

# パレットの運用効率を考慮した宅配便配送計画に関する研究

○高橋朋康 吉川厚 寺野隆雄 (東京工業大学)

## A Study on Delivery Service with Pallet Operation Efficiency

\* T. Takahashi, A. Yoshikawa and T. Terano (Tokyo Institute of technology)

**Abstract** – In delivery services, transportation between bases, specifically designed for long-distance transportation, often causes the imbalance in the number of pallets. This study proposes an operation model to overcome it. For this purpose, the author develops two kinds of models which control fluctuations in the number of pallets by focusing on the distribution for each base: The one is "just enough model" such that interchange of pallets between a base having the most pallets and that lacking the most takes place. The other is "interchange between neighbors model" such that interchange of pallets between a base lacking of pallets and its closest neighborhood with a surplus. By using these models, two kinds of experiments are implemented: (1) In case that interchange takes place if the number of pallets is below a threshold, both the models successfully make the number of pallets for each base positive. (2) In case that interchange takes place so that the change in pallets should be minimized for each step, "just enough model" is able to make the number of pallets for each base positive while "interchange between neighbors model" does not.

**Key Words:** Logistics network, pallets, dynamic management approach

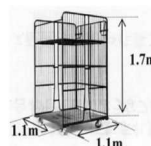
## 1. はじめに

### 1.1. 背景

近年、電子商取引市場の拡大などにより、国内において取引される物流量は年々増加している<sup>1)</sup>。

本研究で対象とする物流企業における、実際の宅配作業の流れを示す(Fig. 1)。

られ移動・情報入力・仕分け・積み込み・積替え・発送といった複数の工程が管理される。



1パレットあたり  
50~60個の荷物を収容可能

Fig. 2: パレットの外観

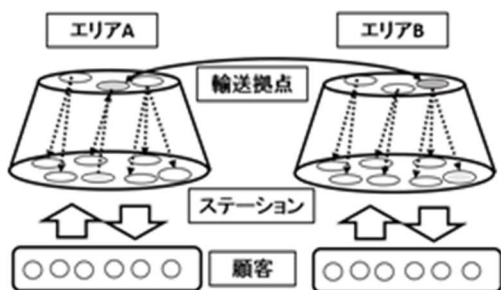


Fig. 1: 宅配輸送の流れ

顧客aの荷物は、最寄りの営業所・ステーションと呼ばれる拠点(全国に約4000箇所)へと届けられる。

そして、都道府県別に展開されている輸送拠点

(全国に約70箇所) AからBを経由した後、顧客bの住

むエリアを管轄する営業所へと送られ、最終的に顧

客bの元へと荷物が届く。拠点間ノードにおける荷物

移動の際は、Fig. 2のようなパレットと呼ばれる入

れ物で管理される。物流拠点間を移動する際に、宛先

の地域性が同一であればパレットに荷物が混載さ

れ、トラックへと積み込まれる。荷物が単体でトラ

ックに積み込まれることは無く、必ずパレットに束ね

### 1.2. 本研究の目的

前述のように、輸送において必要な空パレットの運用能力を定量的に評価する手法が確立される事で、運送を円滑に行うための本来の適切なコストの見積もりが可能となり、今後地域ごとの輸送マネジメントに役立つと考えられる。そこで本研究では、宅配業務における輸送拠点間において、実データをもとに空パレットの保有数のばらつきを抑える運用手法を提案する。

## 2. 設定データ

本研究で対象とする物流システムと得られるデータの設定は以下の通りとする。

- ・ 本研究では、輸送拠点に荷物が到着した時から発送完了までの一連の作業を対象としたシステムを、それぞれの状態を時間毎に区切り、離散変化モデルとして扱う。
- ・ 対象とする輸送拠点は、企業が定めている関東

圏域の物流拠点とする。

- 各輸送拠点の床面積は各々異なるため、保有できる最大保有パレット数も拠点に依存する。
- 対象とする物量は、実データが得られる 1 営業日内の発送物量と到着物量とする。
  - 発送 00:01~翌 00:00 計 24 時間
  - 到着 00:01~翌 00:00 計 24 時間
- 対象となる物量移動は、以下の 2 パターンとする。
  - 他輸送拠点から他輸送拠点へと荷物が中継されるケース。
  - 他輸送拠点と管轄内営業所で荷物を搬出・搬入するケース。
- 到着物量を束ねるために使われていたパレットは拠点内での仕分け作業を経る事により、次の発送から発送物量を束ねるために再利用することができる。これらを保有パレット数とすることができる。これらの差により、輸送拠点内に保有するパレット数が増減する (Fig. 3 参照)。

