情報通信技術総合戦略室「データ流通・活用に関する動向」, 2018. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/detakatuyo_wg/dai1/siryu3.pdf
- [16] 内閣官房 健康・医療戦略室「次世代医療基盤法の施行に向けた 検討の状況について」, 2018. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryu/jisedai_kiban/dai5/siryu1.pdf
- [17] 経済産業省「カメラ画像利活用ガイドブックの改訂 概要」, 2018. <http://www.meti.go.jp/press/2017/03/20180330005/20180330005-2.pdf>
- [18] 経済産業省「空の産業革命に向けたロードマップ2018」, 2018. http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/2018kaiteiroadmap.pptx
- [19] 経済産業省「「Connected Industries」関連政策の進捗等について」, 2018. http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/pdf/201806_progress.pdf
- [20] 警察庁「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン」, 2016. <https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/gaideline.pdf>
- [21] 国土交通省「自動運転車の安全技術ガイドライン(案)」, 2018. [http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000175363\(閲覧日2018/08/15\)](http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000175363(閲覧日2018/08/15))
- [22] 厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 報告書」, 2017. <https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000169230.pdf>
- [23] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用戦略推進会議「世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」, 2018. https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/digital_sengen_honbun_2018.pdf
- [24] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用戦略推進会議「官民ITS構想・ロードマップ2018」, 2018. [https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryu9.pdf\(閲覧日2018/08/15\)](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryu9.pdf(閲覧日2018/08/15))
- [25] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用戦略推進会議「『自動運転に係る制度整備大綱』の基本方針」, 2017 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/jidousoukou/dai4/siryu2.pdf>
- [26] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用戦略推進会議「自動運転に係る制度整備大綱(案)」, 2018. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/dai73/siryu1_1_1.pdf
- [27] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用戦略推進会議「自動運転に係る制度整備大綱」, 2018. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180413/auto_drive.pdf
- [28] 総務省「IoT/ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方 第四次中間答申」, 2017. http://www.soumu.go.jp/main_content/000497674.pdf
- [29] 総務省「AIネットワーク社会推進会議 報告書2018」, 2018. http://www.soumu.go.jp/main_content/000564147.pdf
- [30] 総務省「平成30年版 情報通信白書」, 2018. <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/30honpen.pdf>
- [31] 総務省「「情報銀行」の社会実装に向けた取組」, 2018. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/detakatuyo_wg/dai1/siryu4-1.pdf
- [32] 日本経済再生本部「2017 年度 自動走行 公道実証プロジェクト一覧」 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/jidousoukou/dai1/siryu4.pdf>

※記載ない場合の閲覧日は2018年7月23日

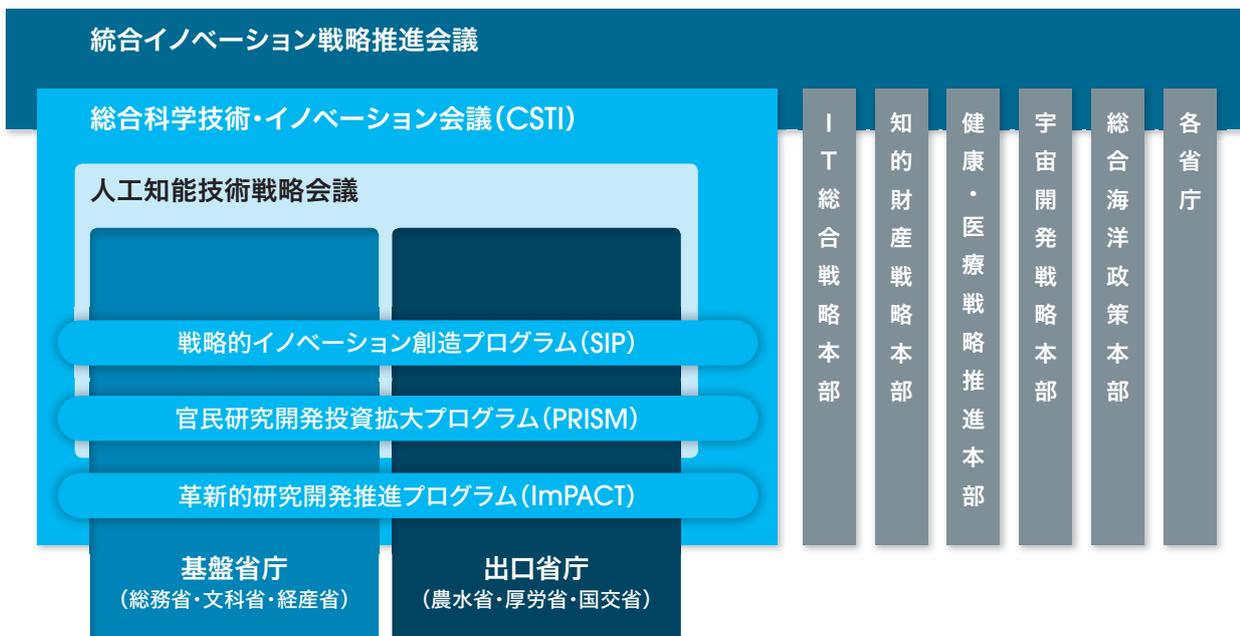
4.5 ▷ 国内の政策動向

内閣府が平成30年度の経済財政政策の基本方針を示した「経済財政運営と改革の基本方針2018」（骨太の方針2018）では、潜在成長率の引き上げや重要課題への取組みとして、未来社会のビジョンSociety 5.0の実現が目標として掲げられている。また、平成30年度の成長戦略を示した「未来投資戦略2018」においても、第4次産業革命の技術革新を活かして、Society 5.0を実現することが目標に掲げられている。

AI技術はSociety 5.0を構築するための基盤技術の一つ^{*73}であり、同ビジョンを実現するための規制改革や、研究開発及び投資・イノベーションを推進する政策とは不可分な関係にある。

近年のAIに関する国内政策は、研究開発から社会実装まで一貫通した取組みが志向されており、産学官を横断した施策や会議体の縦横連携が拡大している。その中で中心的な役割を担うのが、①統合イノベーション戦略推進会議、②総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）、③人工知能技術戦略会議の3つの会議体である（図4-5-1）。

■ 図4-5-1 国内のAI政策における府省庁連携体制



出典：各種公開情報をもとに作成

本節では、これらの会議体を中心に、国内の政策動向を解説する。まず、政府横断の取組みとして、統合イノベーション戦略の概要とAI政策の基本方針を整理する。次に、AIの研究開発と社会実装に向けた具体的な取組みとして、人工知能技術戦略会議の動向を解説する。最後に、AI技術に関係の深い6つの省庁（総務省、文部科学省、経済産業省、農林水産省、厚生労働省、国土交通省）について、各省ごとの基本方針と具体的な取組みを紹介する。関連する法制度の規制改革については、本章「4.4 制度改革」を参照されたい^{*74}。

※73 Society 5.0のビジョンを示した第5期科学技術基本計画では、AI技術は「超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要な基盤技術」に位置づけられている。同基盤技術には他に、サイバーセキュリティ、IoTシステム構築、ビッグデータ解析、デバイスなどが含まれている。

※74 AIの社会実装の前段階として、デジタル化やデータ利活用の推進が検討されている。

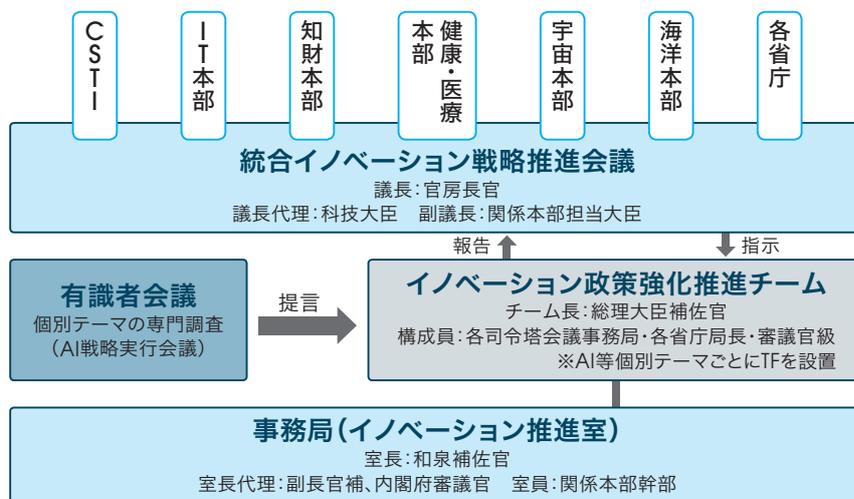
4.5.1 統合イノベーション戦略、同推進会議による政府横断の取組み

内閣府の総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)は、現在の我が国の科学技術政策の基本計画を定めた「第5期科学技術基本計画」(第5期基本計画)^{*75}を所管しており、年度ごとに重点分野を定めた「科学技術イノベーション総合戦略」^{*76}を策定している。第5期基本計画の折り返し点である平成30年6月には、これまでの計画や総合戦略を評価し、今後とるべき取組みを示した「統合イノベーション戦略」^{*77}が閣議決定された。

それにもとづき、イノベーションに関連が深い司令塔会議である総合科学技術・イノベーション会議、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部、知的財産戦略本部、健康・医療戦略推進本部、宇宙開発戦略本部及び総合海洋政策本部並びに地理空間 情報活用推進会議について、横断的かつ実質的な調整を図るとともに、同戦略を推進するため、内閣に統合イノベーション戦略推進会議^{*78}が設置された(図4-5-2)。AIをはじめとするイノベーションのための各種会議を有効に機能させ、政策を統合して「全体最適化」を図り、一丸となって、迅速かつ確実に実行することを目的としている。

統合イノベーション戦略推進会議には、総理大臣補佐官をチーム長とし、各司令塔会議事務局・各省庁幹部を構成員とするイノベーション政策強化推進チームが設置され、AI等個別テーマごとに有識者会議の提言をもとに施策の推進を図ることとしている。第2回(9月28日)の会議では、有識者より「AI戦略(案)全体俯瞰図」が提出され、教育改革、研究開発、社会実装の3つの視点からのAIの推進が提案された^{*79}。これを踏まえ、具体的な「政策パッケージ」の策定が開始されている^{*80}。

■ 図4-5-2 統合イノベーション戦略の推進体制



出典：統合イノベーション戦略推進会議資料及び人間中心のAI社会原則検討会議資料より作成

統合イノベーション戦略は、科学技術イノベーション創出の基礎となる「知の源泉」を構築し、それを踏まえて産学が様々な「知を創造」することにより、その知が創業や政府事業を通じて次々に社会実装されて国内外に展開される、というモデルを想定して立案されている。

「知の源泉」については、データ・情報がキーであるとして、データ基盤の重要性がうたわれている。

※75 科学技術基本計画は、原則として5カ年を1期として、予算などの数値目標や重点分野などを定めている。これまで第1期(平成8～12年度)、第2期(平成13～17年度)、第3期(平成18～22年度)、第4期(平成23～27年度)の基本計画が策定されており、第5期基本計画は平成28～32年度の計画となる。

※76 第5期基本計画に先立つ平成25年から策定されており、当初から同計画の実現を目的としていたわけではない。

※77 <http://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/tougo_honbun.pdf>

※78 <<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/dai1/sankou1.pdf>>

※79 統合イノベーション戦略推進会議資料<<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/dai2/siryu1.pdf>>

※80 人間中心のAI社会原則検討会議資料<<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/6kai/siryu1-1.pdf>>

具体的には、Society 5.0の実現に向けたデータ連携基盤の整備(図4-5-3)や、オープンサイエンスのためのデータ基盤の整備が計画されている。Society 5.0の実現に向けたデータ連携基盤の整備については、「4.4.2データ流通に係る制度改革」を参照されたい。

■ 図4-5-3 統合イノベーション戦略で示されたSociety 5.0の実現に向けたデータ連携基盤の整備

目指すべき将来像

- 安全・安心にデータを利活用等できる機能^{注1}を持ち、世界に先駆けて、AIを活用して、様々な分野のデータが垣根を越えてつながるデータ連携基盤を整備し、組織や分野を越えたデータの利活用等を通じて新たな価値を創出
- データ流通・保護に関して国際社会と共通の価値観を有し、欧米等主要各国とのデータ連携を実現することで、グローバルなデータ流通市場を創出

目標

- 分野間データ連携基盤^{注2}について、分野ごとのデータ連携基盤との相互運用性を確保しつつ、3年以内に整備、5年以内に本格稼働
- 5年以内にデータ連携基盤上において、AIによるビッグデータ解析が可能となる環境を提供

目標達成に向けた主な課題及び今後の方向性

- 分野ごとのデータ連携基盤の整備は進められてきたが、データ連携に関する政府の司令塔機能等が十分ではなかったことから、分野間データ連携基盤については未着手
- CSTI及びIT総合戦略本部が司令塔として、具体的な期限目標を設定し、関係府省庁、民間協議会等が一体となって、分野間データ連携基盤を整備
- 分野間データ連携基盤の全体設計の進展を踏まえ、相互運用性を確保しつつ、分野ごとのデータ連携基盤の整備を加速
- データ連携基盤の整備に当たっては、欧米等との相互運用性を確保しつつ、サイバーセキュリティや個人情報保護等の課題に対応する機能を確保

注1 世界最先端のサイバーセキュリティや個人情報保護等の課題に対応する機能。

注2 分野をまたいだデータを連携するための基盤。

出典：内閣府「統合イノベーション戦略」^{※81}をもとに作成

「知の創造」については、研究人材の強化やマネジメント手法の高度化が目標とされており、CSTIが所管する戦略的研究開発プログラムの今後の方向性(図4-5-4)や、大学改革等によるイノベーション・エコシステムの創出などが示されている。CSTIの戦略的研究開発プログラムは、府省庁や産学官を横断した施策としてCSTIが予算配分の権限を有しており、Society 5.0の実現に向けた我が国の科学技術イノベーション戦略の柱である。

統合イノベーション戦略において、AI技術は特に取組みを強化すべき主要分野^{※82}の一つに位置づけられており、目指すべき将来像や今後の方向性が打ち出されている(図4-5-5)。AI技術を中心としたIT人材の不足が問題視されており、レベルに応じた人材の育成・活用の指針が定められている。また、米国や中国に対する劣後について、自前主義を脱却し、産学官の英知を結集して社会実装を迅速に進めていくことの必要性が主張されている。

※81 <http://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/tougo_honbun.pdf>

※82 AI技術、バイオテクノロジー、環境エネルギー、安全・安心、農業の5分野である。

■ 図4-5-4 統合イノベーション戦略で示された戦略的な研究開発の方向性 (SIP、PRISM、ImPACT)

目指すべき将来像

- 確固たるマネジメントの下、経済・社会の様々な課題解決のための研究開発と、未来の産業創造と社会変革に向けて果敢に挑戦する研究開発とを車の両輪としてバランス良く駆動させることで、次々と知を創造し持続的なイノベーションの創出を実現

目標

グローバルベンチマーク等を踏まえつつ、目指すべき産業や社会の姿からバックキャストした研究開発目標を設定し、研究開発を戦略的に講ずることにより、イノベーションの創出を加速

<SIP:戦略的イノベーション創造プログラム>

- SIP型マネジメント^{注1}と厳格なPDCAの下、プロジェクト終了を待つことなく世界と比較して早期に成果を社会実装

<PRISM:官民研究開発投資拡大プログラム>

- PRISMの実施を通じて、政府全体の研究開発を「ターゲット領域^{注2}」に誘導するとともに、SIP型マネジメントを政府全体に横展開

<ImPACT:革新的研究開発推進プログラム>

- ImPACTの研究開発手法^{注3}を政府全体の研究開発現場に広く普及・定着させ、世界の先駆けとなる革新的な研究成果を次々と創出

目標達成に向けた主な課題及び今後の方向性

- 2014年度から開始しているSIP及びImPACTについて、「社会実装に向けた制度面の問題点・課題点のあぶり出しが必要(SIP)」「PMの支援体制や外部意見の取り込みが不十分(ImPACT)」等の課題が存在
- こうした課題・指摘を踏まえ、失敗も許容した大胆な挑戦が可能となるようImPACTの研究開発手法を改善・強化し、関係府省庁に普及・定着させるとともに、関連施策の見直し等も図りつつ、より野心的な構想の下、関係府省庁が一体となって集中・重点的に研究開発を推進する仕組みを検討し、政府全体として非連続的なイノベーションを生み出す研究開発を継続的かつ安定的に推進
- また、SIP(第2期)についても所要の改善を図りつつ、2018年度に創設したPRISMと併せて研究開発を強力に推進

※注1 プログラムディレクター(PD)の配置、明確な目標設定ときめ細かな進捗管理、一体的な産学官連携体制の構築等の特徴を備えたマネジメント方式。

※注2 民間の投資誘発効果や研究開発成果の活用による政府支出の効率化への貢献が期待される領域。「科学技術イノベーション官民投資拡大推進費ターゲット領域検討委員会」で検討を進め、2018年度に実施する3領域(①革新的サイバー空間基盤技術(AI/IoT/ビッグデータ)、②革新的フィジカル空間基盤技術(センサー/アクチュエーター/処理デバイス/ロボティクス/光・量子)、③革新的建設・インフラ維持管理技術/革新的防災・減災技術)を設定。

※注3 常識にとらわれない斬新な構想・アイデアや経済・社会的インパクトを重視した挑戦的な研究開発を推進する手法。

出典:内閣府「統合イノベーション戦略」をもとに作成 ※83

※83 <http://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/tougo_honbun.pdf>

■ 図4-5-5 統合イノベーション戦略で示されたAI技術の今後の方向性

目指すべき将来像

- これからの「読み・書き・そろばん」であるAI技術を使いこなすITリテラシー^{※1}を誰もが持ち、ヒューマンフレンドリーなAI技術を活用することで、ニーズに合った物・サービスの提供、病気にならないヘルスケア、自由で安全な移動等を実現^{※2}
- サイバーセキュリティが確保され、AI技術の社会受容が進み、産業から生活まで様々な分野で活用されることで、質の高い新たな雇用やサービスを創出

目標

<人材基盤の確立>

- 2025年までに先端IT人材を年数万人規模^{※3}、IT人材を年数十万人規模^{※4}で育成・採用できる体制を確立（関係府省庁の施策での育成規模を2018年度中に設定）
- 2032年までに初等中等教育を終えたすべての生徒がITリテラシーを獲得

<戦略的な技術開発等の推進>

- 我が国が質の高い現実空間の情報を有する分野等において、分野ごとのデータ連携基盤を活用し、AI技術の社会実装を2022年までに実現
- ロボット技術等とAI技術を組み合わせた応用開発を2018年度中に明確化し、各応用開発で設定する具体的な目標を達成
- 現在のAI技術の弱みを克服するAI基盤技術^{※5}を2018年度中までにより明確化し、その確立に向け、各研究開発で設定する目標を達成

<国際的な議論に供する人間中心のAI社会原則の策定>

- 国内のAI技術の社会受容性を高めるとともに、国際的な議論を我が国が主導

目標達成に向けた主な課題及び今後の方向性

- 研究開発から社会実装までの様々な段階で米中に後れを取っており、現状を打破するためには、
（ア）トップから一般までの全レベルでの人材不足の解消、（イ）自前主義から脱却した戦略的な技術開発等、
（ウ）AI技術の社会的受容性の向上が鍵
- 桁違いな規模での人材育成と併せ、流動性向上のために人事・給与制度改革を促進
- 分野ごとのデータ連携基盤を活用した産業から生活まで様々な分野におけるAI技術の社会実装、ロボット技術等と組み合わせた応用開発、現在のAI技術の弱みを克服する基礎・基盤的な研究開発を産学官が一体となって強力に推進
- AI技術の社会的受容性を高めるため、政府として人間中心のAI社会原則を策定
- 人工知能技術戦略をより具体化・強化する実行計画を2018年中に策定

※注1 基礎的なプログラミングやデータの適正な運用と理解を可能にする算数・数学など、AIを使いこなすうえで必要となる資質・能力。

※注2 人工知能技術戦略会議「人工知能技術戦略」（2017年3月）の産業化ロードマップでの「生産性」「健康、医療・介護」「空間の移動」の重点分野で示した目指すべき社会像から抜粋。

※注3 ビッグデータ、IoT、AI等の先端的なIT・サービスを担う人材。現状は、関係各省からの聞き取りにより内閣府（科技）で試算した結果では、年6千～7千人を育成。

※注4 就業者数に対するIT人材の割合は、日本1.8%、米国3%（IPA「IT人材白書2017」（2017年4月））。仮に、米国並みの割合にするには約70万人の追加育成が必要。現状、内閣府（科技）での試算では、年数万人を育成。

※注5 例えば、良質な少数データから学習するAI技術、従来の深層学習では困難な因果関係を説明するAI技術等。

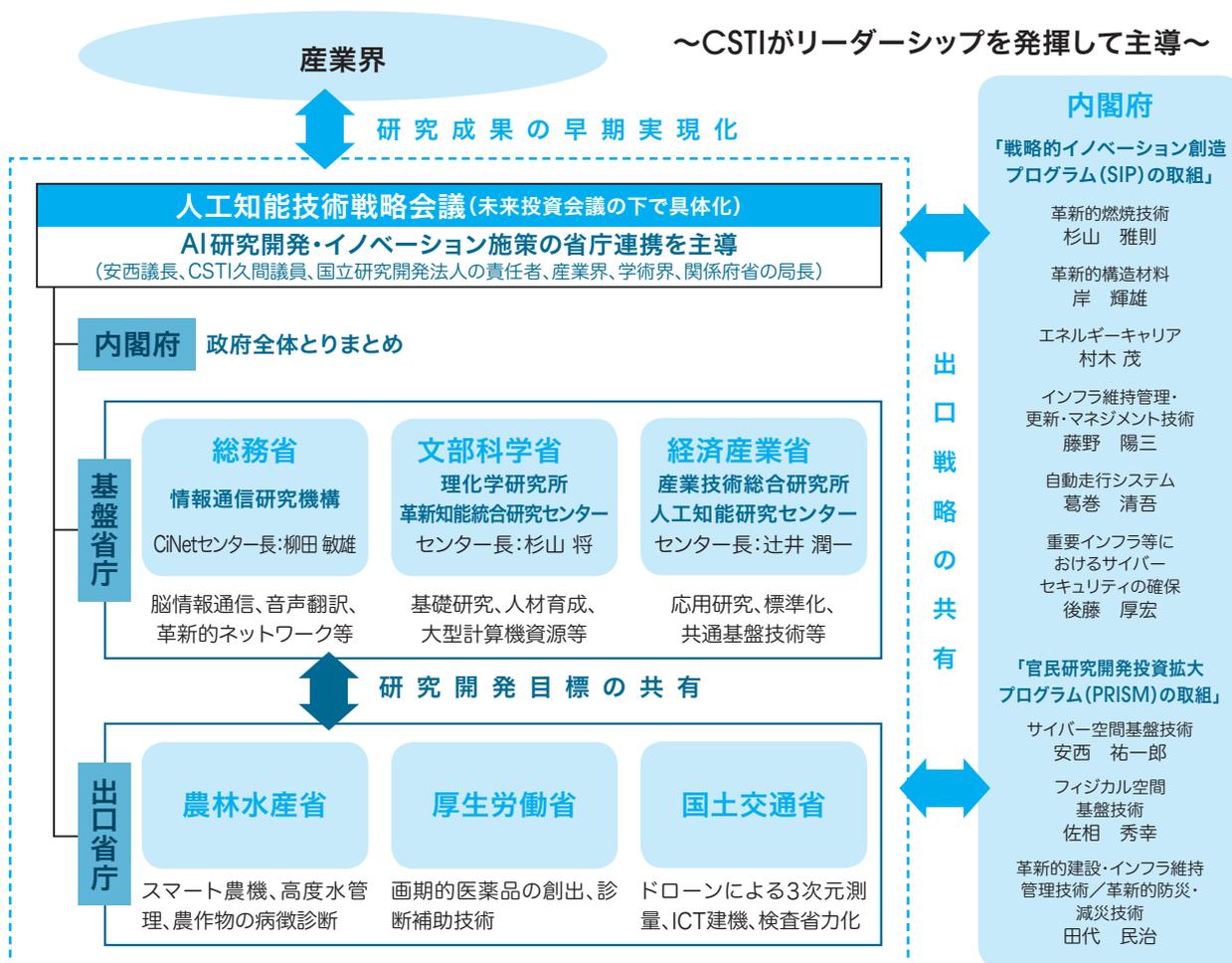
出典：内閣府「統合イノベーション戦略」をもとに作成 ※84

※84 <http://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/tougo_honbun.pdf>

4.5.2 人工知能技術戦略会議による研究開発・産業連携の推進

AIの研究開発と社会実装に向けた具体的な取組みについては、CSTIの下部にある「人工知能技術戦略会議」が司令塔機能を有している。同会議は平成28年4月に開催された「未来投資に向けた官民対話」における総理指示を受けて創設された会議体であり、基盤省庁(総務省・文部科学省・経済産業省)が所管する5つの国立研究開発法人を束ねて研究開発を進めるとともに、AIを利用する側の出口省庁(農林水産省・厚生労働省・国土交通省)や内閣府と連携して、AI技術の社会実装を進めている(図4-5-6)。

■ 図4-5-6 人工知能技術戦略会議の連携体制



内閣府「政策討議(AI戦略)論点」^{※85}

人工知能技術戦略会議は、AIの研究開発から社会実装まで一貫した取組みを加速させるべく、平成29年3月に「人工知能技術戦略」を策定した。また、同戦略の取組み進捗や課題を踏まえ^{※86}、取組み内容を具体化した「人工知能技術戦略実行計画」を、平成30年8月に公表した。同計画では、人工知能技術戦略で定められた5つの施策について、統合イノベーション戦略と軌を一にするように、関係各府省庁の具体的な取組み内容が示されている(表4-5-1)。達成時期については、統合イノベーション戦略と同様、特に②人材育成への対応が急務とされている。

※85 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20180201/siryol.pdf>>

※86 詳細は、内閣府「政策討議(AI戦略)論点」を参照。<<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20180201/siryol.pdf>>

■表4-5-1 人工知能技術戦略実行計画の概要

| 目標／課題 | 主な取り組み内容 |
|---|--|
| 施策① 研究開発 「生産性」「健康・医療・介護」「空間の移動」等の重点分野を中心に、日本の強みである現場データ・ハードウェアとAI技術を組み合わせた研究開発を推進する | |
| 【社会実装】 分野ごとのデータ連携基盤も活用し、産業化ロードマップの実現に向けたAI技術の社会実装を世界に先駆けて実現する | 我が国が質の高い情報を有する分野や社会課題を克服すべき分野において、Society 5.0に向けたデータ連携基盤を活用しつつ、AI技術を社会実装する(2022年度まで) |
| 【応用開発】 ロボット技術等とAI技術を組み合わせた応用開発の内容を明確化し、具体的な目標を設定して産学官が一体となって重点的に推進する | 応用開発の内容を明確化する(2018年度中) |
| 【基礎基盤研究】 現在のAI技術の限界を突破する、我が国の次世代AI基盤技術について、AI3センターを中心に世界に先駆けて研究開発を行う | 【人と協調できるAI】 人間と対話し学習するAI、ヒューマンインタラクション等の開発(2025年度まで) |
| | 【柔軟に学習できるAI】 大量・整理された教師データによらない学習技術等の開発(2025年度まで) |
| | 【信頼できるAI】 機械学習による学習、推論結果を説明する技術等の開発(2025年度まで) |
| 施策② 人材育成 今後2025年までに達成すべき育成規模を設定し、トップから一般までの全レベルでの桁違いな規模での人材育成を行う | |
| 人材レベルごとに、2025年までに達成すべき育成規模を設定する | 関係各省のIT人材施策について、各レベルにおける現状の育成可能規模を把握のうえ、2025年までに達成すべき育成規模を設定する(2018年度中) |
| 【先端IT人材】 2020年に約5万人の不足解消を前提とすると、現状育成規模に追加して、約2万～3万人/年の育成が急務である | 【トップ】 研究開発を通じたトップレベルの人材育成(2018年度中) |
| | 【独り立ち】 AI関連のリカレント教育の拡大(2018年度中) |
| | 【見習い】 産業界と連携した情報系の学生及び社会人に対する実践的な教育プログラムの開発・普及(2018年度中) |
| | 【見習い】 工学系教育改革を通じたデータサイエンス教育の強化(2018年度中) |
| 【一般IT人材】 2020年に約30万人の不足解消を前提とすると、現状育成規模に追加して、約15万人/年の育成が必要である | 大学全学生に対する数理・データサイエンス教育の標準カリキュラム等を開発・普及(2018年度中) |
| | 基礎的ITリテラシー習得のための職業訓練の開発・実施を検討(2018年度中) |
| 【国民一般】 抜本的な対策が必要である | 新学習指導要領の着実な実施に向けた環境整備(2022年度まで) |
| | 新学習指導要領に対応した、情報科目の設定を含む大学入学共通テストの科目の再編の検討開始(2018年度～) |

(続く)

| 目標/課題 | 主な取組み内容 |
|--|--|
| 施策③ 産学官が有するデータ及びツール群の環境整備^{※1} 産学官による分野ごと/分野間データ連携基盤を整備する | |
| 【分野間データ連携基盤の整備】 Society 5.0の本格実装に向け、CSTIが司令塔機能を発揮し、データ連携基盤の取組みを推進する | CSTIおよびIT総合戦略本部を司令塔として、関係府省庁や民間協議会等との連携のもと、SIP等を活用して分野間データ連携基盤を整備し(2020年度まで)、本格稼働させる(2022年度まで) |
| 【分野ごとのデータ連携基盤の整備】 11の分野 ^{※2} について、分野間、分野ごとのデータ連携基盤の相互運用性を確保する | 各分野担当府省は、分野間データ連携基盤の全体設計の進展を踏まえつつ、当面は11の分野について、分野ごとに、ドメイン語彙、メタデータ、API等を整備し、分野間データ連携基盤との相互運用性を確保する(2022年度まで) |
| 施策④ ベンチャー支援 イノベーション創出につながる創業への支援を検討する | |
| オープンイノベーションによるベンチャー支援を強化する | 大企業がベンチャー企業へ資金面、事業面で連携・支援するためのマッチング機会を創出する(2018年度) |
| ベンチャーを担う人材を育成・確保する | I-Challenge!(ICTイノベーション創出チャレンジプログラム)にて、民間からの資金調達に難しい「死の谷」を越える段階の事業化の挑戦を支援する(2018年度中) |
| | 優れたAIベンチャー企業等をデモンストレーションによるコンテストで選定する研究公募をNEDOで実施する(2019年度中) |
| 研究開発型ベンチャーの創業に係る環境を世界最高水準に整備する | 大企業・大学等とベンチャー企業との間での対等な協業・連携や柔軟な人材の移動を促す方策を検討する 創業TFに対し、特にスピード感が求められるAI関連ベンチャーを対象とした具体的方策について検討を要請する(2018年度中) |
| 施策⑤ AI技術の開発に係る理解促進 政府としてのAI原則・ガイドラインのとりまとめ | |
| AI技術をより良い形で社会実装し共有するための基本原則となる「人間中心のAI社会原則」を策定し、G7やOECD等の国際的な議論を我が国が主導する | 人工知能技術戦略会議の下に、産学民官のマルチステークホルダーによる「人間中心のAI社会原則検討会議」を設置し、原則策定に向け、幅広い視野からの調査・検討を実施する(2018年度中) |

※注1 Society 5.0の実現に向けたデータ連携基盤の整備については、「4.4.2 データ流通に係る制度改革」を参照。

※注2 農業、エネルギー、健康・医療・介護、自動運転、ものづくり、物流・商流、インフラ、防災、地球環境、海洋、宇宙の11分野。

出典:内閣府「人工知能技術戦略実行計画(案)の概要」^{※87}及び「人工知能技術戦略実行計画」^{※88}をもとに作成

人工知能技術戦略会議の運営は、研究の総合調整を担う「研究連携会議」、研究開発と産業の連携総合調整を担う「産業連携会議」及びAI技術やAI開発等において考慮すべき倫理等を議論するための「人間中心のAI社会原則検討会議」の3つの会議体を軸として行われている。

研究連携会議には、総務省の所管する情報通信研究機構(NICT)、文部科学省の所管する理化学研究所(理研)と科学技術振興機構(JST)、経済産業省の所管する産業技術総合研究所(産総研)と新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の5センターが参画している。その中で主翼を担っているのは、NICT・理研・産総研の3センターであり、それぞれ以下の研究テーマを担当している。NICTの脳情報通信融合研究センター(CiNet)とユニバーサルコミュニケーション研究所(UCRI)では、自然言語処理、多言語音声翻訳、脳情報通信などの研究を実施している。理研の革新知能統合研究センター(AIP)では、小規模データから高精度学習が可能となる新たなアルゴリズムの開発な

※87 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/7kai/siryu2.pdf>>

※88 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/keikaku.pdf>>

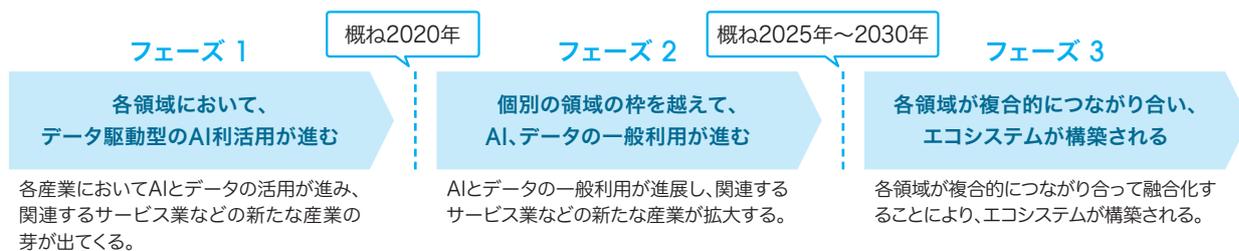
ど、基礎研究・基盤技術の研究を中心としている。産総研の人工知能研究センター(AIRC)では、それらの研究成果を産業分野へ応用する研究などを実施している。研究開発の動向については、2章「技術動向」を参照されたい。

産業連携会議は、AI技術に関する人材育成、標準化・ロードマップ作成、技術・知財動向分析、規制改革分析などを担っている。平成29年3月には、同会議での検討結果をもとに「人工知能とその他関連技術の融合による産業化のロードマップ」が策定されており、人工知能技術戦略会議の依拠する産業化ロードマップが示されている。同ロードマップは、①AI技術が他の関連技術と融合し、②様々な社会課題を解決することで^{*89}、③大きな産業へと成長する、という視点に立脚して策定されている。①については、技術面での可能性を整理したものとして、AI技術の発展段階が整理されている(図4-5-7)。②と③については、喫緊の課題かつAI技術による貢献と経済効果が大きな重点分野として、「生産性」、「健康、医療・介護」、「空間の移動」及び横断的な「情報セキュリティ」の4分野について、ロードマップが策定されている(図4-5-8)。

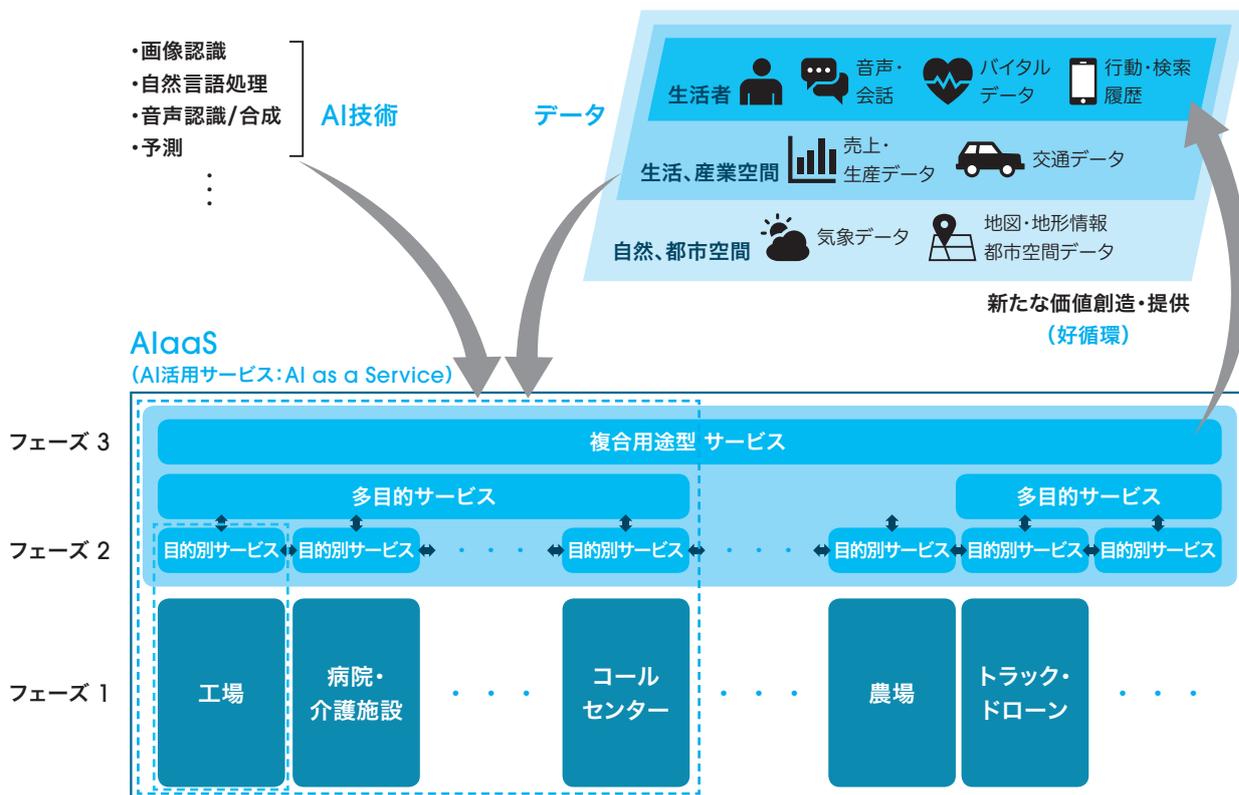
人間中心のAI社会原則検討会議は、2018年5月に設置され、AIをより良い形で社会実装し共有するための基本原則となる人間中心のAI社会原則を策定し、同原則をG7及びOECD等の国際的な議論に供するため、AI技術並びにAIの中長期的な研究開発や利活用等にあたって考慮すべき倫理等に関する基本原則について、産学民官のマルチステークホルダーによる幅広い視野からの調査・検討を行うことを目的としている。2018年度中に一定の結論を得ることを目指して、検討が進められている(詳細は、「4.3.2 我が国における「AI社会原則」の議論」を参照)。

※89 産業革命以降の過去の技術については、社会課題を解決したものが大きな産業に成長しているとして、自動車産業が例に挙げられている。

■ 図4-5-7 フェーズによるAIの発展段階の整理



※分野によって現在の状況、今後の進展が異なるため、各フェーズの年限を記していない。

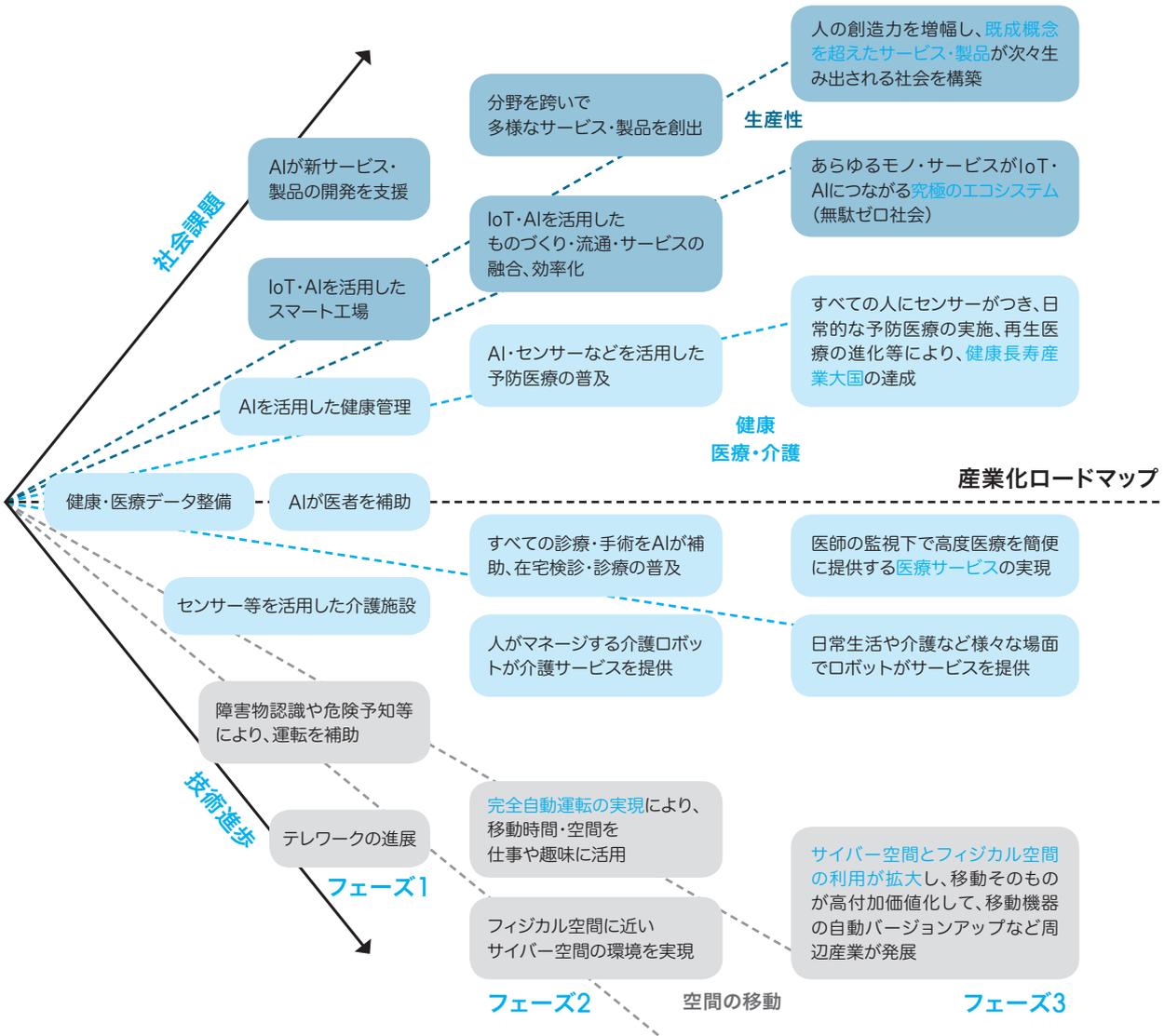


※AlaaSは、分野、国境を超えて、ボーダーレスに展開。

出典：国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」※90

※90 <<http://www.nedo.go.jp/content/100862412.pdf>>

■ 図4-5-8 AIの研究開発目標と産業化のイメージ



※公表時点における状況を踏まえた予測に基づき、技術的な観点から実現可能な時期を設定した。
 社会実装には規制・制度や社会受容性といった影響も考えられるため、実質的に異なる結果を招く不確実性がある。

出典：国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」※91

人工知能技術戦略会議では、産業化ロードマップの実現に向けて、CSTIの所管する戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 及び官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) との連携が検討されている (図4-5-9、図4-5-10)。SIPは、CSTIが府省・分野の枠を超えて自ら予算配分を行い、基礎研究から出口 (実用化・事業化) までを見据え、規制・制度改革を含めた取組みを推進するプログラムである^{※92}。PRISMは、民間の研究開発投資誘発効果の高い領域 (ターゲット領域) を定め、各府省の施策を誘導して連携を図るとともに、必要に応じて追加の予算を配分することで領域全体としての方向性を持った研究開発を推進するプログラムである^{※93}。PRISMは新型SIPとも呼称されており、既存SIPとの二本立ての施策として、CSTIによる司令塔機能を通じた相乗効果が期待されている。

※91 <<http://www.nedo.go.jp/content/100862412.pdf>>

※92 CSTIの司令塔機能の強化を目的として、同会議の創設と同時に開始されたプロジェクトである。

※93 平成30年度から始まる新規プロジェクトであり、平成28年12月にCSTIと経済財政諮問会議が合同で取りまとめた「科学技術イノベーション官民投資拡大イニシアティブ」にもとづいて創設されている。

以下に、CSTIが所管する3つの戦略的研究開発プログラムのうち、特にAI技術の活用がうたわれているものをまとめた(表4-5-2)。革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)は、実現すれば産業や社会の在り方に大きな変革をもたらす革新的な科学技術イノベーションの創出を目指し、ハイリスク・ハイインパクトな挑戦的研究開発を推進するプロジェクトである。

