

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

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】 | 法制度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 |
|------------|-----|

対談1 AI経営と日本の目指すべき道



富山和彦 × 中島秀之

株式会社経営共創基盤代表取締役CEO

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いますか。

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。

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

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。

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、



松尾豊

本書編集委員
東京大学大学院特任准教授

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IEPUB選書)などがある。

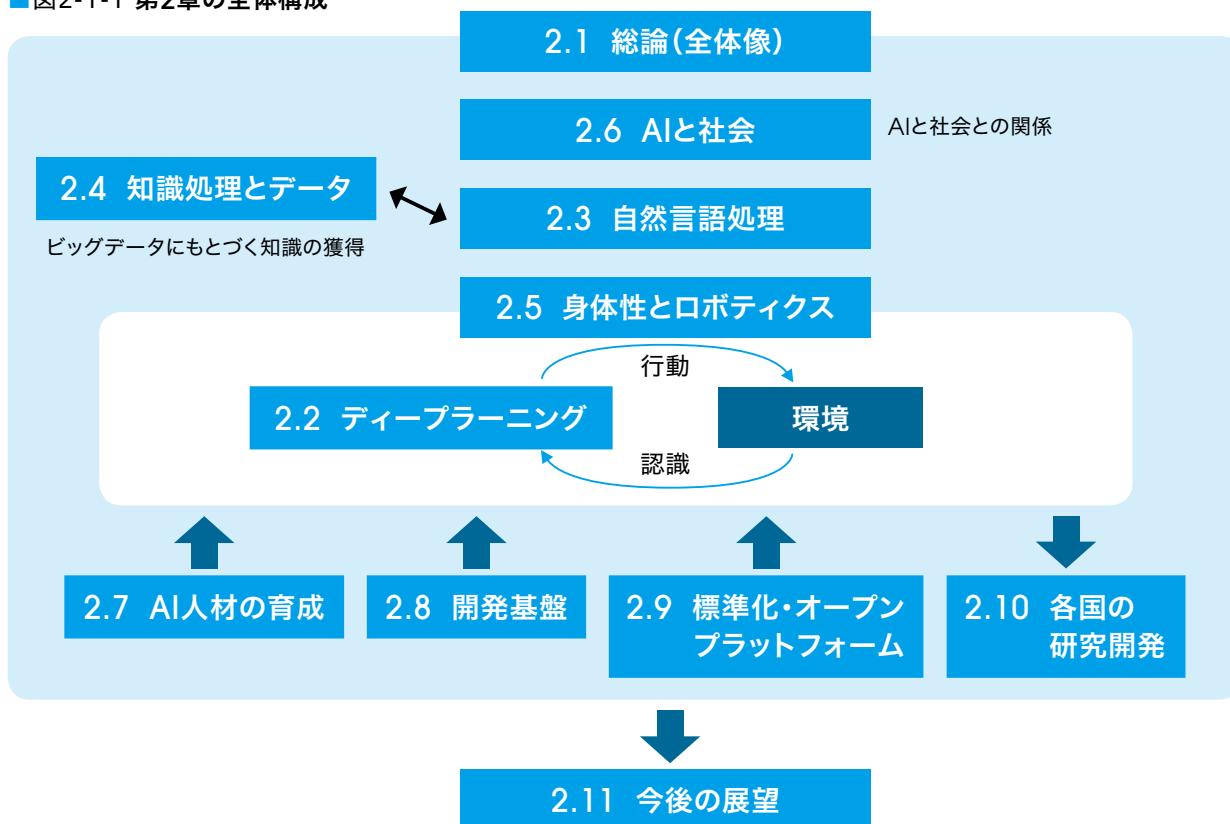
おおよそ予測通りに進展しています。ディープラーニングによる画像認識はかなり進み、アプリケーションが多数出てきています。次の段階としては機械・ロボット系への応用となりますが、なかなか実用に結びつきにくい状況が続いていました。しかし、この半年~1年くらいで「World Models」^{*1}(世界モデル)を構築する研究が出てきています。今年6月にはDeepMind^{*2}(英国)から「GQN」(Generative Query Network)^{*3}が発表されました。

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」

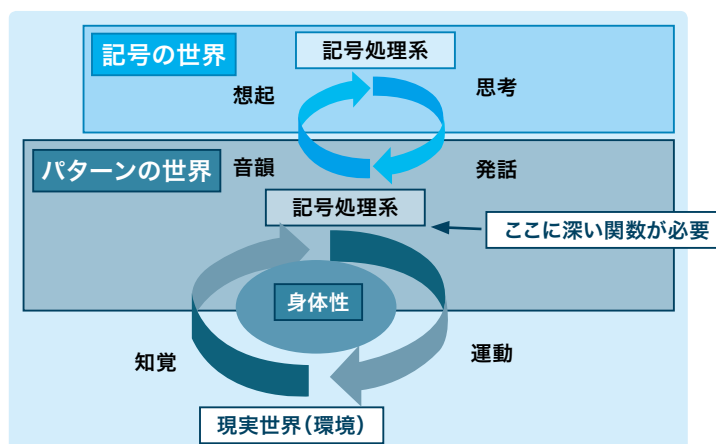
ディープラーニングは、2012年に「ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)」という画像認識のコンペティション^{*1}で大躍進を果たした。トロント大学(University of Toronto、米国)のGeoffrey Hintonらのチームがディープラーニングの技術を使って、ほかのチームがエラー率(低いほうが良い)26%台の攻防を繰り返す中、16%という脅威のエラー率を達成して圧倒的な勝利を取めた。それまでは世界中の研究者が競っても、1年で1～2%しか改善しない領域であった。その中で、10%も記録を更新し、しかも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