今回考えるモデルにおいては、発送・到着物量はコントロール出来ないものとして、条件を満たした後に発送オペレーションを行うものとする。

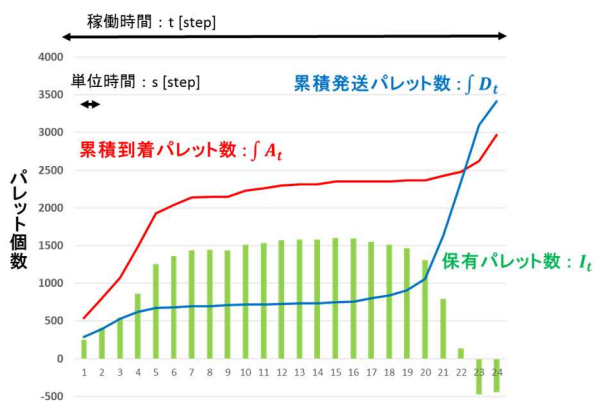


Fig. 3: 累積到着パレット数, 累積発送パレット数, 保有パレット数の時間推移例 (東京拠点 D)

以下, Fig. 3 をもとに, 必要となる値を定義し, それぞれの設定値を Table 1 に示す。

$s[\text{step}]$ :	単位時間
$A_t[\text{個}]$ :	ステップ $t$ における到着物流量。
$D_t[\text{個}]$ :	ステップ $t$ における発送物流量。
$I_t[\text{個}]$ :	ステップ $t$ における拠点が保有するパレット数量。

Table 1: 値の設定

値	設定値
$T$ : 稼働時間	1440 [min]
$S$ : 単位時間	60 [min]
$t$ : 稼働ステップ数	24[step] ( $\frac{T}{s}$ )

### 3. 提案手法

以下では, 実在する物流拠点を対象とし, その物量データを用いるものとする。

提案運用方法の流れは Fig. 4 のようになる。

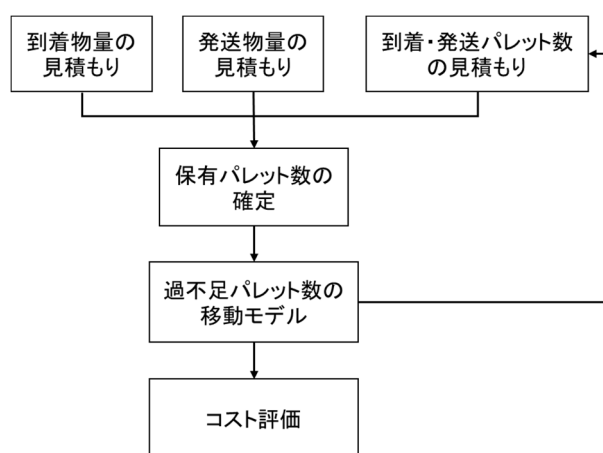


Fig. 4: 提案運用方法の流れ

まず, 各輸送拠点における到着物量と発送物量の見積もりを行う。これを基に, 物量の差から生じるパレット数を輸送拠点内の在庫として加算することができる。各拠点固有の最低パレット保有数を決定した後, 保有パレット数と比較して, 過不足パレット数を算出する。空パレット移動モデルから移動するパレット数を決定し, 発送・到着パレット数を次期ステップへと引き継ぐ。この流れを 1 営業日分のステップ回数 (24 ステップ) 行い, 運用モデルによるパレット変動数の違いを考察する。そして, パレットが拠点間を移動し, 再利用可能な状態になるまでの時間をコストとみなし, モデルの評価を行う。

