

# アニーリングマシンによる新規配送最適化手法の開発 ー 待ち時間を考慮した配送経路最適化アルゴリズム“LRightAway” ー

## 1. 背景

物流業界ではコロナ禍において EC 市場が拡大し、あらゆる物流の配送需要が拡大することが見込まれる。一方で、再配達増加および配送の担い手不足は顕在化しており、配送最適化は喫緊の課題である。配送最適化のアプリケーション開発は大きく分けて 2 つの開発の方向性がある。一つ目は配送計画の最適化である。具体的には、配送する荷物の種類に関する積付最適化および配送者のスケジューリング最適化である。これらは配送を行う前の処理として行われる。二つ目は配送経路の最適化である。これは、配送者の移動距離を最小化する整数計画問題である、Traveling Salesman Problem (TSP) を基礎としている。しかしながら、TSP は Non-deterministic Polynomial-time 困難であることが知られており、問題規模の増加に伴って計算コストが大幅に上昇してしまう。そのため、進化計算、動的計画法、および機械学習を活用した経路最適化が提案されている。本プロジェクトでは、アニーリングマシンを活用することで、二つ目の経路最適化の拡張手法を開発し、配送者および消費者間のローカル配送ネットワークにおける新たな配送形態に着目する。

ローカル配送ネットワークのシステムを整備することで、「すぐ届く」配送を実現することができる。将来的には、ドローン配送を始めとした自動配送技術が期待され、ハード面での開発が進められている。しかし、こうした自動配送のシステムは未整備であり、「すぐ届く」配送の実現に向けては適切な配送リソースの分配を行っていく必要がある。一方、現在ローカル配送ネットワークにおいて事業展開しているのは Uber Eats や OniGO などの食料品 EC サービスであり、ローカルなエリア内で逐次的に配送者をアテンドすることで「すぐに届く」配送を目指している。「すぐに届く」価値は特に生鮮食品や調理済み食品に対して高いニーズがあり、ローカル配送ネットワークの最適化を実施するメリットが非常に大きい。そこで、本プロジェクトではこれらの食料品 EC サービスへの展開を目指して、配送リソースを適切に分配し、顧客全体の待ち時間を減少させることができるような最適化技術を開発する。

## 2. 目的

本プロジェクトの目的は、待ち時間を考慮して配送者のリソースおよび配送経路を同時に最適化するアルゴリズムの開発を行い、「すぐ届く」付加価値を提供するローカル配送ネットワークを構築することである。具体的には、配送者リソースに関する最適化および配送経路に関する TSP は量子アニーリングの仕組みの中で同時に計算するように実装し、消費者の待ち時間を逐次的に最小化するようなアルゴリズムの開

