

# 車種別駐停車行動を考慮した路上荷捌き施設配置計画手法に関する研究\*

## Planning of Loading-Unloading Spaces Considering behavior of Delivery Vehicles and Passenger cars \*

相浦宣徳\*\*・谷口栄一\*\*\*

By Nobunori AIURA\*\*・Eiichi TANIGUCHI\*\*\*

### 1. はじめに

本研究の事前調査として、(1) 集配ドライバーを対象としたアンケート調査および(2) 荷捌きに関する社会実験事例調査を実施した<sup>1)</sup>。その結果、物流事業者および集配ドライバーは、路上荷捌き施設の配置や数、形態だけでなく、路上荷捌き施設の使用可能性(意図した路上荷捌き施設が意図した時間に使用可能か否か)についても非常に感心が高いことが判明した。具体的には、「空き情報の伝達や予約システムの是非」、「一般車両等による路上荷捌き区画の使用規制」がこれに該当する。

本研究では、貨物車両および一般車両の駐停車行動を考慮した路上荷捌き施設配置計画モデルを用い、「荷捌き用区画予約システム」の効果および影響について検討することを目的とする。対象エリアは、現実に路上荷捌きが問題となっている京都市四条通とする。

本研究に類する既往の研究は、location-routing問題を対象とした研究と路上・路外荷捌きを対象とした研究に大別できる。location-routing問題を対象とした研究では、Perl and Daskin<sup>1)</sup>によるMWLRP

(modified warehouse location-routing problem)の提案、これを改良したHansen et al.<sup>3)</sup>による研究、MWLRP、MDLRP(multi-depot location-routing problem)を発展させたWu et al.<sup>3)</sup>の研究などが著名である。これらを含むlocation-routing問題を対象とした研究の多くは、主に施設の設置・運営費用と

輸配送費用とのトレードオフから求解している。これに対し本研究は、荷捌き作業に影響を与える他車両の駐停車行動等を考慮すると共に輸配送費用と他車両の走行、待ち時間費用等から施設配置を求めるものである。

路上・路外荷捌きを対象とした研究は、塚口ら<sup>5)</sup>、堂柿、佐藤<sup>6)</sup>、小谷ら<sup>7)</sup>、小早川、高田<sup>8)</sup>の研究に代表されるように、荷捌き施設配置、荷捌き需要推計、社会実験などの評価に関する研究がその大半を占める。当該分野における研究の多くが荷捌き従事者の利便性の向上に主体を置いているのに対し、本研究は荷捌き従事者の利便性に加え他交通への影響をも考慮している。

### 2. モデル概要

#### (1) モデル構造

図- 1に本モデルで取り扱うフィールドの概念図を示す。フィールドは、顧客店舗(図- 1内)の集合からなるブロック、ブロックの集合からなるセッションにより構成される。各顧客店舗には異なるタイムウィンドウが設定される。また、ブロックの面する車道には荷捌き用区画候補(図- 1内)が配される。

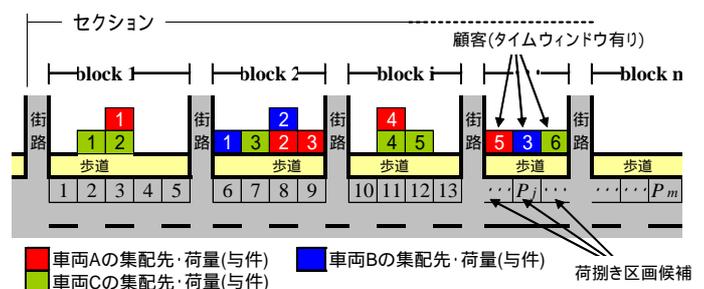


図- 1 フィールドの概念

本モデルは図- 2に示すように2段階の最適化問題の構造を持つ。上位問題は計画主体の行動を記述

\*キーワード：ロジスティクス、都市内物流、荷捌き施設、乗用車駐停車行動

\*\*正員、博士(工学)、京都大学大学院都市社会工学専攻(京都府京都市左京区吉田本町、TEL075-753-4788、FAX075-753-4788)

