

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*

Planning of Loading-Unloading Spaces Considering behavior of Delivery Vehicles *

相浦宣徳**・谷口栄一***

By Nobunori AIURA**・Eiichi TANIGUCHI***

1. はじめに

都市内における路上荷捌きが、環境、交通渋滞、他交通に与える影響は非常に大きい。これに対し、近年、社会実験やPPP (Public Private Partnerships)を通じ、都市内物流の効率性を考慮したまちづくりが検討されているが、ハード・ソフト両面から方策を検討・評価できるツールが不足しているのが現状である。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。その結果、路上荷捌き施設の配置、数、形態等のハードに関する事項だけでなく、・空き情報の伝達や予約等における情報技術の活用、・ルールに関する啓蒙活動(一般車両等による路上荷捌き区画の使用規制、利用制限時間管理)、・利用制限時間や利用料金の設定基準等のソフト的な事項についても関心が高いことが判明した。

また、整備効果は実際に利用する物流事業者の利便性、区域の流通特性、交通特性に大きく依存していることから、荷捌き施設の整備を検討する場合には、これまでの多くの取り組み、研究のように、荷捌き活動従事者の利便性または他交通への影響いづれか一方のみの立場に立脚し検討するのは非常に危険である。

以上から、本研究では都市内における貨物車両の荷捌き作業を対象とし、貨物車両および貨物車両以外の車両(以下、他車両と称す)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構築を目的とする。加えて、構築したモデルを用い、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、“他車両に対する荷捌き用区画の使用規制”、“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。

2. 既往の研究

本研究では、荷捌き用施設配置を求めるとともに、貨物車両による荷捌き用施設の選択行動および施設からの顧客店舗への横持ち活動を考慮している。よって既往の研究として、ロケーション・ルーティング問題に関する研究および荷捌きを対象とした研究を以下に示す。

(1) 施設配置およびルーティングに関する研究

ロケーション・ルーティング問題に関する研究としては、MWLRP(modified warehouse location-routing problem)に関する研究が挙げられる。MWLRPは、それ以前の立地分析が中心であった研究分野において、センター立地問題とルーティング問題の相互依存性に着目したモデルであった。Perl and Daskin¹⁾はWLRP(warehouse location-routing problem)を混合整数計画法により定式化し、さらにWLRPに改良を加えたMWLRPをMDVDP(multi-depot vehicle-dispatch problem)、WLAP(warehouse location-allocation problem)、MDRAP(multi-depot routing allocation problem)のサブ問題に分解し解法を示している。Hansen et al.²⁾はPerl and Daskinが示した解法を改善し、高速に、より現実的な解を得ることに成功している。近年では、MWLRP、MDLRP(multi-depot location-routing problem)を発展させたWu et al.³⁾の研究により、複数車種の使用、車種別の使用車両台数制限の設定が可能となった。

これらを含むlocation-routing問題を対象とした研究の多くは、比較的広域な範囲における物流施設の配置と貨物車両の運行効率の向上を対象としたものであり、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、都市内における路上荷捌き施設を対象とし、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。

(2) 荷捌きに関する研究

路上・路外荷捌きを対象とした研究は、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

*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)

究がその大半を占める。塚口ら⁷⁾は、集配送貨物車両の駐車行動を積みおろし作業と横もちトリップとの連鎖として捉え、その特性を分析するとともに、ローディングゾーンのキャッチメントエリアの設定方法を提案している。堂柿、佐藤⁸⁾は、走行機能と停車機能の両立が求められる都市部街路を対象とし、路上駐停車行動に関する実態調査に基づき、主に荷捌き目的の駐停車を中心に街路の停車機能を分析している。小谷ら⁹⁾は、荷捌き用駐車施設の需要推計手法の確立を目的とし、荷捌き行動の特性分析を行なっている。小早川、高田¹⁰⁾は「スムーズ東京21」で実際に施行された対策実施プランの効果を路上駐車実態調査に基づき分析している。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眼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。

3. 荷捌き施設整備における留意点の抽出および使用データ

荷捌き施設の整備計画における留意点の抽出を目的とし、京都市街部において集配活動を行なうドライバーを対象としたアンケート調査および荷捌きに関する社会実験事例調査を行った(本章(1)、(2)項)。また、荷捌き従事者の活動および他車両の駐停車行動をモデル内で表現するが、両者を表現する際に使用するデータおよび調査概要について(3)項で言及する。

(1) 荷捌きに関するアンケート調査

荷捌きに関するアンケート調査は、荷捌き作業の実態を把握するとともに、路上での荷捌き作業と他交通との関係等を荷捌き作業従事者の視点から把握することを目的とし、京都市街部において集配活動を行なうドライバー68名より回答を得た。主たる調査項目としては、荷捌き作業に関する事項(地点/頻度/時間等)や駐停車および荷捌き作業時の問題、危険遭遇知見、意識等である。