発を行う。ここでは、開発したローカル配送ネットワークのためのアニーリングマシンによる新規配送最適化手法を LRightAway（ライトアウェイ）と呼称する。

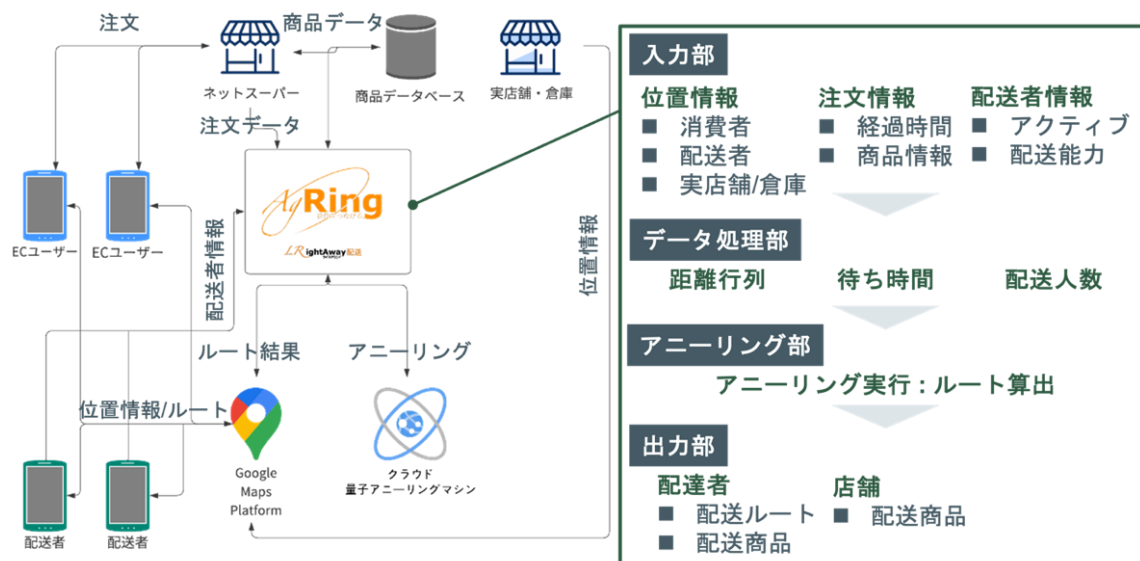


図 1 システム図

### 3. ソフトウェア開発内容

本プロジェクトで開発するアニーリングマシンによる新規配送最適化手法 LRightAway を用いた配送最適化ツールは以下のようなものを想定している。

- サービス対象： ネットスーパー又はそれに準ずるもの
- 最適化ツールの入力情報：
  - マップから取得する位置情報
  - サービス対象から得られる注文商品データ
  - 自社配送やギグワーカーなどの様々な配送形態を想定した配送者情報

これらの情報はネットスーパーなどのプラットフォーム上で集約されており、注文データベースから本プロジェクト開発ツールの LRightAway が取得できる想定である。図 1 にシステムのイメージ図を示した。

データ処理部で最適化に必要な以下の情報を取得する。

- 地点間距離・移動時間行列
- ユーザー待ち時間
- 割り当てする最大配送者人数

ここでは、注文データから各注文時刻から現在までの経過時間を算出し、ユーザーの待ち時間とする。また注文数や配送地点・アクティブ配送者の人数から割り当てる最大配送者人数を決定する。

データ処理部で算出した地点間情報、待ち時間、配送者情報を用いてアニーリングマシンによる最適化を実行する。アニーリングによる最適化計算から得られる出力は以下の3点である。

- 各注文商品に対して割り当てられた配送者 ID
- 配送が行われる商品および商品が補完される倉庫 ID
- 各配送者に対して割り当てられた注文 ID および巡回する順序

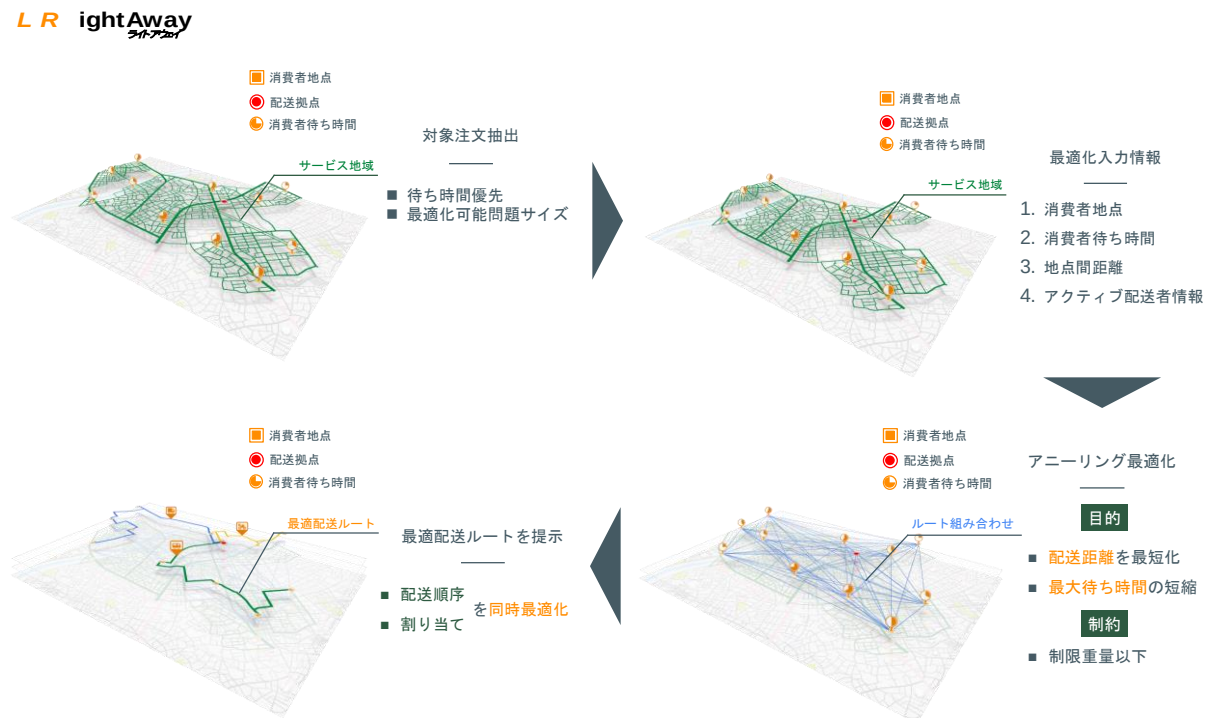


図 2 LRightAway 配送最適化フロー

具体的なアニーリングマシンによる配送最適化アルゴリズム LRightAway のフローおよびサービスイメージは図 2 にまとめて示す。

#### 4. 新規性・優位性

本プロジェクトで目的としている「すぐ届く」配送を評価するために、シミュレーションを4時間分を行った後のユーザーの待ち時間を従来アルゴリズムと比較する。比較対象とした従来アルゴリズムは Cluster-First Root-Second(CFRS)と呼ばれるような地点分割により配送者割り当てを行った後に単純な巡回路生成を行うアルゴリズムである。CFRS は従来手法の中で、処理速度の面で非常に優れている。