\*\*\*フェロー、工博、京都大学大学院都市社会工学専攻(京都府京都市左京区吉田本町、TEL075-753-4789、FAX075-753-4788)

するものである。フィールド内における貨物車両の走行費用、駐停車および横もちに要する費用、配送遅れに対するペナルティ費用、他車両の走行、駐停車、入区画待ちに要する費用からなる総費用(式(1))を最小化する荷捌き用区画配置を決定する。

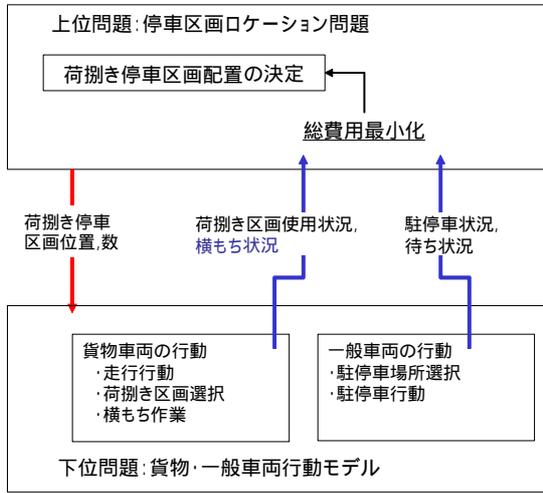


図- 2 モデルの構造

Minimize:

$$\begin{aligned}
 C_{total} = & \sum_{l=1}^m C_{Fr,l}(t_{l,0}, x_l) + \sum_{l=1}^m C_{Fs,l}(t_{l,0}, x_l, Y_l) \\
 & + \sum_{l=1}^m C_{Fp,l}(t_{l,0}, x_l, Y_l) + \sum_{k=1}^n C_{Pr,k}(o_k) \\
 & + \sum_{k=1}^n C_{Ps,k}(p_k) + \sum_{k=1}^n C_{Pw,k}(q_k)
 \end{aligned} \dots(1)$$

- $C_{total}$ : 総費用(円)
- $C_{Fr,l}(t_{l,0}, x_l)$ : トラック $l$ の走行時に要する費用(円)
- $C_{Fs,l}(t_{l,0}, x_l, Y_l)$ : トラック $l$ の停車および横もちに要する費用(円)
- $C_{Fp,l}(t_{l,0}, x_l, Y_l)$ : トラック $l$ の遅刻ペナルティ(円)
- $C_{Pr,k}(z_k)$ : 一般車両 $k$ の走行時に要する費用(円)
- $C_{Ps,k}(z_k)$ : 一般車両 $k$ の停車に要する費用(円)
- $C_{Pw,k}(z_k)$ : 一般車両 $k$ の駐停車までの待ちに対する待ち時間費用(円)
- $m$ : エリア内で配送を行なうトラック台数
- $t_0$ : トラック $l$ の対象エリアへの到着時刻を表すベクトル  
 $t_0 = \{t_{0,l} \mid l = 1, m\}$
- $x_l$ : トラック $l$ の配送経路への区画の割当てと経由順序を示す数列表列  
 $x_l = \{s(i) \mid i = 1, S_l\}$
- $s(i)$ : あるトラックが番目に駐停車する区画の番号
- $S_l$ : トラック $l$ が駐停車する区画の総数
- $Y_l$ : トラック $l$ が駐停車する全区画への顧客店舗の割当て横もち順序を示す数列表列  
 $Y_l = \{y_{l,s(i)} \mid i = 1, S_l\}$
- $y_{l,s(i)}$ : トラック $l$ が駐停車した区画 $(i)$ への顧客店舗の割当て横もち順序を示す数列表列  
 $y_{l,s(i)} = \{h(j) \mid j = 1, H_{l,s(i)}\}$
- $h(j)$ : ある区画から $j$ 番目に横もちされる顧客店舗の番号