■表4-5-2 特にAI技術の活用がうたわれている戦略的研究開発プログラム(SIP、PRISM、ImPACT)

| 課題/ターゲット領域/研究開発プログラム | AI技術に関連の深い研究開発内容 |
|-----------------------------------|---|
| SIP：戦略的イノベーション創造プログラム（第1期） | |
| 革新的構造材料 | 理論・実験・計算・データなどのすべての科学技術を融合して、要求された性能の構造材料を短期間に設計・製造する、総合的な材料技術ツール(マテリアルズインテグレーション)の構築 |
| 自動走行システム | 自動走行システムの実用化に向け実証が必要と想定される重要5課題(ダイナミックマップ、Human Machine Interface、情報セキュリティ、歩行者事故低減、次世代都市交通)への研究開発・実証実験 |
| インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 | 情報・データベース・AIを活用したライフサイクルコスト定量化算定が可能な診断・余寿命予測解析を確立し、適切な高耐久補修・補強材料のデザインを可能とさせ、地域ニーズにもとづく長期保全計画・更新計画と投資計画をリンクさせたアセットマネジメントシステムの確立と実装 |
| レジリエントな防災・減災機能の強化 | 高精細シミュレーションと人工知能を活用した、地震被害推定手法の高度化の研究開発 |
| 次世代農林水産業創造技術 | ロボット技術・IT・ゲノム編集等の先端技術を活用し、環境と調和しながら、超省力・高生産のスマート農業モデルの実現。自動化技術・データサイエンスなどによる超省力・高生産で環境変化に強い新たな水田農業の実現 |
| 革新的設計生産技術 | 新技術の社会実装をAI(人工知能)の支援によりナビゲート、技術マッチングするシステムの開発。メーカーの技術者や大学・政府機関などの研究者、学生が抱える「技術課題」をトリガーとして、「技術探索者」と、個人から大企業までの広範な「技術提供者」とのマッチング機会を最大化 |
| 重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保 | 正常なシステム状態を定義し、現状と照合しながら異常を検知するアノマリ型自動学習・検知アルゴリズムの開発 |
| SIP：戦略的イノベーション創造プログラム（第2期） | |
| ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術 | 人とAIの協働に資する高度に洗練された「ヒューマン・インタラクション基盤技術」と、「分野間データ連携基盤」、「AI間連携基盤技術」を確立し、ビッグデータ・AIを活用したサイバー・フィジカル・システムを社会実装する |
| フィジカル空間デジタルデータ処理基盤 | 専門的なIT人材でなくても容易に高度なIoTソリューションを創出できるエッジプラットフォームを構築し、我が国の社会課題の解決や新たな産業の創出によるSociety 5.0の実現を目指す |
| IoT社会に対応したサイバー・フィジカル・セキュリティ | セキュアなSociety 5.0の実現に向け、様々なIoT機器を守り社会全体の安全・安心を確立するため、IoTシステム・サービス及び中小企業を含む大規模サプライチェーン全体を守ることに活用できる「サイバー・フィジカル・セキュリティ対策基盤」の開発と実証を行う |
| 自動運転(システムとサービスの拡張) | 自動運転の実用化を高速道路から一般道へ拡張するとともに、自動運転技術を活用した物流・移動サービスを実用化することで、交通事故低減、交通渋滞の削減、過疎地等での移手段の確保や物流業界におけるドライバー不足等の社会的課題解決に貢献し、すべての国民が安全・安心に移動できる社会を目指す |
| 統合型材料開発システムによるマテリアル革命 | 産学官で取り組んできたマテリアルズインテグレーション(MI)を活かし、材料工学と情報工学の融合で材料開発手法を刷新。世界に先駆けて、欲しい性能から材料・プロセスをデザインする「逆問題MI」を開発 |

(続く)

※94 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/6kai/siryos3-1.pdf>>

※95 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/prism/aboutprism.pdf>>

| 課題/ターゲット領域/研究開発プログラム | AI技術に関連の深い研究開発内容 |
|-----------------------------------|--|
| SIP：戦略的イノベーション創造プログラム（第2期） | |
| スマートバイオ産業・農業基盤技術 | バイオとデジタルの融合、多様で膨大なデータの利活用により、農林水産業等の生産性革命・競争力の強化、食による健康増進社会の実現、生物機能を活用したものづくりによる持続可能な成長社会の実現を目指す |
| 国家レジリエンス（防災・減災）の強化 | 衛星・AI・ビッグデータ等を利用する国家レジリエンス強化の新技术を研究開発し、政府と市町村に実装することにより、政府目標達成に資するとともに、災害時のSociety 5.0の実現を目指す |
| AI（人工知能）ホスピタルによる高度診療・治療システム | AI、IoT、ビッグデータ技術を用いた「AIホスピタルシステム」を開発・構築・社会実装することにより、高度で先進的な医療サービスを提供するとともに、医療機関における効率化を図り、医師や看護師などの医療従事者の抜本的な負担の軽減を実現する |
| スマート物流サービス | サプライチェーン全体の効率性・生産性の向上のために、データを蓄積・解析・共有するための「物流・商流データプラットフォーム」を世界に先駆けて構築するとともに、その有効性を実証し、社会実装にめどを付ける。また、新技术（IoT、BD、AI等）の活用により、プラットフォームにのせる「モノの動き（物流）」と「商品情報（商流）」の“見える化”を実現して効率化を図る |
| PRISM：官民研究開発投資拡大プログラム | |
| 革新的サイバー空間基盤技術 | ビッグデータ・AIを活用した、①ヒューマンインタラクションの先端的支援技術、②超大規模非定型データの先端的処理技術、③ロボット、輸送機器、IoTシステム等の活用のための先端的制御技術、④高度なセキュリティ機能、高速通信機能等を備えた先端的ソフトウェア・システムアーキテクチャの先端的技術、⑤高度な省電力機能、高速計算・通信機能等を備えた先端的ハードウェア・システムアーキテクチャ技術の5つの柱に関する技術開発、及びそれらの実用化・事業化の開拓を推進する |
| 革新的フィジカル空間基盤技術 | フィジカル空間データ処理技術として、情報・データをフロントで解析し、活用するためのIoT分散処理システムの研究開発。センサー、端末、ロボット自体が高機能・知能化するフロントコンピューティング、及びさらにフロントを高機能・知能化させるための量子/ニューロコンピューティングとDeep Learningコンピューティングの研究開発 |
| 革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術 | ICTやAI等を活用した生産性向上技術や防災・減災技術の研究開発。それらを支えるデータベース整備・データ解析や建設生産システムのICT化等の基幹技術の研究開発 |
| ImPACT：革新的研究開発推進プログラム | |
| 脳情報の可視化と制御による活力あふれる生活の実現 | 主に医療分野で使われてきた脳画像に対し、脳の健康管理領域（Brain Healthcare）における指標化（Quotient）を進めることで、誰もが簡単に使える脳情報へと革新することを目指す（BHQ構想）。脳と心の社会的課題の解決に向けて、世界で進む脳・精神疾患の治療研究や脳の機能代償としてのスマート化開発とは異なる、個々の脳の健康維持増進を目標にBMIやAIを用いた第三の道を進める |
| 量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現 | 脳における情報処理をつかさどる巨大な神経ネットワークを、系全体に広がった量子的波動関数で構成し、現代コンピューターでは処理できない大規模な組み合わせ最適化問題を高速で解く |
| 社会リスクを低減する超ビッグデータプラットフォーム | 現状のビッグデータ規模をはるかにしのぐ「超ビッグデータ」の創出・活用を可能とする「超ビッグデータプラットフォーム実現する |

出典：各プログラムのWebサイトをもとに作成※96

※96 <<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>> <<http://www8.cao.go.jp/cstp/prism/index.html>> <<http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html>>

4.5.3 基盤省庁・出口省庁の方針と動向

AIの推進においては、基盤省庁はAI技術に対する投資とイノベーションの推進、出口省庁はICTの利活用と規制改革の推進が政策の主軸となっている。例えば基盤省庁では、情報通信行政を総務省が担い、教育と科学を担う文部科学省は研究開発を推進し、産業の育成と振興を担う経済産業省が、社会実装に近い領域でのイノベーションを推進している。また出口省庁については、そもそもITの利活用が進んでいない領域も多く、AIの社会実装の前段階として、主としてデジタル化やデータ利活用の取組みが検討されている。ただし、自動運転に関する領域については、交通政策を担う国土交通省を中心として、活発な動きがある。

本項では、上記の俯瞰的見方を念頭に置き、各省のSociety 5.0の実現に向けたビジョン及び技術政策の基本方針を定めた文書などを参照し、各省における情報通信技術 (ICT) 及びAI技術の位置づけを示し、AIに焦点を定めたいくつかの取組みについて紹介する。また最後に、内閣府及び各省の公開資料をもとに、各省のAI関連の予算を概観する。

(1) 総務省

情報通信行政を担う総務省では、次世代の情報通信技術における基盤技術という視点にもとづき、研究開発から社会実装、利活用の推進から原則・指針の策定まで、幅広い政策が打たれている。同省の研究開発の基本方針は、平成26年12月18日諮問第22号「新たな情報通信技術戦略の在り方」^{※97}に対して、情報通信審議会が毎年公表している中間答申により示されている。平成29年7月に公表された第3次中間答申では、言語処理技術や脳情報通信技術などの次世代AIの社会実装と、その駆動力となる良質なデータを利活用できる環境整備の必要性がうたわれており、新たな戦略として「次世代人工知能社会実装戦略」と「次世代AI×ICTデータバリティ戦略」が打ち出された(図4-5-11)。次世代人工知能社会実装戦略では、自然言語処理技術と脳情報通信技術が融合し、マン・マシン・インターフェース技術として社会実装につながることを見据えたロードマップが策定されている(図4-5-12)。次世代AI×ICTデータバリティ戦略では、重要分野の良質なデータの戦略的確保や、異分野データの連携のための環境整備のための方策など、ICTデータバリティを推進する施策がまとめられている。

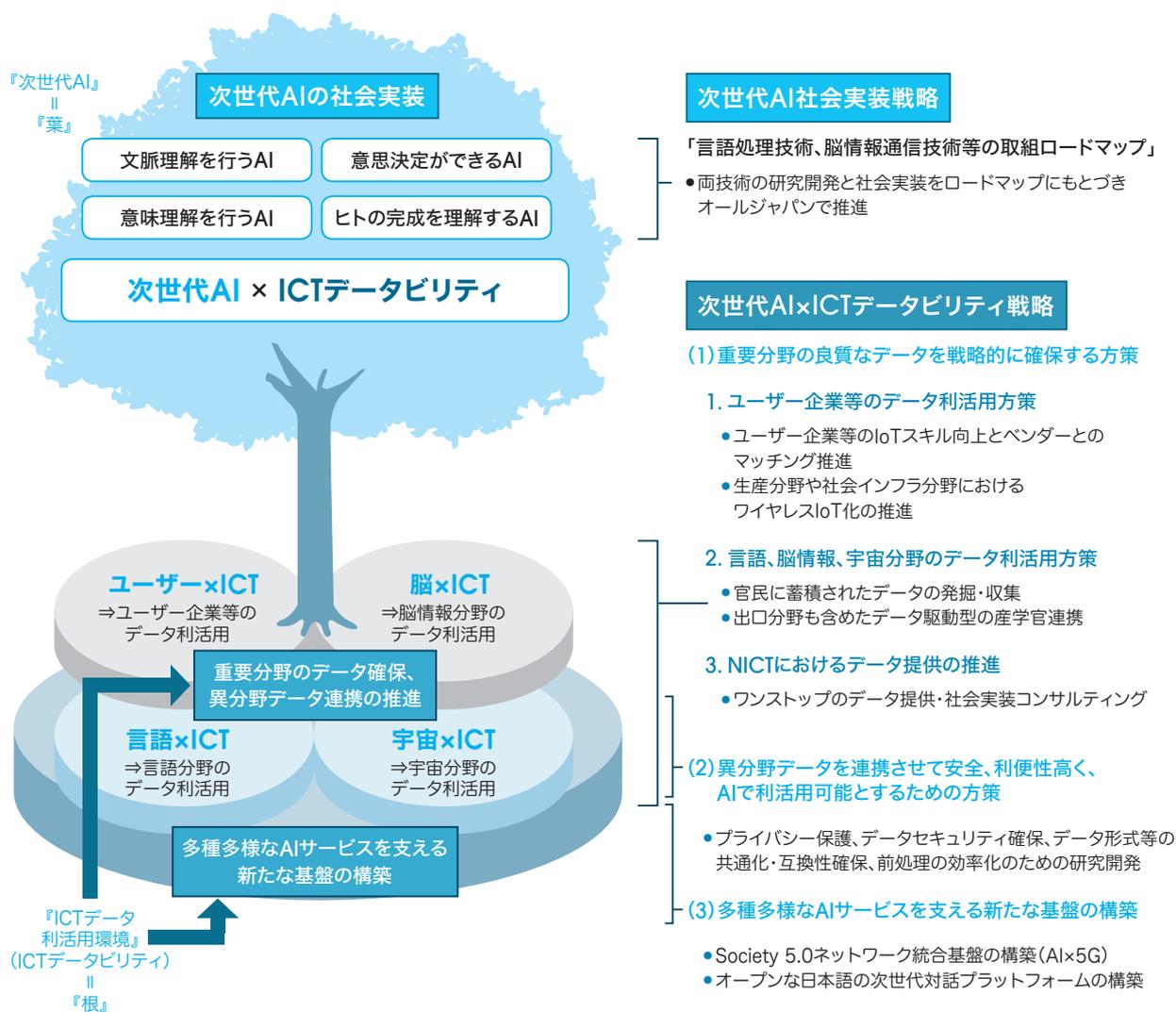
※97 答申を希望する事項として、①ICT分野における重点研究開発分野及び重点研究開発課題、②研究開発、成果展開、産学官連携等の推進方策、③その他必要と考えられる事項、の3つが挙げられている。出典：総務省「新たな情報通信技術戦略の在り方」の情報通信審議会への諮問 <http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin03_02000113.html> (閲覧日2018/07/18)

■ 図4-5-11 次世代AI×ICTデータビリティによる技術開発及び社会実装の推進方策

・ Society5.0実現に向けた熾烈な国際競争の中で、我が国社会の生産性向上と豊かで安心な生活を実現するため、NICTの最先端の言語処理技術、脳情報通信技術等の次世代AIの社会実装を図ることが喫緊の課題である。(安倍総理の指示で設置された人工知能技術戦略会議の下で、総務省は我が国の言語処理技術、脳情報通信技術等、革新的ネットワーク等の研究開発と社会実装を担当する。)

・ また、その駆動力となるユーザー企業等の多様な現場データ、言語、脳情報、宇宙等の重要分野の良質なデータを戦略的に確保するとともに、異分野データを連携させて、安全、利便性高くAIで利活用し、価値創出を図るための環境整備(「ICTデータビリティ」)を推進することが必要である。

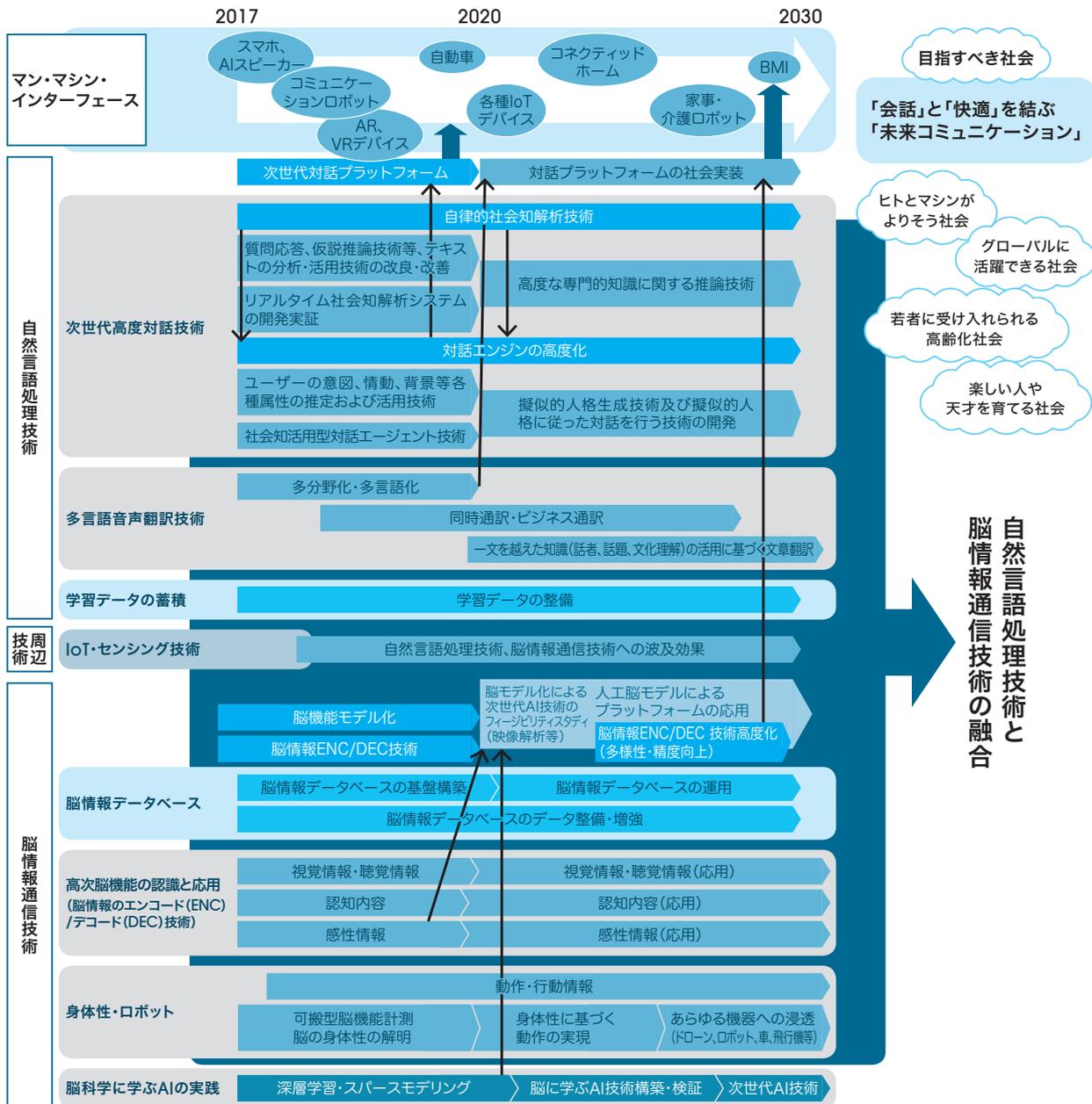
・ このため、『次世代AI社会実装戦略』、『次世代AI×ICTデータビリティ戦略』を一体的に取りまとめる。



出典：総務省「新たな情報通信技術戦略の在り方 第3次中間答申(概要)」※98

※98 <http://www.soumu.go.jp/main_content/000497846.pdf>

■ 図4-5-12 次世代AI社会実装戦略 取組みロードマップ



出典:総務省「新たな情報通信技術戦略の在り方 第3次中間答申(概要)」※99

総務省の具体的な取組みは、平成28年10月に設立された「AIネットワーク社会推進会議」において行われている。同会議は総務省内の研究会の一つであり、社会全体におけるAIネットワーク化の推進に向けた社会的・経済的・倫理的・法的課題の総合的な検討を目的としている。総務省情報通信政策研究所が平成28年2月から6月まで開催していたAIネットワーク化検討会議を前身としており、これまでにAI開発原則やAI利活用原則を策定している(同会議の動向や策定された原則の内容については、本章「4.3 AIに関する原則、ガイドライン等」を参照)。

また平成29年4月には、AI分野のオープンイノベーション拠点として「知能科学融合研究開発推進センター(AIS)」が設立された。AISでは、学習データを共有・提供する「AIデータテストベッド」

※99 <http://www.soumu.go.jp/main_content/000497846.pdf>

や、オールジャパン体制で翻訳データを集積する「翻訳バンク」の構築・運営などが行われている。

平成30年度予算では、AIによる要件理解等によりネットワークリソースを自動最適制御する「AIによるネットワーク自動最適制御技術等の研究開発の推進」や、ベンチャー企業や大学などの事業を支援する「I-Challenge! (ICTイノベーション創出チャレンジプログラム)」などが行われている。NICTの研究開発動向については、第2章「2.10.1 各国の研究開発の現状」を参照されたい。

(2) 文部科学省

科学技術基本計画に係る権限はCSTIに移管されたものの、同計画における文部科学省の役割は重要である。同省の平成30年度の科学技術関係予算は政府全体の54.4%^{*100}を占めており、科学研究費補助金の配分を担う独立行政法人日本学術振興会(JSPS)や、科学技術イノベーション振興の基幹を担う国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)は、いずれも同省が所管している。

具体的な取組みとしては、平成28年より「人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト」(AIPプロジェクト)が実施されている。同プロジェクトの研究開発拠点として、前述した理化学研究所に設置された「革新知能統合研究センター」は、人工知能技術戦略会議の中核をなす3センターの一つである。同センターの研究開発動向の概要は表4-5-3のとおりであるが、詳細は2章「技術動向」を参照されたい。

■表4-5-3 理化学研究所「革新知能統合研究センター」の概要

| | | |
|------|------------------------|--|
| 事業内容 | 基盤技術の開発 | 深層学習の仕組みの解明、新しい原理にもとづく次世代知能技術の創生 |
| | サイエンス研究の加速 | 再生医療、素材開発、ものづくりなど、日本が高い国際競争力を持つ分野を人工知能技術によりさらに強化 |
| | 社会問題の解決 | 高齢者ヘルスケア、防災・減災、インフラ管理などの重要課題に取り組むプロジェクトを人工知能技術で支援 |
| | 人工知能の倫理的・法的・社会的課題の分析 | 人工知能技術を日常生活に浸透させていくうえで必要となる倫理規準や法制度を議論 |
| | 人工知能研究者・データサイエンティストの育成 | 産業界の技術者や学界の学生・研究員の技術レベルの向上に貢献し、諸外国の大学・研究所との連携体制を構築 |
| 研究体制 | 汎用基盤技術研究グループ | 人工知能に関連する先鋭的な理論研究やアルゴリズム開発を統合することにより、汎用的な基盤技術を開発する |
| | 目的指向基盤技術研究グループ | 大学・研究機関、産業界との連携のもと、具体的な課題への適用に特化した基盤技術を開発し、社会的・経済的価値の創造へ貢献する |
| | 社会における人工知能研究グループ | 人工知能等が浸透する社会での倫理的・社会的課題等に対応するため、人工知能の進展が人間社会に及ぼす影響の分析と対策を行う |

出典：理化学研究所 革新知能統合研究センターのホームページをもとに作成^{*101}

また、JSTの社会技術研究開発センター(RISTEX)では、平成28年度より公募型研究開発領域「人と情報のエコシステム」^{*102}を実施している。同研究開発領域では、人間を中心とした視点でAIやロボットなどの先端情報技術を捉え直し、一般社会への理解を深めながら技術や制度を協調的に設計していくことを目指している。具体的な研究開発テーマとしては、領域全体が目指すべきアウトプットとして「共進化プラットフォーム」を主軸とし、「法律・制度」、「倫理・哲学」、「経済・雇用」、「教育」、「人間中心視点による技術開発」の6つが設定されており、社会科学の領域が広く含まれていることが特徴である。

※100 出典：内閣府「科学技術関係予算 平成30年度当初予算 平成29年度補正予算の概要について」

※101 <<https://aip.riken.jp/about-aip/>> (閲覧日2018/07/18)

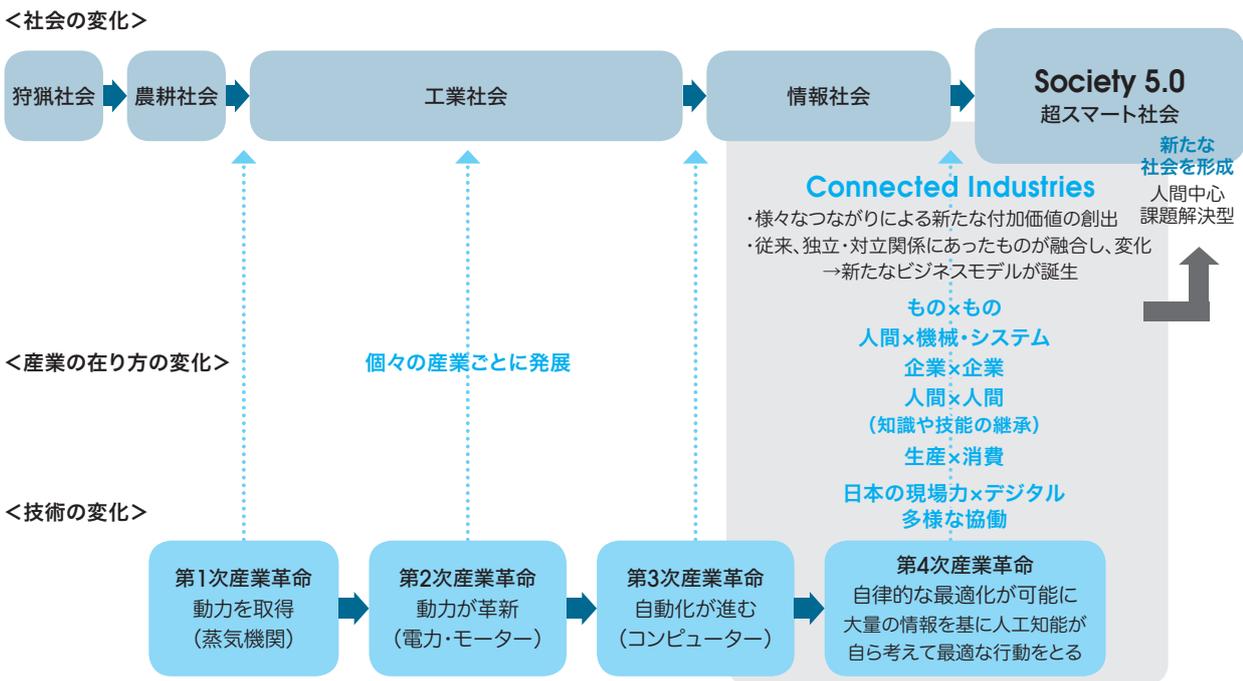
※102 人と情報のエコシステム - 社会技術研究開発センター <<https://ristex.jst.go.jp/hite/>>

(3) 経済産業省

① Connected Industries

経済産業省はSociety 5.0の実現に向けた基本方針として、平成29年5月に産業構造審議会より「新産業構造ビジョン」を公表している。同構想では、第4次産業革命による技術変化を活かし、様々なつながりにより新たな付加価値を創出する「Connected Industries」への産業構造の転換が提起されている(図4-5-13)。また、そのために打破すべき障壁として、①不確実性の時代に合わない硬直的な規制、②若者の活躍・世界の才能を阻む雇用・人材システム、③世界から取り残される科学技術・イノベーション力、④不足する未来に対する投資、⑤データ×AIを使いにくい土壌／ガラパゴス化の5点が挙げられており、研究開発より産業振興に重点を置いている。

■図4-5-13 Society 5.0につながるConnected Industries



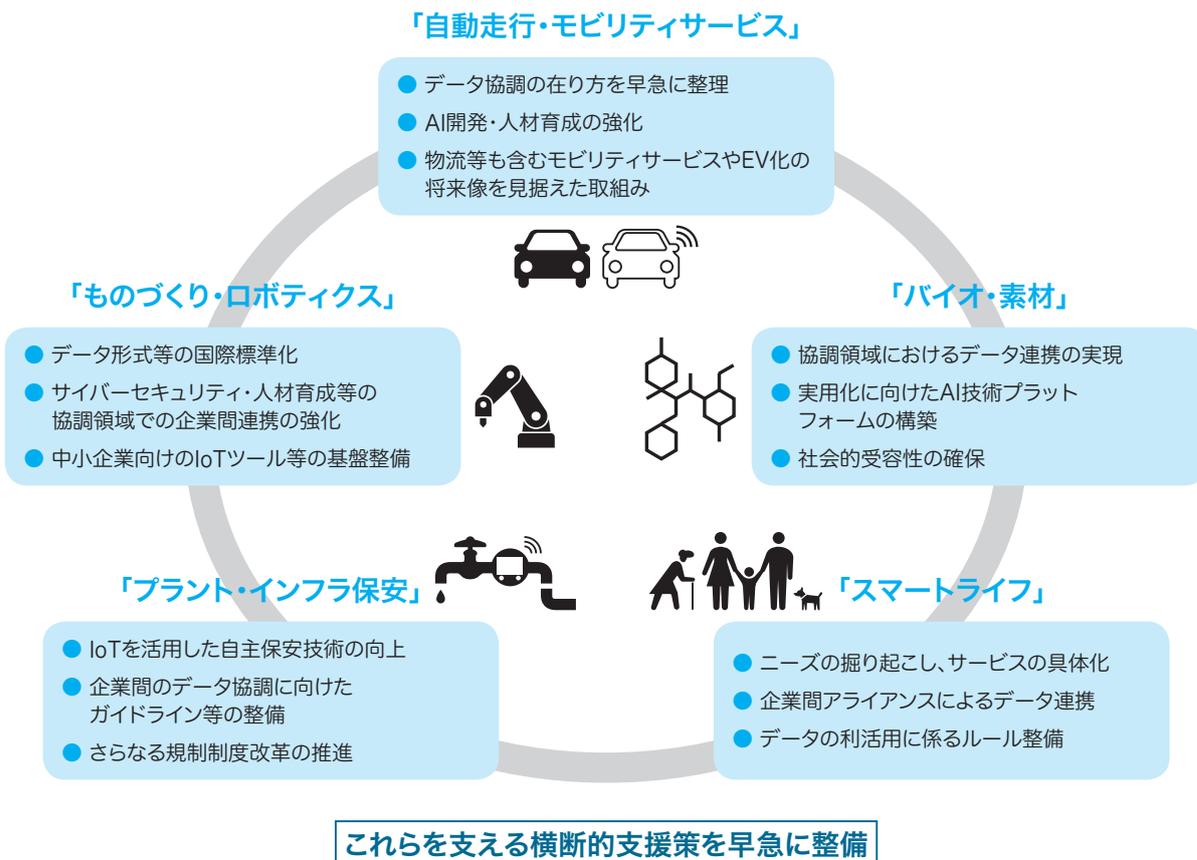
出典: 経済産業省「新産業構造ビジョン」※103

同構想では、第4次産業革命の核となるデータを巡る競争が、バーチャルからリアルへと移行していることを踏まえ、海外事業者に対して巻き返しを図るべく、リアルデータのプラットフォーム創出を主軸とした2つの基本戦略が策定されている。第一に、ものづくりの強みと課題先進国の機会を活かせる4つの戦略分野(「移動する」「生み出す・手に入れる」「健康を維持する・生涯活躍する」「暮らす」)について、それぞれ2030年代のビジョンと、実現のためのロードマップ及び関連施策が示されている。第二に、産業構造や就業構造の抜本的変革における7つの横断的課題(「ルール的高度化」「人材育成・活用システム」「イノベーションエコシステム」「社会保障システム」「地域経済・中小企業システム」「経済の新陳代謝システム」「グローバル展開」)について、対応方針や施策が示されている。

2017年10月には、同構想を踏まえ、我が国の産業が目指すべき姿(コンセプト)として、世耕経済産業大臣より「『Connected Industries』東京イニシアティブ2017」が発表された。同コンセプトでは、同構想で示された4つの戦略分野が図4-5-14の5つの重点取組み分野に、7つの横断的課題が図4-5-15の3つの横断的な施策に整理し直されている。

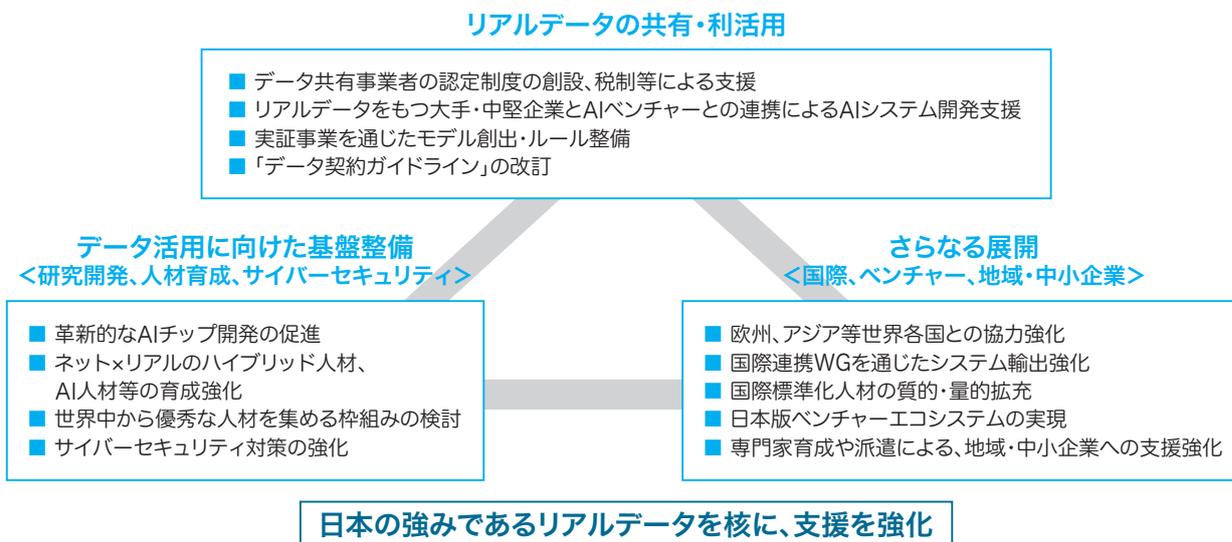
※103 <<http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-2.pdf>>

■ 図4-5-14 「Connected Industries」5つの重点取組み分野



出典：「Connected Industries」東京イニシアティブ2017※104

■ 図4-5-15 「Connected Industries」の横断的な政策



出典：「Connected Industries」東京イニシアティブ2017※104

※104 <<http://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171002012/20171002012-1.pdf>>

Connected Industriesの進捗を表4-5-4に示す。

■表4-5-4 「Connected Industries」の進捗

| | 自動走行分科会 | ものづくり・ロボティクス分科会 | バイオ・素材 | | プラント・インフラ保安分科会 | スマートライフ分科会 |
|--------------------|---|--|---|---|--|---|
| | | | バイオ分科会 | 素材分科会 | | |
| 取組み概要 | 我が国の自動車産業が培ってきた、安全性に係る技術力、品質を活かし自動走行分野においても世界をリードするため、不足するデータ活用、AIシステム開発、人材育成について検討 | 日本の現場の良質なリアルデータの強みを最大化するため、民間企業のプラットフォーム間を横串でつなげ、データ利活用を最大化する仕組みの構築等を中心に検討 | 非医療分野(ものづくり/食)を中心に、バイオとデジタルの融合によるイノベーションの創出と目指すべき社会像(産業界が届けるべきバリュー)について検討 | 我が国がトップシェアを有する機能性化学品分野での強みを活かし、データ活用による新たな事業領域の創出、開発スピードの加速化等の実現により、さらなる競争力強化を目指す | 石油精製・石油化学業界のデータ共有に係る共通の課題解決や、各IoT技術実証事業の成果の共有・課題の抽出、新たな知見の共有を目的に議論 | 様々な生活データを活用した高付加価値なサービス市場の創出に向け、他社間のデータ流通を促進する環境を整備するため、必要な要件等の基本的な在り方を議論 |
| 検討の場 | 経産省・国交省共同事務局「自動走行ビジネス検討会」 | RRI(ロボット革命イニシアティブ協議会)(共同事務局) | COCN「デジタルを融合したバイオ産業戦略」PJ | 日本化学工業協会(事務局) | プラントデータ活用促進会議 | スマートホームに関するデータ活用環境整備推進事業-事業環境構築検討会(第3回) |
| 主要検討成果及び今後の取組みの方向性 | ①データ収集・利活用:安全性評価技術の強化 ②AIシステム開発:ラストマイル自動走行実証でのAIの活用 ③人材確保・育成:自動走行高度化のためのソフトウェア人材育成 | ①データ利活用の最大化に向けたデータ流通の仕組み ②国際標準化、サイバーセキュリティ ③人材育成、研究開発 ④中小企業支援 | ①産業界と公的機関のデータ利活用/公的機関のさらなる連携・融合 ②革新的バイオ素材・高機能品開発/循環型社会の実現 ③食による健康増進・未病社会の実現 | ①製品・未活用技術データの共有プラットフォームの構築 ②AI活用型素材開発のための標準データフォーマット・AIツールの整備 | ①プラント設備の損傷・腐食等に係る予測モデルの開発とデータ共有の仕組みの構築 ②プラント保安分野に特化したガイドライン等の整備 | ①多様なユースケースの創出 ②サービス事業者の参画に対応した他社間連携に必要な要件の深堀り |
| 横断的取組み | 1. 「産業データ共有事業の認定制度」の創設:2018年5月16日成立、6月6日施行。 2. データ提供要請制度:検討中。 3. データの不正取得等に対する救済措置の創設-不正競争防止法(平成30年改正)-:2018年5月23日成立。 4. IoT投資の抜本強化(コネクテッド・インダストリーズ税制の創設):2018年5月23日成立、6月6日施行。 5. AI・データの利用に関する契約ガイドライン:2018年6月15日公表。 6. 産業データ活用促進事業(平成29年度補正予算事業):予算額:18億円(定額補助、数千円~最大3億円、約20件) 7. AIシステム共同開発支援事業(平成29年度補正予算事業):予算額24億円(2/3定率補助、最大2億円、約10~20件) | | | | | |

出典:「Connected Industries」関連政策の進捗等について※105

②その他の取組み

総務省と経済産業省はともに、横断的データ利活用のプラットフォーム創出を政策の根幹に据えているが、情報通信技術の所管省庁として他省庁との連携を図る前者に対し、後者は制度改革を含めた産業構造の転換を掲げて横断的施策を打ち出している。具体的な制度改革としては、平成30年6月には「生産性向上特別措置法」が施行されており、プロジェクト型「規制のサンドボックス」制度が創設されている。詳細は本章「4.4 制度改革」を参照されたい。

経済産業省は平成30年6月にConnected Industriesの横断的取組みとしても挙げられている

※105 <http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/pdf/201806_progress.pdf>

「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」を公表した。同ガイドラインは平成29年5月に公表された「データの利用権限に関する契約ガイドライン」の改訂版であり、データの取引に係る類型・分野ごとのユースケースを大幅に拡充するとともに、AIの開発・利用に係る契約モデルなどが新たに整備されている。AIソフトウェア開発については、概して生成されるモデルの内容や性能が契約時には不明瞭であるというAI技術の特性を踏まえ、試行錯誤を繰り返しながら納得できるモデルを生成するという「探索的段階型」のモデルが示されている（詳細は本章「4.3.2 我が国における『AI社会原則』の議論」を参照）。

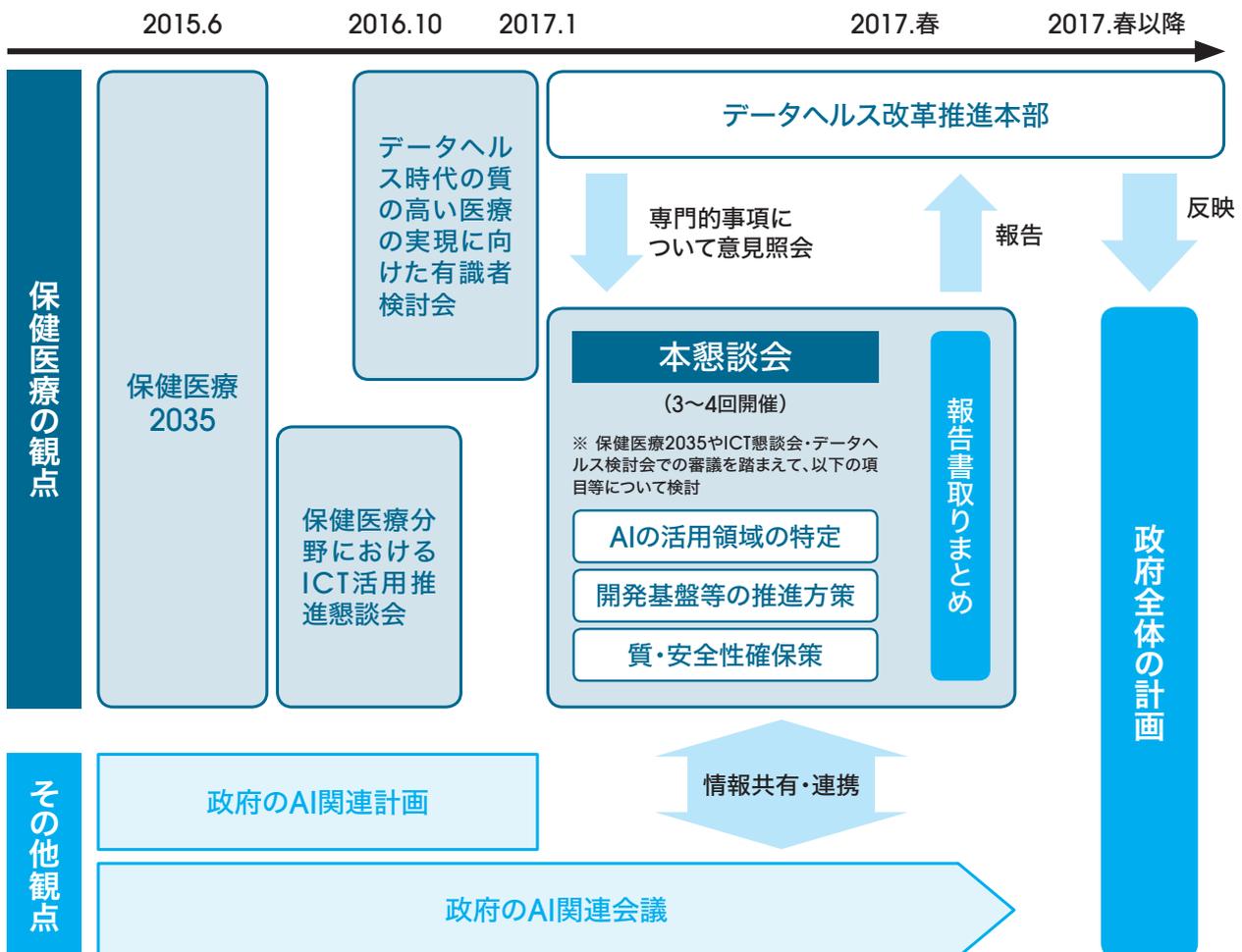
また、同省の所管する独立行政法人情報処理推進機構（IPA）では、AIの社会実装にあたり生じる課題と解決の方向性を検討するため、平成29年12月に産学官の有識者からなる「AI社会実装推進委員会」を設置している。同委員会では、AIの利用状況及びAIに関する制度・政策に関する調査を実施しており、平成30年6月には「AI社会実装推進調査報告書」として調査結果が公表されている（調査結果は、第5章「AIの社会実装課題と対策」を参照）。

平成30年度予算では、同省の所管する国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」や「高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発事業」などが実施されている（詳細は第2章「技術動向」を参照）。

(4) 厚生労働省

厚生労働省は、2035年を見据えた保険医療政策のビジョンとして、平成27年に「保険医療2035提言書」を取りまとめた。同提言では、単なる負担減と給付削減による現行制度の維持ではなく、イノベーションを活用したシステムとして保健医療を再構築することがうたわれている。また、そのビジョンを達成するために、①イノベーション環境、②情報基盤の整備と活用、③安定した保険医療財源、④次世代型の保健医療人材、⑤世界をリードする厚生労働省、の5つのインフラを整備することが重要であるとし、特に②に関しては、具体的な施策としてデータネットワークの確立が示されている。同省のAIに係る政策動向は、同提言を受けて開催された諸会議の後継である「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会」及び「データヘルス改革推進本部」が中心となっている(図4-5-16)。

■ 図4-5-16 保健医療分野におけるAI活用推進懇談会の位置づけ



出典：厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 本懇談会の位置づけ」※106

保健医療分野におけるAI活用推進懇談会では、保健医療分野においてAIを活用すべき領域や、AIの活用にあたる基盤構築、AIの有効性・安全性の確保について検討が行われた。平成29年6月に公表された報告書では、AI開発を進めるべき6つの重点領域を定め、それぞれに施策とロードマップが示されている(表4-5-5、図4-5-17)。

