

# 配達地域によって異なる効率的なチーム集配方式について

田口 雄也・大佛 俊泰

## Efficient Team Delivery System According to Delivery Area

Yuya TAGUCHI and Toshihiro OSARAGI

**Abstract:**In the previous paper, we have constructed a delivery simulation model based on the field survey, and examined an efficient Team Delivery System in which multiple delivery staff cooperate to perform deliver operations. In this paper, the team delivery simulation is improved based on the additional field survey, and the compare the actual delivery route and optimal one which is calculated in the simulation. Next, we analyze delivery time and the delivery strategies which are currently performed by a delivery company. Furthermore, we examine the optimal delivery strategy in multiple regions.

**Keywords:** チーム集配方式 (team delivery), 配達シミュレーション (delivery simulation), 配達業務調査 (delivery survey), 不在率 (absence ratio), 複数巡回セールスマン問題 (multiple Traveling Salesman Problem), ファジィ c-means 法 (fuzzy c-means clustering), 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm)

### 1. はじめに

配達サービスの利用増加に伴い、効率的な配達を行うための方法が求められている。筆者らは近年導入されたチーム集配方式に基づく、効率的な配達経路の導出方法を提案し、また、低層住宅地域における実際の配達業務と最適化した配達を、シミュレーションを用いて比較し、配達業務の効率化を図る方法を示した (田口・大佛, 2018)。本稿では、中高層住宅・商業地域における追加調査を行い、配達経路の効率性評価指標  $T$  と配達経路の導出方法を改良する (図 -1)。また、企業が実践している配達戦略を効率性評価指標  $T$  の視点から分析する。さらに、シミュレーションを用いて、配達地域により異なる効率的なチーム集配方式を検証する。

### 2. 配達経路の導出方法の改良

#### 2.1 チーム集配方式の追加調査

東京都目黒区下目黒 1 丁目周辺の中高層住宅・商業地域を対象として、ヤマト運輸株式会社の配達員によるチーム集配に同行し、実際の配達業務の調査を行った (図 -4(a))。

#### 2.2 配達量と配達員数を考慮した配達シミュレーション

中高層住宅・商業地域では、各配達先 (建物) の配達量 (荷物数) には大きなばらつきがある。そこで、配達量の多い配達先については、複数人で担当することで、一人当たりの配達業務をほぼ等しくした。具体的には、仮想的に配達先を分割して配置し、遠近率 (宮田・浜松, 1998) により配達先を担当分けするアルゴリズムを構築した (図 -5(a))。

通常、配達員が 2 人の場合には、セールスドライバー (SD) 1 人とフィールドキャスト (FC) 1 人で配達を行う (図 -1)。一方、追加調査で、配達員は 3 人 (ドライバー (D) 1 人と FC2 人)