本稿に係る調査結果(サンプル数:68)を以下に概括する。

- 85%以上が日常的に路上荷捌きを行っている。
- 荷捌きに対し約75%が罪悪感を持っている。”罪悪感はない”の理由としては、”業務上やむを得ず”、”業界の慣習”、”他に場所がない”が挙げられた。
- 車線閉塞による交通渋滞、後続車両の通行妨害が発生しやすい一方通行道路、片側一車線道路における荷捌きが50%を超える。
- 横もち距離は片道10m以内が60%を超える。
- 荷捌き施設を設置する際の顧客店舗先からの許容距離は、10m以内:29%、20m以内:17%、30m以内:17%、50m以内:17%、少数ながら”どんなに遠くてもよい”が6%程度存在する。

(2) 社会実験事例調査

近年(2000年以降)に実施された荷捌きに関する項目を含む社会実験として1)渋谷地区端末物流対策&駐車マネジメント社会実験(東京都渋谷区、2000年)、2)自転車走行空間創出のための路上荷捌き路外転換実験(東京都練馬区、2002年)、3)昭和通り違法駐車対策社会実験(東京都台東区、2003年)を調査対象とし、得られた知見を以下に抜粋する。

- 各事例とも運営/管理については、ソフト・ハードの一体化施策が有効に機能した。
- 利用する物流事業者にとつての利便性が重要である。(e.g.配置、サイズ、形態、スロープ、利用時間・料金、空き情報などの伝達および予約)
- 運営管理におけるモニタリング/情報伝達に関して、IT技術の果たす役割は大きい。
- 荷捌き用区画の法的な位置付け及び駐車時間に関する整理が必要である。
- 当該地区の特色を考慮に入れた計画が必要である。

以上より本研究で構築するモデルは次に示す事項をパラメータ変数として設定可能であることが期待される。

- 荷捌き施設の位置、数、
- 荷捌き施設の形態、
- 利用時間、利用料金、
- 情報の活用方法(空情報の提示、予約システム)、
- 啓蒙活動(他車両による使用の規制)、
- 取締り、
- 地区の流通特性、交通特性。

(3) データおよび調査概要

荷捌き従事者の行動および他車両の駐停車行動の表現に、1)プローブデータおよび2)駐停車車両実態調査結果¹⁾を用いる。

1)プローブデータは、京都市街部を走行する宅配貨物車両20台に装着したプローブ装置により回収した(期間:平成16年11月1日-平成17年1月31日)。本データは、

(1)荷捌きに関するアンケート調査とあわせて、貨物車両における顧客店舗位置および配送順序の設定、荷捌き作業時間および横もち距離等の設定に用いる。

2)駐停車車両実態調査は、京都市四条通の交通改善に関する取り組みの一環として、当該通りにおける駐停車状況の現状把握を目的に平成16年1月16日正午より午後6時までの間実施された。図-1に示されるエリア(22ブロック)における駐停車車両を対象に、常時観測により車種別・駐停車目的別、駐停車開始時間および発車時間を集計したものである。一般的に、商業中心地区において荷捌き駐停車時間が顕著化しやすいのは午前中である。しかし本調査は、車両、歩行者ともに交通量がピークとなる午後の時間帯における「魅力的な買物環境の実現」を目途に、当該時間帯の交通環境の改善、具体的には、午後の荷捌き活動の午前への移行を目的としたため、調査対象時間を午後に設定している。

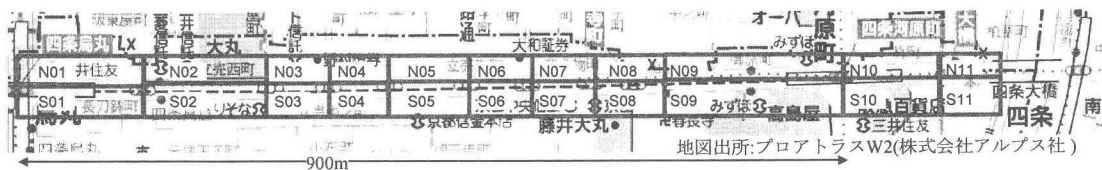


図- 1 駐停車車両実態調査

図- 2、図- 3に、四條通 烏丸・河原町間において平成 16 年 11 月 1 日・翌年 3 月 4 日の間に収集したプローブデータから求めた時間別駐停車頻度および駐停車時間別構成比率を示す。5-10 分間の駐停車が最も多く約 22%を占め、次いで 10-15 分間の約 17%、15-20 分間の約 14%となっている。平均駐停車時間は 18.4 分であった。時間帯別では、早朝(6、7、8 時台)および夜間(19、20 時台)において発生頻度が低く、正午前の 11 時台および夕刻 15-18 時台に発生頻度が高い。曜日別では、日曜において発生頻度が比較的低く、他曜日は同傾向であった。全ての曜日において最頻度は 5-10 分間であった。