#### 3.1. 輸送拠点の保有パレット数モデル

輸送拠点内の状態量の各定義を Table 2 に, 設定値を Table 3 に示す。

Table 2: 状態量の定義

状態量	定義
$I_{(B,t)}$	ステップ t における拠点Bが保有するパレット数量.[個]
$A_{(B,t)}$	ステップ t における到着物流量.[個]
$D_{(B,t)}$	ステップ t における発送物流量.[個]
$S_{(B,t)}$	ステップ t において,パレット移動モデルによるパレット変動数.[個]
$a_{(B,t)}$	ステップ t における移動モデルによるパレット到着量.[個]
$d_{(B,t)}$	ステップ t における移動モデルによるパレット発送量.[個]
a	初期保有パレット数の決定率. 拠点がステップ 1 にて保有するパレット数を決める割合.
b	最低保有パレット数の決定率.拠点が維持すべきパレット数水準を決める割合.
$W_B^d$	輸送拠点の運営に当たり,最小限保有するパレット保有数の下限値.[個]
$W_B^u$	輸送拠点の運営に当たり,保有する事ができる最大パレット数目安.[個]
$M_{(B,t)}$	ステップ t における輸送拠点の持つ多拠点へと融通可能なパレット数.
$F_{(B,t)}$	ステップ t において,輸送拠点が放出したパレット数.t-1 期到着物量と t 期発送物量の差から表される.[個]

Table 3: 割合の設定値

定数	設定値
a	0.5
b	0.2

輸送拠点Bが最小限保有するパレット数 $W_B^d$ は,物流拠点ごとに定数として与えられている $W_B^u$ に最小保有パレット数決定率をかけた一律の値とし,(1)式にて表される.

$$W_B^d = W_B^u \times b \quad (1)$$

N ステップ目に保有するパレット数は,物量需給差とパレット移動モデルによる変動から(2)式のように表される.

$$I_{(B,N)} = I_{(B,N-1)} + A_{(B,N-2)} - D_{(B,N-1)} + S_{(B,N-1)} \quad (2)$$

初期保有パレット数は,初期保有パレット決定率 a を用いて,(3)式で表される.

$$I_{(B,1)} = W_B^u \times a \quad (3)$$

なお,空パレットの移動に関しては,到着パレット数と発送パレット数の差から,(4)式のように表され,拠点間の移動パレット数を示す.

$$S_{(B,t)} = a_{(B,t)} - d_{(B,t)} \quad (4)$$

### 3.2. パレットの移動モデル

この章では,空パレットを移動させ,各拠点の発送オペレーションを途絶えさせないようにする事を目的とするモデルについて述べる.各拠点におけるパレットに関する情報は,Fig.4 に記すとおりである.

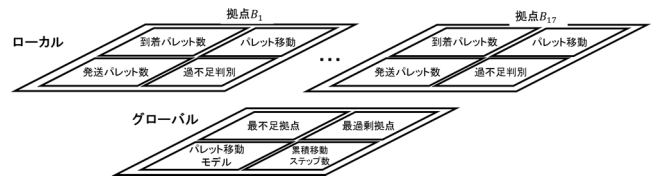


Fig. 5: 一律在庫モデルのアルゴリズム

#### 3.2.1. 一律在庫モデル

(1)式より求めた最小限保有するパレット数 $W_B^d$ を下回った際に,パレットの移動を行うモデルに関して,Fig. 4 を例に一律在庫モデルの各手順について説明していく.

まず,(5)式を用いる事で,N ステップ目にて輸送拠点がパレット不足か判別する.

$$M_{(B,N)} = I_{(B,N)} - W_{(B,N)} \quad (5)$$

(5)式の取る値が負となれば,その拠点はパレット保有数が不足していると判断され,正の場合は余っていると判断される.そして,値が最も小さい輸送拠点が,最不足拠点となり初めにパレットを融通してもらった拠点到決定される.この拠点到パレットを融通する拠点は,3.3 で述べるアルゴリズムに基づいて決定される.この手続きが 1 回完了した後,移動するパレット数に変動し,輸送拠点の保有するパレット数

は更新され,再度 (5)式の計算により負の値もしくは正の値を取る輸送拠点が無くなるまでループを続ける.

### 3.2.2. 直前変動モデル

N-1 期における物流到着量 $A_{N-1}$ と,N 期の発送物流量 $D_N$ の差に注目したパレット移動モデルで,(7)式のように表される.N-1期に到着した到着物量が1ステップ経つ事で,N ステップ目には物量の発送に再利用することが可能なため, $F_N$ は,N ステップにおけるパレット移動量を示す指標となる.この変動値を抑えることで,パレット保有数の変化を減らし安定させることがこのモデルでの目的である.

$$F_{(B,N)} = A_{(B,N-1)} - D_{(B,N)} \quad (7)$$

この式により,N ステップ目にて輸送拠点がパレット不足か判別する.そして, $\min F_{(B,N)}$ となる輸送拠点にパレットが融通される.