- $H_{l,s(i)}$ : トラック $l$ が駐停車した区画 $s(i)$ から横もちされる顧客店舗の総数
- $n$ : 対象エリアに到着する一般車両の台数
- $o_k$ : 一般車両 $k$ の走行時間
- $p_k$ : 一般車両 $k$ の駐停車時間
- $q_k$ : 一般車両 $k$ の駐停車までの待ち時間

図- 3に区画配置の一例を示す。区画3,8,9が荷捌き用区画(図内)、その他(区画1,2,4,...)は他車両用の駐停車区画(図内、以下一般区画と称す)である。貨物車両は荷捌き用区画を優先的に使用し、他車両は一般区画に駐停車する。

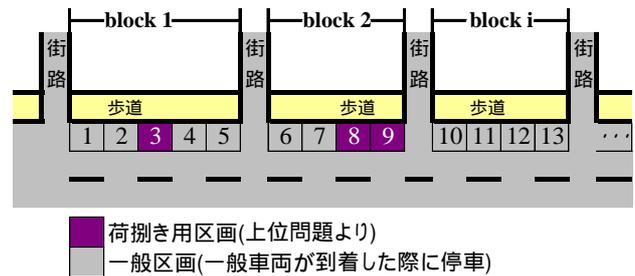


図- 3 荷捌き用区画(例)

下位問題では、上位問題により与えられた荷捌き用区画配置に基づき、貨物車両および他車両の行動を記述する。貨物車両は、上位問題により与えられた荷捌き用区画と顧客店舗に関する情報(訪問順序, 位置, 荷量, タイムウィンドウ)に基づき使用する荷捌き用区画を選択し駐停車する。駐停車した後、顧客店舗に対し横もち・納品を行なう。

(2) 貨物車両の駐停車区画選択行動

貨物車両は、現在地点と次の訪問先である顧客店舗の位置情報から式(2)に従い、対象顧客店舗への配送所要時間(区画までの車両移動と区画・店舗間の横もちに要する時間)が最短となる荷捌き用区画( $p^*$ )を選択する。

選択した区画( $p^*$ )に他の貨物車両や他の車両が駐停車していた場合、貨物車両は”当該区画近辺での待機を伴う顧客店舗 ( $y_{l,p^*}$ ) への横もち・納品”、”他区画への移動を伴う顧客店舗 ( $y_{l,p^*}$ ) への横もち・納品”のいずれかの行動を選択する。選択行動および移動する場合の移動先区画の選択は、顧客店舗 ( $y_{l,p^*}$ ) に対する配送所要時間(式(3))に基づき行なわれる。

$$p^* \text{ Satisfy } T_{P_l, p^*, y_{l, p^*}} = \min_{p=1}^{P_F} \{ T_{l, p, y_{l, p}} \}$$

ここで、

$$T_{P_l, p, y_{l, p}} = T_{r, l}(P_l, p) + T_{s, l}(y_{l, p})$$

…(2)

$T_{P_l, p, y_{l, p}}$ : 配送に車両*l*が区画*p*を使用し横もちをした際に要する時間

$T_{r, l}(P_l, p)$ : 車両*l*が現在位置*P<sub>l</sub>*から区画*p*への移動に要する時間

$T_{s, l}(y_{l, p})$ : 車両*l*が区画*p*から顧客店舗への横もちに要する時間

$P_l$ : 車両*l*の現在位置

$P_F$ : 荷捌き用区画総数

$p$ : 荷捌き用区画番号  $p = \{1, \dots, P_F\}$

$y_{l, p}$ : トラック*l*が荷捌き用区画*p*を使用した際の顧客店舗と横もち順序を示す数列

$$T_{f, p^*}(p) = \min \left[ T_{s, l}(y_{l, p^*}) + g(p^*), \min_{\substack{p=1 \\ (p \neq p^*)}}^{P_F} \{ T_{P_l, p, y_{l, p^*}} \} \right]$$

…(3)

