

# アニメーリングマシンを用いた配送計画最適化技術の開発

## —1 営業所全体の配送計画をアニメーリングで—

### 1. 背景

近年、ネットショップの普及により、宅配便の需要が高まり、運送業の人手不足が社会的問題になっている。また、宅配物の大きさの多様化により、配送トラックの積載率が年々減少している。さらに、時間指定や再配達などの要望に対応しながら、移動時間が最短となるようなルートを算出することは、複雑な問題となっている。

### 2. 目的

本プロジェクトでは、昨年度のプロジェクトを発展させ、アニメーリングマシンを用いて、1 営業所全体での配送計画最適化技術を開発する。本プロジェクトでは、配送計画最適化の中でも、宅配便の配送計画最適化を対象とする。配送計画最適化により、トラックの無駄な動きが最小化され、排気ガスの減少やガソリンの使用量削減につながり環境汚染の改善が期待される。また、効率的な巡回が可能となり、運送業の人手不足の問題を解決できる。将来的に、この技術が送迎バスの運行計画などにも応用されることで、より多くの分野でのルート探索の効率化につながると考えられる。

### 3. ソフトウェア開発内容

#### 3.1. 開発の概要

宅配便の配送計画において、使用できる車両の種類と台数、時間指定や再配達などの様々な状況を考慮した上で、適切な荷物の割り当てや巡回ルートを求めることが必要である。そこで、本プロジェクトではアニメーリングマシンを用いて、配送計画の最適化を行うアルゴリズムの考案およびアプリケーションの開発を行なった。効率的なアルゴリズムを開発するために、新しいクラスタリング手法を開発し、ルート最適化も工夫した。

#### 3.2. 問題設定

本プロジェクトでは、複数の車両で配達先を巡回する際の、配送計画の最適化を「1. 車両への荷物の割り当ての最適化」「2. 地域に合ったアルゴリズムを用いてルートを最適化」の 2 段階に分けて行う。

「1. 車両への荷物の割り当ての最適化」では、荷物の中には 2~3 時間ごとに区切られた「時間枠」に配達時間指定がされているものがあるとする。荷物は 6 時、12 時、17 時の 3 回に分けて営業所に届き、車両は 8~14 時、14~18 時、18~21 時の 3 回に分けて各地域の営業所を出発地し、最終的に営業所に戻ることにする。この 3 つの時間帯を以降「配達時間帯」と呼ぶ。この問題設定は、企業ヒアリングから設定したものであり、現実に近い問題として設定した。

「2. 地域に合ったアルゴリズムを用いてルートを最適化」では、地域によっては昨年度のプロジェクトで開発した台車を使ったルート算出を使用する。

### 3.3. アルゴリズムの詳細

「1. 荷物の車両への割り当ての最適化」は以下の2段階に分けて行う。

- 1.1. 午前中に届いた時間指定なしの荷物を3つの配達時間帯に割り当てる
- 1.2. 荷物を各車両に分けるクラスタリング

「1.1. 午前中に届いた時間指定なしの荷物を3つの配達時間帯に割り当てる」では、午前中に営業所に到着する荷物が多いため、営業所に午前中に届いた時間指定なしの荷物の半数を他の配達時間帯(14~18時、18~21時)で配達する荷物として割り当てる。ここではアニーリングマシンは使わない。まず各時間指定なしの荷物に対し、配達時間帯ごとに時間指定ありの荷物との、配達先間の最短距離を求める。次に、配達時間帯ごとに、求めた距離が短い順に、時間指定なしの荷物を割り当てる。

「1.2. 荷物を各車両に分けるクラスタリング」では荷物をバランスよく車両に分けるために各車両の担当地域を動的に変更する。あらかじめ決められた担当地域の境界領域に存在する配達先を変数化し、配達先の位置関係と各車両の配達個数を考慮して、境界領域の配達先を各車両にグループ分けする。この分配はアニーリングマシンを用いて実行する。

「2. 地域にあったアルゴリズムを用いてルート最適化」では、汎用性を高めるために、車両のみを用いたルート最適化アルゴリズムの開発を行った。配達先数とマシンのビット数の問題から、以下のような5段階に分けた。

- 2.1. 配達先をクラスタリング
- 2.2. グループ間の巡回セールスマン問題(以下 TSP)を解く
- 2.3. 各グループにグループ内の始点と終点の候補を割り当てる
- 2.4. 始点と終点を変えて、グループ内の TSP を解く
- 2.5. どの始点と終点を採用するのかを決める