### 3.3. パレット融通のアルゴリズム

パレット不足拠点到にパレットを融通する拠点を決定するアルゴリズムに関して述べる.このアルゴリズムが Fig. 5 のパレット融通条件となる.

#### 3.3.1. 過不足モデル

パレットが最も不足している拠点到に最も余っている拠点到からパレットを融通するモデル.一律在庫モデルと直前変動モデルにて,余りパレット数の定義が異なるため,以下場合分けして説明する.

##### 【一律在庫モデル】

$\max M_{(B,N)}$ の値を取る拠点到Bがパレットの不足している拠点到 $\delta_{min}$ に $\min\{|M_{(B_{min},N)}|, M_{(B_{max},N)}\}$ より求まるパレット数を融通する.

##### 【直前変動モデル】

$\max F_{(B,N)}$ の値を取る拠点到が, $\min F_{(B_{min},N)}$ の拠点到 $B_{min}$ に $\min\{|F_{(B_{min},N)}|, F_{(B_{max},N)}\}$ より求まるパレット数,融通する.

#### 3.3.2. 最近隣モデル

パレットが最も不足している拠点到に,その拠点到から最近隣の拠点到からパレットを融通するモデル.輸

送拠点到の間の移動時間を計算するに当たって,実際の物流配送業務で使用されている配車計画ソルバー<sup>2)</sup>を用いた.実際の道路地図データを参照しているのので,拠点到間の移動に掛かる時間を分単位で出力する事ができる.それらの計算結果を,隣接行列 $R$ として,拠点到ごとに保有する.

$$R_B = (r_{ij}) = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & r_{ij} & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nn} \end{pmatrix}$$

空パレットを融通する先の拠点到が確定した際に,異なる拠点到間の移動時間の要素で最も値の小さい成分値をとる拠点到が最近隣拠点到として採択される.

## 4. 提案手法の評価

前章で示された提案手法に対して,実データを用いてシミュレーションすることで,提案手法の評価を行う.今回は,2013年12月2日の輸送拠点到間の到着・発着物量分布を使用する.

### 4.1. 実験1結果と考察

一定水準の閾値を設けて,その値を下回った時に不足分を補う,移動モデルを適応した.

輸送拠点到内で最もパレットが不足する東京拠点到Eのパレット推移数を Fig. 6 に示す.

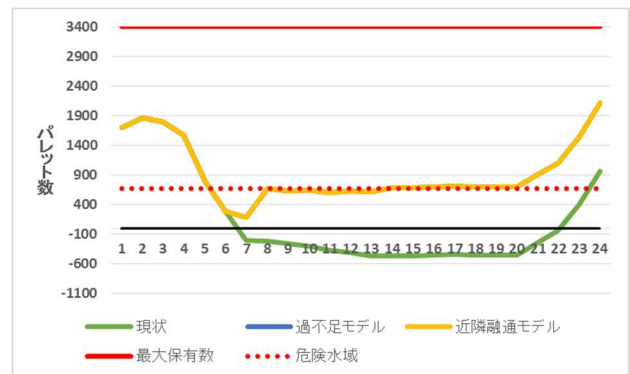


Fig. 6: 東京拠点到Eのパレット保有数推移

融通される絶対数は,過不足モデルと近隣融通モデルでは変わらない.最近隣融通モデルでは,不足パレット分を全て東京拠点到Dから融通されているのに対し,過不足モデルでは神奈川拠点到B・東京拠点到Dから融通されていた.そのため,神奈川拠点到B・東京拠点到D拠点到の保有パレット推移数を Fig. 7 と Fig.

8に示す.この実験結果から東京拠点Eは,パレット数が常に正に保たれている事が分かる.しかしながら,5ステップ目で閾値を下回り8ステップ目で閾値とほぼ同値を取るまでの間に,保有パレット数が0を下回る可能性もある.これは,閾値の設定に依存しており,物流量の変動に耐えられるだけの提案手法とは言い切れない.また,パレットを融通する拠点が固定的な場合,Fig. 7の近隣融通モデルやFig. 8の過不足モデルだと保有パレット数の減少は著しい.そのため,よりパレット保有数の変動数を小さくするためには,パレットを融通する拠点を複数ルート存在するような仕組みの導入が求められる.