田口雄也 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1

東京工業大学 環境・社会理工学院

建築学系 大佛研究室

Email: taguchi.y.ac@m.titech.ac.jp

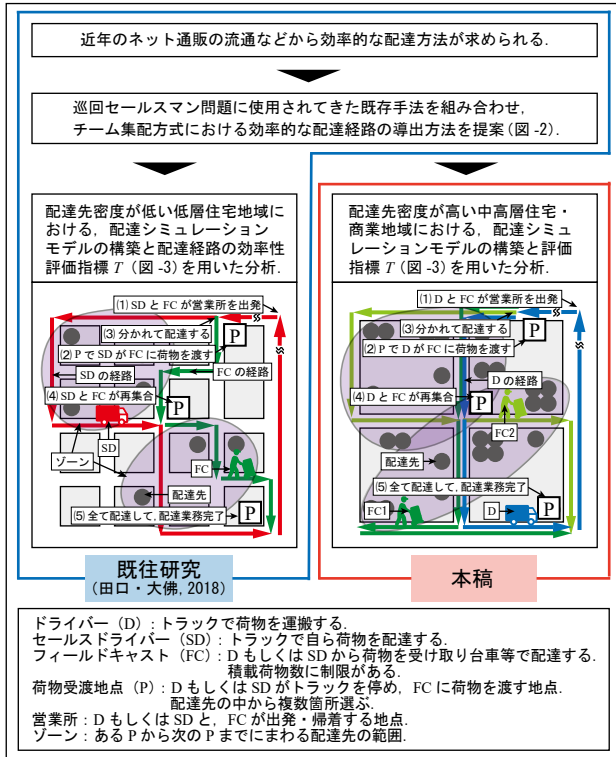


図-1 本研究の背景と位置付け

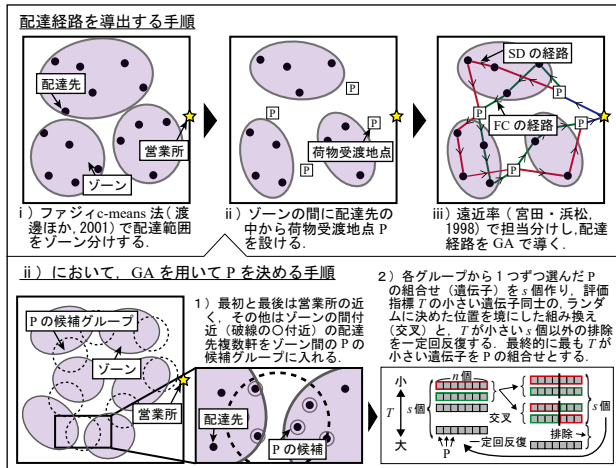


図-2 配達経路の基本的な導出手順

各ゾーンでの配達時間(DとSD、FCの各ゾーンでの配達時間で、最大の時間)と各Pでの受渡時間を合計した配達業務完了時間  $T$ 、および、各変数の制約を以下のように定式化する。

Minimize :  $T = \sum_r t_{Zr} + (n \times t_p)$

Subject to :  $t_{Zr} = \max_u (t_{Dr}, t_{SDr} + m_{SDr} \times t_c, t_{FCru} + m_{FCru} \times t_c)$

$\sum_r m_{SDr} + \sum_u m_{FCru} + n = m$

$m_{SDr} \geq 1, q \geq m_{FCru} \geq 1$  for all  $r, u$

$m / (k + 1) \geq n \geq 1$

(a) 配達経路の効率性評価指標  $T$  の設定

$m$  : 全配達荷物数  
 $n$  : 荷物受渡地点Pの数  
 $k$  : FCの人数 (DとSDはどちらか1人)  
 $d$  : ゾーン内の配達先間距離の制限  
 $q$  : FCの最大積載可能荷物数  
 $r$  : ゾーンの違い番号  
 $t_p$  : 1箇所でのPで荷物を受け渡す時間  
 $t_c$  : 配達先1軒の対応時間  
 $t_d$  : 1箇所におけるSDの荷物の整理時間

$t_{Zr}$  : ゾーン  $r$  内の配達時間  
 $t_{Dr}$  : ゾーン  $r$  内のDの移動時間  
 $t_{SDr}$  : ゾーン  $r$  内のSDの移動時間  
 $t_{FCru}$  :  $u$  人目のFCのゾーン  $r$  内の移動時間  
 $m_{SDr}$  : ゾーン  $r$  内のSDの担当配達荷物数  
 $m_{FCru}$  :  $u$  人目のFCのゾーン  $r$  内の担当配達荷物数

(b) 変数の一覧

図-3 配達問題の定式化

調査日時 : 2018年10月18日(木) 08:34 ~ 11:47 (計3時間13分)  
 対象地域 : 東京都目黒区下目黒1丁目周辺 ・ 大きさ 約300m × 約450m

調査方法 : D1人とFC2人に各々調査員1人が同行し、集配活動を記録した。

記録ツール

GPS ロガー	5秒おきに位置と時刻を記録した。各配達員と調査員がそれぞれ携帯するとともに、Dが使用するトラックに設置した。
ボイスレコーダー	調査員が配達業務の状況を音声で記録した。
カウント調査アプリ	配達員の配達業務、配達荷物・配達先の情報と時刻を記録した。

(a) 調査概要

FC1の配達荷物と各作業時間

	配達荷物	配達先	戸建住宅	集合住宅	オフィス	商店	荷物受渡
数	128個	31箇所	4軒	18棟	7棟	2軒	7箇所
平均時間 [分:秒]	-	04:02	07:01:07	04:36	05:14	00:43	03:19

FC2の配達荷物と各作業時間

	配達荷物	配達先	戸建住宅	集合住宅	オフィス	商店	荷物受渡
数	109個	25箇所	4軒	14棟	3棟	4軒	11箇所
平均時間 [分:秒]	-	05:32	07:01:23	07:29	08:08	00:56	02:05

各配達員の移動

	D	FC1	FC2	FCの平均
総移動距離 [m]	820	2,764	1,255	2,010
移動時間 [時:分:秒]	00:06:40	00:31:20	00:20:45	00:26:03
平均移動速度 [m/分]	123	88	60	74