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。

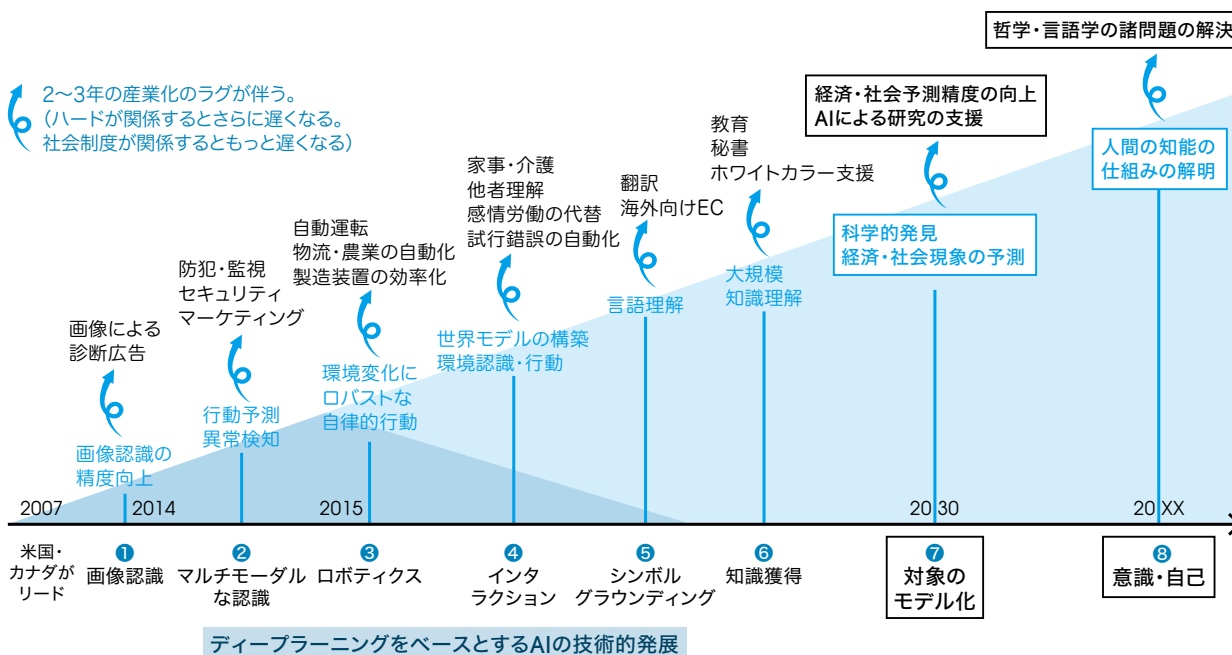
「3.5 AI導入予算・AI市場の規模」ではAIに関する予算や市場規模を軸に進捗状況を説明する。また、【特集】「データで見る中国のAI動向」では、特に近年の躍進が目覚ましい中国に関してデータを含めて詳細に説明する。