「2.1. 配達先をクラスタリング」は、「2.4. 始点と終点を変えて、グループ内の TSP を解く」際のグループ分けのために行うもので、配達先間の距離でクラスタリングをする。その際に、アニーリングマシンでよく使われるクラスタリング手法と、本プロジェクトで新たに考案したクラスタリング手法を適用し、結果を比較した。以下、従来手法のクラスタリングを手法1、本プロジェクトで考案したクラスタリングを手法2とする。手法1は、各グループの頂点数がほぼ同じになりやすいため、一様分布に適している。一方でばらつきのある分布には適さないため、それに適応するために新たに手法2を考案した。

「2.2. グループ間の TSP を解く」では、「2.1. 配達先をクラスタリング」でグループ分けされたグループを回る順番を決める。各グループの重心を求めてから、アニーリングマシンを用いて、その重心を回る TSP を解く。

「2.3. 各グループにグループ内の始点と終点の候補を割り当てる」では「2.2. グループ間の TSP を解く」の結果をもとに割り当てる。始点については、前グループの重心から近い順に 2 箇所ずつ、終点については、次グループの重心から近い順に 2 箇所ずつ割り当てる。

「2.4. 始点と終点を変えて、グループ内の TSP を解く」では、グループ内の回り方を決める。使用する始点と終点を候補の中から 1 箇所ずつ決めて、アニーリングマシンを用いて、始点と終点が決められたグループ内の TSP を解き、そのルートと移動時間を算出する。これを全ての組合せで実行する。始点と終点をそれぞれ 2 箇所ずつ割り当てているため、合計 4 回これを行う。

「2.5 どの始点と終点を採用するのかを決める」では、「2.4 始点と終点を変えて、グループ内の TSP を解く」の結果と、グループ間の始点と終点の移動時間から、アニーリングマシンを用いて、最終的に使用する始点と終点を決める。グループ間の移動時間と、グループ内の移動時間の合計が最小になるようにする。

以上のアルゴリズムでは、細かい時間指定は考慮に入っていない。各配達時間帯の中の細かい時間指定に対応するために、「2.1. 配達先をクラスタリング」と「2.2. グループ間の TSP を解く」に時間指定を考慮する項を追加する。「2.1. 配達先をクラスタリング」では、配達先間の移動コストだけでなく、同じ時間帯の時間指定かどうかを元にクラスタリングする。「2.2. グループ間の TSP を解く」では、ルート最適化する配達時間帯の中で最も早い時間帯を含むグループを始めに、一番遅い時間帯を含むグループを最後に回るように、重み付けをする。

次に、配達中に再配達連絡が入った際の対応について検討した。再配達荷物がトラックにある場合、その荷物を加えたルート最適化をその場で実行する必要がある。この状況を扱うために、以下の 4 段階を実行する。

- 2'.1. 再配達先を現在いるグループ以降に割り当て
- 2'.2. 割り当てられたグループの始点と終点を更新
- 2'.3. 割り当てられたグループ内の TSP のみ解く
- 2'.4. 割り当てる前と比較し、その時間帯に配達可能かを判断

### 3.3. アプリケーションについて

昨年度開発したアプリケーションを改良し、考案したアルゴリズムを組み込み、配送計画の最適化を行うアプリケーションを開発した。開発アプリケーションの画面を図1に示す。このアプリケーションでは2点間の移動時間はGoogle Maps APIを使って算出する。アプリケーションには、車両への荷物の割り当て機能、配送ルート検索機能がある。



図1：アプリケーションの画面

### 4. 新規性・優位性

開発したアプリケーションを利用することで、各ドライバーは最適な宅配ルートを得ることができるため、配達時間の短縮につながる。どの程度配達時間が短縮できるかをデモンストレーションするために、50個の配達先を人工的に生成し、「2.1. 配達先をクラスタリング」で8つのグループにクラスタリングし、富士通デジタルアニーラを用いてルート最適化を行った。結果を図2に示す。本プロジェクトで新たなクラスタリング手法を考案することで、従来のクラスタリング手法を用いた時よりも、最適化されたルートの総移動コストの短縮に成功した。

	手法1	手法2(本PJで考案)
移動距離	4.94	4.87
ルート		

図2 ルート最適化の実行結果

### 5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

車両への荷物の割り当てから、車両ごとのルート最適化まで一括してできるアプリケーションの開発は、配送業者にとって業務削減につながり、また忙しさも分散させることが可能であるため、有用である。プロジェクトの成果を利用するユーザーは、運送業者を想定している。営業所で一括して荷物を車両に割り当て、その

後にドライバーが担当する車両のルートを各自で確認する。使用できる車両数は決められているため、営業所全体で最適化することで、忙しさを分散でき、効率の良い配送に繋がる。ユーザーの利用が拡大することで、営業所の業務が削減し、機械的に配送が可能になるため、初心者のドライバーでも効率的な配送が可能になる。また使用できる車両の最大数を考慮できることから、適切な人員配置が可能になり、人員不足の問題の解決につながる。

#### 6. 氏名（所属）

大石 美賀（お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科）

松本 奈紗（お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科）