$T_{f, p^*}(p)$ :  $p^*$ が使用されていた際の顧客店舗  $y_{l, p^*}$ への横もちに要する時間

$g(p)$ : 荷捌き用区画*p*を他車両が使用していた際の区画*p*の空き時間推計関数

### (3) 他車両の駐停車行動

荷捌き用区画における他車両の違法駐停車がしばしば発生し、事前調査においても他車両に対する取締りや使用規制が荷捌き区画運用上の鍵と結論付けられた。そこで本モデルでは他車両の駐停車行動を待ち行列理論により表現することにより、貨物車両の駐停車・横もち行動と他車両の駐停車行動との関係を表現する。また、区域ごとの交通特性の差異を表現するために、他車両の到着率およびサービス率をブロック単位で設定する。あるブロックにおける他車両の駐停車台数が、一般区画数を超過した場合には駐停車待ちが発生する。待ち状態となった他車両は、与えられた確率に従い、“当該区画の空き待ち”、“荷捌き用区画での駐停車”、“他ブロックへの移動”を選択する。他車両が荷捌き用区画で駐停車した場合には他車両が離発するまでの間、貨物車両は当該区画を使用できない。

## 3. モデルの適用

2.モデル概要で示した路上荷捌き施設配置計画モデルを用い、対象とするエリアにおける予約システムの効果と影響を分析する。

(1) 設定条件

(a) 対象エリア

四条通 烏丸・河原町間(片側2車線)北側を対象エリアとする。当該エリアは京都の東西にまたがる京のメインストリートであり、日中は、多くの路線バス、一般車両、荷捌き駐車車両が往来し、常時渋滞が発生している。当該エリアを9ブロックに分割する。各ブロックに、当該エリアの現況を基に、駐停車区画候補、配送先店舗を設定する。各ブロックにおける区画候補数は、ブロック長と一般的な駐停車区画のサイズに基づき設定している。

(b) 車種区分

2.モデル概要では、車種を貨物車両と他車両に区分すると述べた。しかし、プローブデータ等により活動内容の把握が可能である貨物車両の台数が、対象エリアにおける総貨物車両台数の20%程度であることから、本稿では、貨物車両をさらに“活動内容が把握可能な貨物車両(以下、貨物車両(1))”および“活動内容が把握不可能な貨物車両(以下、貨物車両(2))”に2区分する。ここで、活動内容とは、エリア内における走行、顧客店舗位置、集配送順序、駐停車位置・時間を意味する。

貨物車両(1)は、プローブデータ等により得られた配送先店舗位置情報、配送順序、荷捌き作業・横もち時間に基づいて数式(2)に従い、荷捌き用区画を選択しアプローチする。ここで、アプローチとは、車両がブロックの駐停車区画に駐停車するためにアクセスする行動を示す。当該区画が他の貨物車両または他車両により使用されていた場合には、数式(3)に従い“当該区画での待機を伴う店舗への横もち・納品”、“他区画への移動を伴う店舗への横もち・納品”のいずれかを選択する。

他車両は、ブロック毎に設定された平均到着間隔、平均駐停車時間に基づく待ち行列理論に従い、各ブロック内の一般区画にアプローチする。アプローチした区画がその他の車両により使用されていた際には、与えられた確率に従い、“当該区画の空き待

ち”、”荷捌き用区画での駐停車”、”他ブロックの区画への移動”を選択する。

貨物車両(2)は、他車両と同様に、ブロック毎に設定された平均到着間隔、平均駐停車時間に従い、各ブロック内の荷捌き用区画にアプローチする。当該区画が使用できない際には、当該区画からの直近店舗を配送先店舗位置と仮定し、前述の貨物車両(1)と同様の行動をとる。

(c) 平均到着間隔および平均駐停車時間

駐停車車両実態調査<sup>9)</sup>により得られた各ブロックにおける平均到着間隔、平均駐停車時間に基づく待ち行列理論に従い、貨物車両(2)、他車両はブロック内の区画にアプローチし、駐停車する。

(2) 予約システムに関する分析

荷捌き用区画への予約システムの導入効果および影響を検証する。ここで、予約システム使用可能車両は、貨物車両(1)のみとする。また、他車両が意図する一般区画に駐停車できない場合は、30%の当該車両が荷捌き用区画を利用すると仮定する。