※106 <<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000154213.pdf>>

■表4-5-5 AI開発を進めるべき6つの重点領域：施策概要

【AIの実用化が比較的早いと考えられる領域】

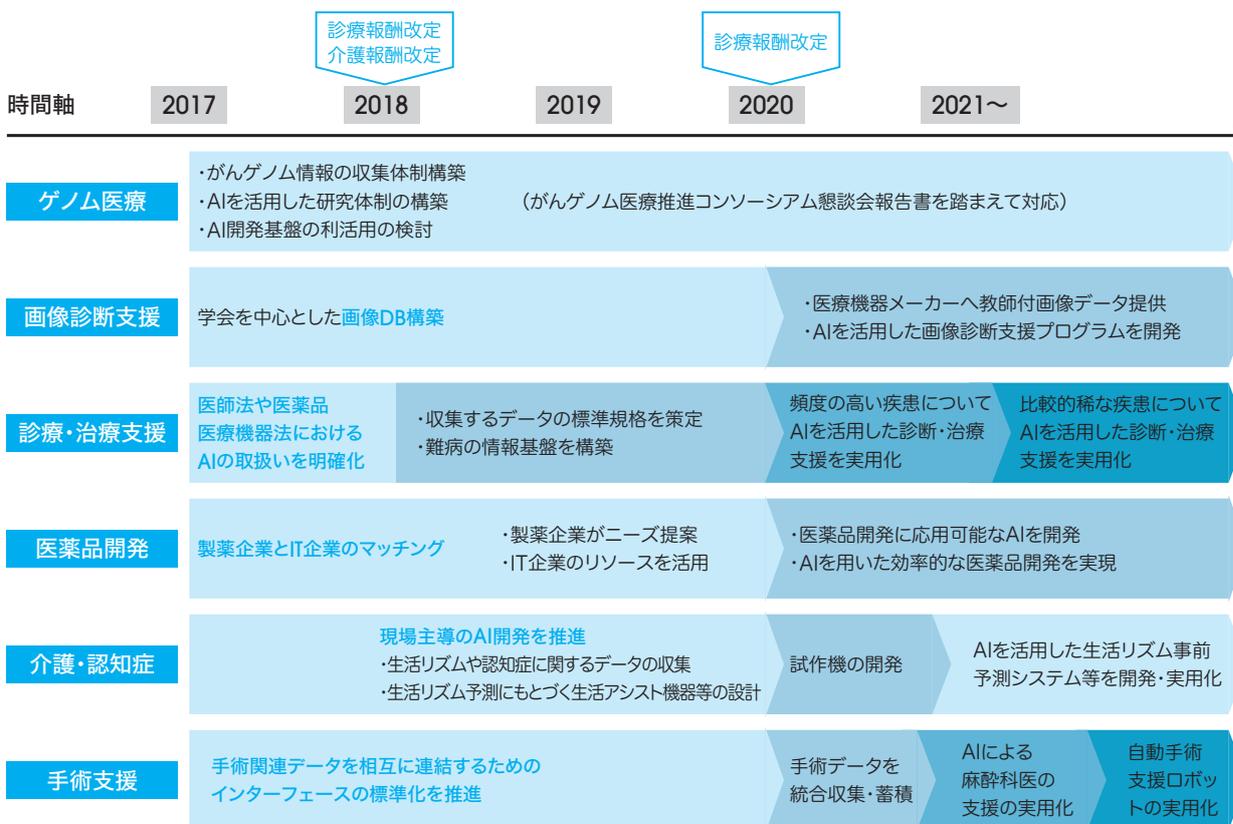
| 領域 | 我が国の強み/課題 | AIの開発に向けた施策 |
|------------------------|--|--|
| ゲノム医療 | ×欧米に比べて取組みに遅れ | ・実用化まで最も近いのは『がん』であり、実現に向けた推進体制を構築（『がんゲノム医療推進コンソーシアム』で別途検討） |
| 画像診断支援 | ○診断系医療機器について日本の高い開発能力 ○診断系医療機器の貿易収支も黒字(1,000億円) | ・病理・放射線・内視鏡等について、国内には質の高いデータが大量に存在しており、効率的な収集体制の確立が必要 → 関連学会が連携して画像データベースを構築 ・AIの開発をしやすいするため、薬事審査の評価指標の策定や評価体制の整備も実施 |
| 診断・治療支援 (問診や一般的検査等) | ×医療情報の増大によって医療従事者の負担が増加 ×医師の地域偏在や診療科偏在への対応が必要 ×難病では診断確定までに長い期間 | ・AIの開発をしやすいため、医師法上や医薬品医療機器法上の取扱いを明確化 ・各種データベース（ゲノム解析データを含む）の集約等により、難病を幅広くカバーする情報基盤を構築し、AIの開発に活用 |
| 医薬品開発 | ○日本は医薬品創出能力を持つ数少ない国の1つ ○技術貿易収支でも大幅な黒字(3,000億円) | ・健康医療分野以外でもAI人材は不足しているため、効率的なAI開発が必要（IT全体で30万人不足、うちAIで5万人不足）であり、製薬企業でもAI人材が不足 → AI人材の有効活用の観点から、製薬企業とIT企業のマッチングを支援 |

【AIの実用化に向けて段階的に取り組むべきと考えられる領域】

| | | |
|--------|---|--|
| 介護・認知症 | ×高齢者の自立支援の促進 ×介護者の業務負担軽減 | ・現場のニーズにもとづかず開発されたAI（技術指向のAI）では、現場には普及せず⇒介護現場のニーズを明確化し、ニーズにもとづく研究開発を実施 |
| 手術支援 | ○手術データの統合の取組みで日本が先行 ×外科医は数が少なく、負担軽減が必要 | ・手術時のデジタル化データ（心拍数、脳波、術野画像等）は相互に連結されていない状態で、手術行為と各種データがリンクせず、AIによる学習が困難 →手術関連データを相互に連結するためのインターフェースの標準化を実施 |

出典：厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 報告書 概要」※107

■図4-5-17 AI開発を進めるべき6つの重点領域：ロードマップ



出典：厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 報告書 概要」※108

※107 <<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000169232.pdf>>

※108 <<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000169232.pdf>>

データヘルス改革推進本部では、ICTを活用した次世代型の保健医療システムの実現に向け、具体的施策の検討が行われている。AI開発基盤に必要なデータを収集し研究者や民間等が利活用できるサービス(図4-5-18)や、ビッグデータやAIを活用したがんゲノム医療サービス(図4-5-19)などが、実現を目指すサービスとして検討対象となっている。医療画像については、厚生労働省が所管する日本医療研究開発機構(AMED)において、国立情報学研究所(NII)が構築・運用する学術情報ネットワーク「SINET5」を活用した医療画像ビッグデータのクラウド基盤の構築と、収集した大量の医療画像を解析し医師の診断を助けるAIの開発を進めている(詳細は第2章「技術動向」を参照)。

さらに、AI開発及び利活用促進に向けて幅広い視点から議論を行い、我が国にて取り組むべき事項を検討するために、保健医療分野AI開発加速コンソーシアムが開始され、平成30年7月23日に、第一回が開催された。

■図4-5-18 AI開発基盤に必要なデータを収集し、研究者や民間等が利活用できるサービス

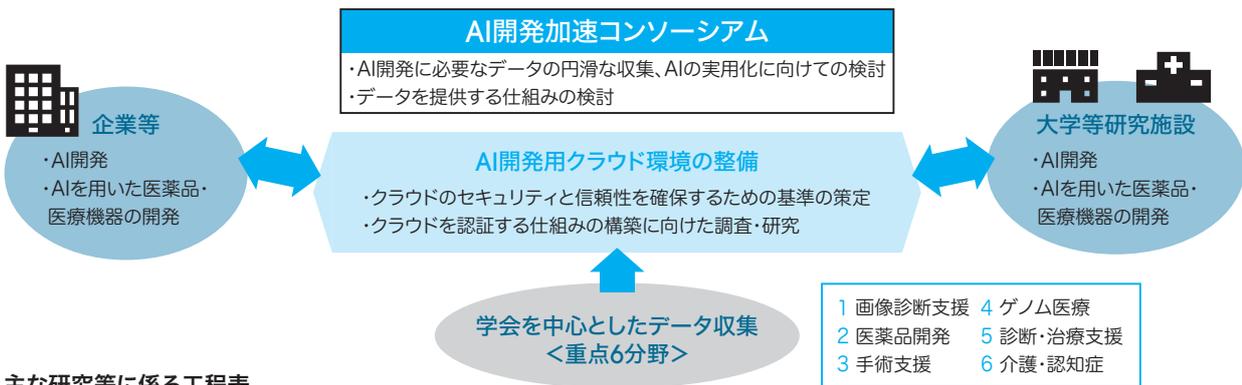
【このサービスで目指すこと】

○重点6領域(ゲノム医療、画像診断支援、診断・治療支援、医薬品開発、介護・認知症、手術支援)を中心に、AIの社会実装に向けた取組みを進めるとともに、研究者や民間等が利活用できるような、AI開発用クラウド環境を整備する。

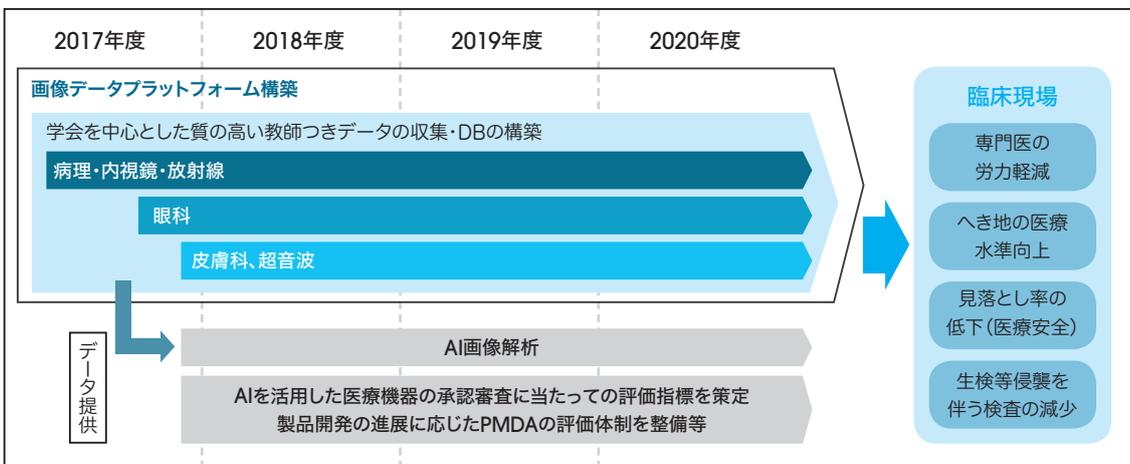
【2020年度に実現できること】

○画像診断支援における、医学会を中心とした画像データベースの構築や、医薬品開発において製薬企業とIT企業のマッチングを行う等、重点6領域を中心にAI開発基盤を整備するとともに、医療機器メーカーへの教師つき画像データの提供や、医薬品開発に応用可能なAIを開発する等、AIの社会実装に向けた取組みを進める。

【イメージ】



主な研究等に係る工程表



出典：厚生労働省「データヘルス改革で実現するサービスと工程表について」※109

※109 <<https://www.mhlw.go.jp/content/12601000/000340568.pdf>>

■ 図4-5-19 ビッグデータやAIを活用したがんゲノム医療サービス

【このサービスで目指すこと】

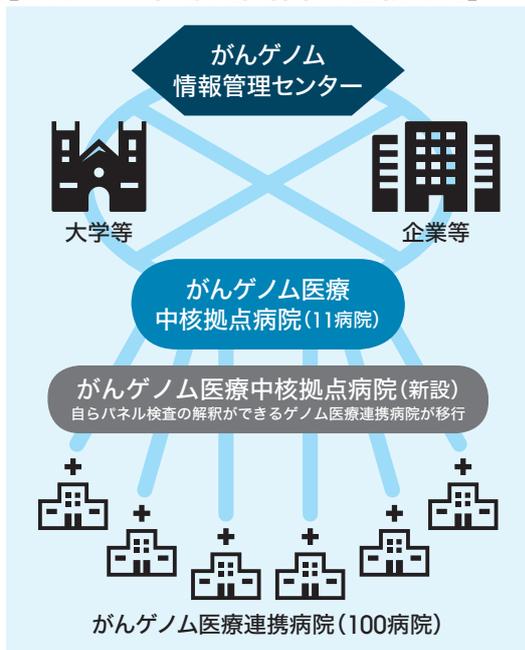
- ビッグデータやAIを活用したがんゲノム医療等を推進し、個人に最適化された患者本位のがん医療の実現を目指す。
- ゲノム情報や臨床情報を収集し分析することで、革新的医薬品などの開発を推進し、がんの克服を目指す。

【2020年度に実現できること】

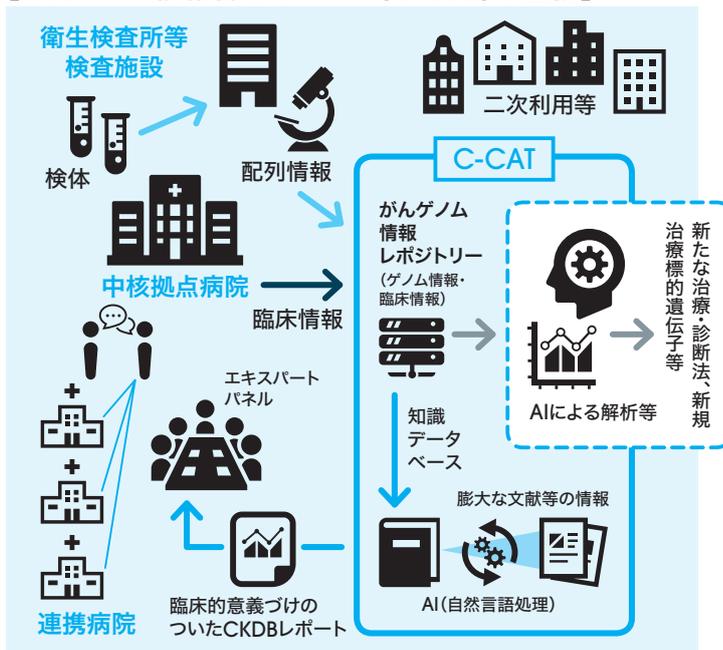
- がんゲノム医療提供体制を整備・拡充し、がんゲノム医療を広く国民・患者に届ける。
(目標:がんゲノム医療連携病院以上の機能を持つがんゲノム医療拠点病院(仮称)を新設し、すべての都道府県に設置する)
- パネル検査を用いて、ゲノム情報に基づく適切な治療や治験等を提供する。併せて全ゲノム検査や全エクソーム検査の研究開発を促進し、実用化を目指す。
- がんゲノム情報管理センターを本格始動することにより、がんゲノム情報を集約し、新たな抗がん剤の開発等に利活用する。

【イメージ】

【がんゲノム医療提供体制の整備拡充】



【がんゲノム情報管理センター(C-CAT)の整備】



出典:厚生労働省「データヘルス改革で実現するサービスと工程表について」※110

(5) 農林水産省

農林水産省は平成25年に「スマート農業の実現に向けた研究会」を立ち上げ、農業が抱える課題と人工知能やIoTの活用の可能性について整理を行い、ロボット技術や情報通信技術を活用した“スマート農業”^{※111}を推進している。また、実施すべき研究課題を整理し、「人工知能未来農業創造プロジェクト」などを通して、先端技術を有する研究機関と連携して研究開発を実施している。さらに、「スマート農業の実現に向けた研究会」における検討を踏まえて、圃場内や圃場周辺から監視しながら農業機械(ロボット農機)を無人で自動走行させる技術の実用化を見据え、安全性確保のためにメーカーや使用者が遵守すべき事項等を定めた「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」^{※112}を平成29年3月に策定した。その後、実用化が近い茶園管理ロボットの自動走行にも対応するため、ガイドラインを平成30年3月に改訂し、茶園管理ロボットの自動走行に係る危険源及び危険状態に関する整理表を追加した。

※110 <<https://www.mhlw.go.jp/content/12601000/000340568.pdf>>

※111 将来像として、①超省力・大規模生産を実現、②作物の能力を最大限に発揮、③きつい作業、危険な作業から解放、④誰もが取り組みやすい農業を実現、⑤消費者・実需者に安心と信頼を提供の5つの方向性が示されている。

出典:農林水産省「スマート農業の実現に向けた研究会 検討結果の中間とりまとめ」

※112 農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン

<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_smart_nougyo/attach/pdf/index-6.pdf>

平成30年6月には、「農林水産業・地域の活力創造プラン」を改訂し、その中で、「異業種連携による他業種に蓄積された技術・知見の活用、ロボット技術やICTを活用したスマート農業の推進、新たな品種や技術の開発・普及、知的財産の総合的な活用、生産・流通システムの高度化等により、農業にイノベーションを起こす」ことを目標にした。

平成30年6月の「骨太の方針2018」においても、スマート化は、重要課題への取組みの一つに位置づけられており^{※113}、同月「未来投資戦略2018」においても、「農林水産業のスマート化」として、「農業のあらゆる現場で、センサーデータとビッグデータ解析による栽培管理の最適化、AIによる熟練者のノウハウの伝承可能化、ロボット、ドローンによる無人化・省力化や規模拡大・生産性向上を進めるとともに、バリューチェーン全体をデータでつなぎ、マーケティング情報にもとづく生産と出荷の最適化やコストの最小化に向けた取組みを推進する。このような取組みを林業・水産業へと拡大する」とされている。

「未来投資戦略2018」の中では、AIに係る施策として表4-5-6に示すように、熟練農業者のノウハウをAIにより形式知化し移転すること、遠隔監視による農機の無人走行システムの実現、ドローンとセンシング技術やAIの組み合わせによる農薬散布、施肥等の最適化、自動走行農機等の導入・利用に対応した土地改良事業の推進など、就農者の高齢化と人材不足を課題とした取組みが挙げられている。また、「農業データ連携基盤」の本格稼働によるデータ共有の基盤整備も取り組むことになっている。

■表4-5-6 「未来投資戦略2018」におけるスマート農業の推進施策

| | |
|---|--|
| データと先端技術のフル活用による世界トップレベルの「スマート農業」の実現 | |
| <ul style="list-style-type: none"> ・農業のあらゆる現場において、ICT機器が幅広く導入される ・栽培管理等がセンサーデータとビッグデータ解析により最適化される ・熟練者の作業ノウハウがAIにより形式知化される ・実作業がロボット技術等で無人化・省力化される ・こうした現場をデータ共有によるバリューチェーン全体の最適化によって底上げする | |
| ア)データ共有の基盤整備 | <ul style="list-style-type: none"> ・「農業データ連携基盤」を来年4月から本格的に稼働 ・幅広い主体による、データの連携・共有・提供の範囲の拡大 ・農業データ連携基盤を活用した新たなサービスの創出と各基盤との連携の可能性の継続的点検 ・農業分野におけるデータ契約ガイドラインの策定 |
| イ)先端技術の実装 | <ul style="list-style-type: none"> ・国、研究機関、民間企業、農業者の活力を結集し、AI、IoT、センシング技術、ロボット、ドローンなどの先端技術の研究開発から、モデル農場における体系的な一貫通貫の技術実証、速やかな現場への普及までを総合的に推進 －遠隔監視による農機の無人走行システムの平成32年までの実現 －ドローンとセンシング技術やAIの組み合わせによる農薬散布、施肥等の最適化 －自動走行農機等の導入・利用に対応した土地改良事業の推進 －農業用水利用の効率化に向けたICT技術の活用 －スマートフォン等を用いた栽培・飼養管理システムの導入 －農業データ連携基盤を介した生育データの共有や気象データの活用等による生産性の向上 －農業者・食品事業者によるマーケティング情報、生育情報の共有等を通じた生産・出荷計画最適化 |
| ウ)スマート化を推進する経営者育成・強化 | <ul style="list-style-type: none"> ・データと先端技術の活用の主体となる経営意識の高い経営者を育成 ・データ活用や先端技術に関する専門知識をもつコンサルタントの活用 ・将来の農林水産業の担い手(農林水産高校生・大学生)に対し、先端技術の体験の場を提供 |

※113 重要課題への取組みとして、農林水産新時代の構築という項目に「AI・IoT等を活用したスマート農業の実現などにより競争力強化を更に加速させる」(p.32)との記載がある。

農業機械の自動走行については、2018年までに圃場内での自動走行システムを市販化し、2020年までに遠隔監視で無人システムを実現することが目標とされている。2018年の市販化に向けた動きとしては、上記のスマート農業研究会において「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」が策定^{*114}されている。2020年の無人システム実現に向けた動きとしては、人検知技術の評価手法や、準天頂衛星に対応した安価な受信機の開発が進められている。

具体的な研究事業としては、委託プロジェクト研究「人工知能未来農業創造プロジェクト」^{*115}がある。畜産・酪農分野では、AIを活用した家畜疾病の早期発見技術の開発や、AIやICT技術を活用した周年親子放牧による収益性が高く低コストな子牛生産技術の開発などが行われている。園芸分野では、AIを活用した施設野菜収穫ロボット技術の開発や、AIを活用した露地野菜収穫ロボット技術の開発などが行われている。

(6) 国土交通省

交通政策を所轄する国土交通省では、自動運転の実現に向けた研究開発や制度改革を主軸として、AIに係る政策が打ち出されている。同省の研究開発の基本方針は、平成29年に社会資本整備審議会交通政策審議会技術部会が公表した「第4期国土交通省技術基本計画」により示されている^{*116}。同計画は、新たな価値の創出により生産性革命・働き方改革を実現し、持続可能な社会を目指すものとして策定されており、そのための3つの柱^{*117}の一つとして「人を主役としたIoT、AI、ビッグデータの活用を基本とし、生産性の向上を図ること」が掲げられている。また、そのためのポイントとして、①新たな価値の創出と生産性革命の推進、②基準・制度等の見直し・整備、③人材の強化・育成と働き方改革の3つが示されており、特に②と③では「i-Construction」が効率化の実例として紹介されている。

i-Constructionは、同省の生産性革命本部が掲げる「生産性革命プロジェクト」の一つであり、調査・測量から施工後の維持管理にいたる、全プロセスにおける情報化を前提として、建設現場の生産性向上を目指す取組みである(図4-5-20)。平成29年には、様々な分野の産学官の連携の場として「i-Construction推進コンソーシアム」^{*118}が設立されている。

自動運転等のモビリティに係る動向については、「4.4.1 モビリティに係る制度改革」を参照されたい。

※114 農林水産省「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」の改訂について <<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sizai/180327.html>> (閲覧日2018/07/18)

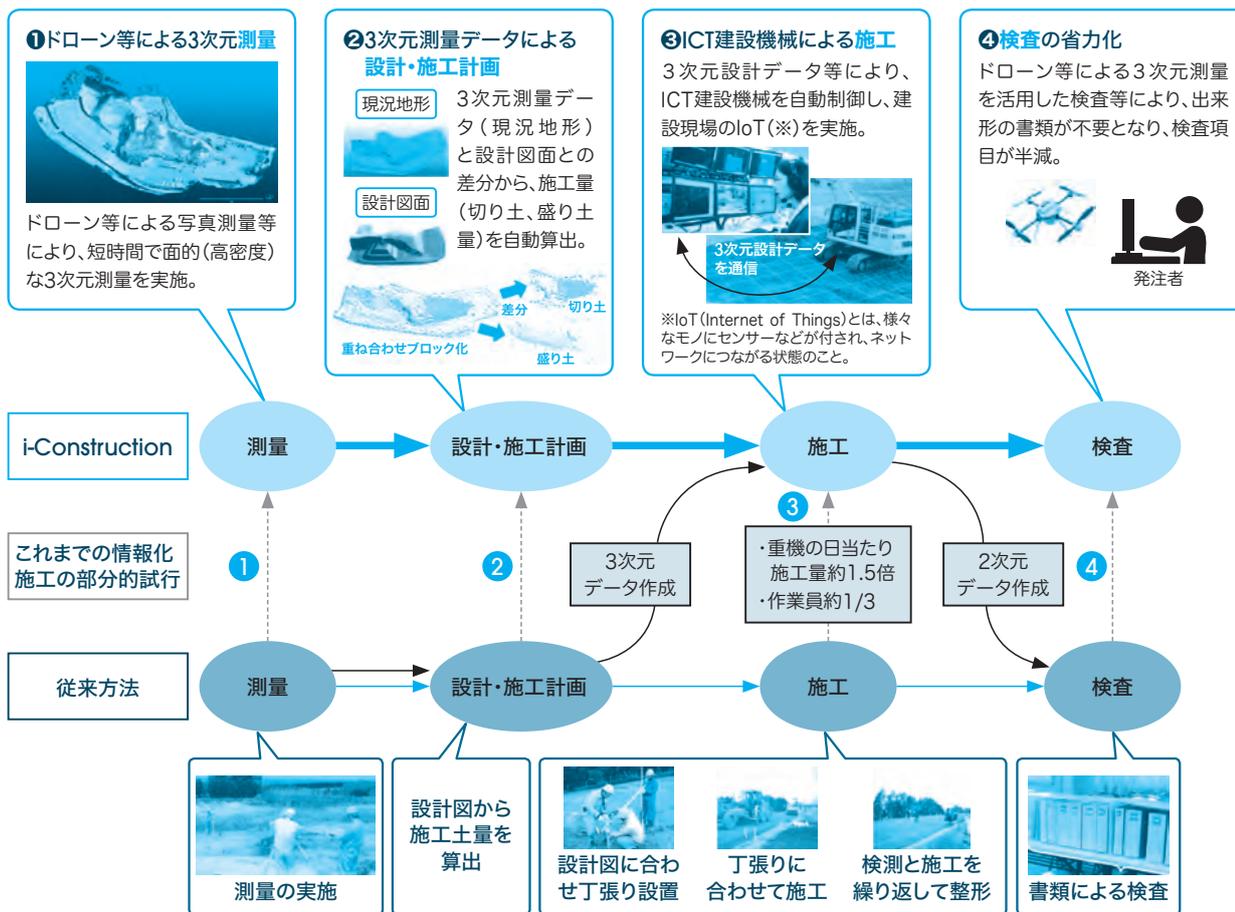
※115 農研機構「生物系特定産業技術研究支援センター：革新的技術開発・緊急展開事業」 <<http://www.naro.affrc.go.jp/brain/h27kakushin/aipro/index.html>> (閲覧日2018/07/18)

※116 平成15年度以降3期にわたって策定されており、第4期は平成33年度までを計画期間としている。

※117 1.人を主役としたIoT、AI、ビッグデータの活用、2.社会経済的課題への対応、3.好循環を実現する技術政策の推進の3つである。

※118 <http://www.mlit.go.jp/tec/tec_mn_000008.html>

■ 図4-5-20 i-Constructionの概要



出典:国土交通省「i-Construction ～建設現場の生産性向上の取り組みについて～」, 2015 ※119

4.5.4 予算の動向

ここ3年間の基盤省庁・出口省庁のAI関連予算を表4-5-7に示す(内閣府のSIP / PRISM、NICTや産総研等の運営費交付金、農水省の戦略的プロジェクト事業など、予算の切り分けが困難な施策は除く)。

■ 表4-5-7 各省AI関連予算

| ■当初予算 | | (単位:億円) | | | | ■補正予算 | | (単位:億円) | |
|-------|-------|---------|--------|---------------|-------|--------|--------|---------|--|
| | | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度(案)※120 | 対前年比 | 平成28年度 | 平成29年度 | | |
| 基盤省庁 | 総務省 | 25.3 | 32.2 | 40.1 | 7.9 | 29.0 | 50.0 | | |
| | 文部科学省 | 65.0 | 103.1 | 115.2 | 12.1 | 0.0 | 1.7 | | |
| | 経済産業省 | 164.3 | 257.3 | 393.7 | 136.5 | 261.9 | 64.9 | | |
| 出口省庁 | 厚生労働省 | 164.6 | 175.8 | 196.5 | 20.7 | 58.4 | 26.0 | | |
| | 農林水産省 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | 国土交通省 | 1.1 | 7.3 | 25.0 | 17.7 | 2.2 | 3.4 | | |
| 合計 | | 420.3 | 575.5 | 770.4 | 194.9 | 351.5 | 145.9 | | |

出典:内閣府「これまでの政府の取組」をもとに作成※121

※119 <<http://www.mlit.go.jp/common/001113551.pdf>>

※120 平成30年度予算成立前の集計資料のため(案)となっている。

※121 <<http://www8.cao.go.jp/cstpt/tyousakai/jinkochino/6kai/siryoy1.pdf>>

表4-5-8に2019年度AI関連概算要求を示す。

■表4-5-8 各省2019年度AI関連概算要求

| | 主なロボットAI施策 | 億円 |
|-------|---|-------|
| 内閣府 | 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) | 325.0 |
| | 官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM) | 100.0 |
| 警察庁 | 人工知能等先端技術を用いた警察業務高度化・効率化に関わる実証実験等 | 1.4 |
| 総務省 | グローバルコミュニケーション計画：多言語翻訳 | 8.2 |
| | 新たな脳情報通信技術の研究開発及び社会実装 | 2.1 |
| | 新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発 | 11.0 |
| | 革新的AIネットワーク統合基盤技術の研究開発 | 7.0 |
| 文部科学省 | AIP (AI/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト) | 90.0 |
| | データ関連人材育成プロジェクト | 4.0 |
| | 「数理情報科学の達人」育成官民協働プログラム | 0.8 |
| | 数理・データサイエンス教育の全国展開 | 9.0 |
| | 自律型無人探査機の開発等による海洋状況把握の能力強化 | 46.0 |
| 厚生労働省 | データヘルス改革の推進：全国保健医療情報ネットワーク整備に向けた実証等 | 443.0 |
| | 保険医療分野等の研究開発の推進：リアルワールドデータ等を用いた臨床研究のためCIN構想、重点6領域を中心にAI開発を効率的効果的に推進 | 686.0 |
| 農林水産省 | スマート農業の実現 | 50.0 |
| 経済産業省 | Connected Industries推進のためのグローバルSaaS創出事業 | 40.3 |
| | 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業費 | 55.0 |
| | 次世代人工知能・ロボット中核技術開発 | 87.0 |
| | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | 38.0 |
| | 計算機科学等による先端的な機能性材料の技術開発事業 | 27.5 |
| | AIチップ開発加速のためのイノベーション推進事業 | 107.8 |
| | ロボット介護機器・福祉用具開発標準化事業 | 15.2 |
| | 人工知能(AI)等を活用した業務改革(特許庁) | 7.7 |
| 国土交通省 | 海事生産性革命の深化 | 17.6 |
| | AI等を活用した港湾物流全体の効率化の推進 | 11.5 |
| | スマートシティプロジェクト支援事業 | 0.8 |
| 防衛省 | 安全保障技術研究推進制度 | 103.0 |
| | 新技術の短期実用化の取組み | 12.0 |
| | モジュール化無人水中航走体の研究 | 42.0 |

出典：日刊工業新聞「【政府・19年度概算要求】ロボット・AIの研究開発予算まると早わかり」※122
 経済産業省省庁概算要求資料から作成

この中で、経済産業省関係の施策の概要を以下に示す。なお、()内の数字は平成30年度予算である。

●Connected Industries推進のためのグローバルSaaS創出事業【40.3億円(新規)】

事業者間のデータ共有プラットフォームの本格整備を支援することで協調領域拡大を促進すると同時に、そのデータ等から汎用的に使い、かつ国際競争力のあるAIシステム(グローバルSaaS)の開発を支援する。

●高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業費【55.0億円(35.0億円)】

関係省庁とも連携して、安全性・社会受容性・経済性の観点や、国際動向等を踏まえつつ、安全性評価技術の研究開発を進めるとともに、高度な自動走行システムの実証等を通じて世界に先駆けた社会実装に必要な技術や事業環境等の整備を行う。

※122 <<https://newswitch.jp/p/14267>>

●次世代人工知能・ロボット中核技術開発【87.0億円(61.9億円)】

→次世代人工知能・ロボット中核技術開発【62.0億円(56.9億円)】

人工知能技術とセンサーやアクチュエーション技術を組み合わせた研究開発、人工知能の説明性や安全性の担保のための研究開発を行う。また重点分野における社会実装を目指した産学官連携での大規模研究開発を実施する。

→次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発【25.0億円(5.0億円)】

AI×ものづくりといった、AI技術を融合させる研究開発プロジェクトを通じて、実社会での問題解決を図る。また、「匠の技・暗黙知(経験や勘)」の伝承・効率的活用を支えるAI技術を開発し、生産性向上による抜本的な省エネ化を実現する。

●ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト【38.0億円(32.2億円)】

物流やインフラ点検等の分野で活躍できるロボット・ドローンの社会実装を世界に先駆けて進めるため、それらの性能を定量的に評価するための基準の策定やシステムの開発を行う。また我が国で開発されたロボット・ドローン技術やシステムの国際標準化を目指すことで、世界の省エネに貢献するとともに、我が国発の省エネ製品・システムの市場創造・拡大を実現する。

●計算機科学等による先端的な機能性材料の技術開発事業【27.5億円(26.5億円)】

高度なAI等の計算機科学、高速試作・革新的なプロセス技術及び先端計測評価技術を駆使した革新的な材料開発システムの構築とともに、公知の論文や特許等の材料データをAIが学習可能な状態とする技術開発により、これまでの材料開発プロセスを刷新する。高い省エネ性能をもつ機能性材料の開発期間を劇的に短縮することにより、省エネルギーの実現を目指す。

●AIチップ開発加速のためのイノベーション推進事業【107.8億円(108.0億円)】

→AIチップ開発加速のためのイノベーション推進事業【17.8億円(8.0億円)】

民間企業等が持つAIチップのアイデアの実用化に向けて、開発に必要な設計ツール等の開発環境、大学や研究機関等が開発した共通基盤技術、開発に必要な知見・ノウハウ等を提供することにより、民間企業等のAIチップ開発を加速し、イノベーションを実現する。

→高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発事業【90.0億円(100.0億円)】

エッジ側で動作する超低消費電力コンピューティングや、新原理により高速化と低消費電力化を両立する次世代コンピューティング等の実現に向けて、ハードとソフトの一体的な技術開発を実施し、ポストムーア時代における我が国情報産業の競争力強化、再興を目指す。

●ロボット介護機器・福祉用具開発標準化事業【15.2億円(12.0億円)】

厚生労働省と連携して策定した重点分野にもとづき、高齢者の自立支援等に資するロボット介護機器の開発を実施するとともに、ロボット介護機器について、効果の評価や標準化等、海外展開につなげていくための環境整備を行う。また、福祉用具開発を担う民間企業とユーザー評価を担う機関等が連携した開発・実用化を支援する。

◆参考文献

- [1] 独立行政法人情報処理推進機構「AI社会実装推進調査報告書」, 2018.
<https://www.ipa.go.jp/files/000067229.pdf>
- [2] 経済産業省「新産業構造ビジョン(概要版)」, 2017.
<http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-1.pdf>
- [3] 経済産業省「新産業構造ビジョン」, 2017.
<http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-2.pdf>
- [4] 経済産業省「AI-データの利用に関する契約ガイドライン 概要資料」, 2018.
<http://www.meti.go.jp/press/2018/06/20180615001/20180615001-4.pdf>
- [5] 国土交通省「i-Construction ～建設現場の生産性向上の取り組みについて～」, 2015.
<http://www.mlit.go.jp/common/001113551.pdf> (2018/08/23)
- [6] 国土交通省「第4期国土交通省技術基本計画」, 2017.
<http://www.mlit.go.jp/common/001179565.pdf>
- [7] 厚生労働省「保健医療2035 提言書」, 2015.
https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-12601000-Seisakufoukatsukan-Sanjikanshitsu_Shakaihoshoutantou/0000088647.pdf
- [8] 厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 本懇談会の位置づけ」, 2017.
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000154213.pdf>
- [9] 厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 報告書」, 2017
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000169230.pdf>
- [10] 厚生労働省「保健医療分野におけるAI活用推進懇談会 報告書 概要」, 2017.
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000169232.pdf>
- [11] 厚生労働省「データヘルス改革で実現するサービスと工程表について」, 2018.
<https://www.mhlw.go.jp/content/12601000/000340568.pdf> (2018/08/23)
- [12] 国立研究開発法人 科学技術振興機構「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略(2018年)」, 2018.
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2017/FR/CRDS-FY2017-FR-01.pdf>
- [13] 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「人工知能技術戦略会議について」, 2016.
<http://www.nedo.go.jp/content/100790387.pdf>
- [14] 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」, 2017.
<http://www.nedo.go.jp/content/100862412.pdf>
- [15] 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「人工知能技術戦略」, 2017.
<http://www.nedo.go.jp/content/100862413.pdf>
- [16] 内閣府「革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)のテーマ設定にあたって」, 2014.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/kakushintekikenkyu/siry04.pdf>
- [17] 内閣府「第5期科学技術基本計画」, 2016.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
- [18] 内閣府「科学技術イノベーション官民投資拡大イニシアティブ<最終報告>」, 2016.
http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/minutes/2016/1221_1/shiry0_01-2.pdf
- [19] 内閣府「科学技術関係予算 平成30年度当初予算 平成29年度補正予算の概要について」, 2017.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/h30yosan-1.pdf>
- [20] 内閣府「官民研究開発投資拡大プログラムについて」, 2017.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/prism/aboutprism.pdf>
- [21] 内閣府「政策討議(AI戦略)論点」, 2018.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20180201/siry01.pdf>
- [22] 内閣府「重点テーマの特定とSIP-PRISMを中核とした省庁連携推進(案)」, 2018.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/6kai/siry03-1.pdf>
- [23] 内閣府「経済財政運営と改革の基本方針2018」, 2018.
http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2018/2018_basicpolicies_ja.pdf
- [24] 内閣府「統合イノベーション戦略」, 2018.
http://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/tougo_honbun.pdf
- [25] 内閣府「これまでの政府の取組」, 2018.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/6kai/siry01.pdf> (閲覧日2018/08/23)
- [26] 内閣府「人工知能技術戦略実行計画(案)」, 2018.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/7kai/siry03.pdf>
- [27] 内閣府「人工知能技術戦略実行計画(案)の概要」, 2018.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/7kai/siry02.pdf>
- [28] 日本経済再生本部「未来投資戦略2018」, 2018.
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf
- [29] 日本総合研究所「スマート農業が実現する新たな農業の姿 ～社会実装が始まった農業ICT・IoT技術～」, 2017.
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/nourin/4kai/siry03.pdf>
- [30] 農林水産省「スマート農業の実現に向けた研究会 検討結果の中間とりまとめ」, 2014.
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_smart_nougyo/pdf/cmatompe.pdf
- [31] 総務省「新たな情報通信技術戦略の在り方 第3次中間答申(概要)」, 2017.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000497846.pdf

※記載ない場合の閲覧日は2018年7月23日

4.6 ▷ 海外の政策動向

海外においては、AIの活用が自国や地域の競争力につながるとの認識のもと、AIの技術開発に加え、社会実装に向けた事業環境の整備や制度検討・規制改革に向けた投資や取組みが進んでいる。特に、2017年末ごろからの動きは活発であり、以下の調査対象国以外にも、AIの便益を自国にもたらすための様々な戦略や計画が発表されている状況にある。

米国においては、オバマ政権時に公表されたAIに関わる研究開発戦略、社会的課題の整理・対応、経済的なインパクトの分析・対応に関する包括的な報告書を公開する等、AIの社会実装に関わる議論を先駆的に進めていた。トランプ大統領の就任後のAIに関する取組み方針は不透明であったが、2018年4月以降、AIサミットの開催や米国国民のためのAIに関する声明が発表されるなど、AI活用が米国の産業や国民に便益をもたらす技術であるとし、AIの活用に関する議論が進められている。

欧州連合(European Union ; EU)においては、加盟国がそれぞれAI政策を検討してきたが、2018年4月以降はEU全体としてのAI戦略の検討が進められている。米国や中国によるAI活用への投資拡大に対抗するために研究開発や社会実装に関する積極的な投資を行う姿勢を見せている。

英国、ドイツ、フランスにおいては、既存の研究機関や産業が抱える人材や技術力の強みを活かし、自国をAIイノベーションの中心地とするために、AI企業の誘致やスタートアップへの投資、人材育成や研究者・教育者の確保等の戦略を打ち出している。

中国においては、製造業の競争力強化のために、AIの研究開発や活用に莫大な投資を行っている。また、広範な活用分野をカバーするために多数の投資計画や戦略が発表されている。

インドにおいては、AI活用が遅れる中、先進国に追いつくために技術、研究能力、AI活用の基盤となるデータ獲得に向けた投資を進めている。

4.6.1 米国

米国では、2016年にAIに関わる研究開発戦略、社会的課題の整理・対応、経済的なインパクトの分析・対応の3つの包括的な報告書が連邦政府より発表され、AIの社会実装に向けた具体的な検討が開始された(表4-6-1)。

■表4-6-1 2016年に発表された人工知能に関わる報告書

| No. | 報告書タイトル | 報告書概要 |
|-----|--|--|
| ① | THE NATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGIC PLAN (2016年10月公表) | AIに関わる研究開発の必要性と推進のために求められる環境整備等を示した報告書。具体的には、①AI研究への長期的投資の重要性、②人間とAIの協働に向けた効果的な方法の開発、③AIの倫理的、法的及び社会的含意の理解、④AIの安全性及びセキュリティの確保、⑤共用公共データセット及びAIの学習の環境開発、⑥AIの進展を方向付けて評価するための標準、ベンチマーク、テストベッド及びコミュニティの関与、⑦国家のAI研究開発人材のニーズの理解を挙げている。 |
| ② | PREPARING FOR THE FUTURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (2016年10月公表) | AIの社会実装に向けた課題を網羅的に整理した報告書。具体的には、公共財に対するAI利用、AIと規制、研究と人材、AIの経済的影響、公平性・安全性・ガバナンス、グローバルな考慮事項及び防衛、未来のための準備について網羅的に記載されている。 |
| ③ | ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AUTOMATION, AND THE ECONOMY (2016年12月公表) | AIの社会実装に伴う雇用への影響とそれを含めた経済的なインパクトへの対応を整理した報告書。具体的には、公共財に対するAI利用、AIと規制、研究と人材、AIの経済的影響、公平性・安全性・ガバナンス、グローバルな考慮事項及び防衛、未来のための準備について網羅的に記載されている。 |

出典:「AI白書2017」をもとに作成

2017年1月のトランプ大統領の就任後、人工知能に関する連邦政府としての具体的な動向は公にされなかったが、2018年4月以降は2018年5月にはホワイトハウスによる米国産業のための人工知能サミット“Summit on Artificial Intelligence for American Industry”が開催され、同時に、米国国民のための人工知能“Artificial Intelligence for the American People”と題した声明が発表されるなど、議論が公に進められている。

(1) Summit on Artificial Intelligence for American Industry^{※123}

ホワイトハウスは、米国の広範な産業を変革するAIの将来を検討するためのサミットとして「米国産業のためのAIサミット」を2018年5月に開催した。同サミットには、政府高官、学術機関等に所属する技術専門家、企業の研究所所長、AI技術を導入する米国ビジネスリーダー等100名以上が参加し、AI時代に米国の競争力を維持・向上するために必要な政策の在り方について議論が行われた。参加業界は、農業、エネルギー／製造、金融、ヘルスケア、交通／流通である。

具体的には、AIの研究開発(R&D)、人材育成、AIによるイノベーションを阻害する規制、分野別のAI応用など分野横断型の課題などが議論された。主な議論の結果は以下のとおりである。

・米国におけるAI研究開発のエコシステムの支援

米国のユニークな研究開発のエコシステムが持つ、政府・産業界・学術界の強みを結集し、AI研究開発を加速するための強力な官民パートナーシップの形成を支援する。

・AIの利点を最大限活用するための人材育成

AI及びその関連技術は、産業界全体にわたり新たな雇用や新たな技術・スキルに対する需要を創出する一方、従来の職業やスキルの需要は大きく変化する可能性がある。このような将来の米国の雇用への影響に対応するために、米国国民のスキルと産業のニーズを適合させるための取組みが必要であるとして、幼児期からのSTEM(Science, Technology, Engineering and Mathematic)教育に新たに焦点を当てるほか、技術訓練、再雇用、生涯学習プログラムの検討を行う。

・米国におけるイノベーションの障壁の除去

過度な規制は米国内のイノベーションを阻害するのみならず、イノベーションの海外流出につながることから、AI及び先端技術における米国のリーダーシップを維持するために同盟国間でのAI研究開発の協力を促進することが重要である。また、イノベーションを加速させるためには、国民がAIの仕組みや日常生活における利便性を理解できるよう、AIに対する認識を高める必要がある。

・インパクトの大きい分野別のAIアプリケーションの創出

同サミットでは、産業別のセッションを開催し、産業界のリーダーがAIを用いて米国の労働力強化やビジネスの成長、顧客サービスの向上を実現する最新の取組みを共有した。

ホワイトハウスは、AIを研究開発の最優先事項と位置づけ、今後も業界、民間セクターの研究者との継続的な連携を続けたい旨を記している。

今後の予定としては、国家科学技術会議(National Science and Technology Committee; NTSC)のもとに、「人工知能選抜委員会」を設立し、以下の項目について取り組むこととしている。