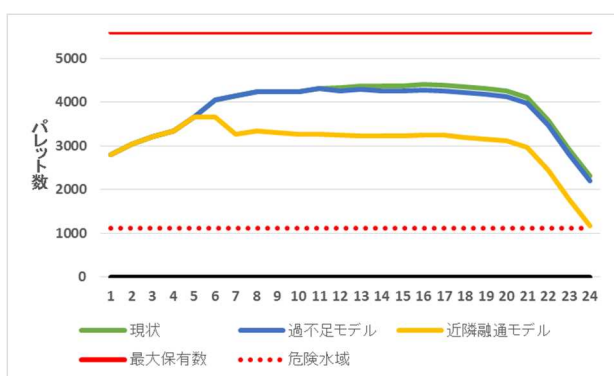


Fig. 7: 東京拠点 D のパレット保有数推移

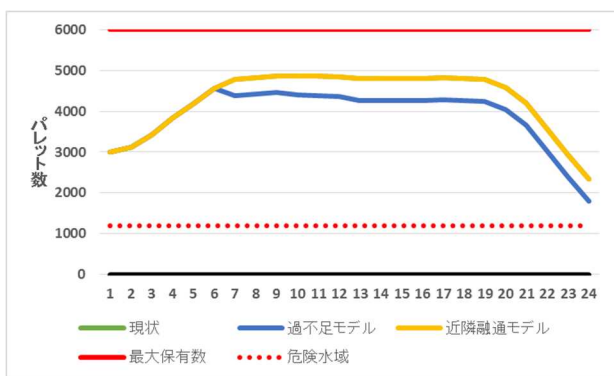


Fig. 8: 神奈川拠点 B のパレット保有数推移

#### 4.2. 実験 2 結果と考察

実験 2 では,直前変動モデルを適応し,各輸送拠点が保有するパレット数の変動を抑え,初期保有数を維持し続ける運用に関して考察する.

輸送拠点内で最もパレットが不足する東京拠点 E のパレット推移数を Fig. 9 に示す.

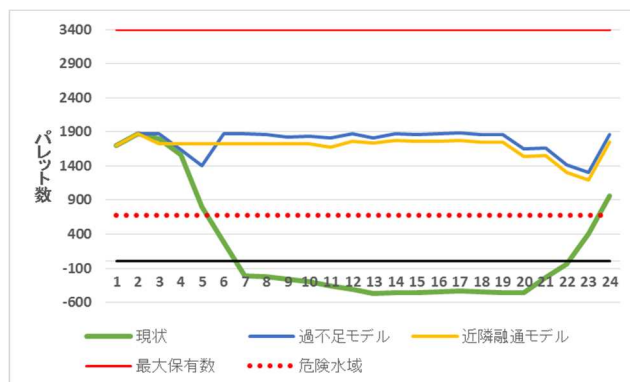


Fig. 9: 東京拠点 E のパレット保有数推移

東京拠点 E では,過不足モデル,近隣融通モデル共に,閾値以上のパレット数を保ちながら推移しており,融通モデルの違いによる大きな差は見受けられない.

次に,近隣融通モデルを適応した事により,パレット保有数が負の値を取った神奈川拠点 C について考察する.神奈川拠点 C のパレット保有数を Fig. 10 にて示す.

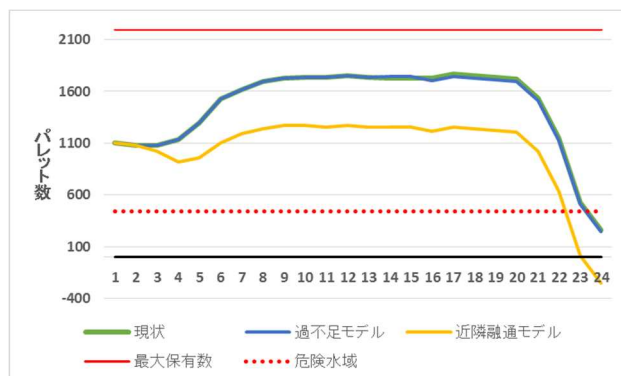


Fig. 10: 神奈川拠点 C のパレット保有数推移

過不足モデルを適用したところ,全ての拠点にてパレット保有数が 1 営業日分 (24 ステップ) で負の値を取ることが無かったのに対し,近隣融通モデルを適応した際にパレット保有数は,23 ステップ目にて 17 個,24 ステップ目にて -248 個となりパレットの不足を起こしている.