図-4に予約システム導入前後の費用を示す。予約システム導入後に費用は大幅に増加している。予約システム導入前とは、2で示した路上荷捌き施設配置計画モデルにより求めた、上記仮定における荷捌き施設の配置状況である。貨物車両(1)の遅刻、荷捌き用区画の空き待ちが解消されたことにより、貨物車両(1)に関する費用は微少なながらも減少した。これに対し、貨物車両(1)の予約により、荷捌き用区画の使用を制限される貨物車両(2)に要する費用は増大している。また、他車両においても貨物車両(2)と同様の傾向が見られる。

4. おわりに

本稿では、貨物車両および他車両の駐停車行動を考慮した路上荷捌き施設配置計画モデルの概要を示すとともに、本モデルを用い、現実に路上荷捌きが問題となっている京都市四条通を対象とし、”荷捌き用区画予約システム”の効果および影響を検討した。その結果、予約システム利用者に関する費用削減効果が期待できるが、システム全体としては不利益が発生する可能性があることが確認できた。予

約システム利用率に関する検討が必要である。

今後の課題としては、現状再現性の確認、通過交通への影響の考慮、予約システム利用率に関する検討等があげられる。

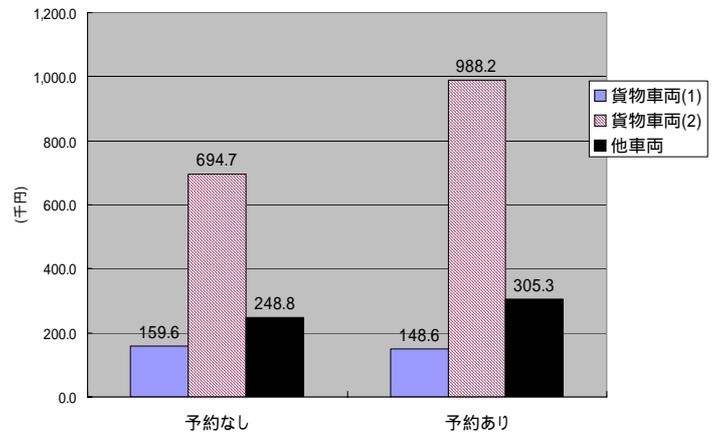


図-4 車種別費用比較

参考文献

- 1) 相浦宣徳, 谷口栄一: 「貨物車両の駐停車行動を考慮した路上荷捌き施設配置計画モデルに関する研究」, 土木学会第30回土木計画学研究発表大会予稿集, CD-ROM, 2004
- 2) Perl J., Daskin M.S.: A warehouse location-routing problem, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.19, pp. 381-396, 1985
- 3) Hansen P.H., Hegedahl B., Hjortkjær S. and Obel B.: A heuristic solution to the warehouse location-routing problem, European Journal of Operational Research, Vol.76, pp.111-127,1994 .
- 4) Wu T., Low C. and Bai J.: Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems, Computers & Operations Research, Vol.29, pp.1393-1415, 2002 .
- 5) 塚口博司,ほか: 集配トラックの横持ち行動特性に関する調査研究, 土木学会論文集, No.758・I V-63, pp.25-44, 2004 .
- 6) 堂柿栄輔, 佐藤馨一: 都心商業地域における荷さばき施設に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.133-140, 1991 .
- 7) 小谷通泰, 田中康仁ほか: 都心商業・業務築における荷捌き行動の特性に関する考察, 第23回交通工学研究発表会論文報告集, p.p.305-308, 2003
- 8) 小早川悟, 高田邦彦: 路上駐車対策「スムーズ東京21」の効果分析, 第23回交通工学研究発表会論文報告集, p.p.297-304, 2003
- 9) 四条繁栄会商店街振興組合: 都市再生モデル調査 風格と華やぎのまちづくりビジョン策定調査報告書, 2004 .
- 10) 谷口栄一, 山田忠史, 細川貴志: 都市内集配トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No.625/IV-44, pp.149-159, 1999 .
- 11) 山田忠史, 谷口栄一, 茂里一紘: 顧客分布と共同化形態に着目した都市内共同配送の効果と成立に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No.20, pp.657-663, 2003 .