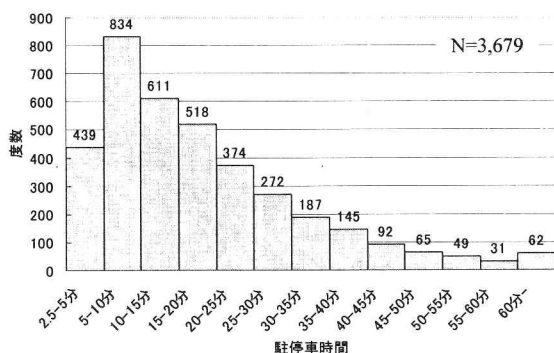


図- 2 駐停車時間別発生回数

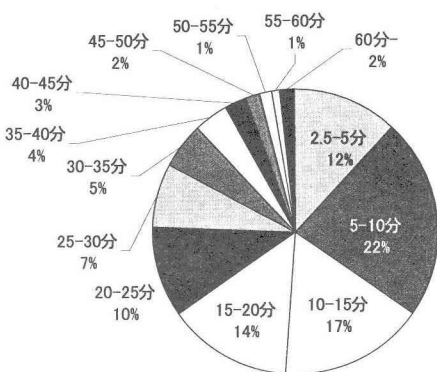


図- 3 駐停車時間別構成比率

4. モデル概要

(1) モデル構造

図- 4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- 4内①)の集合からなるブロック、ブロックの集合からなるセク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- 4内②)が配される。

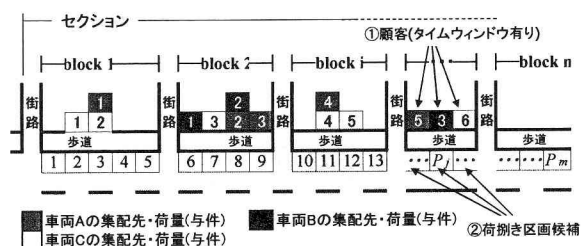


図- 4 フィールドの概念

本モデルは図- 5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。

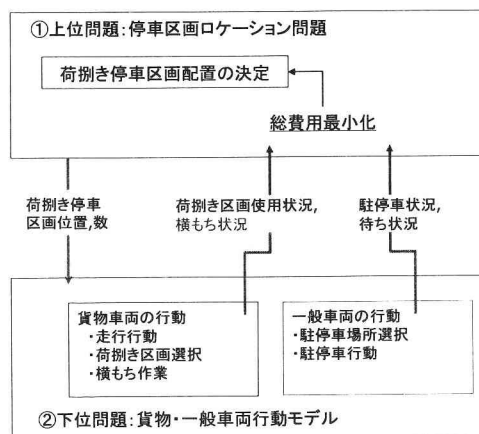


図- 5 モデルの構造

Minimize:

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

C_{total} :総費用(円)

$C_{Fr,l}(t_{l,0}, x_l)$:貨物車両 l の走行時に要する費用(円)

$C_{Fp,l}(t_{l,0}, x_l, Y_l)$:貨物車両 l の遅刻ペナルティ(円)

$C_{Fs,l}(t_{l,0}, x_l, Y_l)$:貨物車両 l の横もちに要する費用および
区画利用料金(円)

$C_{Pr,k}(o_k)$:他車両 k の走行時に要する費用(円)

$C_{Pw,k}(p_k)$:他車両 k の駐停車までの待ちに対する待ち時間費用(円)

$C_{Ps,k}(q_k)$:他車両 k の区画利用料金(円)

m :エリア内で配送を行なう貨物車両台数

t_0 :貨物車両 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 :貨物車両 l の配送経路への区画の割当てと経由順序を示す数列

$$x_l = \{s(i) \mid i=1, S_l\}$$

$s(i)$:ある貨物車両が番目に駐停車する区画の番号

S_l :貨物車両 l が駐停車する区画の総数

Y_l :貨物車両 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 $Y_l = \{y_{l,s(i)} \mid i=1, S_l\}$

$y_{l,s(i)}$:貨物車両 l が駐停車した区画 (i) への顧客店舗の割当てと
横もち順序を示す数列 $y_{l,s(i)} = \{h(j) \mid j=1, H_{l,s(i)}\}$