※123 “White House Hosts Summit on Artificial Intelligence for American Industry,” White House Website
< <https://www.whitehouse.gov/articles/white-house-hosts-summit-artificial-intelligence-american-industry/> >

- ・ AI研究開発に関する優先事項をホワイトハウスに助言
- ・ 産業界・学術界との連携体制創設
- ・ AI研究開発への政府の企画及び調整を改善するための構造構築
- ・ AI研究開発のエコシステムを支援するために、政府の保有するデータと計算機資源を活用する機会を特定

(2) Artificial Intelligence for the American People

ホワイトハウスは、サミットが開催された2018年5月10日付けで、米国国民のための人工知能と題した声明を公表している。同声明は、米国国民の生活を改善し、米国の労働者や家族に富をもたらすためのAIによるイノベーション実現に向けた連邦政府の取組みを記載したものである。具体的には、①AI研究開発への優先配分、②規制改革、③人材育成、④戦略上の軍事的優位の達成、⑤行政サービスにおけるAI活用、⑥国際間のAI協調、に関する連邦政府の取組みが記載されている。主な記載内容は表4-6-2のとおりである。

■表4-6-2 AIによるイノベーション実現に向けた連邦政府の取組み

| No. | 項目 | 概要 | 記載内容例 |
|-----|----------------|--|---|
| ① | AI研究開発への優先配分 | AIに関する基礎研究及び計算インフラ、機械学習、自律システムのための投資を優先的に実施する。 | <ul style="list-style-type: none"> ●2018年のAIに関する研究予算は、2015年に比べて40%増大 ●2019年の研究開発予算要求において、米国史上初めてAIや自律システム・無人システムを優先項目として明示的に記載、内容を説明 |
| ② | 規制改革 | AIの導入に関わる規制上の障壁を取り除くことで新たな米国産業の創出を可能とする。 | <ul style="list-style-type: none"> ●自動運転車両の公道実証に向けた制度整備(2017/9) ●FDAは糖尿病性網膜症の早期発見のためのAIを利用した装置を医療機器として初めて承認(2018/4) |
| ③ | 人材育成 | 米国の労働者が21世紀の経済活動を成功するためのスキルを与えるための取組みを推進する。 | <ul style="list-style-type: none"> ●「Apprenticeships」と呼ばれる実地の職業訓練制度を拡充する大統領令に署名(2017/6) ●コンピューターサイエンス教育に重点を置いた、科学、技術、工学、数学(STEM)教育に、年間2億ドルの助成金を拠出する大統領覚書に署名。これには、産業界から3億ドルのマッチングファンドが付帯 |
| ④ | 戦略上の軍事的優位の達成 | 国家安全保障でAIの推進の必要性を認識、国防費への投資に反映する。 | <ul style="list-style-type: none"> ●自動化、AI、機械学習の軍事用途に幅広く投資することを国家安全保障戦略に盛り込み |
| ⑤ | 行政サービスにおけるAI活用 | 米国民への行政サービスを改善するためにAIの導入を進める。 | <ul style="list-style-type: none"> ●行政サービスの効率を上げるための自動化ソフトの導入、及び政府外のAI研究応用を支援するための政府所有のデータの米国民との共有を推進 ●パイロットプロジェクト推進 |
| ⑥ | 国際間のAI協調 | G7閣僚会合における同盟国との協力や国際的なAI研究開発体制の構築を進める。 | <ul style="list-style-type: none"> ●G7人工知能の未来のためのシャルルボア共通ビジョンへのコミット ●英国との科学技術協定の締結(2017/9)、フランスとの科学技術協力に関する共同声明の発表(2018/3) |

出典: "Artificial Intelligence for the American People," White House Website^{※124}

4.6.2 EU

EUでは、デジタル技術の活用によるEU域内の基盤統合及び競争力強化等の取組みであるデジタル単一市場(Digital Single Market)戦略に、AI活用が位置付けられ取組みが進められてきた。

※124 "Artificial Intelligence for the American People," White House Website < <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/artificial-intelligence-american-people/> >

具体的には、AIをEUの市民や経済のために役立てるために技術的・倫理的・法的・社会経済的側面から議論が進められている。

従前のEUにおけるAIに関する議論は、総額800億ユーロを拠出する欧州最大の研究開発支援プロジェクト「HORIZON 2020」が中心となり、進められてきた。近年、AIに関する協力宣言に対して署名が行われたほか、欧州委員会により、HORIZON 2020におけるAIへの投資を200億ユーロ拡大すべきといった提言が行われるなど、加盟国からAI活用に対する期待や要求が高まっている。その結果、EU全体の政策としてAIの位置づけが非常に重要なものとなり、次期研究開発支援プロジェクトであるHORIZON EuropeにおいてもAIは重点テーマの一つとして位置づけられるようになっている。

これまでは、加盟国それぞれが独自のAI戦略を立案し、取組みを進めてきたが、今後はEU全体として競争力を高めるために、AIの社会実装に向けた様々な課題に対してEUとしての取組みが進められると期待される。

(1) AIに関する協力宣言^{※125}

2018年4月10日に、EU加盟国による協力宣言への署名が行われた。同宣言により、加盟国は、AIの社会実装に向けた社会的・経済的・倫理的・法的な問題にEUとして対処するほか、AIの研究や応用に向けたEUの競争力を確保することを合意している。

2018年7月時点で、以下の国が署名している。

オーストリア、ベルギー、ブルガリア、チェコ、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、ハンガリー、アイルランド、イタリア、ラトビア、リトアニア、ルクセンブルグ、マルタ、オランダ、ポーランド、ポルトガル、スロバキア、スペイン、スウェーデン、英国、ノルウェー、ルーマニア、ギリシャ、キプロス、クロアチア

(2) AI活用に向けたEU全体としての取組みの提案^{※126}

欧州委員会は2018年4月に、AIの活用に関する取組みについて提案を行った。同提案は、EU加盟国の首脳からの要請にもとづき、欧州全体としての対応を示したもので、EU域内の市民生活の向上やAIに関わる国際競争力を高めることを目的としている。具体的には、①官民によるAIに対する投資の拡大、②AIがもたらす社会経済的な変化への準備、③倫理的・法的枠組みの確保という3つのアプローチが提案されている。

・官民によるAIに対する投資の拡大

欧州委員会は、研究及びイノベーションのための助成プログラムであるHORIZON2020にもとづき、AI及びその関連技術に投資を行ってきた。同提案では、2020年末までにAIを対象とした研究・イノベーションに向けた投資を200億ユーロ増やすべきであると提言し、欧州委員会はHORIZON 2020への年間投資額を15億ユーロに拡大する計画としている。HORIZON 2020への投資により、ビッグデータやロボット工学などにおける既存の官民連携の取組みを通じて、25億ユーロの資

※125 “EU Member States sign up to cooperate on Artificial Intelligence,” European Commission Website
< <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/eu-member-states-sign-cooperate-artificial-intelligence>>

※126 “http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3362_en.htm,” European Commission Website
< http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3362_en.htm>

金を追加で呼び込むことができると想定している。

また、様々な研究機関や企業がEU域内の関連するAI資源へアクセスできるよう「AIオンデマンド・プラットフォーム」の構築を支援する。

・AIがもたらす社会経済的変化への準備

AIの社会実装が進むにつれ、新たな職が生まれる一方、既存の職が失われるなど、雇用環境が大きく変化する可能性がある。こうした中、欧州委員会では、EU市民が域内のどこにいても人間らしく生きる権利を守るための「欧州社会権の柱」を基盤とし、教育制度を近代化し、労働市場の移行を支援することを奨励している。

また、AIのスキルを有する人材を欧州に惹きつけかつ維持するための、企業と教育間のパートナーシップを支援するほか、欧州社会基金からの資金援助により専用の教育プログラムを設置し、デジタル技術、STEM能力、起業家精神及び創造性に関するコンピテンシーの獲得を支援する。

EUにおける予算枠組みである多年次財政枠組み(2021～2027)には、AI特有の専門知識を含む高度なデジタルスキルの訓練に対する支援の強化が含まれている。

・倫理的及び法的枠組みの確保

EUの基本的権利憲章にもとづき、データ保護や透明性などの原則を考慮し、2018年末までにAI開発に関する倫理的指針を策定する。また、技術革新を踏まえ、欠陥製品に対する消費者及び製造者のための法的責任の明確性を保証するために、2019年半ばまでに、製造物責任指令を踏まえた解釈を行う。

(3) 次期研究及びイノベーションのための助成プログラム“HORIZON Europe”^{※127}

2018年6月、2021年～2027年の7年間を対象とする研究及びイノベーションのための助成プログラム“HORIZON Europe”について、欧州委員会の案が公表された。HORIZON Europeの予算規模は、978億ユーロと、現行のプログラムであるHORIZON 2020と比較して2割以上増額されている。

欧州委員会の案では、①スーパーコンピューター、②AI、③サイバーセキュリティ及びトラスト、④デジタルスキル、⑤経済と社会全体でのデジタル技術の幅広い利用の保証、という5つの分野に焦点が当てられている。

AIについては25億ユーロの投資が計画されている。同計画は、2018年4月に公表された欧州委員会からのAI活用に向けた提案にもとづくものであり、AIを最大限に活用するために投資を拡大する一方、AIによってもたらされる社会経済的変化を考慮し、適切な倫理的・法的枠組みを確立することを目的としている。

具体的には、公共及び民間部門がニーズに最も適したソリューションを提供する際の基盤として、すべての企業や市民がアルゴリズムを共有し利用できる“European Libraries of Algorithms”を開発することを提案している。また、EUが進めるデジタルイノベーションハブ(Digital Innovation Hubs)を通じて、中小企業や地方のスタートアップ企業等はこれらの実験のための施設や設備、アルゴリズムや知識を利用できるようにする計画が公表されている。

※127 Horizon Europe - the next research and innovation framework programme <https://ec.europa.eu/info/designing-next-research-and-innovation-framework-programme/what-shapes-next-framework-programme_en>

4.6.3 英国

英国では、2017年11月に策定された英国経済の成長を実現するための産業戦略“Industrial Strategy : building a Britain fit for the future”が制定され、それにもとづき、同国をAIイノベーションの中心地となり、AI産業の最先端に位置するための投資をコミットするArtificial Intelligence Sector Dealが2018年4月に発表された。

(1) Industrial Strategy : building a Britain fit for the future^{※128}

Industrial Strategy : building a Britain fit for the futureは2017年11月に策定された英国の新たな産業戦略である。同戦略は、英国の持つ技術や人材等の強みを基盤として、生産性を高め将来の経済成長を実現することを目的としている。具体的には、政府は生産性を高めるために5つの柱(Ideas(アイデア)、People(人材)、Infrastructure、(インフラ)、Business environment(ビジネス環境)、Places(地域社会))を計画的に強化する。

さらに生産性改善と共に英国がグローバルな技術革新をリードするためのグランドチャレンジとして、「AI及びデータ経済」、「クリーンな成長」、「将来のモビリティ」、「高齢化社会」の4つの重点分野を示している。これらについては、それぞれ投資のためのコミット(Deal)を作成することが示された。

(2) Artificial Intelligence Sector Deal^{※129}

先の産業戦略にもとづき、AI分野のDealが作成され、2018年4月に発表された。本Dealでは、国内外の優秀な人材や企業を英国に呼び込み、イノベーションの中心地とするほか、AIの恩恵を英国全土に普及させることを目的として、民間からの投資も含め10億ポンド以上の投資が行われる。

Dealの具体的な内容は、Industrial Strategy 同様に5つの柱の観点で施策が示されている(表4-6-3)。

次ページに示したArtificial Intelligence Sector Dealに関わる取組みは順次進められている状況にある。2018年5月には、Industrial Strategyにおけるグランドチャレンジを更新した。「AI・データ」に関しては、革新的な技術の活用により医療の質を向上させ、15年以内に5万人以上のがんの早期発見を可能とするためのミッションを発表した。

また、AI評議会及びデータ倫理とイノベーションセンターが設置された。AI評議会の議長には、CognitionXの共同設立者であるTabitha Goldstaubが、データ倫理とイノベーションセンターの議長には、Dr. Fosterの共同設立者であるRoger Taylorが就任している。また、政府の助言者としてDeepMindの共同設立者であり最高経営責任者(CEO)のDemis Hassabisやサウサンプトン大学教授のWendy Hallが参画している。

他には、アランチューリング研究所(Alan Turing Institute)及び英国コンピューター協会(British Computer Society)がAIマスタープログラムを設置する計画を発表した。2019年にプログラムが開始される計画であり、アランチューリング研究所の支援を受けて英国コンピューター協会がプログラムの開発を始めている。同プログラムは、Amazon、Rolls Royce、Ocado、McKinsey & Quantum Blackなどの企業と提携して開発が進められる。

※128 “Industrial Strategy: building a Britain fit for the future” GOV.UK Website

※129 Policy paper “Artificial Intelligence Sector Deal”<<https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal>>

■表4-6-3 Artificial Intelligence Sector Dealの概要

| No. | 項目 | 施策概要 |
|-----|----------------------------------|--|
| ① | Ideas (アイデア) | <p>民間企業や公的機関における生産性を向上するためにAIのアプリケーションの研究開発や導入促進等を進める。主な施策は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●英国が別途進めている研究開発へのファンディング「産業戦略チャレンジ基金 (Industrial Strategy Challenge Fund ; ISCF)」を活用し、サービス産業向けのAIアプリケーションの開発 (2,000万ポンド) や原子力、宇宙、深鉱などの極限環境下における産業用ロボット及びAIの研究開発 (9,300万ポンド) を進める。 ●2,000万ポンドの公共向け技術開発の基金 (GovTech Fund) を創設し、公共サービスの向上のための革新的なソリューションを提供する企業を支援する。 ●民間企業や公的機関における研究開発投資や海外大手AI企業からの投資を促進する。 |
| ② | People (人材) | <p>高度なスキルを保有する労働力を確保するために、学界、産業界との協力を進める。主な施策は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●世界中から最先端のAI人材を集め、維持するために、グローバルな研究支援プログラム (Turing Fellowship Programme) を設置する。 ●AIおよび関連分野において博士課程の学生を2021年までに200名増員する。また、2025年までに1,000名の博士課程の学生を養成する。 ●将来の人材育成に向けた基盤として、8,000人のコンピューターサイエンス講師のスキル取得に投資を行う。 ●高度な労働力を確保するとともに人材の多様性を高めるために、科学、デジタル技術 (AI専門家含む)、エンジニアリング、芸術等の分野で起業家やトップ技術者向けのビザ (Tier1) の緩和を行う。 |
| ③ | Infrastructure (インフラ) | <p>英国のデータインフラや通信インフラを強化することで、データ利活用の基盤を確立する。主な施策は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●機械学習に適した形式で質の高い公共データを公開する。 ●地理空間委員会 (Geospatial Commission) を設置し、AIによるイノベーションを進める企業を含め、多様な利用者に対して地理空間データへのアクセスを改善する。 ●公共部門のデータを公正公平で安全に共有するためのデータ共有フレームワークを構築する。 ●超高速ブロードバンドや5Gネットワーク基盤の整備等を行う。 |
| ④ | Business environment (ビジネス環境) | <p>AIに関するビジネスを開始し、成長させるために最適な環境を提供する。主な施策は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●AI Sector Dealの推進と評価や改善を担う組織として、産学官の有識者で構成されるAI評議会 (AI Council) を設置し、産業活性化の観点から政府に対する助言を得る。 ●AI評議会と連携してAI戦略を作成するために、新たな政府組織 (Office for Artificial Intelligence) を設置する。また、データ倫理とイノベーションに関する諮問機関 (Center for Data Ethics and Innovation) を設立し、倫理面でのリスクを最小限に抑えつつAIの利益を最大限に引き出すための方策について検討を行う。 ●政府はAI評議会と連携し、英国におけるAI事業の輸出と投資の支援を拡大する。 ●英国ビジネスバンク (British Business Bank) において25億ポンドの投資ファンドを組成し、民間と共同で総額75億ポンドの投資を行う。また、官民ファンドを組成し、今後10年間に70億ポンド (約1兆円) を革新的な事業や高成長企業に投資する。 |
| ⑤ | Places (地域社会) | <p>AIに関するコミュニティを醸成することを目的として投資を行う。主な施策は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●英国にある技術クラスターと密に連携して地域の産業戦略を策定し、地方政府・地元企業・研究機関等の連携を促進する。これにより、AI技術の開発・導入をローカルに実施できるコミュニティを醸成する。 |

出典: Policy paper「Artificial Intelligence Sector Deal」をもとに作成

4.6.4 ドイツ

ドイツでは国家戦略であるIndustrie 4.0推進の中で、AIがドイツのイノベーションを支える重要な要素技術の一つとして位置づけられ、AIの研究開発や実装が進められてきた。

2017年9月には、“Innovationsschub mit Künstlicher Intelligenz (AIによるイノベーションの推進)”と題するプレスリリースが連邦教育研究省 (Bundesministerium für Bildung und Forschung ; BMBF) より発表された。同プレスリリースでは、現在の国家戦略であるIndustrie 4.0が産業界における最重要テーマとしつつも、将来的にAIが重要テーマとなると述べている。AIの活用を進めるためのプラットフォームとして、Industrie 4.0に続く第二のプラットフォームとして“Learning Systems Platform”の構築を進めるプログラムが進められ、AIに関して世界ト

ップレベルの研究所を有するドイツ人工知能研究センター (Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz ; DFKI) のポテンシャル等を有効活用する方針としている。

2018年7月にドイツ連邦議会が採択したBMBFの予算案^{※130}において、技術革新の研究と技術開発の中でもデジタル化の推進に向けて重要な技術としてAIが位置づけられ、今後はAI分野に対してさらなる投資や取組みが進められると期待される。さらに同月には、ドイツ連邦政府のAI戦略の骨子となる文書“Eckpunkte der Bundesregierung für eine Strategie Künstliche Intelligenz (AI戦略(骨子))”が発表された。同文書をもとに2018年11月末までにAI戦略を策定し、12月初頭に公表することを予定している。

(1) Learning Systems Platform

Learning Systems Platformは、Industrie 4.0と同様に産官学間の有機的な連携を促すプラットフォームであり、プラットフォーム構築に向けたプロジェクトがBMBFにより立ち上げられた。同プロジェクトでは、人々の利益のためにAIを利用し、経済的なポテンシャルを最大限得ることを目的とし、科学・経済・社会の専門家や有識者が集結し、技術的・経済的・社会的な課題に対して勧告、ロードマップ、ユースケース等を作成する。例えば、生活の質や業績の向上、安全な成長・繁栄の実現、経済の持続可能性の向上、安定的で効率的な輸送システムやエネルギー供給等が実現される。同プロジェクトは2017年9月から2022年8月までの5年間実施される。

同プロジェクトの実施体制、BMBFのAnja Karliczek大臣及びドイツ工学アカデミー (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) のDieter Spath会長の両名が委員長を務める運営委員会と専門家により構成される7つのWGにより構成される。WGは分野横断型の4つのテーマを検討するWGと3つの特定分野に関わるWGからなる(図4-6-1)。

■ 図4-6-1 Learning Systems PlatformのWG構成^{※131}



出典：“About the Platform” Lernende Systeme Websiteをもとに作成

※130 “Der Haushalt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung,” BMBF Website
< <https://www.bmbf.de/de/der-haushalt-des-bundesministeriums-fuer-bildung-und-forschung-202.html> >

※131 “About the Platform,” Lernende Systeme Website < <https://www.plattform-lernende-systeme.de/ueber-die-plattform.html> >

(2) AI戦略の策定

2018年7月に公表されたドイツ連邦政府のAI戦略の骨子となる文書“Eckpunkte der Bundesregierung für eine Strategie Künstliche Intelligenz (AI戦略(骨子))”は、ハイテクフォーラムが2017年3月に公表した自律システムに関する勧告にもとづき作成されたものである。

同文書は、AIが成熟段階に達しつつあり、生活や企業活動のあらゆる場面においてデジタル化や自律化を進める原動力となっていること、ドイツでは世界有数の研究機関を抱え、研究から産業応用まで幅広い対応を進めてきたが、当該分野において米国や中国等アジアが台頭していることから、AIの研究開発や利活用においてドイツ及びEUが世界を先導するために取り組むべき事項を示したものである。

同文書では、以下の13の優先事項を定めている。

- ・イノベーションドライバー（操統者）となるためにドイツとEU内の研究を強化する。
- ・ドイツ及びEU内で研究された技術の産業移転の強化を進める。
- ・EUがイノベーションの実現に最適な条件や環境を提供し続けるために、AIに関するイノベーションコンテストを開催し、グローバルに優秀な人材を集積する。
- ・AIベースのビジネスモデルや製品の市場化を進めるための原動力として、投資家へのインセンティブを創出し、研究機関やスタートアップへの投資を加速させる。
- ・AIによりスキル、就労、労働組織、労使関係など労働市場は大きく変化する可能性があり、雇用予測やシナリオを踏まえつつ、技術だけでなく、労働力やスキルへの投資など必要な対応を実施する。
- ・AI分野の研究者にとってドイツが魅力的な地域となり、世界中の優秀な研究者等を集積するために、教育プログラムの創設や労働条件の緩和、若手研究者へのオファー拡大やサポート等を進める。
- ・行政におけるAI活用を促進する。そのために、行政におけるAI活用の透明性を高めるほか、行政サービスの効率性・品質・安全性の向上に向けてセキュリティやデータ保護等の観点からも検討を進める。
- ・基本的人権を侵害することなく、質の高いデータを拡充し、そのアクセス性を高めるためにオープンデータ戦略やデータのアクセス及び利用に関する法的枠組みの整備を進める。
- ・AIの活用を前提として、著作権、プライバシー等の規制の枠組みを適合させ、法的確実性を確保する。
- ・技術的な障壁を排除し、市場開放を支援するために国際標準化を推進する。
- ・AI技術の開発はグローバルに進められていることを踏まえ、政策についても国境を越えて国際的な協調を進める。
- ・AIの社会実装に向けてドイツのAIに関する文化を醸成し、信頼とイノベーションを確立するために、科学、経済、政治、社会・市民との間に対話を進めるための枠組みを策定する。
- ・研究及びイノベーション推進の領域においては、AIに対応するための優先事項が設定される。優先事項には、AIの専門家の雇用やフランスとのコンピテンスセンターのネットワーク化や拡張の実施、コンピテンスセンターの開設などが含まれる。

同文書をもとに2018年11月末までにAI戦略を策定し、12月初頭にニュルンベルクで開催されるdemDigitalサミットで公表することが予定されている。

4.6.5 フランス

2018年3月にフランスが開催した国際会議“AI for Humany”において、マクロン大統領はフランスをAI先進国とするための戦略“Intelligence artificielle : faire de la France un leader”^{*132}を発表した。同戦略は、数学者で議員でもあるCédric Villaniが取りまとめたフランスのAI戦略に関する調査結果及び答申にもとづき作成されたもので、米国や中国、イスラエル、カナダ、英国などが主導するAIについて、フランスを先進国に押し上げることを狙ったものである。

同戦略は、(1) フランス及び欧州におけるAIエコシステムの強化、(2) データのオープン化政策の促進、(3) AIに関する研究プロジェクトやスタートアップ企業への投資、(4) AIの倫理的課題と政策的課題、の4点を柱としている。取組みの概要は表4-6-4のとおりである。

■表4-6-4 Making France a leaderの概要

| No. | 項目 | 施策概要 |
|-----|------------------------------|---|
| ① | フランス及び欧州におけるAIエコシステムの強化 | <ul style="list-style-type: none"> ● INRIA (National Institute for Research in Computer Science and Control) によるAIに特化した研究プログラムを設置する ● AI専攻の学生を5年後に2倍に増加する ● 研究者と企業との間のシナジーを強化する(公的研究機関の研究者が民間企業で就労できる労働時間を最大50%に拡大) ● 優秀な研究者を集積し、先進的なプロジェクトを組成するために、ポストの設置とプロジェクトの公募を開始する |
| ② | データのオープン化政策の促進 | <ul style="list-style-type: none"> ● 行政及び公的資金により公開されたデータのオープン化を引き続き実施する ● 公的データ及び民間データを交換するプラットフォームの構築を支援する ● 欧州におけるデータ利用の枠組みを策定する ● 国立健康データ研究所 (l'Institut national des données de santé: INDS) と連携し、匿名で安全な健康データハブを構築する |
| ③ | AIに関する研究プロジェクトやスタートアップ企業への投資 | <ul style="list-style-type: none"> ● 無人運転車両の公道走行認可等の規制緩和を推進する ● 資金調達を支援する(AIの導入・開発への15億ユーロの投資) ● AIを用いて公共政策を改善する |
| ④ | AIの倫理的課題と政策的課題 | <ul style="list-style-type: none"> ● 利活用に関する倫理面での研究を支援する ● AIの多様性への開放を促す |

出典：“Intelligence artificielle : faire de la France un leader” Gouvernement.frWebsite をもとに作成

マクロン大統領は2018年6月にドイツのメルケル首相と会談し、欧州全体の安全保障と競争力強化に向けてEU改革案に合意し、公表した。合意の内容は、外交政策や防衛から移民問題、経済政策、ユーロ圏共通予算の策定まで多岐にわたる。そのうち、技術革新や研究、高等教育等に関して、AIの研究に関する合同センターを設立し、一層の協力のもとAI活用を進めていくことが合意された。

※132 “Intelligence artificielle "faire de la France un leader” Gouvernement.frWebsite
< <https://www.gouvernement.fr/argumentaire/intelligence-artificielle-faire-de-la-france-un-leader> >

4.6.6 中国

2015年4月から今まで、中国では特に製造業のレベルアップを図り、AIを含む先進的製造技術の導入を目指して、「中国製造2025」を中心に一連の促進政策が発表されている(表4-6-5)。本項では、主要な政策について紹介する。また、民間での利用動向も含め、第3章の【特集】でさらに詳しく説明している。

■表4-6-5 AI活用促進政策

| 公布時期 | 公布政策名 |
|-------------|---|
| 2015年4月から毎年 | 智能製造モデルプロジェクト |
| 2015.5.1 | 中国製造2025 |
| 2015.7.1 | インターネットプラス 行動の積極的推進に関する指導意見 |
| 2016.3.17 | 国民経済と社会発展第十三次五カ年計画綱要 |
| 2016.4.12 | 5つの重要課題の実施指南 |
| 2016.5.18 | インターネットプラス AI三カ年行動実施方案 |
| 2016.5.20 | 製造業とインターネットの融合発展の深化に関する指導意見 |
| 2016.7.28 | 第十三次五カ年 国家科技创新計画 |
| 2016.8.1 | 中国製造2025国家級モデル区 |
| 2016.8.1 | 装備製造業標準化・品質向上計画 |
| 2016.11.29 | 第十三次五カ年 国家戦略的新興産業発展計画 |
| 2016.12.8 | 智能製造発展計画(2016-2020年) |
| 2016.12.1 | 中国智能網聯汽車技術發展路線図 |
| 2017.1.6 | 智能製造綜合標準化・新モデル応用重点プロジェクト |
| 2017.1.23 | 第一回知的生産システムソリューションプロバイダー推薦目録 |
| 2017.4.1 | 汽車産業中長期發展計画 |
| 2017.6.1 | 国家車聯網産業標準体系建設指南 |
| 2017.7.1 | 新世代人工智能發展計画 |
| 2017.10.11 | 2018年「インターネットプラス」、人工智能革新發展、デジタルエコノミー等重要モデルプロジェクトの実施に関する通知 |
| 2017.10.31 | ハイエンド智能再製造行動計画(2018-2020年) |
| 2017.12.14 | 新世代智能産業の發展促進に関する三カ年計画 |
| 2018.1.1 | 智能汽車創新發展戰略(意見募集版) |
| 2018.1.16 | 智能製造標準体系建設指南(2018年版)(意見募集版) |
| 2018.4.10 | 大学におけるAI革新行動計画 |
| 2018.4.21 | 河北雄安新区規画綱要 |

出典:各種公開情報より作成

(1) 新世代人工知能発展計画

新世代人工知能発展計画は、2017年7月に国務院より発表された中国AI産業発展の指針であり、2020年～2030年までを3つのステップに分け、今後の注目分野、実現目標、AI産業市場規模、関連産業市場規模まで細かく規定している(表4-6-6)。2030年には、AIの理論研究、技術、応用レベルで世界一流となり、AI産業で1兆人民元、関連産業で10兆人民元の市場規模を目指す。

■表4-6-6 新世代人工知能発展計画の概要

| No. | 時期 | 注目分野 | 目標 | AI産業市場規模の目安 | 関連産業市場規模の目安 |
|-----|-------|---|---|-------------|-------------|
| ① | 2020年 | <ul style="list-style-type: none"> ●ビッグデータ ●自律知能システム ●クロスメディアム知能 ●群知能 ●ハイブリッドエンハンスド知能 ●AI基礎理論 等 | AIの技術・応用レベルは世界先進レベルと同期し、経済発展の大きな牽引役とする。 | 1,500億人民元 | 1兆人民元 |
| ② | 2025年 | <ul style="list-style-type: none"> ●知的生産 ●インテリジェント・メディシン(医薬) ●インテリジェントシティ(都市) ●インテリジェントアグリカルチャ(農業) ●国防建設 ●AI関連法規制 ●AI安全評価・管理監督体系 等 | AIの基礎理論研究を飛躍的に発展し、一部の技術・応用レベルは世界一流を誇り、中国産業グレードアップ・発展モデル転換の原動力とする。 | 4,000億人民元 | 5兆人民元 |
| ③ | 2030年 | <ul style="list-style-type: none"> ●脳型知能 ●自律知能 ●ハイブリッド知能 ●群知能 ●社会統治 ●国防建設 ●インダストリアルバリューチェーン 等 | AIの理論研究、技術、応用レベルが全体的に世界一流を誇り、世界主要AI革新大国を実現する。 | 1兆人民元 | 10兆人民元 |

出典:各種公開情報より作成

(2) 「インターネットプラス」、人工知能革新発展、デジタルエコノミー等重要モデルプロジェクトの実施に関する通知

2017年に通知された同政策では、インターネットプラス、人工知能革新発展、デジタルエコノミーの3分野において、優秀な大手企業が更にスピーディに発展を遂げられるよう、補助金を付与することを目的としている(表4-6-7)。

表4-6-7 重要モデルプロジェクトの概要

| No. | 分類 | 補助金付与対象分野 | 統括政府機関 |
|-----|----------------|--|----------------------|
| ① | インターネット プラス | <ul style="list-style-type: none"> ①クラウドコンピューティング <ul style="list-style-type: none"> ・新世代クラウドコンピューティングOS産業化 ・エッジコンピューティングに向けたクラウドサービスサポートプラットフォームの建設・応用 ・ヘテロジニアス・コンピューティングに向けたクラウドサービスサポートプラットフォームの建設・応用 ②モノのインターネット <ul style="list-style-type: none"> ・位置情報に基づいたIoT超低電力消費チップ(モジュール)産業化・大規模応用 ・自動運転、工業分野に向けたハイエンドセンサーの産業化 ③「インターネットプラス」協同製造サービスプラットフォーム | 各地方の発展改革委員会、中央管理企業 |
| ② | 人工知能 革新発展 | <ul style="list-style-type: none"> ①コア技術の研究開発・産業化 <ul style="list-style-type: none"> ・深層学習知的チップの産業化 ・深層学習応用に向けたオープンソースプラットフォームの建設・応用 ②基礎資源公共サービスプラットフォーム <ul style="list-style-type: none"> ・高正確性顔面認識システムの産業化及び応用 ・高感度性音声認識システムの産業化及び応用 ③インテリジェント無人システム応用プロジェクト <ul style="list-style-type: none"> ・高信頼性無人航空機製品の産業化 ④知的ロボット研究開発・応用プロジェクト | |
| ③ | デジタル エコノミー | <ul style="list-style-type: none"> ①行政事務情報システム統合共有応用モデルプロジェクト ②ビッグデータを採用した革新応用プロジェクト ③デジタルエコノミー公共インフラ ④中国-アセアン情報港プロジェクト ⑤「一帯一路」デジタルシルクロード建設合作プロジェクト | 関連中央政府機関、各地方の発展改革委員会 |

出典:各種公開情報より作成

4.6.7 インド

インドにおいては、昨今のAIの進展が自国の産業や市民に影響を及ぼすことから、AIにいかに向き合い、自国の発展につなげることができるかを検討している。商工省では、専門家、研究者、業界の有識者から構成されるタスクフォース“Artificial Intelligence Task Force”を設置し、インドにおけるAI活用の現状や課題を整理し、政府の果たすべき役割やAI活用の在り方等を記した報告書を発表した。また、インドにおけるAI国家戦略立案に向けて、インド行政委員会が中心に重点分野と取り組むべき重点課題をディスカッションペーパーとしてまとめている。

(1) AI Task Forceの設置

インドの商工省(Ministry of commerce and industry)では、AIに関するタスクフォース“Artificial Intelligence Task Force”を設置し、同国におけるAI活用の現状整理及び取り組むべき課題について整理した報告書“Report of Task Force on Artificial Intelligence”^{*133}を発表した。

*133 “Report of Task Force on Artificial Intelligence,” Department of Industrial Policy & Promotion Website
http://dipp.nic.in/sites/default/files/Report_of_Task_Force_on_ArtificialIntelligence_20March2018_2.pdf

同報告書では、AIは自国経済の成長だけでなく、大規模な社会経済的課題を解決するためにも有効であるとして、①政府が果たすべき役割、②インド市民の生活の質を高め、課題を解決するためのAI活用の在り方、③AI技術を利用することで雇用や成長が期待される分野、の3つの政策的な視点で課題や方向性を取りまとめている。また、製造業、フィンテック、健康、農業、技術、国家安全保障、環境、公益事業、小売・マーケティング、教育の10の分野を重点分野と特定し、社会課題解決や経済成長のために、インドの優れた技術力の維持・向上、研究能力の向上、投資の促進、分析のためのデータの確保等を行うための投資を進めることが重要としている。

(2) Discussion Paper on the National Strategy For Artificial Intelligence^{※134}

インド行政委員会 (National Institution for Transforming India Committee ; NITI Aayog) は、AI国家戦略に関するディスカッションペーパーを2018年6月に公表した。

2018年～2019年の予算演説において、Hon' ble財務大臣がNITI Aayogに対して新技術や振興技術の研究開発を進めるよう任命したことを踏まえ、様々な専門家とステークホルダーと協力し、いくつかの分野で探究的な概念実証AIプロジェクトを実施し、インドで活気のあるAIエコシステムを構築するための国家戦略を作成した。

同戦略は、人間の能力を強化し課題を解決するためのコンセプトとして#AIforAllを掲げ、専門家の不足解消やマッチングの支援、手ごろな価格での技術へのアクセス、新興国向けに横展開可能なソリューションを開発するためのイニシアティブの実施、社会的な課題に対応し、成長を実現するための研究開発・技術開発能力の獲得やAIの責任に関する検討を進めることとしている。具体的には、社会課題を解決し、AIからの最大の便益を得るために5つの分野と対応すべき5つの課題を特定している (図4-6-2)。

■ 図4-6-2 5つの重点分野と対応すべき5つの課題

| 5つの重点分野 | | 対応すべき5つの課題 |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 医療 | 質の高い医療への適切な価格でのアクセス | ● AIの研究及び応用における広範な専門知識の獲得 |
| 農業 | 農家の収入の拡大、生産性の向上と無駄の削減 | ● データ経済圏の実現 (インテリジェントなデータへのアクセス) |
| 教育 | 教育へのアクセスと質の向上 | ● AIの採用に対する意識の醸成及びリソース獲得のコスト低減 |
| スマートな都市インフラ | 急増する都市人口に対応するための効率性及び連結性の向上 | ● データの匿名化を含めたプライバシー及びセキュリティに関する規制の整備 |
| スマートモビリティ | よりスマートで安全な輸送手段、交通渋滞や交通環境の改善 | ● 共同でのAIへの採用と導入に対するアプローチ |

出典: "National Strategy For Artificial Intelligence" NITI Aayog Website をもとに作成

※134 "National Strategy For Artificial Intelligence," NITI Aayog Website <http://www.niti.gov.in/writereaddata/files/document_publication/NationalStrategy-for-AI-Discussion-Paper.pdf>

法整備はゆっくりやれば当然できる。 スピードが肝

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立情報学研究所

喜連川 優

テクノロジーが人間の生活、社会に与える影響が大変大きくなる時代となり、その規範となる制度もより迅速に時代を反映することが望まれる。中でも情報通信技術の進展は著しく速く、適切な取り組みが求められよう。

著作権法としんどい経験

法整備の難しさを考える視点から、とりわけITに関連の深い著作権法を例に考えてみる。データそのものは著作物ではないが、集積されるデータには著作物も含まれることがある。そこでも、著作権との関連が生まれてくる。著作権法は日本の法律の中で頻繁に改正され続けた法律の一つと聞く。内閣府の知財に関する委員会に参加させて頂いてきたが、そこで、「著作権法はあまりに何度も変更され、専門家でも全貌を把握することが困難な法律」とその道の専門家が発言されたのを記憶している。我が国が検索エンジンビジネスへの参画に遅れが生じたのは、コンテンツのキャッシュへの複製が著作権法違反に当たる可能性があるという意見があったことから派生した萎縮効果によるところが大であった。経済産業省情報大航海プロジェクトの実施も受け、関係各位の努力で、最終的に2010年1月に法改正がなされ、制限規定が導入されるに至った。改正に至るまで、大変なエネルギーが投入されると同時に、とても長い時間がかかったことも事実である。何よりも、先行者利益が非常に大きいITネットビジネスにおいてはこの遅延は致命的であり、当初日本においてもWeb検索に関する研究開発が活発になされていたものの、ご存じのように、現在は米国の検索エンジンが席卷し、日本の企業努力は陽の目を見なかったことは大変残念である。法整備はITビジネス上極めて重要であることを痛感した次第である。

残念なことに同様の事態は一度に留まらない。ITの進展の結果とも言えなくないが論文のコピーが最近流行した。国際会議主催者の頭痛の種ともなったが、単純にコピーをすることが多く、手間さえ惜しまなければ、検索エンジンを利用し人手で探すこともできるが、当然非効率であった。このような背景で、主要な国際会議や論文誌の論文とマッチングするシステムを作ることは誰でも考えるところである。米国はフェアユースがあることから、米国に新しい会社が生まれ、当該コピー検出サービスが広く利用されるに至っている。一方日本は、著作権法があることから著作権者である学会、出版社、著作者からの許諾が必要であった。どうしてもモタモタせざるを得ない。この種のサービスに対して著作者が反対することはまずないと思われ、内閣府の会議で問題提起をしたが、迅速な対応は得られなかった。その結果、先行企業は世界の巨大会社などと連携し、新しい論文投稿はほぼすべてそのサービスを利用することとなりつつある。日本の大学も、大学の評判にもつながることから、該

ソフトウェアを多用するに至っている。2018年の著作権法改正で、このサービスが可能となったが、検索エンジンの二の舞になりかねない。このように現行の法制度が不具合を生み、それへの対応に時間がかかり、結果として新サービスの創出の足を引っ張るケースが後を絶たない。今後のAI時代における著作物の取扱いについてもしっかりした検討が必須といえる。「Data Fuels AI」といわれる今日、燃料となるデータの重要性は著しく高いことが認識されつつある。後に不正競争防止法の節で述べるようにデータそのものは著作物ではないものの、日本データベース学会ではデータの集合体としてのデータベースの権利について整理を進めている。

頑張る日本：次世代医療基盤法ならびにその周辺

日本はいつもだいたい後になってから追いかけているというわけではない。先を見据えてしっかりとした取組みも進めている。日本には良質な医療データがあり、それらを宝の持ち腐れとすることのないように、2017年、次世代医療基盤法が閣議決定され、2018年施行された。オプトアウトに大きな特徴がある。認定機関が病院から患者の同意なしにデータを収集し、匿名化処理を施した後に民業も含めた多様な組織の利用を可能とする法律である。多種の医療機関から多様なデータを収集することにより統合的な医療情報を創出することが原理的には可能である。これまでは患者のオプトインが必須であるとされてきたが、現実問題として、患者から同意を得るのは容易ではない。データは存在するものの、有効に利用することは困難であった。データを匿名化して個人を特定できない形にした状態で膨大なデータが利用可能となると、ワクワクする世界が見える。膨大な匿名化医療データを解析することにより、多様な医学的知見が見出せる可能性が高く、また、医療施策にも利用できる。コモンディーズにおいても疾病ごとの多様なタイプの把握に資するであろう。匿名性が担保される程度に数の少ないミッドテイルの疾病においては大量データの解析により得られる知見の質は大きく改善される可能性が高い。オプトアウトの機会を丁寧に用意するなど、細かい実装上の課題は残されているものの、大局的には、大変立派なフレームワークを導入できたと言えよう。今後はデータの円滑な収集を可能とし、一步一步実績を積むことが期待される。

なお、これは、オプトインによるデータ収集を否定するものではない。データの醍醐味は希少疾患（ロングテイル）にある。希少疾患のデータに関する同意は得られやすいものも多いのではないかと感じる。実際AMEDでは国際的に希少疾患データを集め、病名が特定できなかった患者の治癒につながった例も報告され有効性が実証されつつある。

膨大なデータの利用は、地域と連携することにより地域の特性に合わせた医療を実現するうえで大きな力を発揮する。地域の健康動態の把握により自治体は将来に向けた医療施策をより正確に行えるであろう。現時点では、対象とする市町村の住民がどこの医療サービスを受けているか必ずしも正確に把握されているとはいえない。今後益々高齢化が予見される中で、受診のために遠隔まで出向くことを余儀なくされている人々がどの程度存在し、今後どのような策が考えられるかなど、データの利活用は不可欠といえる。

頑張る日本：不正競争防止法

データの権利に関しても悩ましい状況にあったが、日本は先手を打つべく頑張ったと言える。本年、不正競争防止法の改正が国会で認められた。データをどうやって守るか？ データそのものは著作権

法の守備範囲ではない。データを集めたデータベースはその整理整頓の工夫の視点から著作権法で保護されるものとなっているが、ビッグデータを想定したものではなく、現代社会に対応しているとはいいづらい。そこで、データを不正競争防止法で守る改正がなされたのは、大きな一歩といえる。例えば、不正にデータを取得し、該データで学習させてサービスを実現したとすると、その差止めを請求できるようになった。「データ盗まれ損」の世界から一歩出たといえる。さて、データに関しては、「データを利用する」人と「データを創る」人がいる。今回の改正は利用する人へより強く配慮がなされた形といえる。バランスが求められるところであるが、今後のビジネスの展開を考えると、データを創る人に関してもより丁寧な配慮が必要となろう。データを持っている人からデータの解析の依頼を受ける。あるいは、データを持っている人と協業するという形態のデータ解析ビジネスが長く中心的であるとは思えない。重要であれば皆自分で解析するようになるのが常である。最終的には、データのホルダーが優位であると筆者は考える。上流工程にあるデータの補足が今後はキーになろう。データを創るプレイヤーのインセンティブを保証することは大変大切である。「データのデザイン」が重要になると筆者は以前から訴えてきた。データがオイルとみなされる時代において、国家としては、データを上手に生み出すプレイヤーをきっちりと守ることが必要になろう。さらには、このルールを国際的にも広めていく必要がある。もちろん簡単なことではなく、道のりは長いかもしれないが、極めて重要な方向感といえる。

頑張る日本：新技術等実証制度（プロジェクト型サンドボックス）

法改正を政府に申し出ても、その改正によってどういうサイドエフェクトが出るか不安になるため、規制当局は慎重にならざるを得ない。その結果、海外の事例を調べ、大丈夫かどうかを確認する。一方、申請者も大丈夫だというエビデンスを求められてもそもそも法規制のため、やってみれないことから、すくみ現象が出てしまう。この海外を調べて一歩を踏み出すという構図では、そもそも海外に先行することは不可能ともいえる。そこで考え出されたのがサンドボックスという実証の実施について短期間に採否を決める仕組みである。実証内容、参加者、期間を決めて申請すると認定される場合には概ね1カ月で処理されるという。海外でも同様の取組みがあるものの現状はフィンテックに限られているのに対し、我が国は特定の領域にとらわれない。もっとも、実証であるから、この後に規制の見直しが必要となる。ただ、実証の段階で優位な結果が得られることが、その後の通達や政省令の改正、あるいは法改正の手続きを加速することは間違いない。