(b) 調査の集計結果

図-4 対象地域におけるチーム集配方式の調査と集計結果

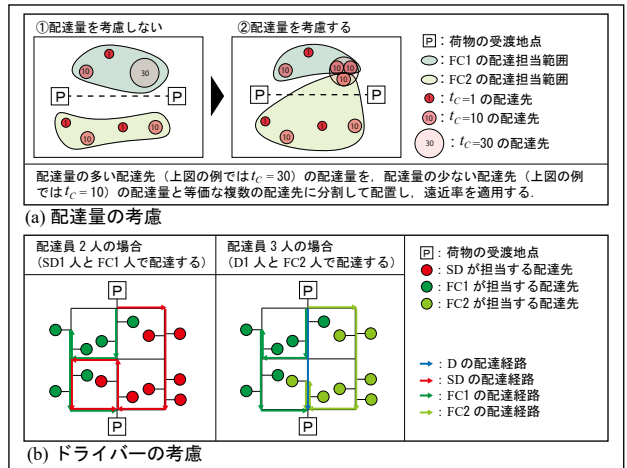


図-5 配達経路導出方法の改良

であったことから、この組み合わせもシミュレーションに実装した(図-5(b))。

## 2.3 配達シミュレーションの条件設定

調査の集計結果(図-4(b))を参考に、配達荷物数  $m$ 、荷物受渡地点Pの数  $n$ 、各業務の作業時間等、配達シミュレーションに用いる条件を設定した(図-6)。

## 3. 配達シミュレーションを用いた分析

### 3.1 配達シミュレーションの概要

2.3節で設定した条件の下、調査地域(図

-4(a) を対象に、実際の配達を再現する配達シミュレーションを実行した (図 -7(a)). さらに、2.2 節で提案した配達シミュレーションをあわせて実行した (図 -7(b)).

### 3.2 実際の経路と最適な経路

最適化された配達においては、D の移動距離のみが延びるものの、評価指標  $T$  (配達完了時間) は優れていることが分かる (図 -7(c)). すなわち、中高層住宅・商業地域においても、配達先および配達荷物量の情報が入手できれば、荷物の受渡地点と移動経路を最適化することで、より効率的な配達業務を実現することができる。

### 3.3 各オプション機能と配達完了時間 $T$ の関係

配達担当者へのヒアリング調査により、配達の評価基準が、配達完了時間に限らないことが判明した<sup>1)</sup>. そこで、実際に配達担当者が実行している配達戦略を参考にして構築した各オプション機能 (図 -8, 表 -1) と、評価指標  $T$  (配達完了時間) の関係について分析した。

まず、配達先が在宅か不在かを随時把握<sup>1-a)</sup> できるかで変化する、再配達の荷物数を算出する。移動距離に加えて、不在時に発生する再配達に要するコストを組み込んだアルゴリズムを作成した (図 -8(a)). 各配達先に一定の不在時間を割り振り、シミュレーションを実行し、不在時に訪問した回数を算出すると、配達完了時間  $T$  を大きく増加させることなく、再配達の削減が可能であることが分かる (図 -8(b)).

次に、トラックの右折を極力回避する<sup>1-b)</sup> 配達シミュレーションを実行した。D の移動時間は FC の移動に与える影響が少ないため、配達完了時間  $T$  を上昇させることなく、安全性を高められることがわかる (図 -7(c), 表 -1 上段). 最後に、勾配が急な坂道に荷物受渡地点 P を設けない戦略<sup>1-c)</sup> について検討した。坂道に P を設けなければ、配達完了時間  $T$  の増加を 1 分ほどに抑えながら、トラック内での荷捌き効率を上げることが可能である (図 -7(c), 表 -1 下段).

変数	$t_c$ (戸建住宅) [分]	$t_c$ (商店) [分]	$v_D$ [m/分]	$v_{SD}$ [m/分]	$v_{FC}$ [m/分]	
値	⑦ 1	⑧ 1	④ 120	120	⑤ 75	
変数	$t_c$ (小集住・オフィス) [分]	$t_c$ (中集住・オフィス) [分]	$t_c$ (大集住・オフィス) [分]			
値	④ 1	④ 10	④ 30			
変数	$m$ [個]	$n$ [箇所]	$k$ [人]	$d$ [m]	$q$ [個]	$t_p$ [分]
値	10 ~ 200	2 ~ 30	1	300	10	④ 3

※1 ⑦~⑧は図 -4(b)に対応する。  
 ※2  $v_D$ : Dの移動速度  $v_{SD}$ : SDの移動速度  $v_{FC}$ : FCの移動速度