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）

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。

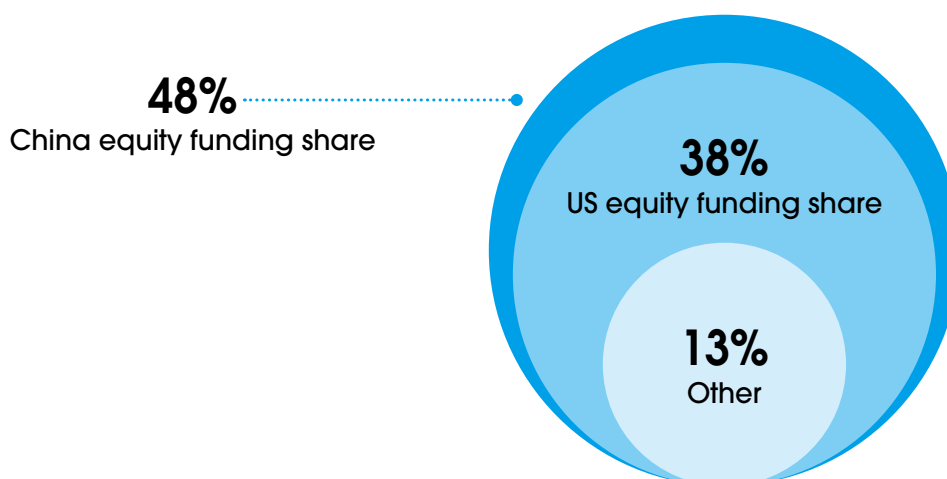
1 世界におけるAIの動向と躍進する中国

(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

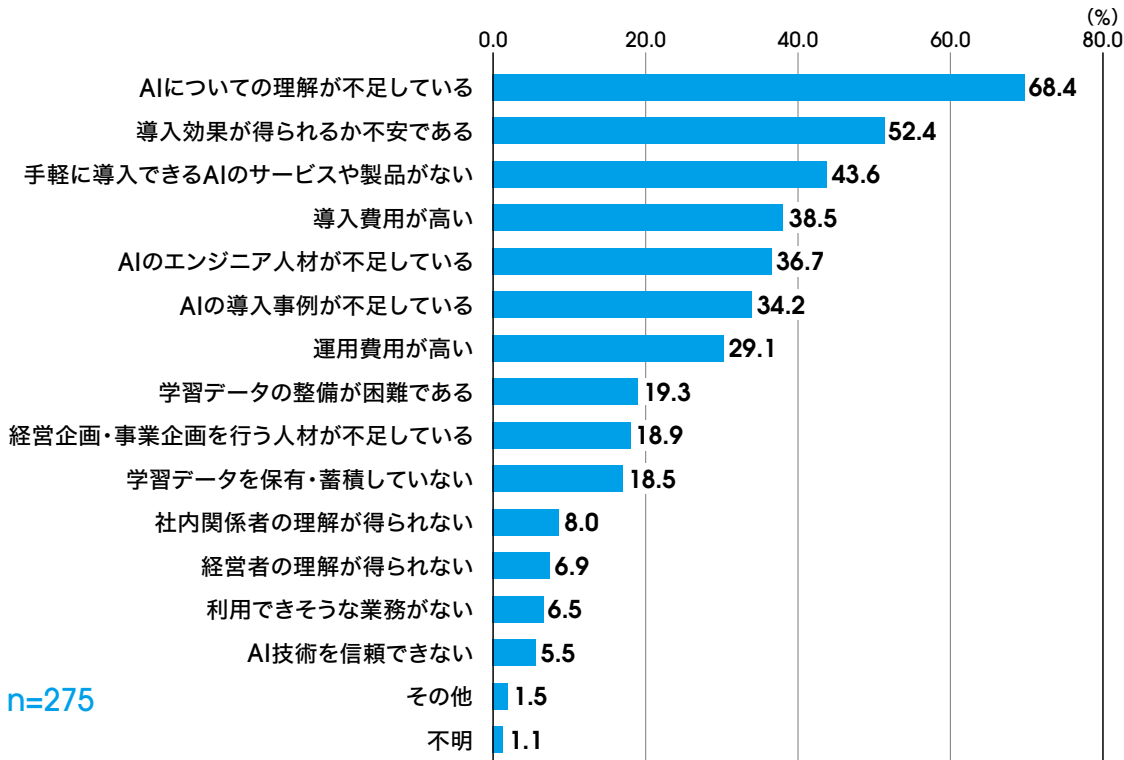
| 企業名 | 本社所在地 | 設定 | 資金調達状況 |
|-----------|-------|-------|---------------------|
| Megvii | 北京 | 2011年 | 2017年10月に4.6億ドルを調達 |
| SenseTime | 北京 | 2014年 | 2017年7月に4.11億ドルを調達 |
| CloudWalk | 広州 | 2015年 | 広州の地方政府から3.01億ドルを調達 |

出典:各種公開資料より作成

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)。

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。

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想し、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)。

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



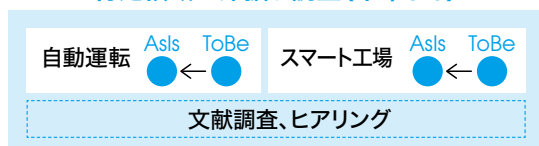
出典:IPA「平成29年度AI社会実装推進調査報告書」より

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)。

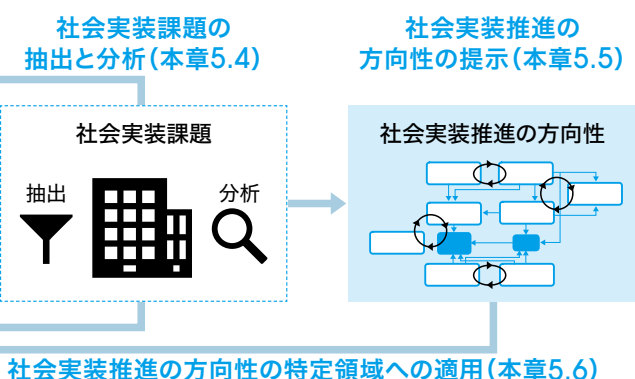
社会実装に係る課題調査(本章5.2)



特定領域の深掘り調査(本章5.3)



■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>>

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。