米国の著作権法は、新しいサービスによる著作物の利用が著作権の侵害にあたるか否かを事後的に裁判所によって判断させ、その判断にあたっては、裁判例によって築き上げられてきたフェアユースの制度により柔軟に判断された。これにより、創造性のある企業が参入し、裁判所における判決や和解などを含めて、新しいサービスが発展してきた。その一例が検索エンジンである。筆者としては、サンドボックスを一歩進め、これを著作権についても当てはめていくことが考えられる。フェアユースのような柔軟な法制度を設けることが難しいのであれば、サンドボックスによる実証実験を著作権にも当てはめて、将来的にフェアユースに通じるフェアな活動を許容する社会とその制度的保証が望ましいと感ずる次第である。

おわりに

日本の法整備がすべて遅れているわけではないことを示した。さはさりとして、遅れているところがたくさんあるのだとも思う。さて、ITがイネーブルする世界に適合して法制度を変更することが重要だとして、その時間を短くできにくい理由はどこにあるのか？ 京都賞を受賞したアランケイは、世界のプログラマーの数が約2,000万人であるとしている。地球上の全人類からの比率的には、極めてマイノリティであるのは事実である。プログラマーほどITが判らなくてもよいかもしれないものの、ITの本質を理解できる人があまりに少ないことがITのスピード感と法のそりが悪い大きな根源かとも考えられる。一方、人類の識字率は圧倒的に高い。人類は文盲率を低くするために、教育システムの充実を図る等して、長い年月をかけて努力してきたといえる。コンピューターが生まれてまだ1世紀も経っていない。変化が加速する中で、リテラシーを向上し、規律をどう設計するかは大きな課題であり、ITのみならず、多くの技術革新が進む中で、避けて通れない挑戦といえよう。

謝辞 本稿の取りまとめに関しては、相澤英孝先生(武蔵野大学法学部 教授／一橋大学 名誉教授)にご指導を頂戴致しました。

AIと倫理・社会的受容性

株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所

北野宏明

人工知能が、非常に影響力のある技術であるという認識の広がりとともに、その開発と利用に関して、何らかのガイドラインが必要であるという認識が広がってきた。

AIの社会的影響としては、AIの動作が人権に影響を与える場合、仕事を奪う可能性、AIシステムの誤動作が人に危害を加える場合など、いくつかの局面への影響が議論されている。

その中でも、AIシステムが、公平で、説明責任を満たすことができ、透明性があるという点が重要視されている。これは、Fair, Accountable, Transparent (FAT)として一つの重要なポイントである。

機械学習により分類や評価を行うAIシステムの基盤となるデータに、特定の人々に対して不当に不利になるバイアスがあった場合、そのデータにもとづいて学習されたAIシステムは、そのデータ上のバイアスを反映した動作をしてしまうことがありえる。AIシステムの開発に際しては、このようなことが引き起こされないように、公平性を担保するデータセットを利用することが求められる。また、AIシステムの動作に関しての説明責任と透明性が伴うという考えがあり、これに関しては、説明可能なAIや動作解析やデータセットの正当性の評価手法に関する研究を推進する必要性が派生する。これらの研究は推進されるべきではあるが、当面はAIシステムの動作を検証し、バイアスが発生していないかなどのチェックを継続する必要がある。

企業の動きも活発である。Microsoft、IBM、Google、Sonyなど企業としての立場を表明し、AI倫理ガイドラインを制定し、公開する企業が増えてきている。Sonyも、AI倫理ガイドラインを制定し、公開した。

このような論点は重要であり、国、企業、国際機関を含めたステークホルダーの認識を反映して、今後のAIの在り方を議論する場が、あらゆるレベルで存在する。その一つが、Partnership on AI (PAI)であり、Google、Facebook、IBM、Microsoftなどが立ち上げ、多くの企業やNPO、大学なども参加する団体となっている。日本からは、Sonyが参加している。PAIは、いわゆるGAFANAなど、この分野でのトップ企業が集まっていることから、AIと社会や倫理の議論は積極的に行うと同時に、独禁法に抵触する議論は行わないという誓約書へのサインが必要となる。

PAIでは、単にAIのリスクの側面にフォーカスするのではなく、ベストプラクティスを通じて、公共財としてのAIというコンセプトのもとで、AIを地球規模の問題の解決に貢献するアプローチなども議論されている。この背後には、AIが今後社会にもたらす影響の大きさに対する認識がある。定型的な業務の多くがAIに取って代わられるなら、その部分での仕事は消失する。逆に、AIの導入で、多様なサービスが生み出され、結果的に、新しい雇用も生み出される。しかし、短期的には、AIに仕事が取って代わられる人々が、すぐに新しく生み出される仕事に就くことができるかは定かではない。この場合、失業問題が発生しうる。それ以外にも、高度なAI技術とその展開力を持つ企業と持たない企業。そのような企業群を有する国と有さない国の間で大きな格差が発生する可能性があるとの認識である。このような予想される変化に対して、十分な対応を取っておく必要があるというのがPAIでの共通認識である。

PAIでは、8項目からなる原則を定めている。

Tenets (信条) 和訳

1. AI技術が可能な限り多くの人々の役に立ち、活力を与えられるように努める。
2. 一般の人々を啓発し、彼らの意見に耳を傾けるとともに、積極的に利害関係者の参画を促して、PAIの取組事項についてフィードバックを求めたり、PAIの活動に関する情報を提供したり、疑問に答えたりしていく。
3. AIが倫理、社会、経済、法律に及ぼす影響について、オープンに研究し意見交換することを約束する。
4. AIの研究開発成果は、幅広い利害関係者に使用を働きかけるとともに、当該関係者に対し説明可能である必要がある。
5. 経済界の利害関係者と連携するとともに、代表者を招き入れ、AIに関連する懸念とAIが生み出す好機の双方がしっかり理解され、対処されるようにする。
6. AI技術がもたらす利益を最大化し、潜在的課題に対処するために、以下のことを行う。
 - a. 個人のプライバシー保護とセキュリティ確保を図ること。
 - b. AIの進化により影響を受ける可能性のあるすべての関係者の利益を理解し尊重するよう努めること。
 - c. AIの研究や実用化を担うグループが、AI技術が社会全般に及ぼす潜在的影響について、社会的責任を負い、敏感であり、かつ直接的に携わり続けるようにすること。
 - d. AIの研究と技術が、堅牢で、確実で、信頼できるものであり、また安全制御のもと運用されるよう確保すること。
 - e. 国際条約に違反したり、人権を侵害するようなAI技術の開発や利用に反対するとともに、害を生じないような予防手段や技術を促進する。
7. AI技術を人々に説明するためには、AIのシステムがどのように運用されているかが、人々にとって理解可能・解釈可能であることが重要であると考えます。
8. 参加者全員がこれらの目標をより確実に達成できるように、AI科学者と技術者の間の、協力的で、信頼しあえる、オープンな文化を創造するよう努める。

産業革命で、人類は、動力を手に入れ、それが偏在化することになった。これにより長距離移動と大量生産が加速した。現在進行中のAI駆動型産業への転換で、我々は知能やより広範な能力を偏在化させることが可能となる。これが産業と社会に与える影響は極めて大きい。

これは、教育へも大きな影響を与えられると思われる。AIシステムの開発と維持・改良へのニーズは高まる。同時に、それを実務に導入する人材も必要である。これらの人材は、数学、データサイエンス、AIを理解していることのみならず、各々の領域の知識と経験も必要である。これは、数学、データサイエンス、AIが極めて広範に教育に導入され、さらに、複数の領域に精通した人材を生み出す教育へと大きな転換をする必要がある。

AIは強力な技術であり、その影響は大きい。その力を大きく社会のために利用するベストプラクティスや、負の影響を軽減する行動、さらに社会の変革を先読みし、それに対応する教育や社会システムの整備など、多くの行動を迅速に行う必要がある。

MEMO

AIの社会実装 課題と対策

- 5.1 総論
- 5.2 社会実装に係る課題調査
- 5.3 特定領域の深掘り調査
- 5.4 社会実装課題の抽出と分析
- 5.5 社会実装推進の方向性の提示
- 5.6 社会実装推進の方向性の特定領域への適用
- 5.7 今後の展望

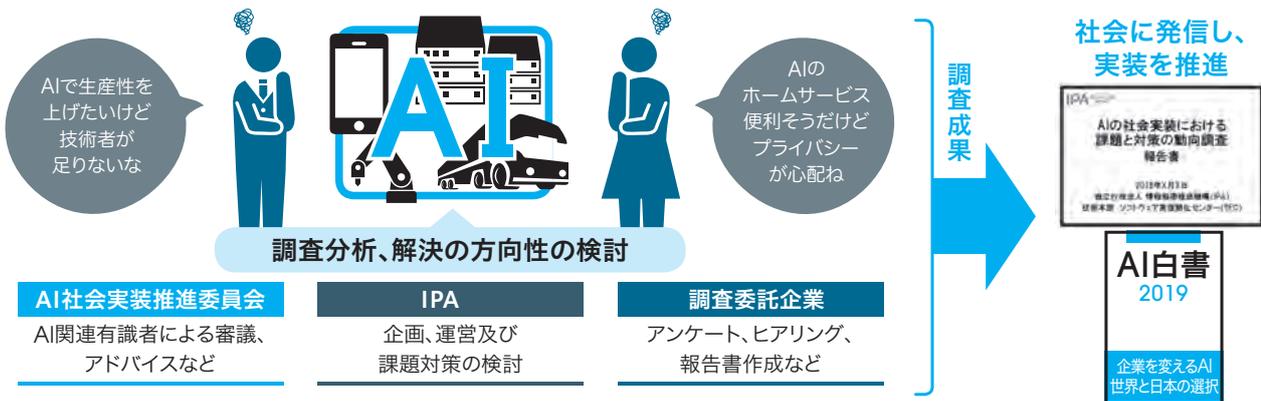
AIの社会実装課題と対策

5.1 ▷ 総論

本章では、IPAが平成29年度、AIの社会実装を阻害する諸課題を明らかにするために実施した「AI社会実装推進調査」の報告書(平成30年6月公開^{*1})にもとづき、AIの利用・制度政策動向調査、実装課題の抽出結果、及び課題分析により策定した社会実装推進の方向性を説明する。

Society 5.0でも提唱されているように、経済発展と社会課題の解決を両立する新技術としてAIに対する期待が高まっており、海外では自動運転やスマートホームなどの製品・サービスの普及も進んでいる。日本においても、社会や産業がAIの恩恵を受けるためには、社会実装課題の抽出及び解決により、AI技術や製品・サービスの社会実装をスピードアップすることが必要である(図5-1-1)。

■図5-1-1 AI社会実装推進調査のイメージ

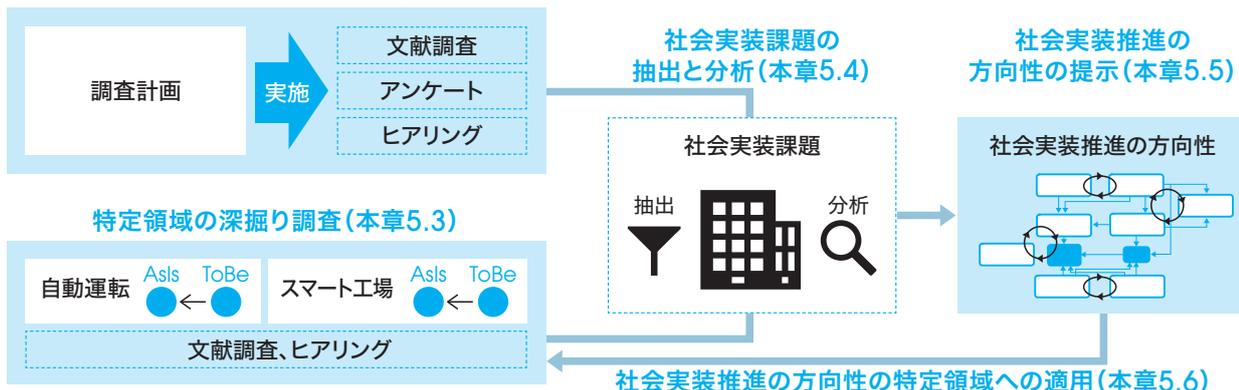


出典:IPA「平成29年度AI社会実装推進調査報告書」より

本章の「5.2 社会実装に係る課題調査」においてはアンケート、ヒアリング及び文献調査による実装課題の抽出結果、「5.3 特定領域の深掘り調査」においては特に自動運転及びスマート工場に関する実装課題の検討結果、「5.4 社会実装課題の抽出と分析」においては課題一覧の整理と分析、「5.5 社会実装推進の方向性の提示」では課題分析から導き出した課題解決の方向性、「5.6 社会実装推進の方向性の特定領域への適用」では特定領域(自動運転及びスマート工場)における方向性の適用検討の結果について説明する(図5-1-2)。

社会実装に係る課題調査(本章5.2)

■図5-1-2 社会実装推進調査の流れ



5.2 ▷ 社会実装に係る課題調査

ここでは、AIの社会実装に係る課題を調査するために実施した委員会検討、文献調査、アンケート及びヒアリングの結果を紹介する。

5.2.1 AI社会実装推進委員会

AI社会実装推進の調査及び検討を行うために、IPAは平成29年12月、東京大学の松尾豊氏を委員長としたAI社会実装推進委員会を設置した。ディープラーニングの研究者、AIソリューション開発企業・ベンチャー（スマート工場のアプリケーション開発企業を含む）、自動運転関係者、セキュリティサービス関係企業、データサイエンス関係企業、法制度の専門家、メディア関係者、国の研究開発関係団体など、AIの社会実装の検討に必要なメンバーを集めている（表5-2-1）。

■表5-2-1 AI社会実装推進委員会の構成（2018年3月時点、敬称略）

| 役職 | 氏名 | 所属 |
|-------|--------|---------------------------|
| 委員長 | 松尾 豊 | 国立大学法人東京大学 |
| 委員長代理 | 小松崎 常夫 | セコム株式会社 |
| 委員 | 麻生 英樹 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 |
| | 岡田 陽介 | 株式会社ABEJA |
| | 草野 隆史 | 株式会社ブレインパッド |
| | 佐藤 聡 | 株式会社クロスコンパス |
| | 新保 史生 | 慶應義塾大学 |
| | 関根 久 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 |
| | 竹田 茂 | スタイル株式会社 |
| | 樋口 晋也 | 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ |
| | 宮田 博司 | 株式会社富士通研究所 |

本委員会の開催状況は表5-2-2のとおりである。

■表5-2-2 AI社会実装推進委員会の開催経緯

| 委員会 | 日時 | 主な議事 |
|--------|-------------|-------------------------------|
| 第一回委員会 | 平成29年12月12日 | 調査事業の進め方検討、自動運転に対する実装課題の深掘りなど |
| 第二回委員会 | 平成30年1月19日 | 動向調査経過報告、スマート工場に対する実装課題の深掘りなど |
| 第三回委員会 | 平成30年2月20日 | 動向調査結果報告、中国調査結果報告、調査報告書の審議など |

5.2.2 文献調査

文献調査では、国が設置した委員会や国際標準化団体におけるAIの社会実装課題に係る取組みを中心に調査した。

(1) 学習データや学習済みモデルの保護

ディープラーニングの学習において利用されるデータに関しては、企業ヒアリングにもあるように導入先の企業が十分に有していないケースが見られる。これに対して、国や企業のデータ流通によりAIやIoT関連技術の開発・活用促進を図るため、平成28年12月、「官民データ活用推進基本法」が

※1 IPA「平成29年度AI社会実装推進調査報告書」<<https://www.ipa.go.jp/sec/reports/20180619.html>>

施行された。また、IoT推進コンソーシアムの検討成果を踏まえた一般社団法人データ流通推進協議会のように、データ流通を推進する団体も設立されている。

このような流れにより、学習データのみならず学習済みモデルの流通も期待されるが、この場合、知的財産権が課題となる。学習データも学習済みモデルも一部(文学や音楽等の著作物のデータ)を除いて著作権法の対象とはなっていない。経済産業省は平成27年10月、Webサイト運用事業者が収集したビッグデータの利活用事業者への提供時に参考となる「データに関する取引の推進を目的とした契約ガイドライン」を、平成29年5月には、BtoBビジネス等で生じるデータの関係者間での利用権限の定め方等を解説する「データの利用権限に関する契約ガイドライン Ver.1.0」を公表しているが、これらのガイドラインは契約当事者間では有効であるものの、データが契約関係のない第三者に不正取得されてしまった場合の差止等は対象とならない。

これに対して、産業構造審議会 知的財産分科会 営業秘密の保護・活用に関する小委員会による「第四次産業革命を視野に入れた不正競争防止法に関する検討 中間とりまとめ」を踏まえ、平成30年5月、不正競争防止法の改正案が可決された。これにより、「ID」「パスワード」により管理し、提供相手を限定するデータについて不正に取得、使用、開示する行為に対して、差止や損害賠償の請求が可能となる。

データや学習済みモデル自体の知的財産権を規定し直した場合、流通しているデータや新たな公開データを利用するたびに権利関係の確認や権利処理の手間が生じる。事業活動に利用しかつ「ID」「パスワード」により管理されたデータや学習済みモデルのみを「営業秘密」として保護することにより、データ流通への影響を抑えたと考えられる。

(2) AIが生成したものの権利(「4.2.1 国内のAI知的財産関連施策の動向」参照)

ディープラーニングを活用した創作(著作物)については、学習済みモデルの利用者に創作意図がありかつ創作的寄与があれば、生み出されたAI生成物には著作物性が認められて、利用者が著作者になる。しかし、創作的寄与がない、または創作的寄与が認められないような簡単な指示に留まる場合は「AI創作物」となるため、現行の著作権法上は著作物と認められないと整理されている。ただし、具体的にどのような創作的寄与があれば著作物性が肯定されるかについては明確ではなく、具体的な方向性を決めることも現状では難しい。

また、著作権法47条の7(2019年1月1日以降、同法30条の4第2号)で認められている第三者の著作物(音楽データ等)を用いた機械学習で作成した学習済みモデルが元の著作物と類似したデータを出力したり、AI創作物を人間の創作であると偽って市場に供給したりするなどの問題が想定されるが、いずれも現状では明確な判断が難しい。

(3) AIのセキュリティ

AI技術の応用範囲は広く、株価のトレンドを予想するAI、AIサーバーと家庭用スマートスピーカーがつながったIoT型のAI、自動運転車の画像認識チップのように機器上で動作するAIなど、様々な実現形態がある。いずれの場合も、不正にアクセスされたり、書き換えられたり、システム停止に追い込まれたりすれば、深刻な被害を招く可能性がある。

クラウド上で動作するAIについては、総務省「クラウドサービス提供における情報セキュリティ対策ガイドライン(第2版)」、経済産業省「クラウドセキュリティガイドライン」など参考資料も提供されているが、機器上で動作する(組込みシステムとしての)AIに関するセキュリティ対策について

は検討途上である。

経済産業省／国土交通省 自動走行ビジネス検討会が平成30年3月に公表した「自動走行の実現に向けた取組方針Version2.0」では、取組方針の初版で挙げられた「サイバーセキュリティ」の「進捗状況と取組方針」について、国際基準・国際標準への取組み、テストベッドの構築などを挙げている。また、ロボット革命イニシアティブ協議会は2018年5月、ドイツPlattform Industrie 4.0と「産業サイバーセキュリティ分野における日独連携の共同文書」を公表した。本文書では次のステップとして「Challenge for Secure Supply Chain of Connected Industries」が挙げられている。

ただし、組込みシステムとしてのAIも含めた汎用的なAIセキュリティガイドラインなどの具体的な取組みはこれからという状況である。なお、業務に利用されているパチンコ遊技台のロムの不正書換に対して電子計算機損壊等業務妨害罪が適用されなかったという判例もあり（福岡高判平成12年9月21日）、組込みAIチップが不正に書き換えられたとしても法的に取締りが難しい可能性もある。

(4) 意図しないプライバシーの侵害

「2.9 標準化・オープンプラットフォーム」のとおり、ISO/IEC JTC 1/SC 42では“Societal concerns”の標準化についての検討が行われているが、その中で個人がデータを送信する際の携帯電話上のメタデータや企業が意図せずに公開してしまった第三者情報をAIが学習に利用してしまう可能性について言及している。このような事象が生じた場合、公共空間やネット上で収集した音声データや画像データをAIに自動的に学習させた結果、AIが個人を特定できるようになったり、AI開発者がそれに気付かないことが想定される。

このような事象が発生した後であれば、AIがどのようにデータを収集・学習したか、その結果、何を行うことが可能となったかを分析することは可能であるが、事前にそれを把握することは開発者でも困難であると想定される。

(5) AI製品に対する損害賠償請求

AIを利用した製品の使用において損害が発生した場合、法律にもとづいて損害賠償を請求することとなる。まず、製品が提供すべき機能が提供されなかった場合などにおいて、製造者と購入者間における契約責任として債務不履行責任を問うことが可能であるが、製品が契約関係のない第三者に損害を与えたり、予見可能な損害ではない場合には責任を問えない。また、不法行為責任を問う場合には、製造者の故意または過失による責任を請求側（被害者側）が立証する必要があるが、消費者がこれを行うことは難しい。これに対して製造物責任法（PL法）は、製造物に欠陥があったことを要件とすることにより損害賠償の請求を容易にする法律であるが、特にAIの欠陥を証明することは消費者にとって困難である。またAIは、十分なテストデータを用いて検証を行っても実際の環境で想定外の動作を行う可能性があり、欠陥を前もって予想することができないことから、免責となる可能性がある^{※2}。

AIを利用した製品・サービスに対しては、無過失責任制度に近いスキームによる対応も必要と想定される。国土交通省「自動運転における損害賠償責任に関する研究会」が平成30年3月に公表した報告書（概要）では「民法の特別法である自賠法は、運行供用者（自動車所有者等）に、事実上の無過失責任を負担させている（免責3要件を立証しなければ責任を負う）」という前提の下、自動運転の損害

※2 伊藤博文「人工知能の民事責任について」愛知大学法学部法経論集第206号67頁（2016年）<<http://cals.aichi-u.ac.jp/products/articles/OnCivilLiabilityOfAIv2.pdf>>

賠償責任についての検討を行っている。対象は自動運転の「過渡期」であり、「従来の運行供用者責任を維持しつつ、保険会社等による自動車メーカー等に対する求償権行使の実効性確保のための仕組みを検討することが適当」といった結論が示されている（自動運転においても、事実上の無過失責任を維持）。

(6) データの独占

公正取引委員会「データと競争政策に関する検討会」では、ディープラーニングで使用される学習データを一部の企業が独占することによる課題と対策の検討を実施している。平成29年6月に公表された報告書の概要版では、「基本的な方向性」として、「データの集積・利活用それ自体は、競争を促進し、イノベーションを生み出す」、「一方で、データの集積によって、独占や寡占（競争の制限）をもたらし得る企業結合や、市場における地位を利用した消費者・中小企業からのデータの不当な収集（搾取）、あるいは、不当な『囲い込み』に対しては、独占禁止法による対応が必要」としており、具体的な政策や法改正などはこれからという状況である（図5-2-1）。

■ 図5-2-1 AIに関連する法制度課題例

知的財産権（学習データ、学習済みモデル）

課題：学習データや学習済みモデルを保護する法制度が不十分
 課題例：不正競争防止法で保護できるケースが限定的。ただしデータが保護されると、権利処理の手間が膨大に
 論点：データの知的財産権保護と流通のジレンマ
 参考：知的財産推進計画2017, 第四次産業革命を視野に入れた不正競争防止法に関する検討など

個人情報保護法、プライバシー

課題：AIが意図せず個人特定やプライバシー侵害をする
 課題例：自動運転車やスマートスピーカーの収集データを匿名化して学習させたが、微妙な特徴を捉えて学習し、個人を特定したり、プライバシーを侵害してしまう
 論点：AIの個人識別能力の有無の判別（AI説明性）

著作権法（AI生成物）

課題：AI生成物の権利に関する問題が未決着
 課題例：AI生成物に対する人間の創作活動の程度や詐称、AI学習データとAI生成物との類似性（音楽CDの学習による原作者の権利侵害等）など
 論点：AI生成物に対する人の創作活動の証明、学習データとAI生成物との因果関係の証明など
 参考：知的財産推進計画2017など

民法（不法行為）、製造物責任法（PL法）

課題：メーカーの過失やAIの欠陥の証明が難しい
 課題例：AI製品により損害を受けても、ユーザーがメーカーの過失や製造物の欠陥を証明することが難しいため、損害賠償請求が難しい
 論点：ユーザーによるAI製品メーカーの過失の証明、ユーザーによるAI製品の欠陥の証明

セキュリティ

課題：組込みシステムのAIを守るための法律が未整備
 課題例：組込みAIチップの不正改造が「電子計算機損壊等業務妨害罪」や「不正指令電磁的記録供用罪」に当たるかが明確でなく、抑止力が働かない
 論点：AIに合わせた法制度の見直し
 参考：パチンコ裏口ム事件（福岡高判平成12年9月21日）

独占禁止法

課題：学習データの独占による不公正取引
 課題例：学習データが特定企業に独占されることにより競争が制限され、消費者の利益が損なわれる
 論点：ディープラーニングの大量の学習データの必要性
 参考：データと競争政策に関する検討会（公正取引委員会）

参考：サンドボックス制度

概要：最先端の実証実験等を迅速に行うため、規制を緩和
 ・自動運転等に関し、安全性に十分配慮しつつ、事前規制・手続きを抜本的に見直す「地域限定型サンドボックス制度（国家戦略特区法）」
 ・革新的な技術やビジネスモデルの実用化の可能性を検証し、実証により得られたデータを用いて規制の見直しにつなげる「プロジェクト型サンドボックス制度（生産性向上特別措置法）」

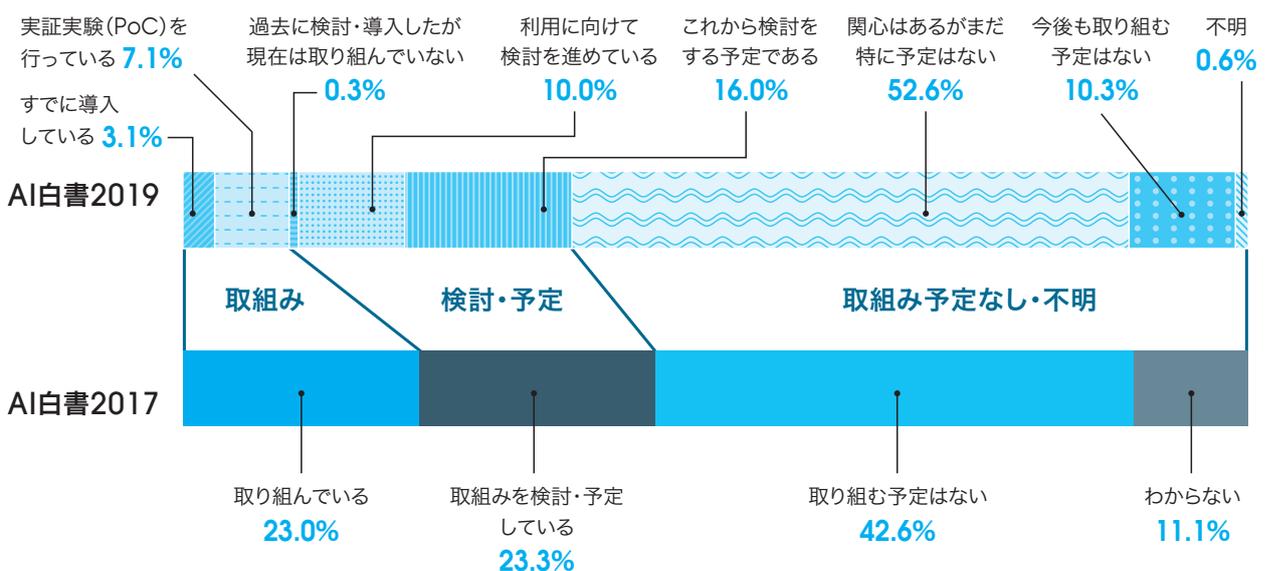
(7) 社会実装の促進

医薬・医療分野では、先駆け審査指定制度、再生医療等の安全性の確保等に関する法律など、患者に世界で最先端の治療薬を早く提供することを目指し、画期的な新薬等の審査を優先したり、早期に条件及び期限を付して製造販売承認を与える制度が創設された。自動運転等に関しても、同様に最先端の実証実験等を迅速に行うため、安全性に十分配慮しつつ、事前規制・手続を抜本的に見直す「地域限定型サンドボックス制度(国家戦略特区法)」が創設された。また、革新的な技術やビジネスモデルの実用化の可能性を検証し、実証により得られたデータを用いて規制の見直しにつなげる「プロジェクト型サンドボックス制度(生産性向上特別措置法)」も創設されている。

5.2.3 アンケート調査

図5-2-2に、本書資料Aから「自社のAI活用状況」の調査結果を再掲する。『AI白書2017』のアンケート調査の対象は上場企業であったが、本調査は非上場企業も含めている。また本グラフは、ユーザー企業のみ(AIビジネス企業を除外)を対象としているため、『AI白書2017』と比較して取り組んでいる企業が少なくなっている。AIビジネス企業の場合、自社での利活用とAI製品・サービスの使用との区別が付きにくいこと、非上場企業にも導入が広がらなければ「社会実装」とは言い難いことから、より正確な数字になっていると考えている。

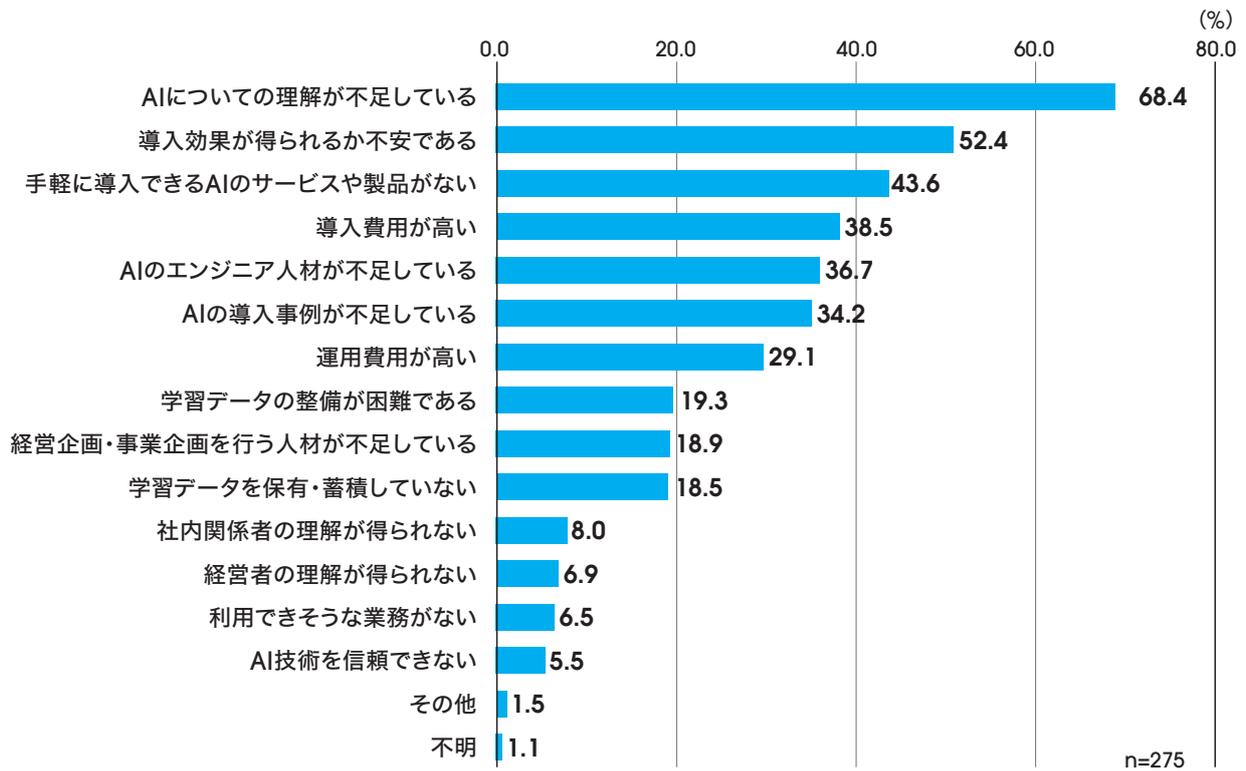
■ 図5-2-2 AIの導入・検討状況



ヒアリングにおいて「実証実験は行ってもAI導入を決断できない企業もある」との意見を複数の企業から聞いたため、『AI白書2017』のアンケート調査では「取り組んでいる」としていた選択肢を「すでに導入している」と「実証実験(PoC)を行っている」の2つに分けている。産業別の導入及び実証実験の状況については特定の産業に偏っている傾向は見られなかった。

次に、これから導入の可能性がある「利用に向けて検討を進めている」、「これから検討をする予定である」及び「関心はあるがまだ特に予定はない」と回答した企業に対するAI導入にあたっての課題を図5-2-3に示す。「AIについての理解が不足している」という回答が突出している。AIベンチャーへのヒアリングでも、「AIに対する過度な期待」などユーザー企業の理解不足に対する意見は多かったが、ユーザー企業がAIベンチャーと組むケースも少なくないことから、AI技術や知見の不足という観点もあると思われる。

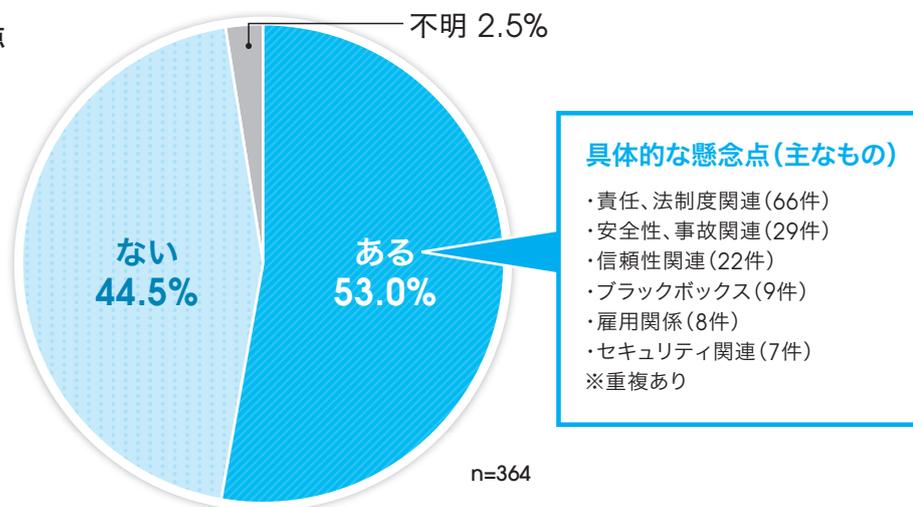
■ 図5-2-3 AI導入にあたっての課題（「検討中」・「検討予定」・「関心はある」回答者）



また、「導入効果が得られるかが不安である」が次点となっているが、ヒアリングではAIベンチャーから、ディープラーニングは実際に学習してみないと期待する性能が得られるかが分からないという説明があった。一般の情報システムでも事前に導入効果とコストの比較を行ったうえで、導入の決定やシステム・委託先の選定を行うことを考えると、事前に導入効果が分からない点は大きな課題と思われる。

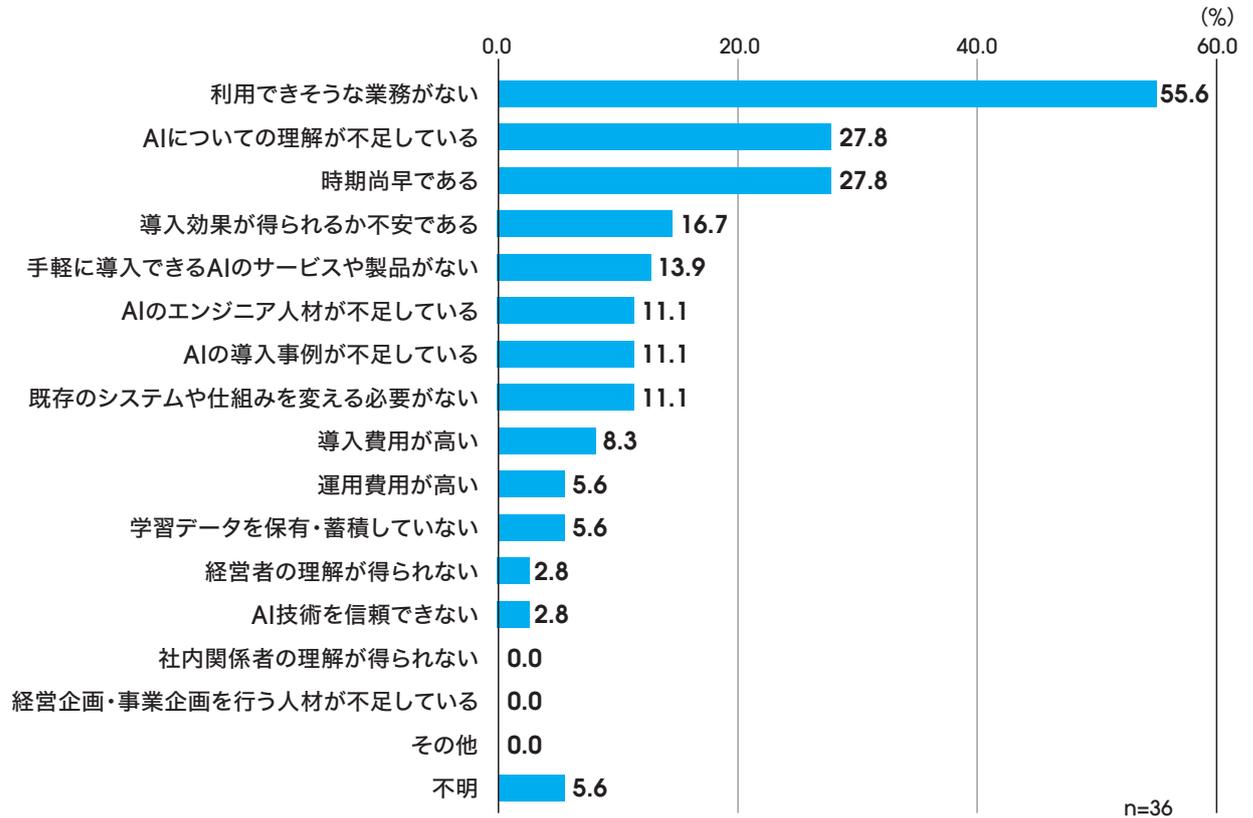
図5-2-4に、AIに対する懸念を示す。懸念が「ある」という回答者には具体的な懸念点を聞いているが、事故発生時の責任などが数多く挙げられており、自動運転の事故など、メディアで取り上げられているAI課題について関心が高いものと思われる。

■ 図5-2-4 AI導入において懸念する点



AI導入に関して「今後も取り組む予定はない」回答者に理由を聞いた結果を図5-2-5に示す。先進的なユーザー企業へのヒアリングでは、製造工程にどのような改善可能性があるかを把握したうえで、AIの利用検討を行っていた。AI社会実装推進委員会でも、ユーザー企業はある程度のAIの知見を持ったうえで、自社の業務の課題を洗い出していくことが必要という指摘があった。図5-2-5では、「利用できそうな業務がない」が突出しているが、AIの知見をもったうえで業務を洗い直せば適用対象が見つかることも期待される。

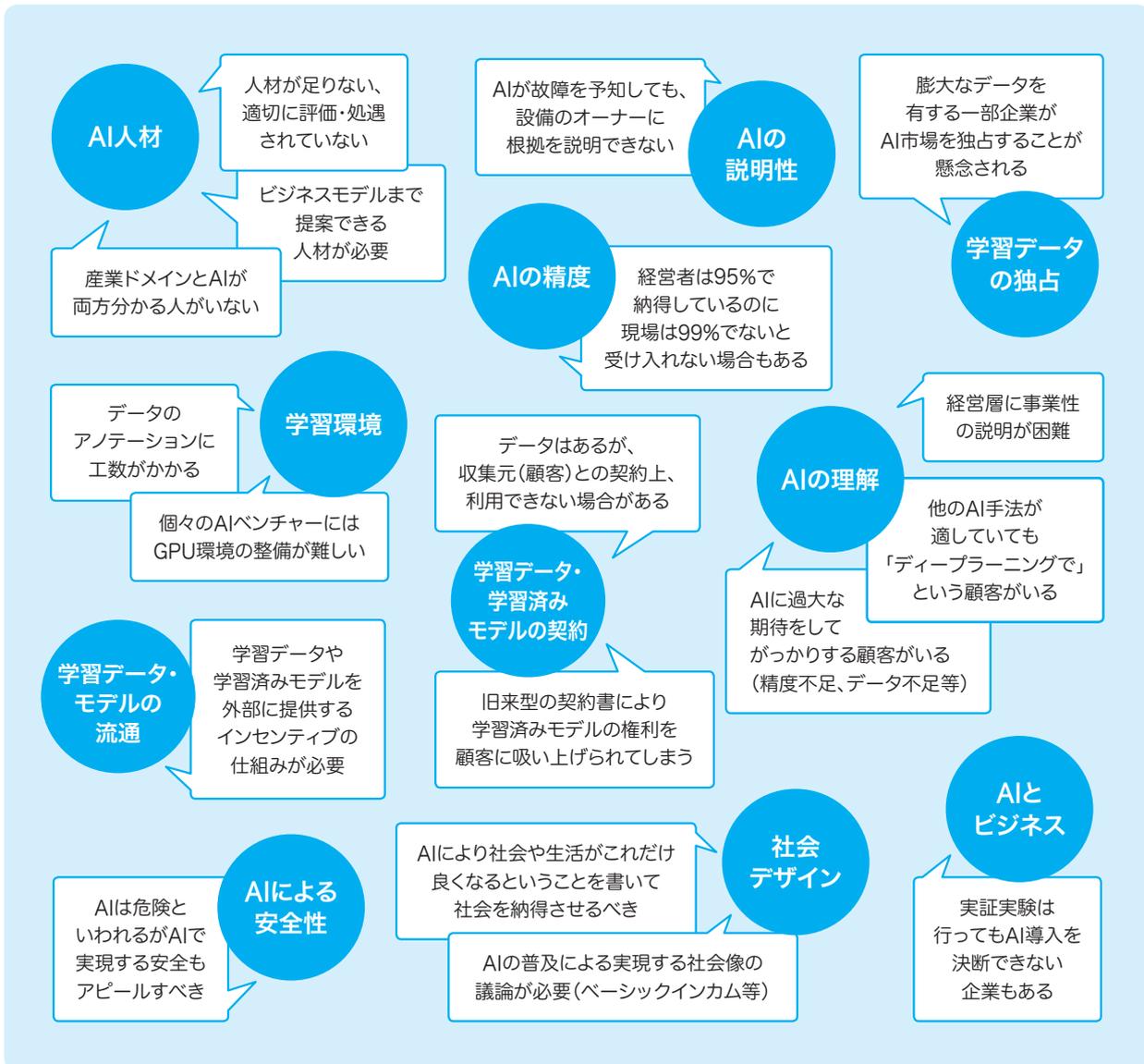
■ 図5-2-5 AIの利用を検討しない理由（「今後も取り組む予定はない」回答者）



5.2.4 ヒアリング及びAI社会実装推進委員会での意見

図5-2-6はAI全般に関する意見である。

■ 図5-2-6 ヒアリング及びAI社会実装推進委員会で聞かれた意見(主要なもの)