#### 4.3. コスト評価

最後に,融通モデルによる輸送拠点間の輸送におけるコストに関して述べる.縦軸に,累積ステップ数 (拠点を出発し目的地へ到着して空パレットが引き



渡されるステップ数) ,横軸にステップ数をとったのが, Fig. 11 である.

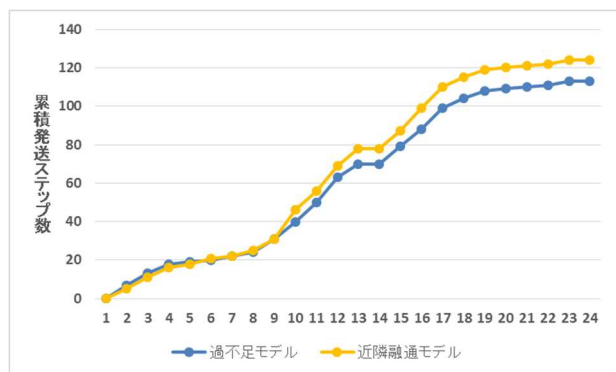


Fig. 11: 累積発送ステップ数

グローバルに管理する運営方法がローカルに管理する手法より優れている事が確認できる.

Fig. 12 では, 輸送拠点間でパレット融通を行う際の各ステップ時における平均融通パレット数の推移である. 15 ステップ目以降は, 過不足モデルと近隣融通モデルの値が同じとなり, 近隣融通モデルのみの表示となっている.

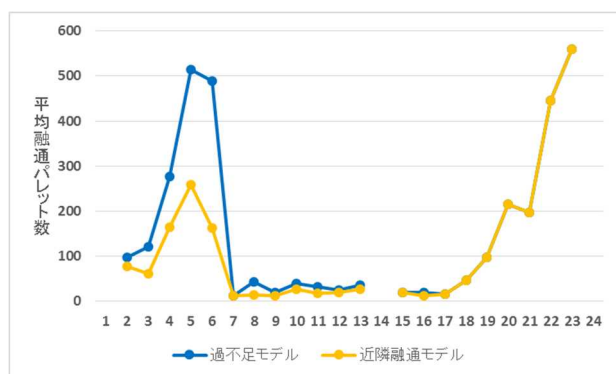


Fig. 12: 平均融通パレット数の推移

午前のおペレーションでは, 近隣融通モデルと過不足モデルを適応した際のコスト (発送ステップ数) は変わらないが, 近隣融通モデルを採択する事で, パレット不足拠点は分散してパレットを集める事ができる. そして, 夕方 (15 ステップ目以降) では, 過不足モデルを用いる事でコストを近隣融通モデルと比べて抑えつつも, 保有パレット数を全拠点にて正に保つ事が可能である事が分かった.

## 5. まとめ

本研究では, 輸送拠点間の荷物量の差から生じるパレット保有数の変化を, 動的に管理する運用手法を提案した. パレットを融通するに当たり, 閾値を設けて下回った際に融通する運用方法と保有パレット変化数を常に抑える運用方法の2つを提案した. パレットを融通する際に, 最も不足している拠点に対し, パレットが最も余っている拠点から融通してもらうアルゴリズムと最近隣拠点から融通してもらうアルゴリズムを用いて実験を行った. 結果, 保有パレット数の変化を抑える方法で過不足モデルを用いて運用する事で全体のコストを抑える事ができた. ただ, 近隣融通モデルにて拠点間の累積移動ステップ数は変わらずに, 1移動あたりの平均融通パレット数を下げる事が可能な時間帯も存在した.

## 6. 今後の課題

本研究でのパレット融通においては, 全てピストン輸送 (2 拠点間のみを往復する輸送形態) を前提とした融通方法に基づいていた. しかしながら, 実務に反映するに当たっては, 三角輸送 (複数拠点間を1台のトラックで回る輸送形態) を取り入れた方式が, 配送コストを抑えることが可能である. したがって, 今回提案した運用方法に基づき, 配車計画まで拡張する事で, より実務に近い形での運用効率の検証が望まれる.

## 参考文献

- 1) 国土交通省: 平成 25 年度 宅配便取扱個数の調査及び集計方法, (2014)
- 2) LYNA2, <http://www.lynalogics.com/>