図 -6 配達シミュレーションの条件

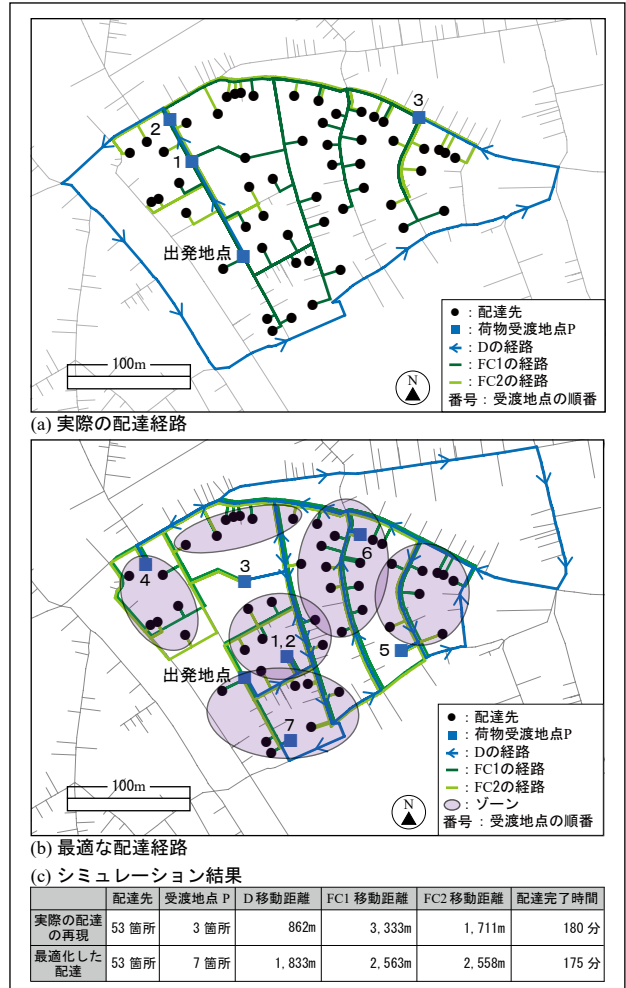


図 -7 実際の配達経路と最適な配達経路

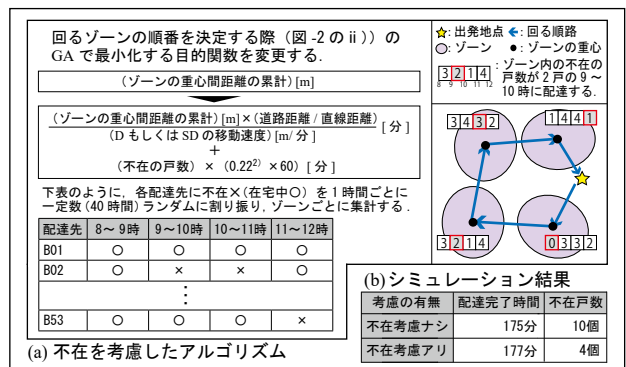


図 -8 不在の考慮

表 -1 オプション機能別の配達完了時間

オプション機能	配達先	受渡地点 P	D 移動距離	FC1 移動距離	FC2 移動距離	配達完了時間
右折の回避	53 箇所	7 箇所	2, 020m	2, 804m	2, 677m	175 分
坂道停車の禁止	53 箇所	7 箇所	2, 195m	2, 740m	2, 902m	181 分

## 4. 配達地域により異なる効率的なチーム集配

### 4.1 配達員の組合せ5パターンにおける評価

調査より、配達地域によって、採用する配達員の構成が異なることが判明した。そこで、調査した2つの組合せ（SD1人・FC1人，D1人・FC2人）に、新しく3つの組合せ（SD1人・FC2人，D1人・FC1人，D1人・FC3人）を加えた、計5つの組合せの配達完了時間  $T$  と、宮武ら（2016）の研究を参考に定義した社会的費用  $C$ （図-9(a)）を、シミュレーションにより算出した。

### 4.2 配達完了時間 $T$ の評価

$T$  を比較すると、奥沢地域では、荷物の受渡地点  $P$  の数  $n$  に関わらず、DとFCの組合せよりSDとFCの組合せの方が短くなった（図-9(b)）。一方、目黒地域では、DとFCの組合せの方が短くなった（図-10(a)）。これは、狭い範囲に配達先が密集している地域では、小回りがきく台車で配達を行い、トラックは待機した方が効率的なためと考えられる。

### 4.3 社会的費用 $C$ の評価

$C$  を比較すると、時給の合計（図-9(d)，図-10(c)）の影響が大きく、奥沢，目黒地域ともに、 $T$  が最も小さい組合せからFCを1人減らしたSD1人・FC1人，D1人・FC2人の時に、 $C$  が最も少なくなった（図-9(c)，図-10(b)）。この組合せはどちらも、調査時と同じ配達員の構成であることから、実際の配達でも、人件費を考慮した配達を実践していることが確認できる。