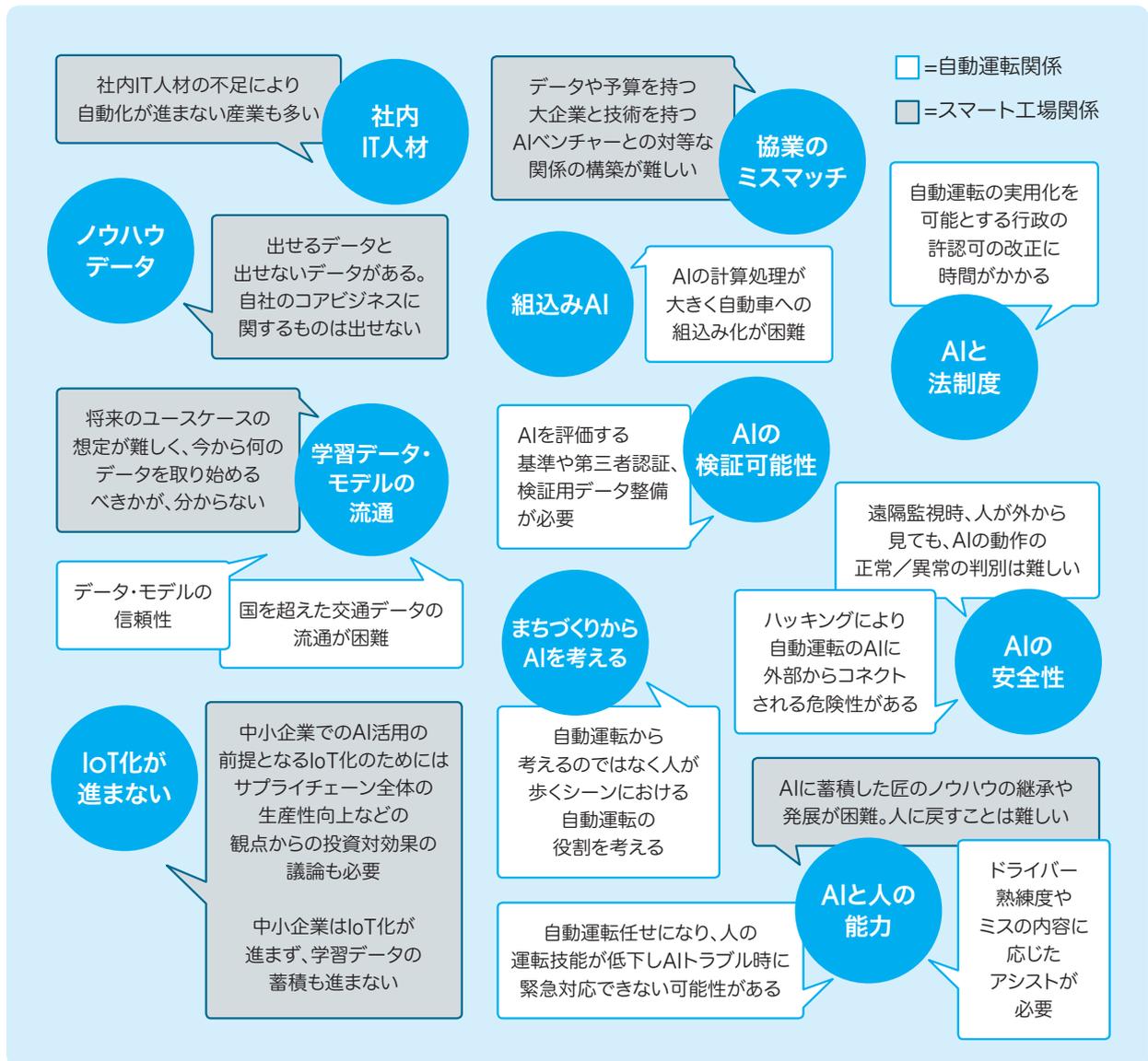
「AI人材」に関しては、量的・質的不足や海外と比較して報酬が低いといった意見に加え、AIを利用したビジネスモデル創りを行えるマーケティング能力や自社の課題を洗い出し、AI導入を検討できるような産業ドメインの知識を併せ持つことが必要という意見が聞かれた。

また、「AIの説明性」では、AIがデータの学習により設備機器の故障を予知できるようになっても、AIが根拠を説明できないため、顧客に設備機器の交換に応じてもらえないといった課題も聞かれた。これについては、一体的保守サービス(フルメンテナンス契約とも呼ばれる)のコスト削減に利用するなどのスキームが必要であり、上記のビジネスモデル創りとも結び付く。

「社会デザイン」については、AIの社会への導入効果や影響を明確にすることで社会受容性を高めたり、ベーシックインカムなど社会制度の変革を検討するべきという意見も聞かれた。

図5-2-7に、ヒアリングにおける特定領域(自動運転及びスマート工場)に関する意見を整理した。

■ 図5-2-7 ヒアリングで聞かれた意見(特定分野に関する主要なもの)



特定の産業を対象とすることで、意見も具体的になっている。例えば安全性については、外部から人間がAIシステムを監視したとしても、予期せぬ挙動が異常によるものか、人間には理解できない正常な判断なのかを監視者には判断できないといった意見が聞かれた。また、AIに学習させるためのデータを国外から入手することが容易ではないといった意見や、中小企業ではIoTが進まず、学習に必要なデータの蓄積も進まないといった意見も聞かれた。

5.3 ▷ 特定領域の深掘り調査

本調査では、「自動運転」と「スマート工場」をAI応用の重要な領域(特定領域)とし、詳細分析を行った。

5.3.1 ▶ 自動運転における実装課題

自動運転に関しては、第3章「利用動向」でも紹介したように国内外で取組みが進んでいるが、技術的には完成度が高まっているものの特に日本での社会実装は進んでいない。以下では、その課題について整理する。

(1) 自動運転社会のデザイン

自動運転に関しては、「官民ITSロードマップ2017」において、自動運転による社会的期待として「交通事故の削減」「交通渋滞の緩和」「環境負荷の低減」「運転の快適性向上」「高齢者等の移動支援」、さらに自動運転産業の発展による「産業競争力の向上」「関連産業の生産性向上」が挙げられている。

経済産業省／国土交通省 自動走行ビジネス検討会が平成30年3月に公表した「自動走行の実現に向けた取組方針 Version 2.0」では、高速道路においては2020年までにレベル2、2020年以降にレベル3を含む高度な自動走行を実現する見込みで、主要幹線道路においては2020年ごろに直進運転のレベル2、2025年ごろには、主要幹線道路における右左折やその他の道路における直進運転等、レベル2の対象環境を拡大する見込みとなっている。また、今後、我が国が競争力を獲得していくにあたり必要な技術等のうち、企業が単独で開発・実施するにはリソース的、技術的に厳しい分野として重要10分野を協調領域として特定している(詳細は「3.3.2 自動車産業における利用動向」参照)。

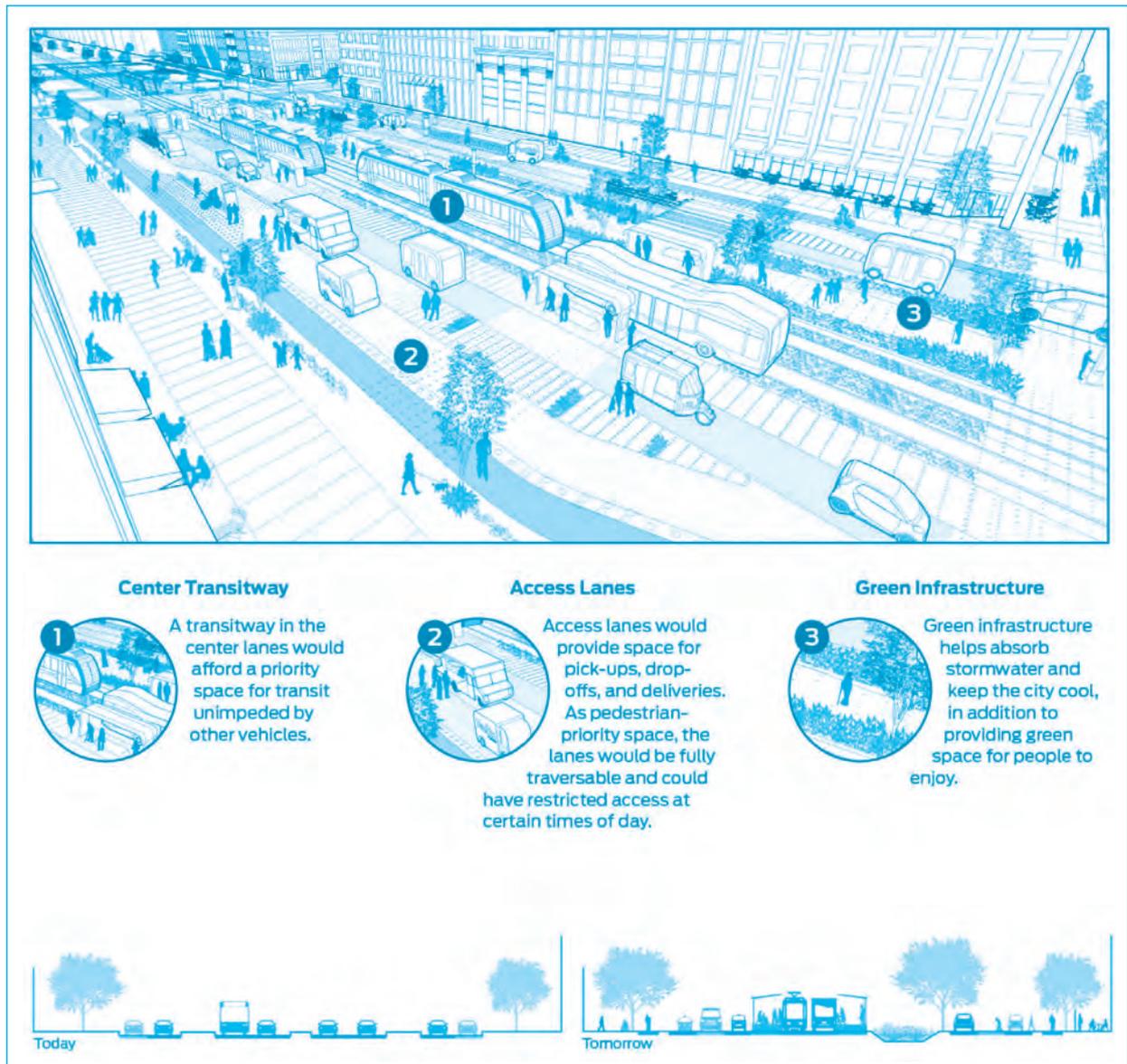
しかしながら、それぞれの施策は自動運転の実現とその活用が主たる目的となっており、「2.6 AIと社会」でも触れた、AI技術による社会レベルでのシステムデザインについては踏み込んだ提案は見当たらない。

米国のNPOであるNACTO(National Association of City Transportation:米都市交通担当官協議会)が2017年に公開した「Blueprint for Autonomous Urbanism」では、自動運転時代の都市デザインが示されている。約60ページの冊子に、公共交通、歩行者や自転車との関係、道路やスペースの使い方など、自動運転が社会実装された将来像が詳細に描かれている(図5-3-1)。

同書の冒頭では、自動車の登場がメリットだけでなく、無計画に広がる土地利用、地域を分断する高速道路、周辺住民の健康を害する交通渋滞、莫大な駐車スペースまで都市デザインに良くない影響を与えたことから、自動運転においては過去の過ちから学び、都市や交通システムの効率性、持続可能性、公平性を確保する検討を行ったことが述べられている。

また同書は、自動運転が中心ではなく、歩行者や自転車、まちづくりまでを含めた社会や都市のデザインが中心であり、その中に自動運転が果たすべき役割を位置づけている。これにより、自動車を運転しない人々、街を歩いたり自転車で移動する人々、道路周辺に居住する人々にも、自動運転の可能性や恩恵について明確なイメージを示している。これらの人々を自動運転社会の検討に巻き込み、自動運転の社会受容性を高めることが期待されるという点で参考になる。

■図5-3-1 自動運転社会のイメージ



出典：米都市交通担当官協議会 (NACTO) 「Blueprint for Autonomous Urbanism」(2017)より

(2) 自動運転における実装課題

IPAが実施した自動運転関係者へのヒアリング、AI社会実装推進委員会におけるディスカッションによって提示された社会実装課題を以下に列記する。

①自動運転の開発に係る課題

1) 技術の使い分け

ディープラーニングと車載カメラを組み合わせた画像認識システムは、障害物の有無だけでなく、何があるか、どのように動くかといった認識や予測にも優れている。このため、「障害物が人であるなら最優先で回避する必要があるが、ゴミ袋であるなら無理な回避は行わない」といった判断により安全性を高めることが可能となる。これに対して、LiDAR (Light Detection and Ranging) やミリ波レーダーを使ったセンサーシステムは、測定精度が高く、画像認識システムが苦手な激しい雨や霧、西日などの条件においても性能を発揮できる。

そこで、多様な障害物が発生しうる一般道と限定される高速道路、豪雨や霧、西日などの環境条件、さらに実装コストなどを考慮し、技術を使い分けたり、組み合わせたりする必要がある。

2) 機械学習のエッジ化

自動運転においては、大量のデータをもとに高度なGPU環境で学習したり、長時間にわたるシミュレーションにより検証したAIシステムを車両に搭載し、再学習や調整が必要となればOTA (Over the Air) でAIシステムの必要部分を入れ替える運用が想定される。これに対し、実際の利用環境(エッジ)において収集されたデータを利用して車両ごとにAIの再学習や調整を行うことができれば、より実態に合った判断を行える。そのためには、エッジのデバイス性能、再学習や調整のロジック、検証方法など、様々な課題がある。

3) 学習データの収集

自動運転の研究開発において、車両が直面する多様な状況を把握・予測するモデルを作るためには莫大な学習データが必要となる。具体的には、車載カメラだけでなく、カーブや交差点、合流地点、渋滞が発生しやすい箇所など様々な地点にカメラを設置し、車両や歩行者、自転車など様々な対象の挙動データを収集することが望ましい。企業だけで実現することは難しいため、国が関与するとともに、これらのデータを歩行者や自転車の交通安全、信号制御や交通規制などの交通管制、安全なまちづくりにも活用できれば実施効果は高い。

4) 安全性・信頼性の評価の仕組み

ディープラーニングの学習済みモデルは、従来のプログラムと異なり、膨大なシミュレーションを行ってもそれ以外のケースで想定外の動作を行う可能性がある。そこでAI技術を含む自動運転システムの安全性評価については、何らかの評価システム(例えば非公開のテストデータセットを整備するなど)を構築して第三者認証を行うなどの仕組みを検討することが考えられる。

②人や社会に係る課題

1) 社会受容性

自動運転車の普及には、自動車を利用する国民だけでなく、すれ違う歩行者や自転車、道路に面した家屋や商店を利用する住民も含めた社会全体の受容性が重要である。しかしながら、各国の研究開発施策でも取り上げられる重要技術分野であり、社会的注目度も高いことから、事故が発生するとメディアで大きく取り上げられることとなる。交通事故の発生件数は50万件弱であることを考えれば、自動運転車の事故をゼロにすることは現実的ではないし、事故の原因が搭乗者や歩行者にあるケースも想定される。

これについては、国民が自動運転を「信頼」して活用し、実利用を通じて開発者と国民の協調により改善を図っていくというサイクルが必要と考えられる。ここでいう「信頼」とは、自動運転に完全性を求めることではなく、自動運転の利便性や安全性、リスクなどについて適切に理解したうえで受け入れるという社会的コンセンサスである。

2) 監視者によるAIの監視

自動運転の安全性の管理のため、管制センターなどで監視・モニタリングを行う方法があり、実証実験では行われている例もある。しかしAIによる自動運転車の挙動は、外部から観察しても異常・正常を判断することが難しい。例えば、自動運転車が人間では困難な予測にもとづいて事故を回避しようとした場合、監視者が異常な挙動と判断し、自動運転車を外部から制御してしまうことで事故を回避できなくなる可能性がある。しかし、監視者が異常にしか見えない挙動を見過ごし、それが実際

に異常であれば事故につながる可能性もある。

3) AIによるドライバーの監視

自動運転時代になっても手動運転を望むドライバーは残ると想定されるが、手動運転車においてAIがドライバーを観察し、危険な挙動を行った場合に事故を回避する機能の実現も想定される。例えば、何らかの危険に直面した際にドライバーが必要以上に急ハンドルを切ろうとした場合に制御を加えることが例として挙げられる。この場合、AIは、ドライバーの運転の特徴（ハンドルの切り方など）、車両の特性、現在の状況、危険挙動と事故の関係、制御を加えた場合のドライバーの反応などを踏まえて判断することが必要となる。

4) ドライバーの運転技能の低下

自動運転の社会実装が進むと、ドライバーは車両に運転を任せるようになり、自らが運転をする時間が減少するため、運転技能の低下が生じると想定される。レベル3の自動運転車（緊急時にはドライバーが運転）と手動運転車が混在した状況で、自動運転車のAIにトラブルが発生し、ドライバーに運転を引き継いだ場合、技能が低下したドライバーが事故を起こすリスクがある。レベル3の自動運転は危険であるため、スキップしてレベル4の開発を進めるという自動車会社もある^{*3}。

③法制度に関する課題

文献調査にもとづく自動運転に関する法制度課題を以下に示す（表5-3-1）。

表5-3-1 自動運転に関する法制度の課題

| No. | 法領域 | 課題 |
|-----|---------------|--|
| 1 | 自動車損害賠償保障法 | 現在の自動車損害賠償保障法では、運行供用者（自動車所有者等）に、事実上の無過失責任を負担させている（免責3要件を立証しなければ責任を負う）が、自動運転では誰が責任を負うか、ハッキングによる事故や同法の対象外の自損事故をどのように扱うかといった課題があり、国が設置した研究会で報告書が出されている。 参考：自動運転における損害賠償責任に関する研究会（国土交通省） |
| 2 | 道路交通法 | ・完全自動運転に向けて、道路交通法第70条（「車両等の運転者は、当該車両等のハンドル、ブレーキその他の装置を確実に操作し、かつ、道路、交通及び当該車両等の状況に応じ、他人に危害を及ぼさないような速度と方法で運転しなければならない。」）の見直しが必要（ジュネーブ条約との調整も必要）。 ・現状では、遠隔から自動運転車を監視する者を「道路交通法上の運転者」と位置付け、道路使用許可の審査基準を満たせば公道での実証実験が許可される。 参考：自動運転の段階的実現に向けた調査研究（平成28年度）、技術開発の方向性に即した自動運転の段階的実現に向けた調査検討委員会（平成29年度）、技術開発の方向性に即した自動運転の実現に向けた調査研究（平成30年度）（警察庁） |
| 3 | 道路運送車両法（保安基準） | 現在、自動運転を可能とする保安基準の改正（公道実証実験を可能とするため、条件付きでハンドルやアクセル・ブレーキペダル等のない車両を含める）が行われているが、自動運転車の安全性を確保する基準は未整備（米国では2017年9月に運輸省が安全性評価を含む改訂版自動運転ガイドラインを公表、2017年9月には安全性評価結果の提出義務付けなどを含むSELF DRIVE Actが議会に提出され、下院では可決）。 参考：道路運送車両の保安基準等の一部を改正する省令、米国運輸省自動運転ガイドライン、米SELF DRIVE Act |

出典：各種公開資料より作成

※3 Volvo Car Group / Press Releases <<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/207164/volvo-cars-ceo-urges-governments-and-car-industry-to-share-safety-related-traffic-data>>

なお、実装課題の解決策として、最先端の実証実験等を迅速に行うため、安全性に十分配慮しつつ、事前規制・手続を抜本的に見直す制度である「地域限定型サンドボックス制度」の検討が行われ、自動運転やドローンの実証を容易とするよう国家戦略特別区域法の改正が行われた。

④国際的な課題

1) 国や地域による違いへの対応

技術的な課題で示したように、自動運転には多様な道路におけるデータ収集が必要であり、自動車産業が海外に自動運転車を販売していくためには海外のデータを入手する必要がある。海外では自動車や歩行者、自転車などの挙動も異なるため、固有のデータ収集が必要と想定されるが、撮影される人々のプライバシー対策も重要である。欧州ではGDPR (EU一般データ保護規則) も施行されており、対応が必要である。

2) 国際的競争力

自動車産業は、日本経済を支える主要産業であるが、電気自動車 (EV) への移行により日本のエンジン開発技術などの優位性が薄れることが懸念される。このため、自動運転技術をリードすることは自動車産業にとって重要であるが、現状としては各国が熾烈な競争を行っているうえ、米中では政府の規制緩和により市場への投入が進んでいる状況である。国際競争力の維持・向上のためには、日本においても大胆な規制緩和を含めた法や制度の整備を進め、早期の社会実装を実現することが課題となる。

5.3.2 スマート工場における実装課題

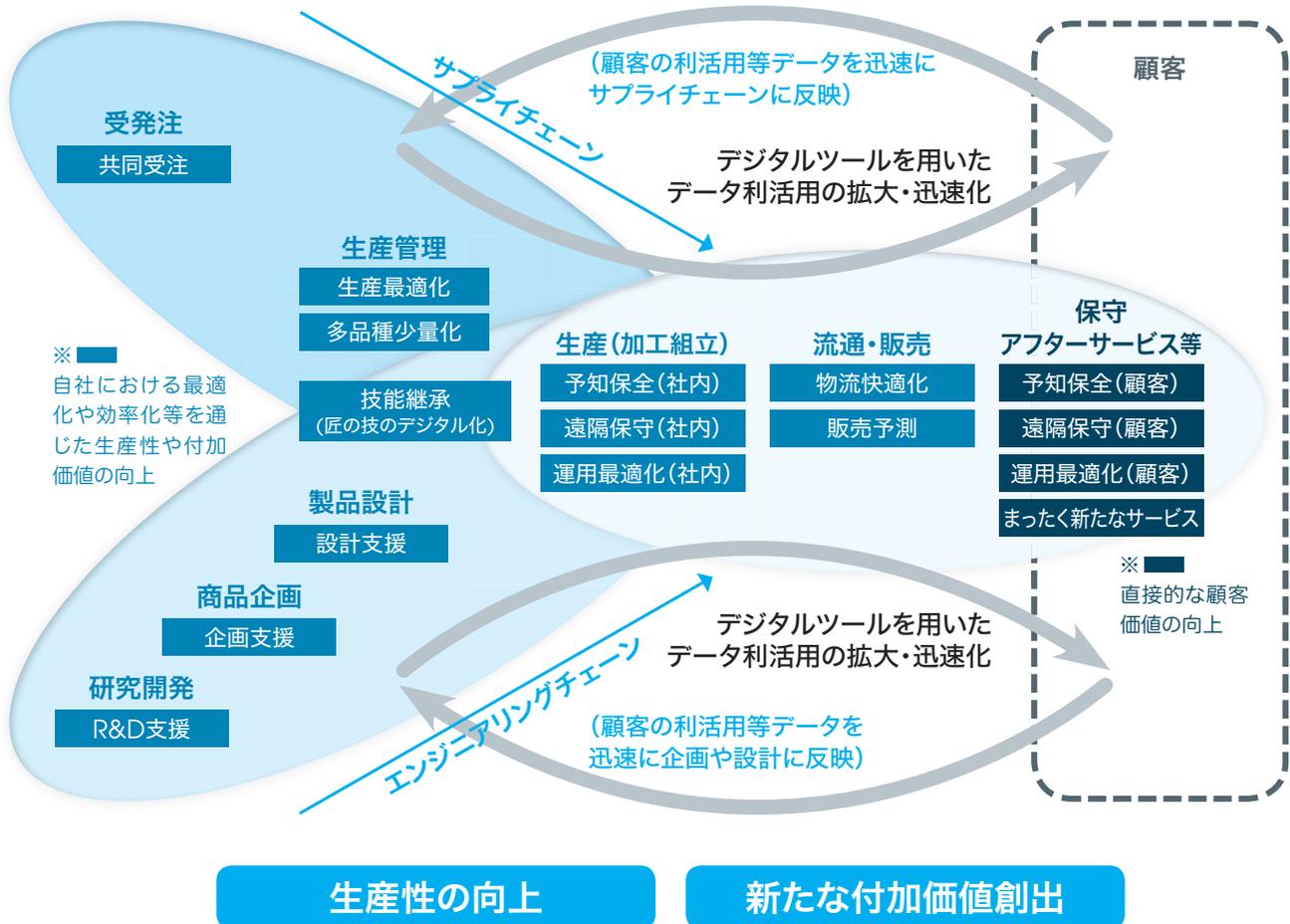
(1) スマート工場のコンセプト

工場のスマート化自体は古くから検討されていたテーマであり、例えば1973年に提唱されたCIM (Computer Integrated Manufacturing) も同様のコンセプトとして挙げられる。CIMでは、CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) などコンピューターにより高度化された個別の設計・製造工程における情報をコンピューターで統合することにより、生産性を向上することを目指している。またCAE (Computer Aided Engineering) では、コンピューター上で製品モデルを作成し、ソフトウェア上で外的な力を加え、部品の強度や剛性などをシミュレーションするなど、構造解析を行うものがある。SCM (Supply Chain Management) は需要予測やサプライチェーン計画、生産スケジューリングなどの計画系及び、倉庫管理や輸配送管理の実行系のデータが生産管理システムと紐づけられる。これらのシステムは、必ずしも一貫して連携されているわけではなく、エンジニアリング系、経営管理系、実行系と、それぞれのシステムによってデータが切り離されている場合もある。

これに対して、現在のスマート化は、IoT (Internet of Things) により工場の機械の状態や生産状態をリアルタイムでトラブルに迅速に対応する「工場のスマート化」、部品・材料の調達、複数の工場における製造・生産、完成品の流通などの工程をネットワーク化する「サプライチェーンのスマート化」など、複数のコンセプトが含まれるが、情報技術を活用して生産性を高めるという観点では通底しているといえる。また、図5-3-2のように、市場のニーズや顧客の利用状況等のデータを企画や設計に反映するエンジニアリングチェーンというコンセプトもある。

Industrie 4.0やConnected Industriesといった第四次産業革命のコンセプトやイニシアティブの中でも「つながる工場」の実現手段としてスマート化が着目されている。

■ 図5-3-2 製造業におけるデジタルツールを用いたソリューションのイメージ



出典：経済産業省 製造産業局「製造業を巡る現状と政策課題」(2017年3月)

(2) スマート工場へのAI適用

AIについては、映像にもとづく製造ミスの発見、稼働データや音等にもとづく設備故障の予測、複雑化する工程の把握・分析やトラブルの判断などにより、スマート工場の実現を支えることが期待される。

ダイキン工業では、2013年からAIを活用したスマート工場の取組みを始めた。同社では、スマート工場の進展について、現在も議論途上であるものの一旦表5-3-2のように設定しており、現在はレベル2の段階にあるという。具体的には、現時点における取組みとしては、予期しない停止や欠品の早期発見のためのIoTによる見える化などが挙げられる。レベル3にあたる故障予知などはまだ課題も多いことから、現在は人の判断をアシストするための仕組み構築が主要テーマとなっている。

■ 表5-3-2 ダイキン工業におけるスマート工場のレベル設定

| レベル | 内容 |
|------|----------------------|
| レベル1 | モニタリング |
| レベル2 | 正常・異常の判断 |
| レベル3 | 予測 |
| レベル4 | ビッグデータ等を活用した生産計画や連携等 |

ダイキン工業へのヒアリングより

例えば、これまでストップウォッチやVTRを使い可視化していたプロセスを、センサーなどで代替し、IoT化することで、改善のスピードを上げている。

ただし、工場の学習データについては、自動運転とは異なり業界共通の取組みがあるわけではなく、データの収集も課題となっている。最新の工作機械や工場設備はIoT対応を想定し、同一メーカーの製品であればデータ連携を行いやすい製品もあるが、一般に工場には十数年経過した設備があったり、異なるメーカーの設備が混在しているケースが珍しくない。このような環境で設備データを収集することは容易ではない。これに対して、容易に設備からデータ収集を行えるソリューションも登場している。ファナックの「FIELDSystem」はオープンプラットフォーム規格であり、様々な機器を、世代やメーカーの壁を越えて接続可能とすることで製造設備やデータの一元管理やデータ共有を促進する。またジェイテクトの「JTEKT-LINK」は、既存設備にアドオンするだけで、データの収集・蓄積・解析を可能とするパッケージである。

また企業ヒアリングでは、スマート工場へのAI適用について以下の期待効果が挙げられている。

①高齢化するベテラン工場労働者の技術の継承

日本の製造業の優位性として、同じ現場で長期間作業することによって培われる暗黙知や経験値などの「現場力」が挙げられるが、定年退職するベテランの「現場力」の継承が課題となっている。AI導入においてもこの「現場力」をいかに継承・活用・強化できるかがポイントとなる。

②海外生産拠点での生産性向上

製造業はグローバル化が進んでいる。コストダウンという目的だけではなく、消費地の近くで生産するという意味合いも強まっている。そのため海外工場での生産性の向上は重要なテーマとなるが、海外では、労働者の経験が浅く技術が伝達しきれていないことから、日本の工場と同じラインを設置しても、稼働率が下がったり、不良率が高くなる傾向がある。AIによって、オペレーションや異常の監視、異常箇所の通知などが行えれば、海外工場の生産性向上が実現する。

(3) スマート工場における課題

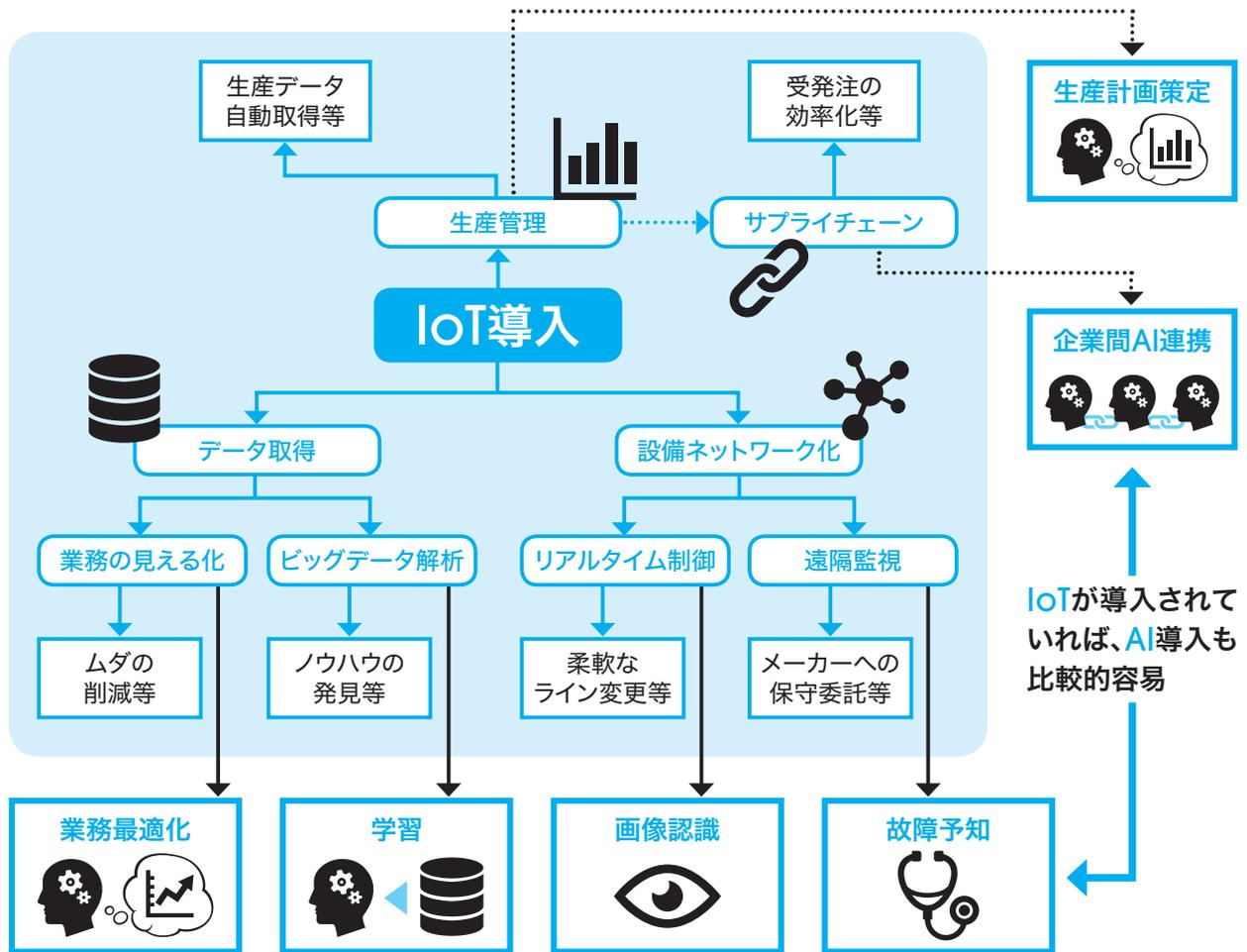
AI社会実装委員会の有識者やスマート工場関係者から提示された社会実装課題は以下のとおりである。

①中小企業でのIoT化の遅れ

工場へのAI導入においては、ロボットや加工機等の機械や空調等の設備からデータを収集するとともに、AIの推論にもとづく指示や制御をフィードバックする仕組みとしてIoTが必須である(図5-3-3)。しかし、製造業ではコストダウンが使命であり、1円を削るために日々努力をしているため、直接的なコストダウン効果が見込めないIoTに数百万円のコストをかけることは、特に中小企業において困難である。このため、大企業と中小企業のサプライチェーンにおけるAIの実現が難しい状況である。

委員会や企業ヒアリングにおいてもAI導入の前にIoT化が重要という意見が聞かれており、中小工場のスマート化やサプライチェーン全体でのAI適用のために、中小企業のIoT化促進が必要と考えられる。

■ 図5-3-3 AIを活用したスマート工場的前提となるIoT



②データや学習済みモデルの流通

AI企業にとって、データを有する大企業のAI導入において作成した学習済みモデルを別の案件に利用したいが、大企業との契約で制限されているため難しいという意見が聞かれる。現状として、AI企業が大企業に対して立場が弱く、契約上不利となりやすいという状況を鑑み、経済産業省では平成30年6月、AIの学習データと学習済みモデルの流通を促進するための「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」を公表した。

工場内のデータに関しても、製造機械のデータは工場自身が、空調等のデータは保守運用を行っているメーカーが収集・保有しているため、AI企業が工場へのAI導入を行おうとしても一元的にデータを扱えないといった課題がある。また、製造機械のメーカーがデータを用いて学習を行いたいと考えても、工場側が出したがるというケースもあるという。工場側へのヒアリングでは、製造現場の改善が図られるならデータ提供は可能という意見があったが、同時に自社製品のノウハウに関わるデータは出せないという意見もあった。

学習データや学習済みモデルの流通を実現するためには、出す側へのインセンティブ、取引先や業界内と共通でメリットを享受できる部分からのスモールスタートなど、多方面から仕組みを検討する必要がある。

③AIの説明性や検証可能性

ディープラーニングによる学習済みモデルの動作に関しては「説明性」や自動運転の項でも説明した「検証可能性」の課題がある。「説明性」については、AIが学習を繰り返すうちに、人間の工場労働者が知らないような処理方法やトラブルの回避方法を身に着けた場合、AIは周囲の工場労働者にとっては予想できない挙動を示す可能性がある。その挙動を停止して、理由の説明を求めてもAIには説明できず、挙動を見過ごして万一、トラブルが発生した場合には損害が生じる。

また、AIが高齢のベテランの知見を学習し、そのベテランが退職した場合、現状ではAIには説明性が不足しているため、人間に知見を戻すことが難しい。このため、人間の経験をもとに、再度、知見を発展させることが困難となる。

「検証可能性」については、事前に膨大なケースについてシミュレーションを行ったとしても、それ以外のケースで問題が発生する可能性があるため、どこまで検証すればよいか難しい。実際に事故発生した後で、入力値と学習済みモデルからなぜその出力となったかを検証し、再学習することは可能であるが、この場合、学習済みモデルが変化してしまうため、それまで問題なかったケースで問題が発生する可能性もある。

④学習データの不備

AI企業が製造業などの企業にデータの有無を確認すると、データ量が少なかったり、トータルのデータ量が多いがカテゴリごとに分類すると少量になり、学習が難しいケースがある。とはいえ、企業側で将来のAI導入に向けて今からデータを収集しようとしても、目的が定まっていない状況では収集のしようがない。また、前述のように、特に中小企業ではIoTが進んでいないため、データの収集はさらに困難と想定される。

5.4 ▷ 社会実装課題の抽出と分析

以下で、カテゴリごとに文献調査、アンケート、ヒアリング及びAI社会実装推進委員会でのディスカッションで挙げられた課題を整理した。

5.4.1 ユーザーや社会に係る課題

ユーザーや社会に関する課題を表5-4-1に整理した。一般企業のAI理解が不十分という課題については、一般企業の勉強不足だけではなく、AI企業がAIの優位性を強調することで一般企業が過度な期待を持ったり、メディアでAIによる失業や自動運転の事故などのトピックが頻繁に取り上げられることで一般企業の懸念が高まったりすることもあると想定される。

■表5-4-1 ユーザーや社会に係る課題

| 分類 | 課題 | 具体例 | 補足説明 |
|---------|------------------------|---|--|
| AIの理解 | 一般企業のAIの理解が不十分 | <ul style="list-style-type: none"> ・ユーザー企業が過度な期待をする ・経営層に説明できず社内の検討が進まない ・導入事例が不足している | AIのできること・できないことや必要となるデータの質・量などユーザー企業が理解しやすい資料が少なく、類似の導入事例も不足しており事例からの類推も困難 |
| | 一般企業がAI導入に踏み切れない | 検証 (PoC) は行うが、ビジネスへの導入を決断できない | AI導入が目的になってしまっていて、AIならではの効果や付加価値の創出を織り込んだビジネス提案までたどりつけない |
| 社会受容性 | 世論がAIを受け入れない | 自動運転車に不安を感じたり、AIに仕事が奪われることを嫌がる | AIに対して、ネガティブなイメージが広がっている |
| AIと人の能力 | 学習内容を人に移転できない | 匠がいなくなり、学習内容が人に移転されないと、人による改良が困難になる。また安い人件費を生かした海外工場での人による代替も難しい | ディープラーニングによるAIシステムは学習内容を人が理解できる形での説明が困難 |
| | AIが肩代わりすることで、人の能力が低下する | <ul style="list-style-type: none"> ・ドライバー熟練度やミスの内容に応じたアシストが必要 ・自動運転車が緊急時に搭乗者にボタンタッチするが、人の運転能力低下で危険を招く | AIと人が協調する場面では、人によるアシストが必要となることがあるが、人の能力は使わなければ低下するので、能力の低下を予防する動作が必要 |

5.4.2 国際課題

AIに関する国際課題を表5-4-2に整理した。AIの社会実装に関する国際的な課題は、米国及び中国に投資額や論文数などで後れを取っている点及び海外からのデータ入手が容易ではない点を挙げている。なお、現状として米国の企業が世界中のデータを収集している状況はあるが、データの独占は国内でも起こりうるため、後述の「学習データ・学習済みモデルの流通」に含めている。

■表5-4-2 国際課題

| 分類 | 課題 | 具体例 | 補足説明 |
|-------|------------------------|---|--------------------------------------|
| 国際競争力 | 米国・中国のAI投資が先行している | <ul style="list-style-type: none"> ・『AI白書2017』のアンケート調査では米国のAI関連投資額や売上が突出 ・近年、中国政府によるAI投資が急増 | AIに関する論文数でも、米国・中国が突出している |
| | 輸出先から学習データを入手できるかわからない | 自動運転車を輸出したいが、国を超えた交通データの流通が困難 | 国によりプライバシーや参入障壁のため、データが入手できず、学習ができない |

5.4.3 開発に関する課題

AIの開発に関する課題を表5-4-3に整理した。課題の中で「AI人材」に関しては今後登場する様々なAI技術にも関係するが、その他の課題はディープラーニングに関するものが中心となっている。特に教師データ作成作業を行う「アノテーター」やGPU環境については、大量のデータを学習するディープラーニング特有の課題であり、これらに迅速に対応することが現時点におけるAIの社会実装には不可欠となる。

■表5-4-3 開発に係る課題

| 分類 | 課題 | 具体例 | 補足説明 |
|------------------|--------------------------|---|---|
| AI人材 | AI関連人材が不足 | <ul style="list-style-type: none"> AI人材の確保が困難 ドメインとAIの両方が分かる人材不足 AIを活用したビジネスまで提案できる人材不足 日本では「中国AI版千人人材計画」相当の施策が見当たらない | AI技術を持つ人材に加え、対象ドメインでのAI活用を検討し、加えてそのビジネス化を策定できる人材が不足 |
| 学習環境 | 学習に大量のアノテーターやGPU環境が必要 | AIベンチャー単体ではアノテーション済みデータの整備や、GPU環境の整備困難、一方ユーザーの中でも中小企業ユーザーでは、その投資が困難 | ディープラーニングは膨大なデータと処理環境が必要、投資対効果が明らかでないと中小企業が導入に踏み込めない |
| 学習データ・学習済みモデルの流通 | 一般企業の学習データが不足 | <ul style="list-style-type: none"> IoT化が進まず学習データの蓄積も進まない 学習データが不足しており、収集にも時間がかかる ノウハウや営業秘密など出せないデータがある | AI適用以前にIoT化が進まずデータが集まらない。IoTセンサーが設置されてもデータがある程度たまらないと学習ができない。設備機器の内部データが開示されず分析が不完全 |
| | 流通する学習データや学習済みモデルの信頼性が不明 | 安価な学習済みモデルが売られているが、信用してよいか分からない | 基となる学習データの品質や偏りを評価できず、推論結果の信頼性が評価できない |
| | 将来に向けた学習データ収集が難しい | 将来を見据えて学習データを収集したいが、何を集めればよいか分からない | 分析内容や目的の変更に伴い、必要とされるデータの種類が追加される可能性があるが、予見はできない。また限られたコストではすべてのデータを集めることもできない |

5.4.4 AIの特性に係る課題

AIの特性に関する課題を表5-4-4に整理した。検証可能性や精度などディープラーニングに関するものが中心となっているが、安全性のうちハッキングに関してはAIシステム全般にも共通するものである。検証可能性に関しては、従来のシステムであれば、より多くのパターンについて検証するほど欠陥やバグの発見可能性が高まるが、ディープラーニングの場合は想定外の出力となる可能性は残るといった特徴がある。精度に関しても、データを学習してみないと分からないといった特徴があり、従来のソフトウェアの利用経験しかない一般企業の理解を妨げるという課題もある。

■表5-4-4 AIの特性に係る課題

| 分類 | 課題 | 具体例 | 補足説明 |
|------------------|--------------------------------|---|--|
| AIシステムの 検証可能性 | どこまで検証すれば十分かが分からない | <ul style="list-style-type: none"> ・メーカーの出荷検査・認定、商品化判断が困難 ・AIを評価する基準や第三者認証、検証用データ整備が必要 ・事故発生時に検証を十分にを行ったという反論が困難 | <ul style="list-style-type: none"> ・製品認定に必要なテスト手法や検査データの妥当性の基準が確立されていない。また事故が起きても状況を再現できないので、テストの妥当性を説明できない |
| | AIに欠陥があっても、ユーザーには証明できない | 製造物中のAIの欠陥をユーザーが立証できないため、PL法を活用できない | ディープラーニングによるAIシステムは個々の動作の理由の説明が難しい |
| AIシステムの 安全性 | AIが正常であるかが、はた目には分からない。説明性がない | <ul style="list-style-type: none"> ・AIの出力結果を説明できない ・人によるAIの遠隔監視が困難 ・使われながら学習するAIの正常性の判定が困難 | AIの出力結果を人が分かる形式で説明できないので、不可解な動きを始めても監視員が正常か異常かが区別できない。さらに、追加学習により、従来は正しいと思われる出力が変更されてしまう可能性がある |
| | ハッキングされた場合に、より高度な攻撃が懸念される | 自動運転車のAIが不正に書き換えられ、特定の条件で危険な挙動をする | ハッキングされた場合に、既存のシステムより深刻な被害をもたらす可能性がある |
| AIの精度 | AIの精度が100%近くでないという理由で現場が受け入れない | 経営層は95%でOKを出したが、現場は99.9%でなければ受け入れない | ディープラーニングは統計にもとづくため、100%の精度は保証できない。また稼働条件や学習データの品質に精度が依存する |
| | AIの精度は学習してみないと分からない | AIの精度が学習してみないと分からないため、プロジェクトに対する経営層の承認が得られない | ディープラーニングは精度が実際のデータに依存するため、投資対効果を見積りにくく、投資に躊躇する |

5.4.5 法制度に係る課題

法制度に関する課題を表5-4-5に整理した。これらの多くは国の委員会等により検討が進んでいるため、対応が図られると期待される。例えば「学習データや学習済みモデルの知財権保護と流通容易性が矛盾」については、平成30年5月に可決された不正競争防止法の改正により一定の対策が可能となる（「4.2.1 国内のAI知的財産関連施策の動向」参照）。また、「知財権があるデータによる学習が規制されていない」は日本の著作権法にもとづくものであるが、もともとは「知的財産推進計画2008」における「研究開発における情報利用の円滑化に係る法的課題を解決する」取組みにもとづいた法改正であることから、研究開発側からはメリットとも解釈できる。

■表5-4-5 法制度に係る課題

| 分類 | 課題 | 具体例 | 補足説明 |
|-----------------|-------------------------------|--|------------------------------------|
| AIと法制度 | 法制度がAIを想定していない | AI生成物の知財権、自動運転車の事故責任などが現行法に合わない | 人を前提とした法律とAI導入後の実態との間に齟齬が生じる |
| | 学習データや学習済みモデルの知財権保護と流通容易性が矛盾 | 学習済みモデルに知財権が追加されたが、権利処理のため既存モデルの流通が困難になる | 知財権が認められないと提供しにくい、認められると権利処理の手間が煩雑 |
| | 知財権があるデータによる学習が規制されていない | 特定の音楽家の楽曲データを無許諾で学習し、その音楽家のような作曲を行う | 著作権法47条7により、許諾を得ずに著作物の解析が可能 |
| 個人情報・ プライバシー | ネット上から集めた個人のデータからプライバシーを侵害しうる | SNSへの投稿から分析した営業ダイレクトメールが届く | 写真付きの投稿などから特定の個人の情報を集めることも可能 |
| | 匿名データで学習しても個人を特定できる可能性がある | 匿名化したデータで学習させたのにユーザーからプライバシー侵害のクレームが来る | 街角の映像の顔を隠して学習させても微妙な特徴から個人を特定しうる |