$h(j)$:ある区画から j 番目に横もちされる顧客店舗の番号

$H_{l,s(i)}$:貨物車両 l が駐停車した区画 (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他車両の台数

o_k :他車両 k の走行時間

p_k :他車両 k の駐停車までの待ち時間

q_k :他車両 k の駐停車時間

式(1)において、第1項および2項は、谷口ら¹²⁾により提案された時間指定付配車配送計画の定式化を用いる。第3項は、各貨物車両の横もちに要する時間に単位時間当たりの費用を乗じた値に区画利用料金を加算したものの総和である。第4、5項は各々他車両の走行時間、待ち時間に単位時間当たりの費用を乗じたものの総和である。式(2)に第3項における貨物車両の区画利用料金および第6項の他車両の区画利用料金算出式を示す。

if $t_{park} \geq t_{free,p}$:

$$C_p = \lceil (t_{park} - t_{free,p}) / t_{unit,p} \rceil \times C_{charge,p}$$

otherwise:

$$C_p = 0$$

... (2)

C_p :区画 p における区画利用料金

t_{park} :駐停車時間

$t_{free,p}$:区画 p における無料駐停車時間

$t_{unit,j}$:区画 p における無料駐停車時間を超過した際の
課金時間単位

$C_{charge,p}$:区画 j における無料駐停車時間を超過した際の
課金時間単位あたり単価

図- 6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①)、その他(区画1、2、4、...)は他車両用の駐停車区画(図内②、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。

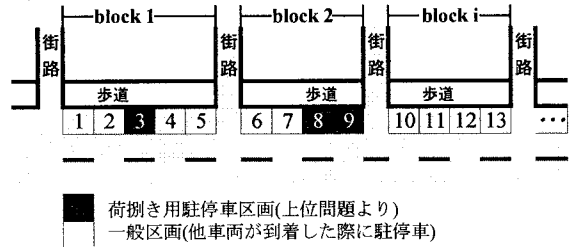


図- 6 荷捌き用区画(例)

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(3)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(4))に基づき行なわれる。ここで、”当該区画近辺での待機を伴う顧客店舗への横もち・納品”が選択された場合、この間貨物車両はうろつき走行をするものとし、貨物車両の走行費用に加算される。

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

ここで、

$$T_{p_l, p, y_{l,p}} = T_{r,l}(P_l, p) + T_{s,l}(y_{l,p}) \quad \dots(3)$$

$T_{P_l, p, y_{l, p}}$: 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_l*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 $p = \{1, \dots, P_F\}$

$y_{l, p}$: 貨物車両*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 $y_{l, s(i)} = \{h(j) | j = 1, H_{l, s(i)}\}$

$H_{l, p}$: 貨物車両*l*が駐停車した区画*p*から横もちされる顧客店舗の総数

$h_{(j)}$: 区画から*j*番目に横持ちされる顧客番号

$$T_{f, p^*}(p) = \min \left[T_{s, l}(y_{l, p^*}) + g(p^*), \min_{\substack{p=1 \\ (p \neq p^*)}}^{P_F} \{ T_{P_l, p, y_{l, p^*}} \} \right] \quad \dots(4)$$

$T_{f, p^*}(p)$: 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

式(3)、(4)において、

$$T_{r, l}(P_l, p) = d_{P_l, p} / v_l \quad \dots(5)$$

$$T_{s, l}(y_{l, p}) = \sum_{j=1}^{H_{l, p}} (n_{h(j)} \times 2 \times d_{p, h(j)} / v_w) \quad \dots(6)$$

$$g(p) = St_p - t_{p, l} \quad \dots(7)$$

$d_{P_l, p}$: 車両*l*の現在位置*P_l*から荷捌き用区画*p*への距離

v_l : 車両*l*の走行速度

$n_{h(j)}$: 貨物車両*l*が顧客*h_(j)*に行う横持ち回数

$d_{p, h(j)}$: 荷捌き用区画*p*から顧客*h_(j)*への距離

v_w : 横持ち速度

St_p : 区画*p*における駐停車時間期待値

$t_{p, l}$: 区画*p*に駐停車している車両の駐停車現時点(*t*)までの駐停車時間

(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(M/M/s)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(図- 7)。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。ここで、“当該区画の空き待ち”が選択された場合、他車両はこの間うろつき走行をするものとし、他車両の走行費用に加算される。

(2)、(3)で示したように、貨物車両・貨物車両間、貨物車両・他車両間、の荷捌き用区画の“取り合い”を表現することにより、ルール設定基準、啓蒙活動の効果、空き情報伝達や予約システムといった情報技術の活用効果に関する検討が可能となる。

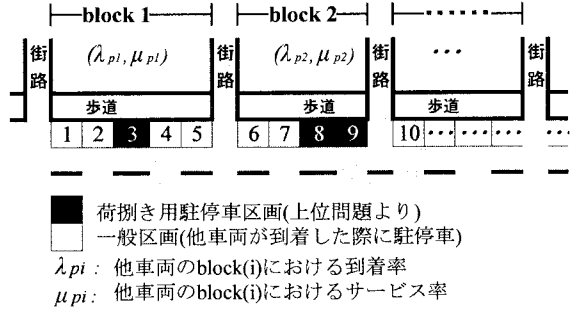


図- 7 他車両の表現

5. モデルの適用

4章で提案したモデルを用い、対象とするエリアにおける路上荷捌き施設配置を提案するとともに、3章において検討が必要であると結論付けた“他車両の荷捌き用区画の使用規制(啓蒙活動)”、“予約システム(情報技術活用方法)”について、それら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、荷捌き駐停車車両が往来し、常時渋滞が発生している。当該エリアを図- 8に示すように 9 ブロックに分割する。図- 8内①は駐停車区画候補を示し、同②は配送先店舗を示す。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