待ち時間はシミュレーション中に生成される注文それぞれに対して計算され、分布を持つことになる。シミュレーションによって得られたユーザー待ち時間の分布を図 3 に示した。まず、本プロジェクトのサービス目標では最短待ち時間 10 分を目指し

ており、実際に CFRS の最適化による最短待ち時間は 10 分であり、LRightAway 最適化による最短待ち時間は 13 分 13 秒という結果になった。これはシミュレーションの特性上、実際にサービスで実現されるとは限らないが一定の想定において 10 分程度の配送を実現可能な最適化ツールとなっていることを示せた。さらに、図 3(a)、図 3(b)を比較すると分かるように待ち時間分布はどちらも短い待ち時間帯でピークを持っているが、裾は CFRS の方が明らかに長い待ち時間まで伸びている。実際に最長待ち時間は CFRS が 1 時間 42 分であるのに対して LRightAway では 56 分であり、最長待ち時間が 45%短縮されたことを示している。

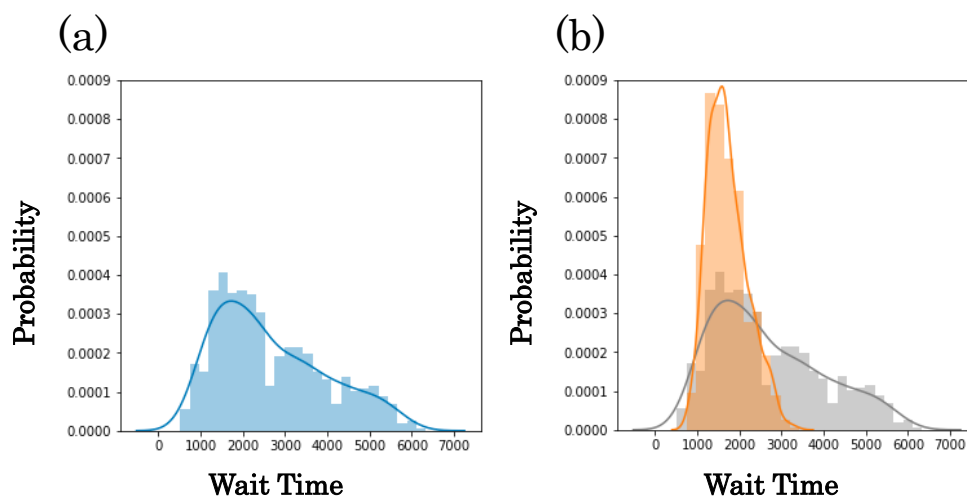


図 3 待ち時間分布. (a)CFRS. (b)LRightAway.

以上の結果より、LRightAway は「すぐ届く」を実現するような配送が提供可能であることを示しており、本手法が待ち時間を最小化する配送最適化アプリケーションとしての優位性があると考えられる。

## 5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

LRightAway を使うことにより、ネットスーパー型配送ネットワークにおいて、「すぐ届く」配送サービスを提供することが可能となる。「すぐに届く」配送は生鮮食品などに対して非常に重要な価値であるとともに、ネットスーパーという生活に必要な買い物という行為の利便性を上げることができるサービスの普及を推し進めることができる価値であると考えられる。「すぐ届く」価値によってネットスーパーの利便性を向上するとともに、高齢社会で問題となっている買い物難民の人々に対しても利用しやすく、救いとなるネットスーパーを届けることが期待される。

さらに、ローカル配送ネットワークに特化した待ち時間考慮の新規配送最適化アルゴリズムであるため、次世代配送として期待されるドローン配送や自動配送などの逐次的な小口配送の最適化へのきっかけとなりうるアルゴリズムである。従来の配送最適化アプリケーションとは異なり、LRightAway では時間に依存する項が組み込まれているため、瞬発的な小口配送の最適化にも拡張可能である。この次世代配送最適化を行うことができる LRightAway は次世代に利便性をもたらすツールとして社会に大きなインパクトを与えることが今後も期待される。

## 6. 氏名（所属）

寺島悠登（慶應義塾大学：村松研究室）

石合智貴（慶應義塾大学：泰岡研究室）

本田理央（慶應義塾大学：村松研究室）

青木汐里（慶應義塾大学：村松研究室）