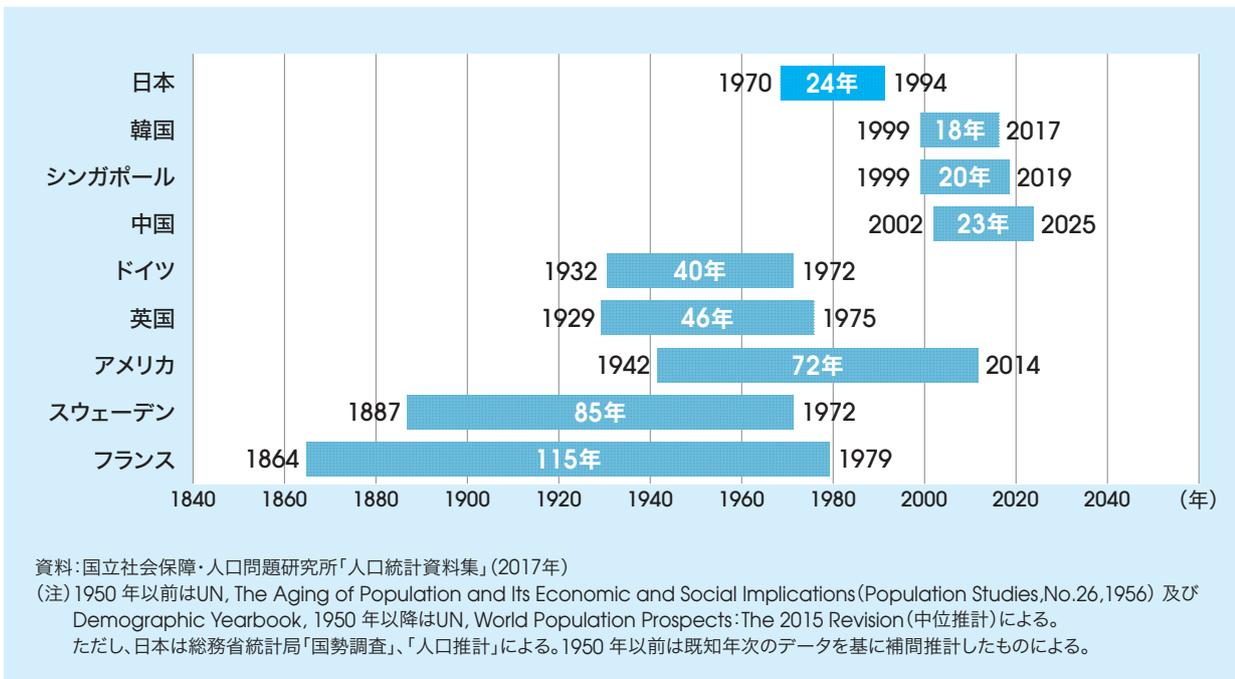
5.4.6 課題解決の方向性の検討

(1) AIによる日本社会や産業の強化を急ぐべきではないか

AI社会実装推進委員会では、AI社会実装をスピードアップすることにより、日本が早期にAI利用先進国になることが重要という意見が出された。「AIの理解」及び「社会受容性」という課題は、AIの利用が進むことで享受できる「価値」、例えば少子高齢化時代の社会の充実や、産業基盤強化や次期基幹産業の創生などの可能性を洗い出し、一般企業や消費者にアピールすることで解消していくことが必要である。

少子高齢化が進む日本では、ものづくりや生活の場において人の能力を増幅するAIが必須といえる。また、世界の動向を見ると、欧州の先進国も日本ほど急速ではないが高齢化が問題になっており、少子化も進みつつある。また、韓国、シンガポール、中国などでは日本以上に急スピードで高齢化が進行すると予想されている(図5-4-1)。少子高齢化に向けたAI製品・サービスが育てば、同様の課題や特性を持つアジアや欧州先進国などへの輸出産業となる可能性も期待される。

■ 図5-4-1 主要国における高齢化率が7%から14%へ要した期間



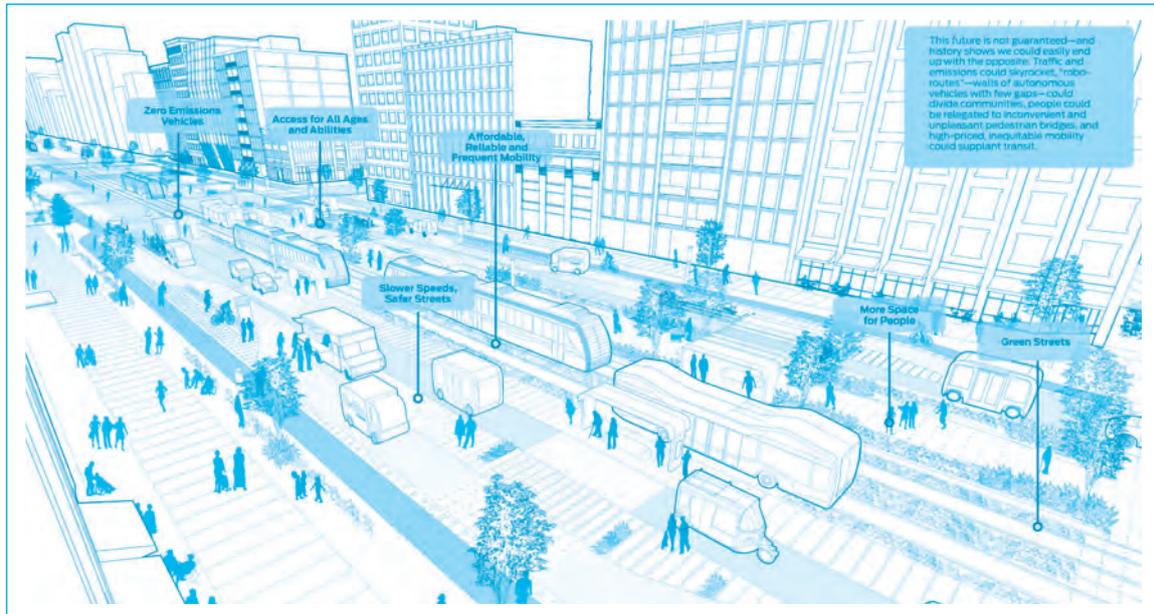
出典: 内閣府「平成29年版高齢社会白書」(2017年6月)

(2) 社会システムレベルからの検討が必要ではないか

AIの社会実装においては、個々のAI製品・サービスレベルではなく、「社会(まちづくり)」や「産業(ものづくり)」といった俯瞰的な視点でイメージを策定したうえで、個別の政策や技術開発、法制度の改正に落とししていくという、システム思考のプロセスが重要と考えられる。

例えば自動運転では、国や企業により技術開発、安全性検討、実証実験、法制度改正などの取組みが行われており、情報も容易に入手できるが、自動運転が普及した社会の全体イメージは見当たらない。これに対して前出の米国NACTO「Blueprint for Autonomous Urbanism」では、自動運転時代の都市デザインが示されており、そこから、歩行者や自転車も含めた効率化、楽しさ、環境保全、安全性向上などのデザインに落とし込まれている(図5-4-2)。

■ 図5-4-2 自動運転社会のイメージ



出典：米都市交通担当官協議会（NACTO）「Blueprint for Autonomous Urbanism」（2017）より

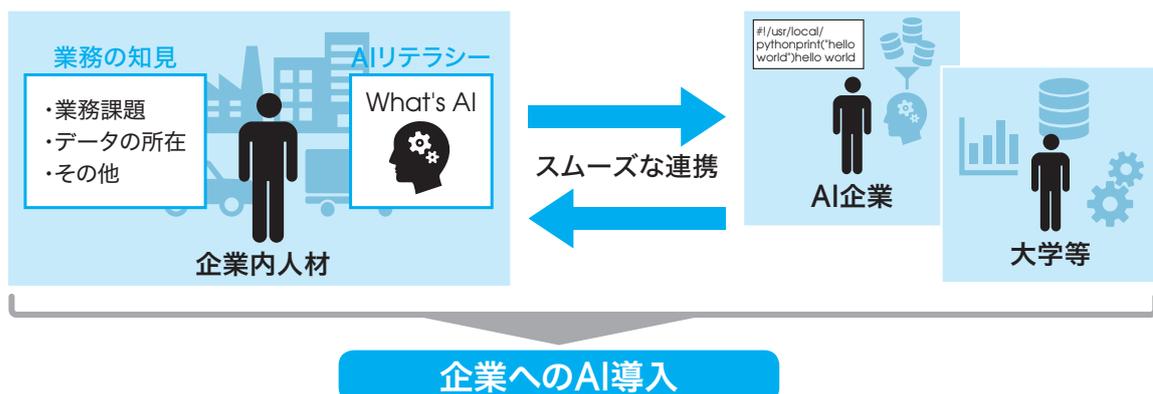
このようなイメージは、AIがまちづくりを根本的に変える可能性を一般企業や消費者に伝えやすいため、「AIの理解」及び「社会受容性」という課題の解消に有用と考えられる。それにより、AIや自動運転に興味がなかった人たちも未来のまちづくりやモビリティサービスの議論に参加し、協働して具体化を進めることで、企業や歩行者、居住者の声も反映した自動運転社会の実現が期待される。

このようなシステム思考にもとづくAI社会のデザインはものづくりや生活などの領域にも適用可能である。また、法制度の見直しについても、まず社会全体を対象とすることで、整合性が取れた対応が可能になると思われる。

(3) 一般企業のリテラシー向上や消費者の理解促進が重要ではないか

業種（ドメイン）・業態ごとに異なる現場の潜在課題を掘り起こすことは、ドメインの知識を持たないAI企業にとっては困難である。一般企業側のAI理解が高まれば、現場で抱えている問題、解決を諦めていた問題をAIで解決する取組みが進むと期待される。また、AI導入に向けて、現場のデータの有無や所在を確認したり、関係者と調整してデータを収集・蓄積することも容易になると想定される。そのためには、一般企業の技術者にAIの基礎知識や導入事例を提供したり、AIスキルセットの定義や認定制度により学習意欲を高めたりすることで、AIリテラシーを醸成することが必要と考えられる（図5-4-3）。

■ 図5-4-3 企業内人材のAIリテラシーの必要性（「2.7 AI人材の育成」の図を再掲）



また、消費者にAIシステム(自動運転や家庭用ロボットなど)の実用化を受容してもらうには、言葉や映像で説明するだけでなく、実際に見たり、触ったりすることで理解してもらえらる環境が必要と考えられる。これには、サンドボックス制度などによる実証的な導入促進施策が有効である。

(4) 人とAIとの協調を考えるべきではないか

AIに仕事を奪われるという不安については、AIの精度は100%にならないが、残りを人がカバーすることでトータルでは大幅に効率化できるとのヒアリング結果もあり、AIと人との協調は続くと思定される。Industrie 4.0でも、製造現場の共通知識を知識データベース化することで地方や海外展開においても同様の品質を確保するコンセプトがあるが、AIが熟練者の知見を学習するとともに、必要に応じて人がカバーすることにより、柔軟な運用が可能となると期待される。

「学習内容を人に移転できない」という課題については、最近の機器製品で、熟練者の操作を学習した装置を初級者が操作する際、熟練者の操作を体感で学習できるものがある。人とAIとの協調により、人からAI、AIから人への知見の移転も期待され、「人の能力が低下する」という課題への対策のヒントにもなる。

(5) スピードアップと並行して、AIのリスクと安全性を考えるべきではないか

AI社会実装推進委員会では、AI社会実装のスピードアップは重要であるが、AIのリスクや安全性の考慮を疎かにしてはならないという意見が挙げられた。

ディープラーニングを活用したAIの安全性については、開発時にどこまで試験検証を行えばよいか分からない、AIが不審な挙動を行った場合に外部からAIが正常であるかの判定を行ったり、AIにその挙動の根拠を説明させることが難しいといった課題がある。ディープラーニングを活用した安全に係るAIシステムの社会実装はこれから進むと期待されるため、リスクの想定や安全性検証の仕組みの整備を他の分野でも推進する必要がある。

また、AIシステムに対するセキュリティ上の攻撃については、画像認識機能に対する攻撃^{※4}など特有のものもあり、今後、想定外の攻撃が登場する可能性がある。AIシステムの特性を考慮したセキュリティ上のリスク分析や対策技術の開発を重ねていくことが必要である。

なお、自動運転やロボットの領域では、安全性やセキュリティに関する検討が進められており、他の領域でも参考にできると期待される。

(6) AI企業が手軽に利用できる学習環境が必要ではないか

ディープラーニングを中心とした課題ではあるが、学習に係るGPU基盤や人材、開発のベースとなる汎用的な学習データや学習済みモデルなどの不足については、個々のAI企業が対策するには困難である。他社との差別化のために、資本を投資しても実証実験止まりで実用化が進まない状況では投資回収は難しいと思定される。そこで、産業技術総合研究所のABCI(「2.8.2 クラウド側基盤」参照)のように、AI産業が軌道に乗るまで、国が支援しつつAI企業が共同利用できる学習環境の整備が必要と考えられる。

※4 Google / Adversarial Patch <<https://ai.google/research/pubs/pub46561>>

(7) オープン/クローズのデータ戦略が必要ではないか

国内のデータの整備や海外のデータの入手は、国際競争力の観点で重要な課題である。また、現状として、海外のAIシステムにより日本の国内のデータが収集されている現状もある。産業のコア(その産業の競争力の源泉)領域のデータのクローズ戦略、官民オープンデータの流通施策などにより、日本ならではのサービスやイノベーションを生むデータ戦略が必要と考えられる。

(8) 法制度課題の検討を加速すべきではないか

AIについては、自動運転やドローンなど、法律がハードルになってサービスが進まないケースが見られ、国が設置した委員会による検討や一部の法改正も進んでいる。早期に法律上の齟齬の解消や制約の緩和を進めることがAI産業の発展にとって重要であるが、同時に消費者やトラブルの被害者の不利益とならないような配慮や対策も必要である。それが可視化されることで、社会受容性も改善されると期待される。

以上の検討をもとに、社会実装推進の方向性を導出した。表5-4-6に方向性課題との関係、次節に個別の方向性の内容を示す。

■表5-4-6 社会実装推進の方向性と課題の関係

| 社会実装課題 社会実装推進の 方向性 | AIの理解 | 社会受容性 | AIと 人の能力 | 国際競争力 | AI人材 | 学習環境 | 学習データ・ 学習済みモデル | 検証可能性 | AIシステムの 正常性 | AIの精度 | AIと法制度 | 個人情報・ プライバシー |
|--------------------------|-------|-------|-------------|-------|------|------|-------------------|-------|----------------|-------|--------|-----------------|
| 1 AIで日本を 強化する | ○ | ○ | | ○ | | | | | | | | |
| 2 社会システムから 変えていく | ○ | ○ | | | | | | | | | ○ | |
| 3 企業や消費者の理解 を促進する | ○ | ○ | | | ○ | | | | | ○ | | |
| 4 人とAIが協調し、 ともに成長する | | ○ | ○ | | | | | | | ○ | | |
| 5 AIのリスクと安全性 を考える | | | | | | | | ○ | ○ | | | ○ |
| 6 AI開発のエコシステム を活性化する | | | | | ○ | ○ | ○ | | | | | |
| 7 サービスを生む データ戦略を考える | | | | ○ | | | ○ | | | | | |
| 8 AIで生じる法制度の 課題を検討する | | ○ | | | | | | | | | ○ | |

5.5 ▷ 社会実装推進の方向性の提示

5.5.1 社会実装推進の方向性の概要

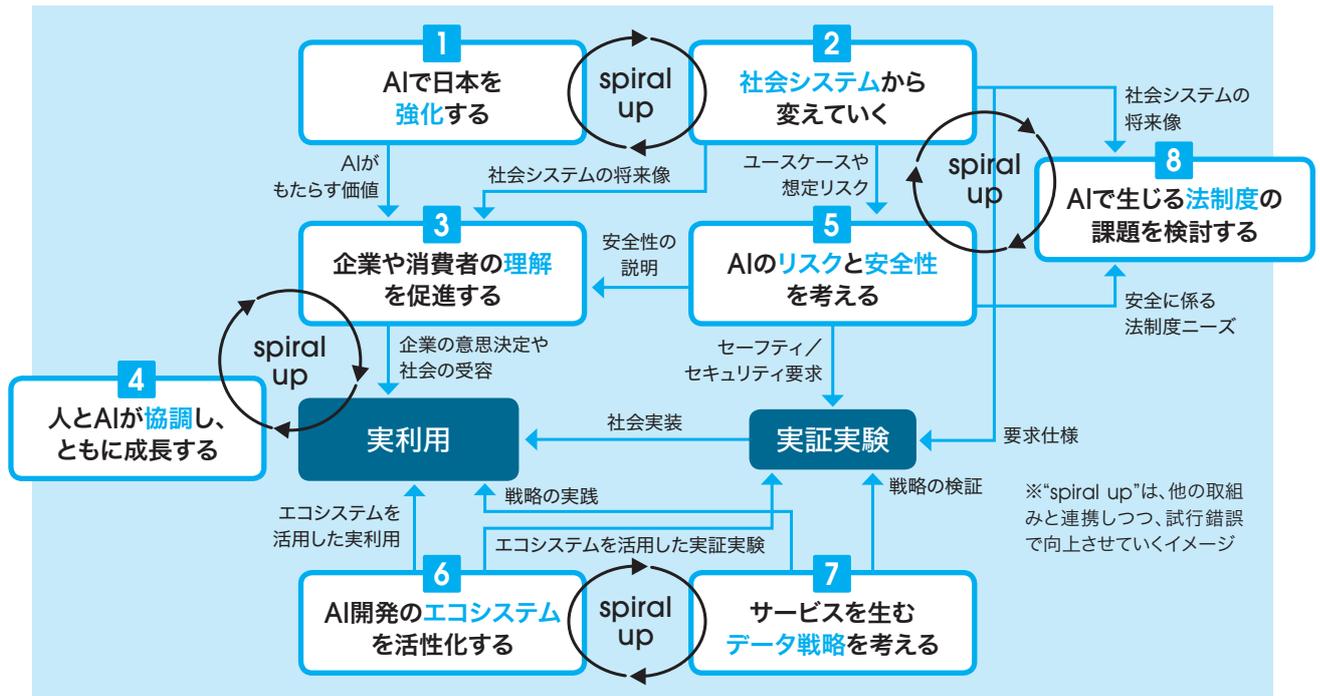
課題をもとに取りまとめた社会実装の方向性の概要を表5-5-1に示す。

■表5-5-1 社会実装推進の方向性の概要

| 社会実装推進の方向性 | 概要 |
|---------------------|---|
| 1 AIで日本を強化する | <ul style="list-style-type: none">・まちづくりやものづくりへのAI適用により、社会の充実や企業価値アップを実現する・AI実装のスピードアップにより早期に利益を享受するとともに、国際競争力を得る |
| 2 社会システムから変えていく | <ul style="list-style-type: none">・将来の社会システム像から俯瞰的な観点でAIの役割をデザインする・AIにより将来の社会(システム)の選択肢を広げる |
| 3 企業や消費者の理解を促進する | <ul style="list-style-type: none">・一般企業や消費者のAIに対する適切な理解を促進、ともに活用を考える・サンドボックス制度などによる実利用を通じて、一層の理解を促進する |
| 4 人とAIが協調し、ともに成長する | <ul style="list-style-type: none">・人の知見をAIが学習、AIのふるまいを人が学び(理解、共感等)、これを繰り返す・人とAIが得意分野の能力を向上させ、産業競争力を高めるとともに、社会を進化させる |
| 5 AIのリスクと安全性を考える | <ul style="list-style-type: none">・AIのリスク分析ガイド、リーズナブルな検証基準や安全基準などの整備を検討する・予期せぬ挙動やプライバシーの侵害をブロックする仕組みを検討する |
| 6 AI開発のエコシステムを活性化する | <ul style="list-style-type: none">・AI企業・人材の適切な処遇により、AI開発のエコシステムを活性化する・集約的な学習の場(学習工場等)によりAI企業の競争力や中小企業の導入を促進する・AI開発に適した契約モデルや学習データ収集ガイドを整備する |
| 7 サービスを生むデータ戦略を考える | <ul style="list-style-type: none">・クローズのコア領域データ×官民オープンデータによりイノベーションを生む・学習データを集約・蓄積・流通する仕組みを整備し、AI開発者のアイデアと機会を活かす |
| 8 AIで生じる法制度の課題を検討する | <ul style="list-style-type: none">・AIの導入によって生じる法制度上の課題の整理・検討を行う・その際、国民の理解や利便性を考慮する |

図5-5-1に社会実装推進の方向性の関係を示す。各方向性は相互に影響しながら向上していくもの(spiral upでつながれた方向性同士)、取組みの成果が他の方向性に活用しうるもの(矢印)もあるため、連携して取り組むことで効果が上がると想定される。とはいえ、スピードアップの観点から、相互の関係や全体像を念頭に置きつつも、可能な部分から取り組んでいくことが必要である。

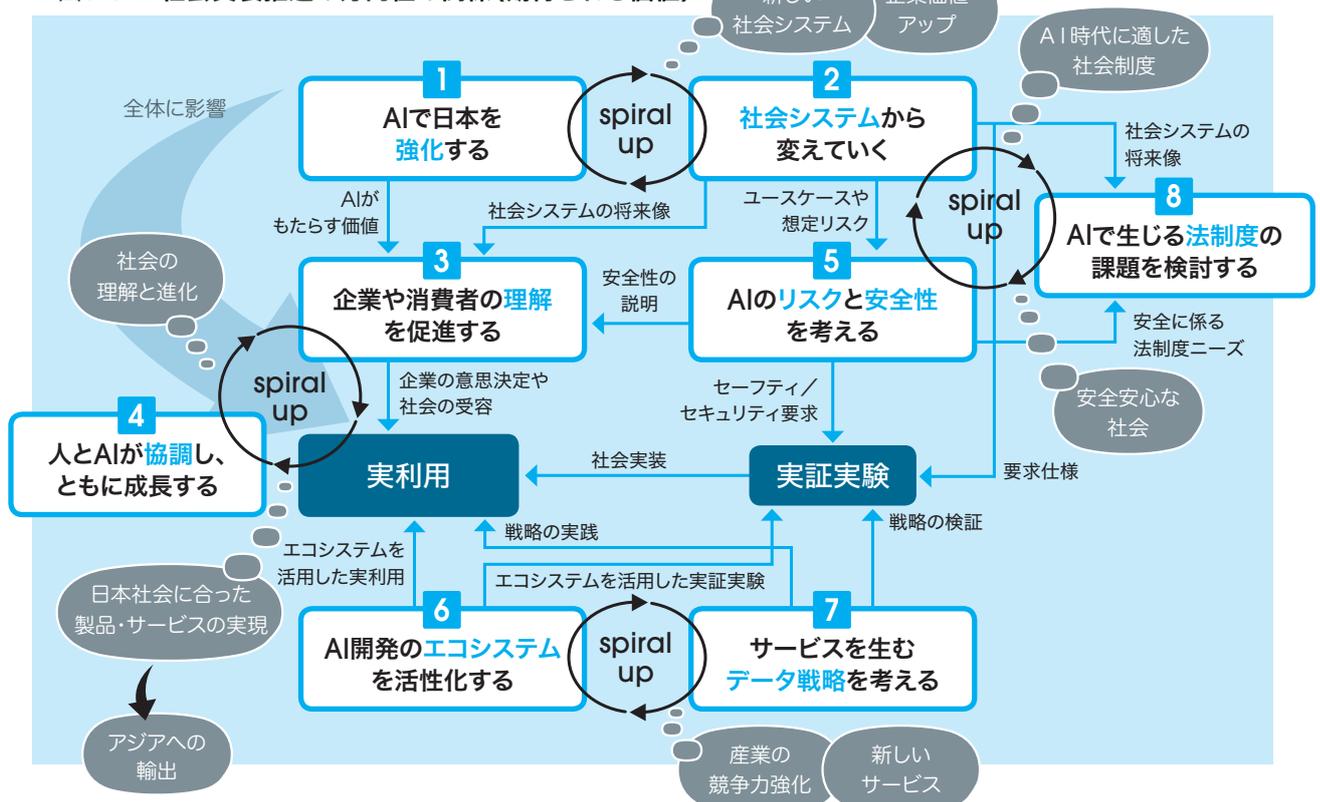
■ 図5-5-1 社会実装推進の方向性の関係



社会実装推進の方向性同士の連携により生まれると期待される派生的な成果を図5-5-2に示す。

例えば、「1.AIで日本を強化する」と「2.社会システムから変えていく」の連携では、日本の社会や産業を俯瞰的に捉えてAI実装イメージを想定することで、まちづくりやものづくりレベルでのAI実装価値の洗い出しが容易になる。これにより、新しい社会システムやものづくり産業の企業価値アップへの道筋も明らかになると期待される。また、「6.AI開発のエコシステムを活性化する」と「7.サービスを生むデータ戦略を考える」の連携により、AIベンチャーがデータや開発基盤を活用して新しいAI製品・サービスを生み出したり、国際競争力を高めることが期待される。

■ 図5-5-2 社会実装推進の方向性の関係(期待される価値)



5.5.2 社会実装推進の方向性の詳細

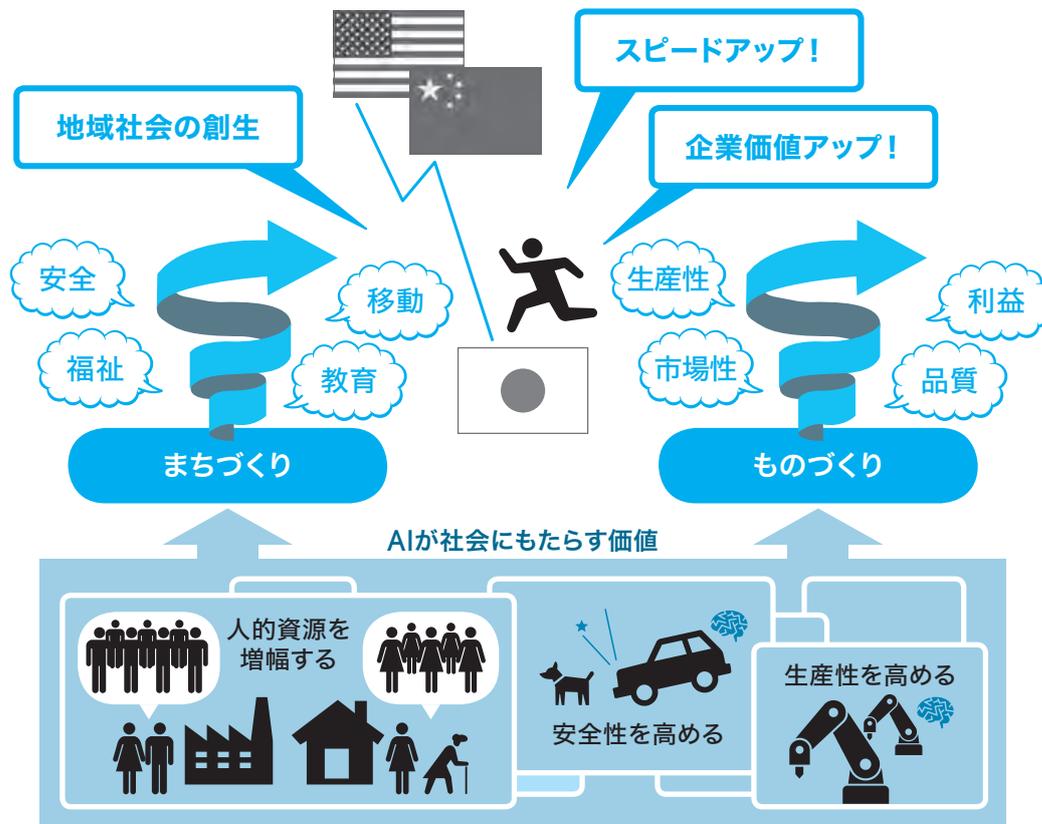
ここからは社会実装の方向性の詳細を示す。

(1) AIで日本を強化する

まちづくり・ものづくり×AI、スピードアップにより社会の充実や産業の成長を図る

「まちづくり×AI」や「ものづくり×AI」など、AIと日本の注力分野との組み合わせにより地域社会創生や企業価値アップなどを図る。また、取組みのスピードアップにより価値の享受を早めるとともに、生み出されるAI技術やサービスの海外展開など、国際競争力を高める(図5-5-3)。

■図5-5-3 AIで日本を強化するイメージ



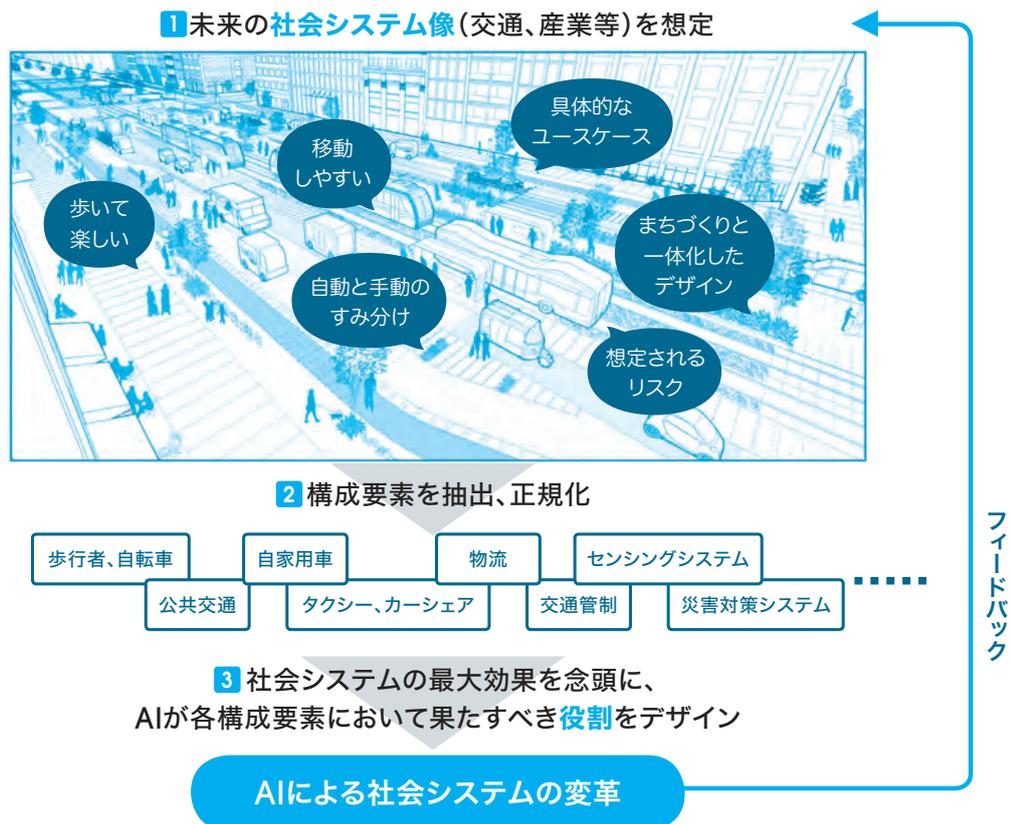
| 期待効果 | |
|---------------------------------------|--|
| 社会にもたらす価値の発掘と早期実現 | AIによる医療・介護支援や自動運転が普及すれば、特に人口減少や高齢化が進む地方の恩恵は大きい。また、単純・連続的な作業や危険な作業の代替により、減少する労働力のカバーと労働者の負担軽減を両立できる。さらに、AIの実装をスピードアップすることで、社会が早期にメリットを享受できるとともに、ノウハウを活かしたAI製品・サービスを同じく少子高齢化を迎えるアジア諸国等に輸出することも期待される。 |
| 次期基幹産業の創生 | 日本が得意とするものづくり産業におけるAI応用力の強化、AI活用による工程や産業構造の変革により、産業基盤の強化やものづくり×AIによる次期基幹産業の創生が期待される。 |
| 関連施策や取組み | |
| 地方政府への権限移譲 | AI導入のスピードアップ策としては、米国や中国において地方政府が自動運転に関する規制を緩和することで推進を図っている例が見られる。 |
| まちづくりとものづくりの連携 | フィンランドのオウルでは、産学協力体制やクラスター政策による「情報社会」と「福祉社会」の同時実現を図っている。 |
| 次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発事業(NEDO) | NEDOが平成30年度から開始した本事業では、人工知能の適用領域を広げる技術として、人工知能技術の導入加速化技術の開発などが含まれている(「2.10.1 各国の研究開発の現状」参照)。 |

(2) 社会システムから変えていく

未来の社会システム像から俯瞰的にAIの役割を考え、社会システムを変えていく

AIを社会に受容してもらうには、AIの直接の利用者ではないが影響を受ける人(自動運転とすれ違う歩行者など)も巻き込み、制度や文化を含めて検討する必要がある。そのためには、システム思考などにより俯瞰的にAIの役割を考え、社会システムから変えていく必要がある(図5-5-4)。

■ 図5-5-4 社会システムから変えていくイメージ



| 期待効果 | |
|----------------------|--|
| 社会受容性の向上 | AI単独の価値だけでなく、AIが支えることで実現する社会システムの価値を明示することで、AIの社会受容性を高める効果が期待される。 |
| 法制度設計の効率化 | 社会全体としての効率を高める制度設計や異なる分野の法制度の整合性を考慮した見直しを行いやすい。 |
| 関連施策や取組み | |
| 歩行者を含めた交通システムのデザイン | 米国NPO法人のNACTOは「Blueprint for Autonomous Urbanism」の中で自動運転社会のデザインを提示しており、自動運転の利用にかかわらず、すべての人が価値を理解できるように図っている。 |
| その他 | |
| システム思考とシステムズエンジニアリング | 近年の製品・サービスは、多数の装置が接続されたり、利害関係者が多くなったりして、多様性と不確実性が増し、個々の技術だけでは実現が困難になっている。そのような状況では、システム全体を俯瞰し、相互作用に着目しつつ統合管理するシステムズエンジニアリングのアプローチが有効である。IoT等の新しい製品・サービスの開発を成功に導くことに寄与し、産業界の競争力強化を図ることを目的として、IPAは2015年度からシステムズエンジニアリングを推進する活動を開始した。 まずは国内外の事例調査や関連技術調査を行い、2016年度にシステムズエンジニアリングの認知と重要性の認識を促すための啓発書を公開した。2017年度は、日本企業の事例を収集し、システムズエンジニアリングの主要なアプローチや考え方がどう活用されているのか分析し、実践的な解説書を作成した※5。 |

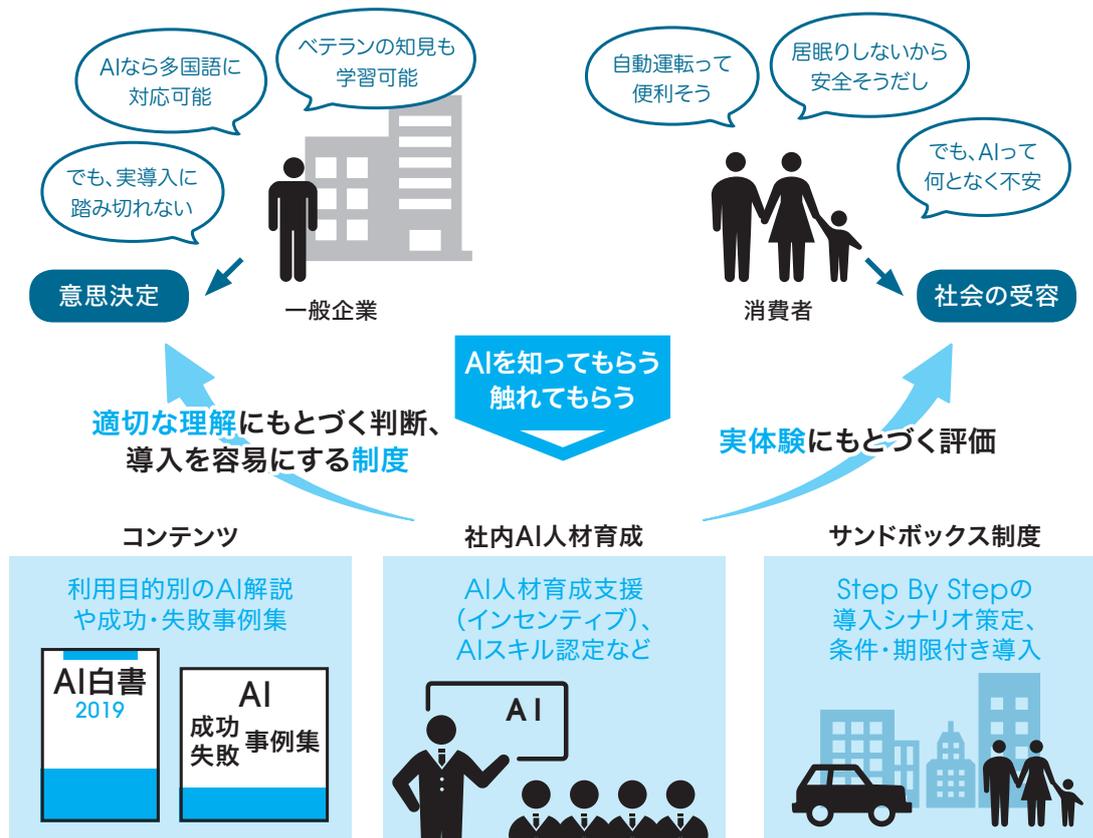
※5 IPA/システムズエンジニアリングの推進<https://www.ipa.go.jp/sec/our_activities/se.html>

(3) 企業や消費者の理解を促進する

一般企業や個人の適切なAI理解を促し、AIビジネスや社会実装を促進する

ユーザー企業の理解不足や世論の過度な不安はAIの社会実装を遅らせることが懸念されるため、AIの理解を深めるコンテンツを提供したり、企業の人材育成を支援したり、サンドボックス制度により条件・期限付きでAIを導入し、消費者に触れてもらうことで理解を促進する(図5-5-5)。

■ 図5-5-5 一般企業のリテラシー向上と消費者の理解促進のイメージ



| 期待効果 | |
|--------------|--|
| 社会の受容の促進 | 経営者や消費者など、相手に合わせたメディアによりAIの価値を分かりやすく伝えることで社会受容性が高まり、AIの実装が促進される。 |
| 導入意思決定の促進 | 一般企業の導入の促進により、AI企業も投資と回収が回るため、産業活性化や競争力強化が期待される。 |
| AI関連人材の不足の解消 | AI人材のスキルの育成や認定制度によりAI関連人材の適切な評価を推進し、IT人材のAI志向も高める。 |

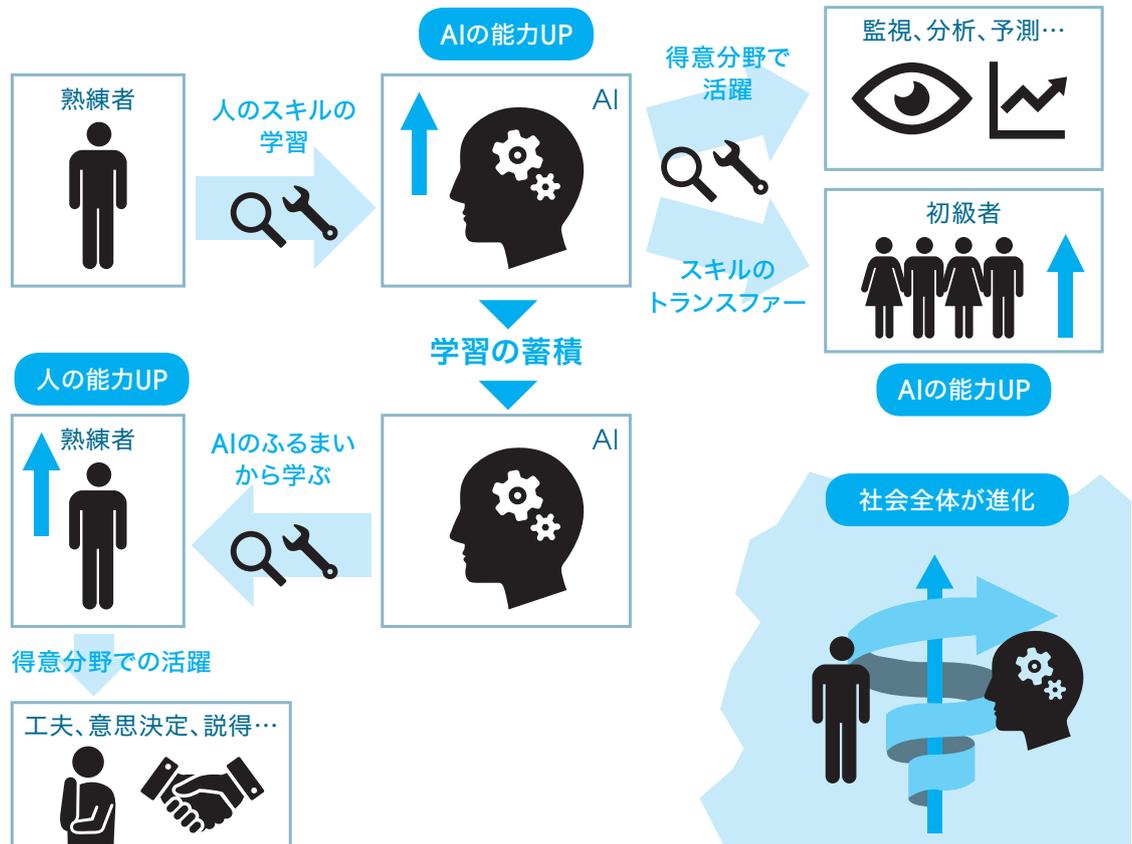
| 関連施策や取組み | |
|--------------------|---|
| サンドボックス制度 | 新たな技術やビジネスモデルが出現した場合において、一定の手続きの下、対象となる規制が適用されない環境で社会実験的な実証を行える制度。 |
| 第4次産業革命スキル習得講座認定制度 | AIやIoTを含む専門的・実践的な教育訓練講座を認定、一定の要件を満たすものを厚生労働省「専門実践教育訓練給付」の対象とすることを検討中(「2.7.6 学び直し、リカレント教育」参照)。 |
| ディープラーニングの資格試験 | 一般社団法人日本ディープラーニング協会では、ディープラーニングのスキルセットの定義や認定・検定試験を実施(「2.7.2 スキル標準/認定・検定制度」参照)。 |

(4) 人とAIが協調し、ともに成長する

人の知見をAIが学習し、AIのふるまいから人が学ぶことで、ともに成長する

人の知見をAIが学習するだけでなく、学習の集積にもとづいたAIのふるまい(問題解決方法や動作)を理解・共感し、学ぶことで、人とAIがともに成長する。これにより、それぞれが得意な領域における効率化や高度化が進み、社会全体が進化すると期待される(図5-5-6)。