4. 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(2.(3))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

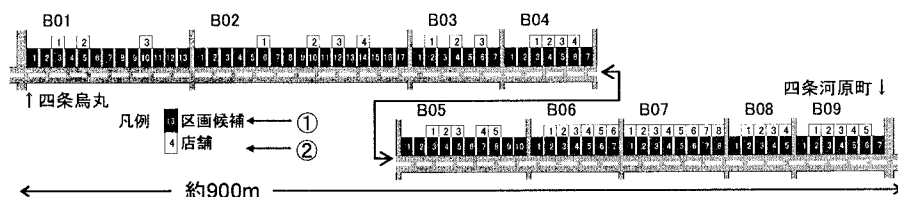


図- 8 ブロック分割

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。

各車種のモデル内での表現方法を表- 1に、各車種のモデル内でのアプローチ回数および比率を表- 2にそれぞれ示す。表- 2はプローブデータおよび駐停車車両実態調査結果から得られた値である。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。

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式(3)に従い、荷捌き用区画を選択しアプローチする。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、式(4)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(M/M/s)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。

表- 1 車両区分別表現方法

車種区分	区画へのアプローチ	アプローチした区画が使用されていた際の選択行動
貨物車両(1)	配送先店舗情報、配送順序等に基づき式(3)に従い、荷捌き用区画を選択しアプローチ	式(4)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”を選択
貨物車両(2)	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(M/M/s)に従い区画にアプローチ	与えられた確率に従い、”当該区画での待ち”、”荷捌き用区画での駐停車”、”他ブロックへの移動”を選択

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。

表- 2 車種区分別アプローチ回数および比率

車種区分	アプローチ回数	比率
貨物車両(1)	100 (10台)	約 5%
貨物車両(2)	約 400 (不明)	約 20%
他車両	約1,500 (不明)	約 75%

注) 表内()は台数を示す

(c) 平均到着間隔および平均駐停車時間

表- 3に、2.(3)2)駐停車車両実態調査により得られた各ブロックにおける平均到着間隔、平均駐停車時間を貨物車両(2)、他車両の別に示す。これら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。

表- 3 平均到着間隔・平均駐停車時間

ブロック No.	貨物車両(2)		他車両(一般車両等)	
	平均到着間隔	平均駐停車時間	平均到着間隔	平均駐停車時間
1	22.3	7.0	0.8	7.1
2	16.5	5.7	1.0	6.3
3	20.0	4.8	6.7	4.9
4	14.2	7.5	4.3	9.0
5	8.2	7.4	7.6	15.1
6	11.0	7.8	8.2	7.4
7	12.9	6.8	5.7	7.5
8	8.5	14.0	3.9	6.4
9	4.2	10.6	1.2	6.0

(d) 前提条件

シミュレーションにおける前提条件を以下に示す。

- 荷姿の違いによる横もち条件の変化:荷姿による横持ち速度等の変化は考慮していない。ただし、荷量および荷姿により、各顧客店舗への配送回数を予め設定している。
- 街路への進入および駐停車行動:全車種とも街路への進入および駐停車はしないものとする。

- ・ 路上駐停車台数と車線走行車両速度との関連性：駐停車区画での駐停車台数に関わらず、車線走行速度は一定とする。これは、四条通においてほぼ常時、一車線が駐停車車両により占められ、走行車線として機能していないことによる。
- ・ バス停、消化栓、駐車場出口等の設定：バス停、消化栓、駐車場出口等は、駐停車区画候補設定時に予め候補から除外する。
- ・ 他車両ドライバーの横持ち移動：他車両が実際に駐停車する区画とアプローチ対象であるブロック間の距離に関する制約条件は設けていない。しかし、アプローチしたブロック以外のブロックに属する区画へ駐停車した場合には、時間的増分が区画利用料金に反映される。

(2) 荷捌き用施設配置

(1) で示した設定条件に従い求めた荷捌き用区画配置を示す。ここでは、貨物車両(1)、(2)のみが荷捌き用区画を使用可能とした際の解について言及する。表-4に各費用、図-9に荷捌き用区画の配置および貨物車両(1)に分類される車両1台の配送活動履歴を示す。表-3から比較的貨物車両の利用率が高いと推定されるブロックに荷捌き用区画が集中していることが図-9よりわかる。例示した車両は、ほぼ配送先店舗の直近の区画を利用している。ブロック7、8においては一停車で2店舗への横もち・納品作業を行っている(図内①)。