## 5. まとめ

チーム集配方式による配達業務の追加調査をもとに、配達シミュレーションを改良した。また、改良した配達シミュレーションを実行し、実際の経路と最適な経路を比較することで、中高層住宅・商業地域においても配達業務の効率化が図れることを示した。次に、各オプション機能と配達完了時間  $T$  の関係を分析し、現行の

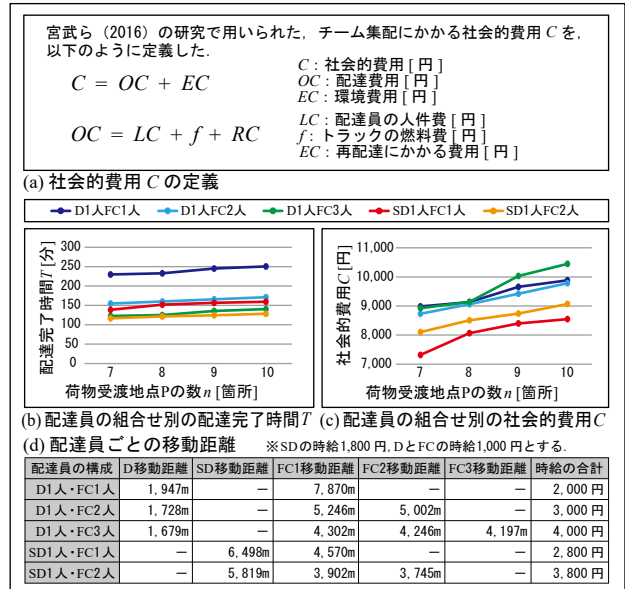


図-9 奥沢駅周辺の効率的な配達方法

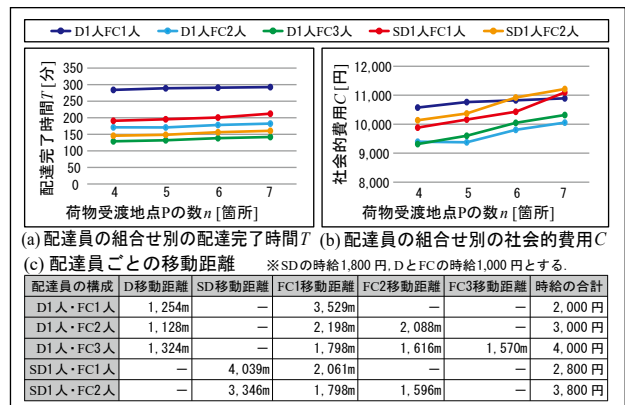


図-10 目黒駅周辺の効率的な配達方法

配達戦略について検証した。さらに、シミュレーションを用いて、配達地域により異なる最適な配達員の構成などを、配達完了時間と社会的費用の両面から検討した。

### 謝辞

調査にご協力頂きましたヤマト運輸株式会社の担当者の方々に深く謝意を表します。

### 参考文献

- 田口雄也・大佛俊泰（2018）：配達業務調査に基づくチーム集配シミュレーションを用いた効率的な配達方法の検討，地理情報システム学会講演論文集，B-6，4。
- 今田翔・中島潤・古川正志（2016）：n-TSPのLCOによる実用的な解法，精密工学会春季大会学術講演会，講演論文集，587-588。
- 渡邊浩和・小野勉・松永昭浩・金川明弘・高橋浩光（2001）：ファジィ c-means 法を用いた複数巡回セールスマンの一解法，日本ファジィ学会，13，1，119-126。
- 宮田栄子・浜松芳夫（1998）：複数経路探索問題の一解法，電気学会論文誌C，10，1540-1541。
- 国土交通省（2015）：宅配の再配達による社会的損失の資産について
- 宮武宏輔・根本敏則・林克彦（2016）：宅配便ネットワークにおける「チーム集配」導入のための配送密度条件，交通学研究，59，205-212。

### 注

- 1) ヤマト運輸株式会社の担当者へのヒアリング調査により、以下の3点の配達戦略が判明し、配達シミュレーションのオプション機能として付与した。
  - a) 再配達の負担を軽減するため、不在の配達先を経験的に推測し、消費者と密に連絡を取ることで、在宅時間を把握するなどの工夫を行っている。
  - b) 安全性の向上のため、事故の危険性が相対的に高い右折を回避し、左回りの経路を選択する。
  - c) 荷捌きの効率を上げるため、勾配が急な坂道では、荷物の受け渡しを行わない。
- 2) 国土交通省（2015）の資料を参考に再配達1個あたりのコストを0.22[時間]とした。