■ 図5-5-6 人とAIが協調するイメージ



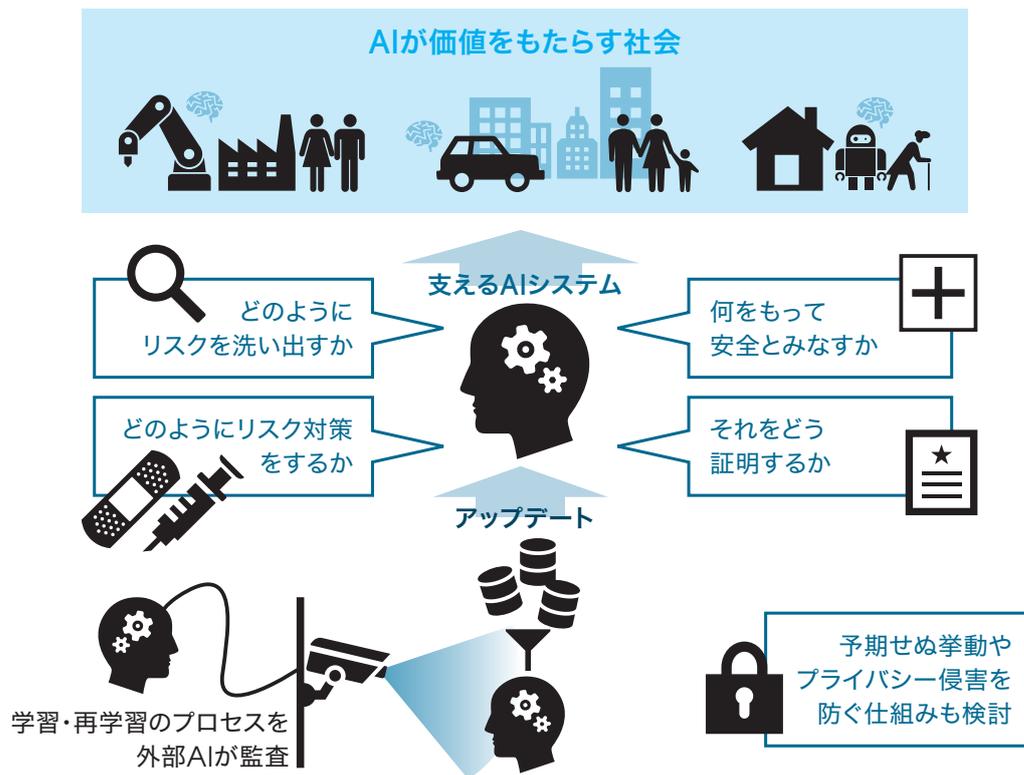
| 期待効果 | |
|--------------------------------|---|
| より有効な活躍の場の提供 | 将来に向けたAIと人の関係や役割を明確化することにより、「職がなくなる」という不安から「より有効な活躍の場を得られる」という期待に転換する。 |
| 新たな能力開発の機会を提供する | AIのふるまいから人が学ぶことで、若手のスキル育成やベテランのさらなる成長を促す。 |
| 「AIが肩代わりすることで、人の能力が低下する」課題への対応 | 緊急時に搭乗者にボタンタッチする自動運転車が搭乗者の運転能力低下で危険を招くという課題に対しても、人と自動車の協調により楽しくかつ運転能力を維持可能な運用を検討する。 |
| 関連施策や取組み | |
| AIから人が学習する事例 | 川崎重工業の産業用ロボット遠隔操作装置サクセサーは人の操作を学習して遠隔操作を支援するだけでなく、初級者が遠隔操作する際、熟練者の操作を体感で学習することが可能。 |
| 協働型ロボティクス | 工場に導入されたロボットと作業者が協働することで、人は単純作業や体力の必要な作業から解放され、より複雑な仕事を担うようになった事例が紹介されている。 |

(5) AIのリスクと安全性を考える

社会を支えるAIシステムのリスクを評価、AIも活用して対策し、安全性を高める

AIシステムのリスク分析ガイド、検証基準、安全基準などを整備することでAIを活用したシステムのリスクを評価・対策し、安全性を高める。また、外部のAIにより学習プロセスのオーディットを行ったり、予期せぬ挙動やプライバシー侵害を防ぐような仕組みも検討する(図5-5-7)。

■ 図5-5-7 AIシステムのリスク評価とAIによるリスク対策のイメージ



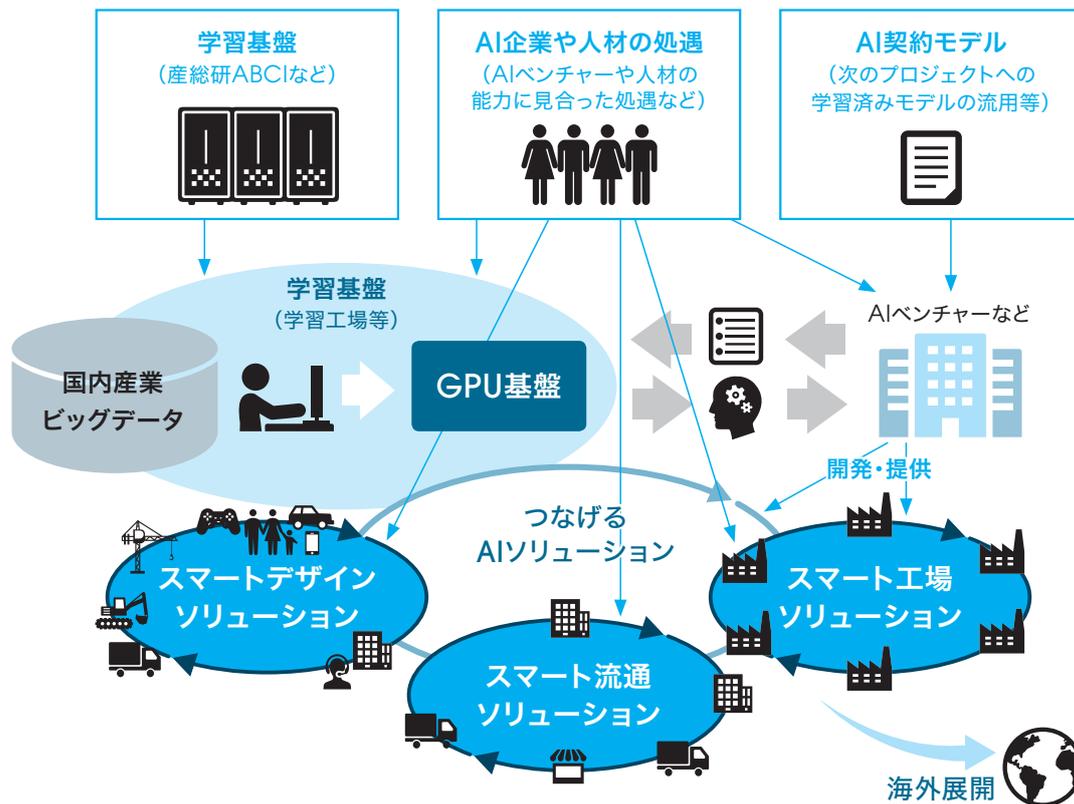
| 期待効果 | |
|----------------------|---|
| AIの安全性の向上 | AIシステムに適したリスク分析及び対策により、安全性の向上が期待される。 |
| 一定の安全性を保証する検証の仕組み | 非公開の標準検証データにもとづく第三者評価により一定の安全性を保証する仕組みの整備が期待される。 |
| 監視・監査による個人情報や企業機密の保護 | 学習プロセスの監視及び監査により、匿名化前のデータの盗み見や学習済みモデルの持ち出しなどを防ぐことが考えられる。 |
| 関連施策や取組み | |
| AIの標準化 | ISO/IEC JTC 1は2018年、AIの標準化を行う分科委員会SC 42を設置しており、まずAIの概念や用語、フレームワークから標準化検討が始められている。また、Trustworthinessについてもワーキンググループが設置されている(「2.9.1 標準化」参照)。 |
| 自動運転の安全性検証 | 米国運輸省は2016年9月に自動運転ガイドラインを公表し、15項目の安全評価の報告義務化などを提案。政権交代後、項目が12となり、義務化もなくなっている。 |
| SELF DRIVE Act | 米国では2017年9月、SELF DRIVE Actが下院で可決、安全性評価結果の提出義務付けなどを含む。 |
| その他 | |
| AIによる攻撃/AIによる防御 | 内閣サイバーセキュリティ戦略本部が平成29年7月に公表した「サイバーセキュリティ研究開発戦略」ではAIのセキュリティ防御への活用に加え、攻撃者側のAI活用について、常識に囚われず攻撃者の持つ技術の異次元の高度化への対応の必要性にも言及されている。 |
| STAMP/STPA | 「STAMP/STPA」はシステムを構成するハードウェアやソフトウェアだけでなく、システムと関係する他システムや人間系、環境までも含めて一つのシステムとして捉えるシステム理論にもとづいた事故モデルとその解析手法である。自動運転システムも視野に入れたこれからの自動車の安全分析手法として、国内外自動車メーカーや一般社団法人JASPARなどで活用推進が図られている。 |

(6) AI開発のエコシステムを活性化する

基盤整備やAI企業・人材の適切な処遇によりAI開発のエコシステムを活性化する

GPU環境やアノテーター等のスタッフを集約した基盤(学習工場等)を整備し、AI企業に手軽に使ってもらうことで国際競争力の向上や中小企業の導入を促進する。また、AI企業や人材の適切な処遇や次のAI開発に適した契約モデルの整備により、AI開発のエコシステムを活性化する(図5-5-8)。

■ 図5-5-8 AI開発のエコシステムのイメージ



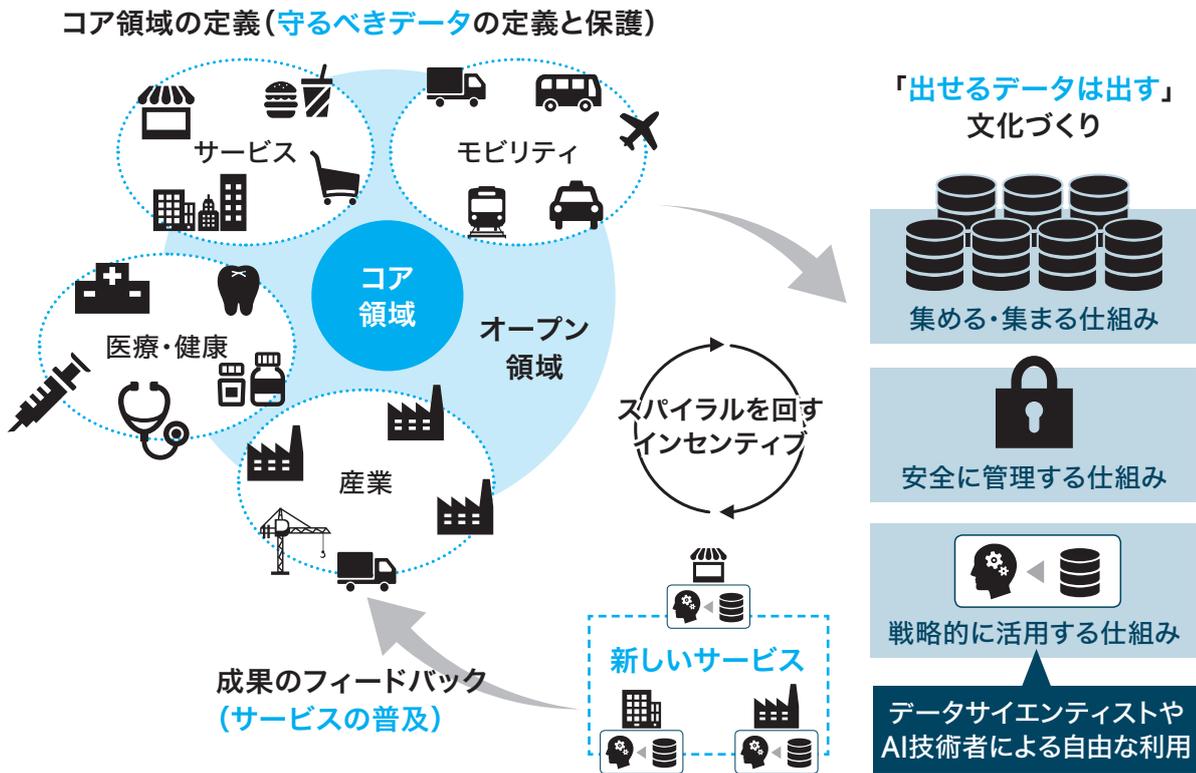
| 期待効果 | |
|----------------------------|---|
| 学習の効率化 | アノテーター等の人材やGPU環境が集約した学習工場により学習のコストや時間を圧縮し、AIの国際競争力を高めるとともに、中小企業のAI導入コストも下げる。 |
| AI企業の競争力強化、AI人材の海外流出の防止 | AI企業や人材が適切に処遇されることによりAIビジネスが成長するとともに、人材の海外流出が防止される。 |
| AI契約モデルや学習データ収集ガイドの整備 | AI開発企業が学習済みモデルを次のビジネスに活用しやすい契約書ひな型や、一般企業が将来に向けてデータを収集する際のガイドが整備されることでAIが加速する。 |
| 関連施策や取組み | |
| 人工知能処理向け大規模・省電クラウド基盤(ABCI) | 産業技術総合研究所では、AI学習に適した基盤ABCI(AI Bridging Cloud Infrastructure)を整備しており、学習工場などの活用が期待される(「2.8.2 クラウド側基盤」参照)。 |
| AI・データ契約ガイドライン検討会(経済産業省) | データとAIの両面による法的論点等の検討会を設置、AI・データ契約ガイドライン改訂版を策定(「4.3 AIに関する原則、ガイドライン等」参照)。 |
| その他 | |
| 学習工場 | 近年「学習工場」というアイデアが目立っている。AIの社会実装を推進するために有識者や業界関係者が提唱しているコンセプトで、「データを準備する環境、高度なAI人材、高性能な計算機が備えられている工場」のイメージとなる。ディープラーニングの研究者である東京大学・松尾准教授は学習工場を「機械学習を使える高度な人材、高性能な計算機、データを準備する環境」の3つがそろったものだとして定義している(松尾豊2017年3月「人工知能の未来 ディープラーニングの可能性とサイバーセキュリティに対する影響」)。学習工場では、AIの頭脳にあたる学習済みモデルが構築され、そのためには人、計算機、データが必要であるとする。諸外国と対等に競争するためには、数億～数千億円(数兆円)規模の投資が必要だと示唆される。 |

(7) サービスを生むデータ戦略を考える

クローズのコア領域データ×官民オープンデータによりイノベーションを生む

企業に対して、「コア領域の定義」、「守るべきデータの保護」及び「出せるデータの提供」を促し、学習データを集めるとともに、データサイエンティストやAI技術者に自由に使うことで、学習データとしての価値の発見や、アイデアや機会を活かしたAIサービスの創出を図る(図5-5-9)。

■図5-5-9 サービスを生むデータ戦略のイメージ



| 期待効果 | |
|-----------------|---|
| 企業のデータに対する意識改革 | 企業の学習データ戦略を促進し、企業力を高める。 |
| 技術者の能力育成やアイデア活用 | 若手やベンチャーの技術者も自由にデータを使えることで、人材育成やビジネス創出が期待される。 |
| ものづくり分野の国際競争力強化 | 日本が得意とするものづくり分野のデータ収集を強化することで、国際競争力を高める戦略もありうる。 |

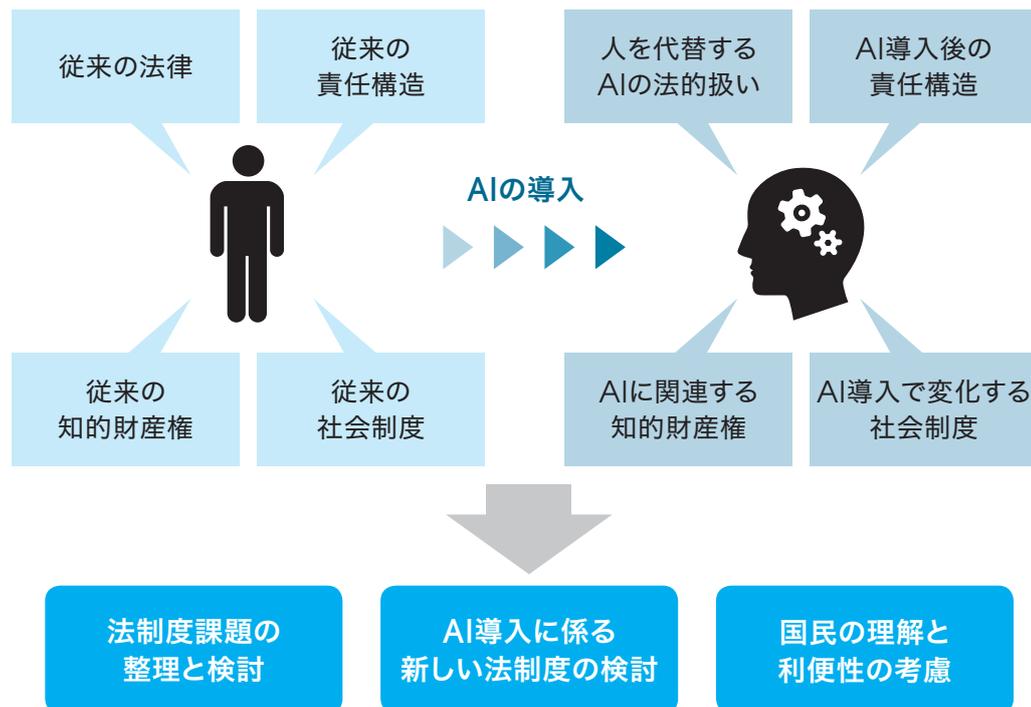
| 関連施策や取組み | |
|----------------------------|---|
| 官民データ活用推進基本法 | 官民データ活用の推進に関する施策を総合的かつ効果的に推進する法律(平成28年12月施行)。官民データ活用の推進に関する施策を総合的かつ効果的に推進し、データを活用した新ビジネスとイノベーションの創出、データにもとづく行政・農業・医療介護・観光・金融・教育等の改革を推進することを目的とする。 |
| 人工知能技術コンソーシアム(産業技術総合研究所) | AI関連企業・団体の情報交換や連携を通じ、データ生成→AI高性能化→高度なサービス→市場ニーズ対応のスパイラルを回すことでAI推進を図る。約150社が参加。 |
| 次世代医療基盤法(医療ビッグデータ法) | 平成30年5月に施行された医療分野の研究開発に資するための匿名加工医療情報に関する法律であり、本来、本人の承諾がなければ利用できなかった要配慮個人情報である医療情報を一定の基準を満たす枠組みの下で匿名加工情報として活用可能とする(「4.4.2 データ流通に係る制度改革」参照)。 |
| 産業データ共有促進事業(経済産業省平成29年度補正) | Connected Industries重点取組分野における複数企業者間でのデータ収集・活用を目的とした補助金制度を創設(同上)。 |
| 一般社団法人データ流通推進協議会 | 2017年11月、センサーデータを含む様々なデータを流通させることを目指して設立。センサーが生み出すデータ、個人や組織の活動に伴い生じるデータ、官庁などが保有する統計データが、スムーズに流通する環境を整備していく。安心かつスムーズにデータを提供でき、利用者が容易にデータを収集・活用できる環境整備を目的に活動している(同上)。 |

(8) AI導入で生じる法制度の課題を検討する

AIの導入に合わせて、国民の理解や利便性を考慮しつつ、法制度を検討する

人を前提とした法律とAI導入後の実態との齟齬の解消、AIによる事故の際の責任分界の考え方や迅速な被害者の救済など、AIの導入に合わせて法や制度を検討する。その際、法制度の変更に対する国民の理解や利便性を考慮する(図5-5-10)。

■ 図5-5-10 AIに関する法制の検討のイメージ



| 期待効果 | |
|------------------|--|
| AIと法制度 | AIの導入により現状の法制度との間に発生する齟齬の解消が期待される。 |
| AIの事故のスムーズな対応 | AIシステムの事故発生時のメーカーと運用者の責任分界の明確化や被害者へのスムーズな対応が期待される。 |
| AIに関連する知的財産権の明確化 | AIの創作物の権利、学習データ・学習済みモデルの権利、著作物である学習データを用いた学習済みモデルの権利などが整理されることでビジネスがスムーズに進む。 |

| 関連施策や取組み | |
|------------------------------|---|
| 自動運転の段階的実現に向けた調査研究(警察庁) | 警察庁は、道路交通法や、自動走行システムの公道実証実験に係る道路使用許可申請など、自動運転車に対応する制度の見直しについて検討を行っている。例えば、高速道路を自動運転車が走行する際に、現在の関連法規を遵守して走行することが困難になりえるとして、関連する交通規制の運用のあり方などを検討する方針などが示されている。 |
| 自動運転における損害賠償責任に関する研究会(国土交通省) | 自動運転の導入初期である2020～2025年ごろの過渡期を想定し、自動運転車が損害を与えた場合の責任やスムーズな補償に向けた検討を行う。自動運転における自賠法の責任主体「運行供用者」の考え方、ハッキングにより引き起こされた事故の損害、自動運転システムの欠陥による自損事故(自賠法の保護対象外)、自動運転における自賠法の「自動車の運行に関し注意を怠らなかったこと」の考え方、地図情報やインフラ情報などの外部データの誤謬、通信遮断等による事故等の論点について検討されている。 |
| 知的財産推進計画2017 | 知的財産戦略本部が平成29年5月に発表した「知的財産推進計画2017」には、「データ・人工知能(AI)の利活用促進による産業競争力強化に向けた知財制度の構築」が含まれている。その中で「AIの作成・利活用促進のための知財制度の在り方」として、「機械学習、特に深層学習を用いたAIの作成・開発を進め、その利活用を促進し、我が国の産業競争力強化を図るため、その基盤となる知財制度の在り方について検討することが求められている」とされている。 |

5.5.3 長期的な課題について

社会実装推進の方向性は、文献調査、アンケート、ヒアリングなどから抽出した課題にもとづいているため、比較的短期的なものが多い。「(2) 社会システムから変えていく」にしても、長期的視点のように見えるが、実際には将来の社会システムを見越して現在のAIビジネス企画や技術開発に取り組むというものである。

長期的な視点で検討すべき課題としては、例えば以下のものが挙げられる。

(1) 社会制度

すでにRPAなどによる比較的単純な業務のICT化が進んでいるが、今後はAIの活用により、専門性が高い業務も対象になると想定されている（「3.3.13 その他の利用動向」参照）。短期的には、これらの業務を担当していた労働者を、スキルチェンジ（学び直しやリカレント教育など）により別の職種に転換することが考えられる。しかし、長期的にはAIに代替される業務が増えることで相対的に労働者が転換できる業務が減少したり、専門性が高いゆえにAIへの代替が進まない業務に対しては労働者のスキルチェンジそのものが難しいという課題があったりする。このような労働需要の減少や人材のミスマッチによる未就業者の増加に対して、ベーシックインカム制度（最低限度の生活を保障するため国民に一定額の現金を給付する制度）の検討が必要という意見も有識者へのヒアリングで聞かれた。

(2) 社会受容性

社会実装推進の方向性に対する課題の中にも「社会受容性」が含まれているが、これはAIシステムによる事故や責任のあいまいさへの不安など、目前のものである。

これに対し、本格的にAIが普及した場合、例えばAIによる人事評価システムに対して、多くの労働者が反発するなど、新たな社会受容性上の課題が発生する可能性がある。「AI上司の可能性」はAI社会実装推進委員会でも議論に上がっているが、AIが人事評価の根拠を説明できなければ労働者が納得できない場合も多いと想定される。

上記(1)のような社会制度に関しては、社会の変化とそのスピードを見据えつつ、海外の事例、国の財政、国民のコンセンサスなどを考慮しながら実施する必要があり、時間も要するため、前倒しの検討も必要と考えられる。

上記(2)のような課題に対しては、社会受容性を高めるために必要な技術を早期に研究開発することが重要と考えられる。AI上司の例でいえば、AIが人事評価の根拠を説明できるような技術開発が必要と考えられる。

このような長期的課題については、喫緊ではないものについても優先度を下げずに検討を続ける必要がある。

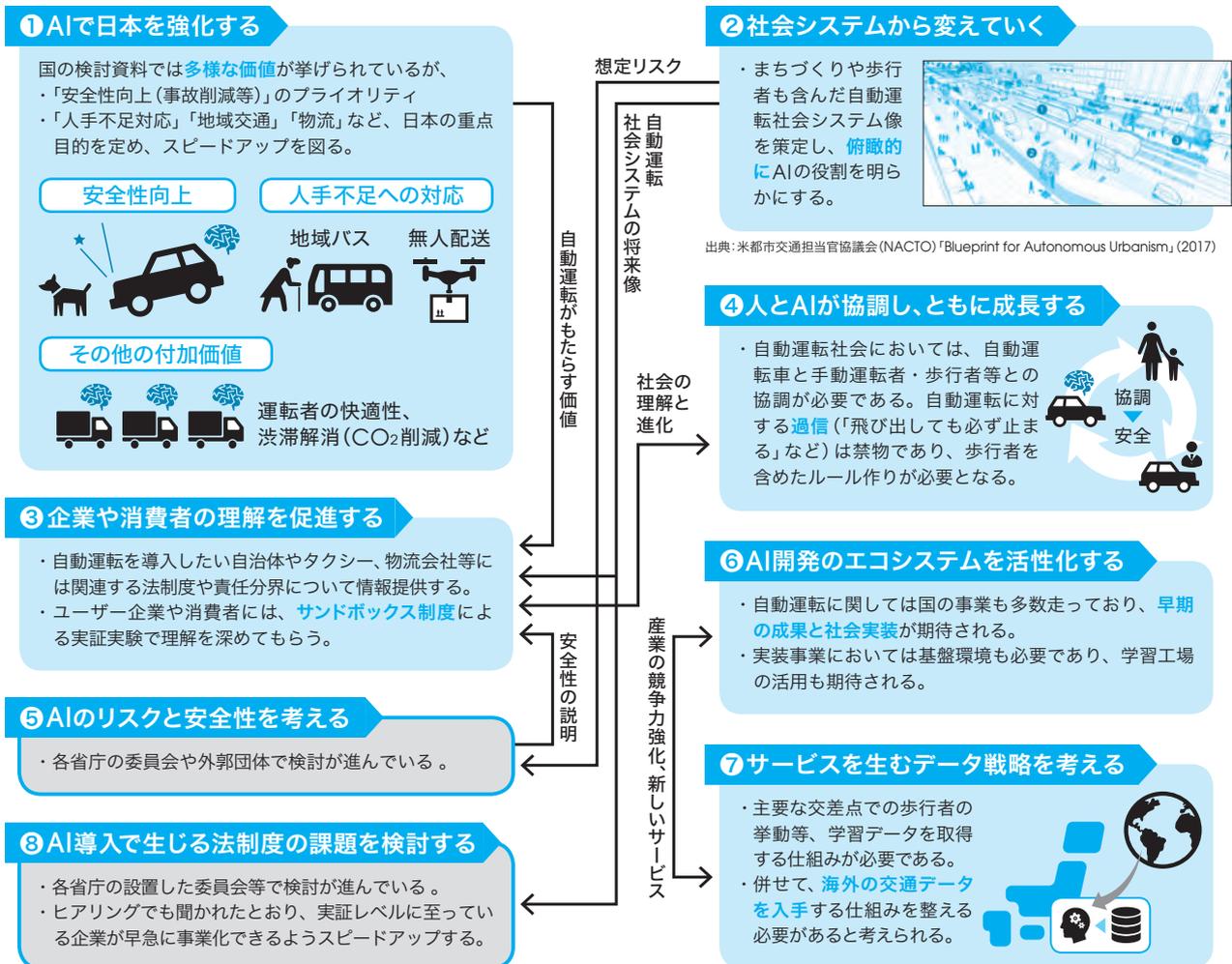
5.6 ▷ 社会実装推進の方向性の特定領域への適用

5.5.2(1)から(8)までの8つの課題解決の方向性を示したが、実際に検討する場合には対象領域ごとに詳細な検討を行う必要がある。

本調査では、一般的な動向調査に加え、特定領域として自動運転及びスマート工場を対象に個別具体的な検討を実施しているため、両分野に対して社会実装推進の方向性の適用を試行した。以下に結果を示す。

自動運転の場合には、自動運転のメーカーのほか、自動運転を導入する組織（地域バスを運用する自治体やタクシー会社、物流会社など）、運転者、歩行者など様々な関係者が存在するため、導入の価値の提示や理解促進の対象が社会全体に及ぶ（図5-6-1）。

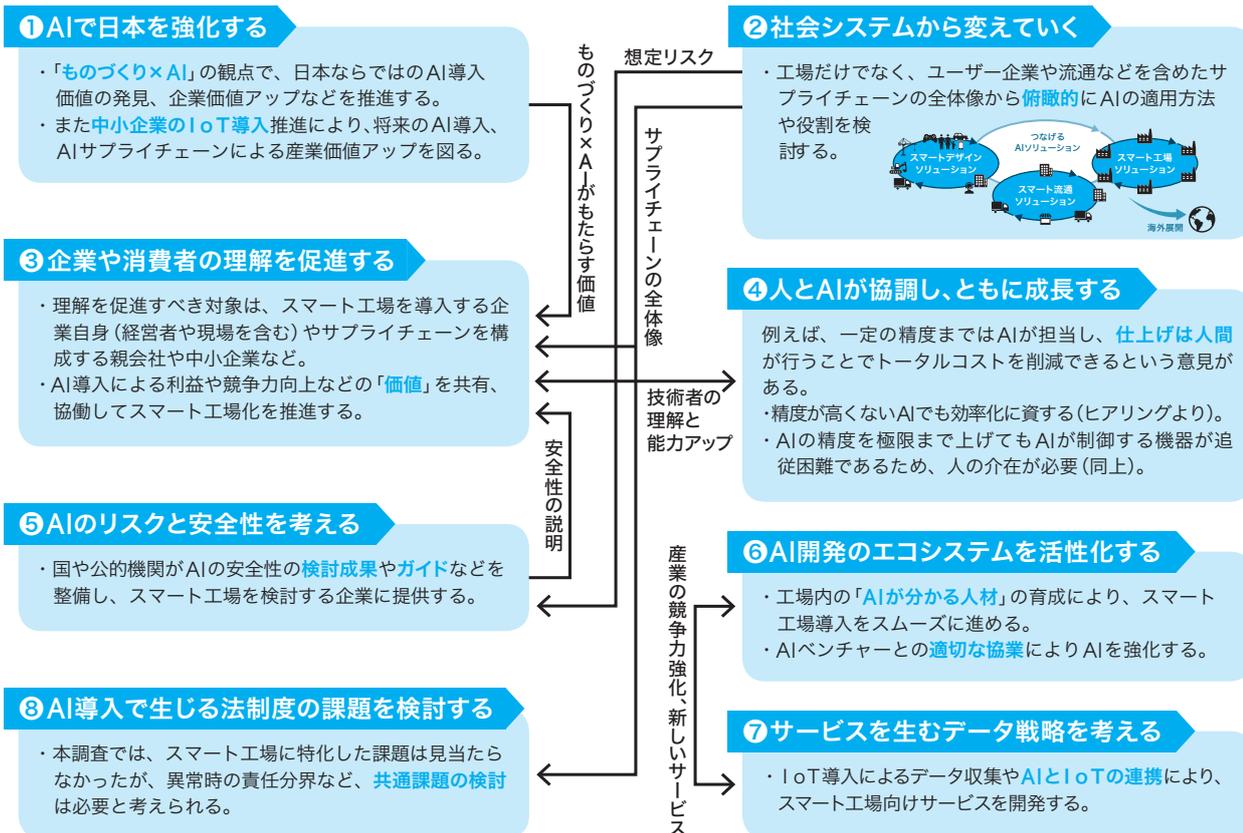
■ 図5-6-1 社会実装推進の方向性(自動運転の適用例)



□ = 取組みが進んでいると思われる部分

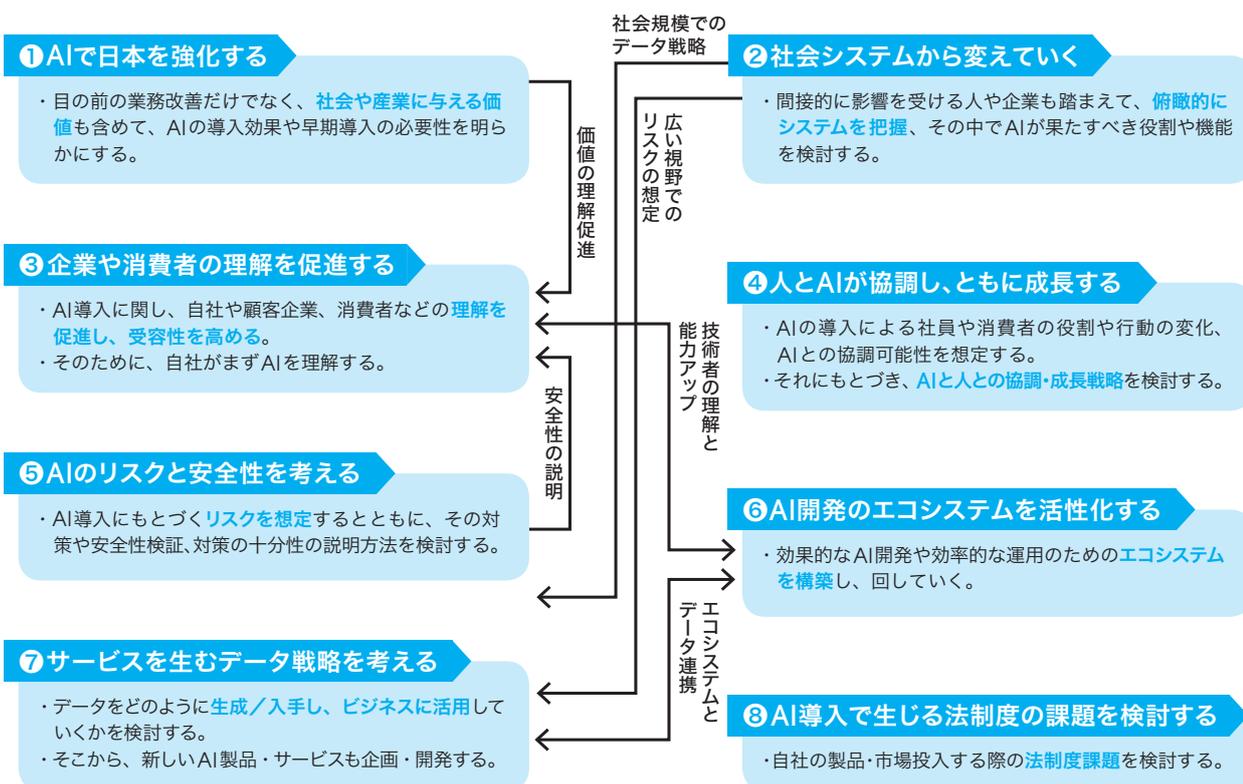
これに対してスマート工場の場合は、目的が「工場のスマート化」か「つながる工場」かによって導入の価値が大きく異なり、導入の価値の提示や理解促進の対象範囲も工場関係者、生産サプライチェーン、マーケティングや流通まで変化する。このため、目的設定が重要なステップとなる（図5-6-2）。

■ 図5-6-2 社会実装推進の方向性(工場のスマート化の適用例)



なお、他の領域(医療・ヘルスケア、スマートホーム、その他)においても、図5-6-3のテンプレートを使用することで同様の検討を行うことが可能である。

■ 図5-6-3 社会実装推進の方向性(テンプレート例)



5.7 ▷ 今後の展望

本調査では、アンケートにもとづく企業動向調査、AIに関わるユーザー企業やAI技術・ソリューション開発企業へのヒアリング、AI社会実装推進委員会での議論を通じて、AI社会実装における課題を洗い出し、整理した。自動運転およびスマート工場の2つの特定領域に対しては、特に重点的に調査を行っている。また、これらの課題に対して社会実装を進めるために、AI社会実装推進委員会では、ステークホルダーが留意すべき行動指針として、8つの「社会実装の方向性」を提示した。

本調査事業は、「新技術の社会実装」を対象としたものであり、得られた知見は今後、他の産業領域を対象としてAIの社会実装推進の検討を行う場合だけでなく、他の新技術の社会実装課題の検討にも活用可能と考えている。

MEMO

MEMO

MEMO

MEMO

AI白書編集委員会

(敬称略、五十音順)

委員長



札幌市立大学 学長

中島 秀之

1983年、東京大学大学院情報工学専門課程修了(工学博士)。通産省工業技術院電子技術総合研究所に入所後、産総研サイバーアシスト研究センター長、公立ほこだて未来大学学長、東京大学特任教授を経て、2018年4月より現職。人工知能を状況依存性の観点から研究。マルチエージェントならびに複雑系の情報処理とその応用に興味を持っている。

委員長
代理



大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻 教授

浅田 稔

1982年、大阪大学大学院基礎工学研究科修了(工学博士)。大阪大学工学部教授を経て現職。同大学先導的学際研究機構共生知能システム研究センター戦略顧問。国際的なロボット競技会「ロボカップ」の提唱者の一人(2002～8年までプレジデント)。認知発達ロボティクスを提唱し推進している。日本赤ちゃん学会理事。NPOダ・ヴィンチミュージアムネットワーク理事長。

委員



株式会社ドワンゴ 取締役CTO

川上 量生

1991年、京都大学工学部卒業。1997年にドワンゴを設立。2006年よりウェブサービス「niconico」運営に携わるほか、現在は人工知能、教育事業などのIT先端技術関連の新規事業開発に注力している。

委員



株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 代表取締役社長

北野 宏明

1984年、国際基督教大学教養学部理学科卒業、1991年京都大学博士号(工学)取得。1993年にソニーコンピュータサイエンス研究所へ入社。2011年より現職。また2001年にはシステム・バイオロジー研究機構を設立し、会長を務める。「ロボカップ」提唱者の一人で、国際委員会ファウンディング・プレジデント。World Economic Forum(世界経済フォーラム)AI & Robotics Council委員。ソニー株式会社 執行役員。

委員



大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 所長、東京大学生産技術研究所 教授

喜連川 優

1983年、東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了(工学博士)、同年東京大学生産技術研究所入所。2007年8月～2008年3月、経済産業省「平成19年度情報大航海プロジェクト」戦略会議議長を務める。2013年に国立情報学研究所所長就任。ビッグデータの第一人者で、そのブームの8年前に情報爆発を提唱。情報処理学会会長等を歴任。

委員



国立研究開発法人産業技術総合研究所 フェロー 兼 人工知能研究センター 研究センター長

辻井 潤一

1973年京都大学大学院修士課程修了。1978年同大学博士号(工学)取得。質問応答システム、言語理解の研究に従事。1979年京都大学助教授、1988年マンチェスター大学教授、1995年東京大学大学院教授、2011年マイクロソフト研究所(北京)首席研究員を経て2015年より現職。マンチェスター大学教授兼任。計算言語学会(ACL)、国際計算言語学会(ICCL)の会長を歴任。

委員



東京大学 大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 特任准教授

松尾 豊

2002年東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。同年産業技術総合研究所研究員、2005年スタンフォード大学言語情報研究センター客員研究員、2007年東京大学大学院工学系研究科 准教授就任。2014年より現職。人工知能とウェブ工学を専門とし、人工知能学会の編集委員長、倫理委員長を歴任。

執筆者

(敬称略、五十音順)

- 浅田 稔 大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻 教授
- 石塚 満 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所
コグニティブ・イノベーションセンター・特任教授/センター長
- 上野 達弘 早稲田大学 大学院法務研究科 教授
- 小川 宏高 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター 研究チーム長
- 川上 量生 株式会社ドワンゴ 取締役CTO
- 北野 宏明 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 代表取締役社長
- 喜連川 優 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 所長、
東京大学生産技術研究所 教授
- 高村 大也 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター 知識情報研究チーム長
- 辻井 潤一 国立研究開発法人産業技術総合研究所 フェロー 兼 人工知能研究センター 研究センター長
- 殿川 雅也 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 統括研究員
- 中島 秀之 札幌市立大学 学長
- 中田 秀基 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター 研究主幹
- 松尾 豊 東京大学 大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 特任准教授
- 丸山 宏 株式会社Preferred Networks PFNフェロー
- 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部

対談

(敬称略、五十音順)

- 尾原 和啓 ITジャーナリスト
- 富山 和彦 株式会社経営共創基盤 代表取締役CEO
- 中島 秀之 札幌市立大学 学長
- 松尾 豊 東京大学 大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 特任准教授

執筆協力

(敬称略)

- 中原 啓貴 東京工業大学 工学院 情報通信系 准教授
- 田中 幸宏 footprints
株式会社角川アスキー総合研究所
株式会社 企
株式会社NiCO
みずほ情報総研株式会社
株式会社矢野経済研究所

オブザーバー

(敬称略、所属名・役職名はAI白書編集委員会参加時点のもの)

| | |
|--------|--|
| 関根 久 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 統括研究員、 「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」プロジェクト・マネージャー |
| 松田 成正 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 新領域・融合ユニット(ロボット・AI) 統括研究員(兼) ロボット・AI部 AI社会実装推進室 室長代理 |
| 金山 恒二 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 主任研究員(兼) AI社会実装推進室 室長代理 |
| 狩野 雄介 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 主査 |
| 田中 伸彦 | 経済産業省 商務情報政策局 デバイス・情報家電戦略室長 |
| 佐藤 慎二郎 | 経済産業省 商務情報政策局 情報産業課 課長補佐 |
| 小宮 恵理子 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 産業技術プロジェクト推進室 室長補佐 |
| 富田 達夫 | 独立行政法人情報処理推進機構 理事長 |
| 川浦 立志 | 独立行政法人情報処理推進機構 理事 |
| 松本 隆明 | 独立行政法人情報処理推進機構 顧問 |
| 片岡 晃 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター センター長 |
| 古明地 正俊 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 部長 |
| 日下 保裕 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター 企画部 副部長 |
| 野村 治彦 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 リサーチグループ グループリーダー |

事務局

| | |
|--------|------------------------------------|
| 新井 一暁 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 |
| 岩政 幹人 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 |
| 小沢 理康 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 |
| 遠山 真 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 |
| 西原 栄太郎 | 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター イノベーション推進部 |

AI白書2017執筆委員

(敬称略、五十音順、所属名・役職名は当時のもの)

| | |
|--------|--|
| 浅川 伸一 | 東京女子大学 情報処理センター 助手 |
| 麻生 英樹 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター 副研究センター長 |
| 石田 亨 | 京都大学 大学院情報学研究科 社会情報学専攻 教授 |
| 石塚 満 | 国立情報学研究所 コグニティブ・イノベーションセンター・特任教授/センター長 |
| 和泉 潔 | 東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授 |
| 井之上 直也 | 東北大学 大学院情報科学研究科 助教 |
| 上野 達弘 | 早稲田大学 大学院法務研究科 教授 |
| 尾形 哲也 | 早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 表現工学科 教授 |
| 小田 悠介 | 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 知能コミュニケーション研究室 国立研究開発法人情報通信研究機構 先進的音声翻訳研究開発推進センター 先進的翻訳技術研究室 研究技術員 |
| 金広 文男 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 ヒューマノイド研究グループ 研究グループ長 |
| 河原 達也 | 京都大学 大学院情報学研究科 知能情報学専攻 教授 |
| 清水 亮 | 株式会社UEI 代表取締役社長兼CEO 東京大学 先端科学技術研究センター 客員研究員 |
| 庄野 逸 | 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻 教授 |
| 武田 英明 | 国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 教授 |
| 田所 諭 | 東北大学 大学院情報科学研究科 教授 |
| 谷口 忠大 | 立命館大学 情報理工学部 情報理工学科 教授 |
| 中原 啓貴 | 東京工業大学 工学院 情報通信系 准教授 |
| 二宮 洋一郎 | 国立情報学研究所 コグニティブ・イノベーションセンター 特任研究員 |
| 野田 五十樹 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター 計算社会知能研究チーム 総括研究主幹・研究チーム長 |
| 原田 達也 | 東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 教授 |
| 比戸 将平 | 株式会社Preferred Networks Chief Research Officer |
| 平田 圭二 | 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 複雑系知能学科 教授 |
| 松井 俊浩 | 情報セキュリティ大学院大学 大学院・情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター フェロー |
| 松岡 聡 | 東京工業大学 学術国際情報センター 教授 産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用オープンイノベーションラボラトリ (RWBC-OIL) ラボラトリ長 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター 特定フェロー |
| 松原 仁 | 公立はこだて未来大学 副理事長 兼 同大学 システム情報科学部 複雑系知能学科 教授 |
| 宮尾 祐介 | 国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 准教授 |
| 山川 宏 | 株式会社ドワンゴ ドワンゴ人工知能研究所 所長 |

※本書は『AI白書2017』のコンテンツを一部活用しているため、同書の執筆者をここに紹介します。

本白書の記載内容は、原則として2018年8月までの執筆、寄稿、事務局調査に基づきます。
本白書中に記載されている会社名、製品名、及びサービス名は、それぞれ各社の商標または登録商標です。本文中には、TM及び[®]マークは記載しておりません。

本白書は著作権法上の保護を受けています。

本白書より引用、転載については、IPA Webサイトの「よくある質問と回答」(<https://www.ipa.go.jp/sec/qa/index.html>)に掲載されている「著作権および出版権等について」をご参照ください。

なお、出典元がIPA以外の場合、当該出典元の許諾が必要となる場合があります。

問い合わせ先：

独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター

イノベーション推進部 リサーチグループ

〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8

文京グリーンコート センターオフィス

<https://www.ipa.go.jp/>

AI白書 2019

2018年12月11日 初版発行

2019年 9月10日 第1版第4刷発行

編 独立行政法人情報処理推進機構 AI白書編集委員会

発行者 加瀬典子

発行 株式会社角川アスキー総合研究所
〒113-0024 東京都文京区西片1-17-8
<https://www.lab-kadokawa.com/>

装丁・本文デザイン 有限会社ザップ

アドバイザー 遠藤 諭

編集協力 西上範生、窪木淳子

撮影〔第1章〕 曾根田 元、小林 伸