表-4 費用算出結果

	費目	金額(千円)	構成比率(%)
貨物車両 (1)	走行:	13.5	1.2%
	横もち:	135.6	12.1%
	入区画待ち:	0.6	0.1%
	遅刻ペナルティ:	0.7	0.1%
	区画利用料金:	0.0	0.0%
	小計	150.3	13.4%
貨物車両 (2)	走行:	63.2	5.6%
	横もち:	590.1	52.6%
	入区画待ち:	4.0	0.4%
	区画利用料金:	8.4	0.7%
	小計	665.8	59.4%
他車両	走行:	225.3	20.1%
	入区画待ち:	80.3	7.2%
	区画利用料金:	0.0	0.0%
	小計	305.7	27.3%
総計		1,121.8	100.0%

なお、本解はGA(Genetic Algorithms)により求解した。GAの各パラメータは、区画候補数を少数に設定した際に総当り探索により求めた厳密解に対し、同条件下でパフォーマンスが最高となる値(淘汰率0.3、突然変異率0.09)を使用した。

また、本モデルの再現性の確認として、荷捌き用区画、一般区画の区別をなくした場合(次節において、ア

プローチした一般区画が使用できない際に、100%の他車両が荷捌き用区画を駐停車する場合に相当)において、貨物車両(1)、(2)および他車両の駐停車行動をシミュレーションした結果の総駐停車時間は、駐停車車両実態調査により得られた約300時間に対し、約9%の増加が確認された。また、貨物車両(1)の配送活動についても概ね現状のものと一致した。

(3) 荷捌き用区画の使用規制に関する分析

以下に示すシナリオ1-5に従い、他車両に対する荷捌き用区画の使用規制の効果および影響を検証する。シナリオの概要としては、シナリオ番号が小さいほど規制の強度が強まり、大きくなるに従い弱まる。

シナリオ	アプローチした一般区画が使用できない際 の他車両の行動
1:	100%の車両が当該一般区画の空き待ちまたは他区画へ移動
2:	90%の車両が当該一般区画の空き待ちまたは他区画へ移動、10%の車両が荷捌き用区画に駐停車
3:	80%の車両が当該一般区画の空き待ちまたは他区画へ移動、20%の車両が荷捌き用区画に駐停車
4:	70%の車両が当該一般区画の空き待ちまたは他区画へ移動、30%の車両が荷捌き用区画に駐停車
5:	60%の車両が当該一般区画の空き待ちまたは他区画へ移動、40%の車両が荷捌き用区画に駐停車

表-5にシナリオ毎の各費用を示し、図-10にシナリオ別総費用、図-11に各シナリオにおける車種区分別費用を図示する。表-5および図-11において、取締り強度が強くなるにつれ、貨物車両に要する費用が減少している。これは、配送先店舗に近い荷捌き用区画の使用機会が増加し、横もち距離および荷捌き用区画に駐停車するための待ち時間が短縮されるためである。これに対し、他車両に関する費用は増加する。これは、一般区画に空きがなくなった場合に荷捌き用区画を利用することが困難となり、一般区画の空き待ち時間が増大するためである。上記両者のトレードオフにより、規制強度が中位のシナリオ3において総費用が最小となっている。また、規制の強度が最も強いシナリオ1における総費用が最も高くなった(図-10)。

以上から、取締り強化により貨物車両に関する費用削減効果が期待できるが、他車両を含むシステム全体としては、規制の強度によっては不利益が発生する可能性があることが確認できた。

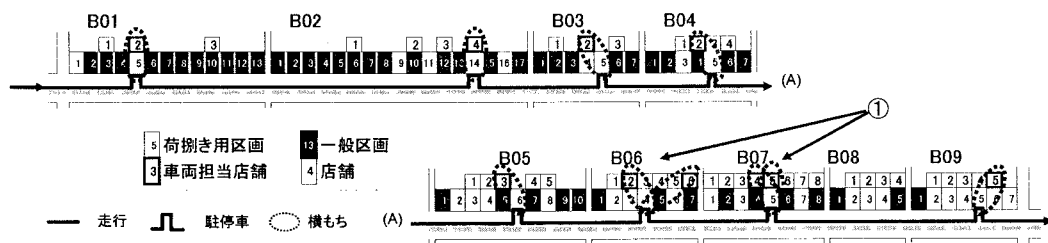


図- 9 荷捌き用区画配置

表- 5 費用算出結果

(単位：千円)						
シナリオ		1	2	3	4	5
貨物車両 (1)	走行:	13.5	13.9	13.7	13.7	14.0
	横もち:	135.6	136.0	136.7	137.1	136.0
	待ち:	0.6	0.1	0.3	0.4	0.1
	遅刻:	0.7	0.7	1.4	8.4	0.0
	区画料金:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	小計	150.3	150.7	152.1	159.6	150.1
貨物車両 (2)	走行:	63.2	62.4	60.2	61.9	61.9
	横もち:	590.1	592.8	599.2	620.2	640.6
	待ち:	4.0	2.4	5.7	3.4	2.6
	区画料金:	8.4	7.4	8.9	9.2	7.7
	小計	665.8	664.9	674.0	694.7	712.9
	他車両	走行:	225.3	218.6	220.1	214.2
待ち:		80.3	72.2	38.3	32.2	32.7
区画料金:		0.0	4.4	6.4	2.4	5.2
小計		305.7	295.2	264.8	248.8	246.7
総計		1,121.8	1,110.8	1,090.8	1,103.1	1,109.7

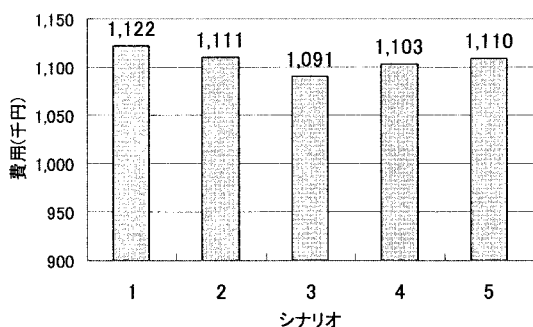


図- 10 シナリオ別総費用比較

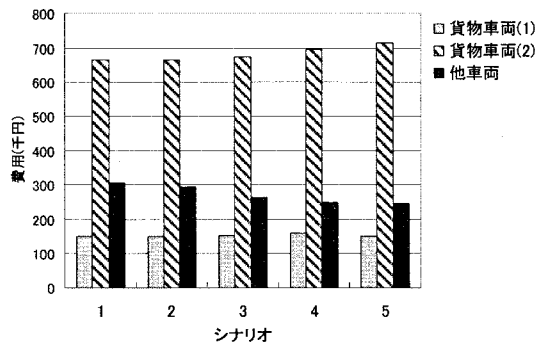


図- 11 シナリオ別車種別費用比較

(4) 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。ここでの予約システムとは、貨物車両が現在使用している荷捌き用区画を離発する際、または対象エリアに到着した際に、携帯端末(携帯電話等)により次に使用する区画を予約するシステムを想定している。具体的には、名古屋市長者町繊維問屋街 ITを活用した物流効率化実証実験¹⁶⁾におけるシステム等があげられる。

本検証は、最も取締りの強度が強いシナリオ1および貨物車両(1)の遅刻ペナルティが最も多いシナリオ4を対象とする。また、予約システム使用可能車両は、貨物車両(1)のみとする。貨物車両(1)の荷捌き用区画へのアプローチ回数は、全貨物車両のアプローチ回数の約20%に相当する。

表- 6にシナリオ1および4における予約システム導入前後の費用を示し、図- 12に同費用比較、図- 13および図- 14に同車種別費用比較を図示する。

表- 6、図- 12から、シナリオ1、シナリオ4ともに予約システム導入後に費用は大幅に増加している。

シナリオ1では、導入前においても他車両による荷捌き用区画の使用がなく、貨物車両は配送先店舗に比較的近距離に位置する荷捌き用区画が使用可能であったため、予約システムの恩恵が期待された貨物車両(1)に関する費用の削減効果は微小であった(約1%)。また、導入前後の双方において荷捌き用区画の使用が規制されている他車両に要する費用は変化していない。これに対し、貨物車両(1)が荷捌き用区画を優先的に使用することから、貨物車両(2)は荷捌き用区画の使用を制限され、全費用項目において費用が増加している。特に、横もち距離の増大に伴う横もち費用、区画利用費用において増加が顕著である。

シナリオ4では、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、費用は微少なながらも減少した。これに対し、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。

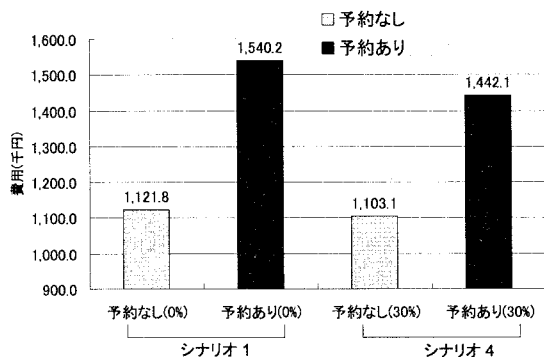


図- 12 予約システム有無別 総費用比較

以上より、予約システムの導入によりシステム利用者に関する費用削減効果が期待できるが、対象区域全体では負の便益が発生する可能性があることが判明した。今後、予約システム利用率について検討が必要である。

表- 6 費用算出結果

(単位: 千円)

		シナリオ 1		シナリオ 4	
		予約なし	予約あり	予約なし	予約あり
貨物車両(1)	走行:	13.5	13.7	13.7	13.7
	横もち:	135.6	134.9	137.1	134.9
	待ち:	0.6	0.0	0.4	0.0
	遅刻:	0.7	0.0	8.4	0.0
	区画料金:	0.0	0.0	0.0	0.0
小計		150.3	148.6	159.6	148.6
貨物車両(2)	走行:	63.2	69.7	61.9	71.5
	横もち:	590.1	894.9	620.2	849.0
	待ち:	4.0	95.1	3.4	50.5
	区画料金:	8.4	20.4	9.2	17.2
	小計	665.8	1080.2	694.7	988.2
他車両	走行:	225.3	221.9	214.2	215.5
	待ち:	80.3	89.5	32.2	87.8
	区画料金:	0.0	0.0	2.4	2.0
	小計	305.7	311.4	305.7	311.4
総計		1128.5	1578.2	1111.5	1482.1

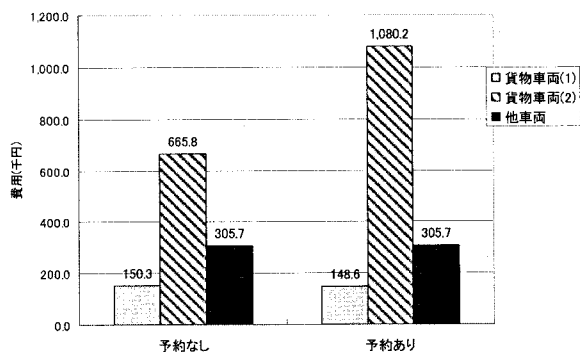


図- 13 車種別費用比較(シナリオ 1)

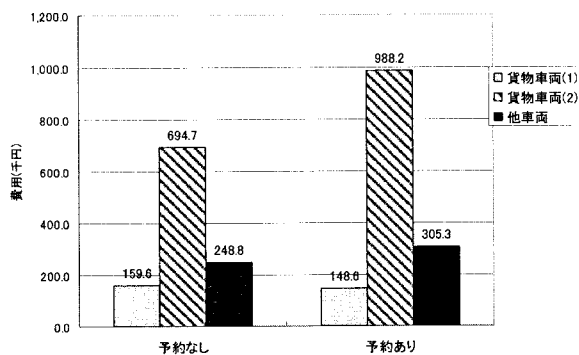


図- 14 車種別費用比較(シナリオ 4)

6. おわりに

本研究では都市内における貨物車両の路上荷捌き作業を対象とし、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を構築した。加えて、事前調査により路上荷捌き施設の整備において検討が必要とされた”他車両に対する荷捌き用区画の使用規制”、”荷捌き用区画予約システム”の効果および影響について、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検討した。以下に得られた成果および知見を概括する。

荷捌き施設配置計画モデル内で他車両の駐停車行動を対象区域における交通特性に基づき表現することにより、啓発活動ならびに情報技術活用効果が検討可能となった。

”他車両に対する荷捌き用区画の使用規制”に関する検討から、規制の取締り強化により貨物車両に関する費用削減効果が期待できるが、他車両を含むシステム全体としては、取締りの強度によっては負の便益が発生する可能性があることが確認できた。

”荷捌き用区画予約システム”に関する検討から、使用規制と同様に、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負の便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、モデルの現状再現性の確認、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。

参考文献

- 1) Perl J., Daskin M.S. :A warehouse location-routing problem, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.19, pp. 381-396, 1985
- 2) 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.
- 3) Wu T., Low C. and Bai J. :Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems, *Computers & Operations Research*, Vol.29, pp.1393-1415, 2002.
- 4) Laporte G., Nobert Y., and Pelletier P. :Hamilton location problems, *European Journal of Operational Research*, Vol.12, pp.82-89,1983.
- 5) Laporte G., Nobert Y. and Taillefer S. :Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems, *Transportation Science*, Vol.22, pp.161-171,1988.
- 6) Laporte G., Louveaux F., Mercure H. :Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 39, pp.71-78, 1989.
- 7) 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・IV-63, pp.25-44, 2004.
- 8) 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.
- 9) 小谷通泰, 田中康仁ほか: 都心商業・業務策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, pp.305-308, 2003
- 10) 小早川梧, 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, pp.297-304, 2003
- 11) 四条繁栄会商店街振興組合: 都市再生モデル調査 風格と華やきのまちづくりビジョン策定調査報告書, 2004.
- 12) 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.
- 13) 山田忠史, 谷口栄一, 茂里一敏: 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.
- 14) 倉内文孝, 飯田恭敬: 情報精度が駐車場選択行動に及ぼす影響に関する実験分析, 土木学会論文集, No. 653/IV-48, pp.17-27, 2000.
- 15) 兵藤 哲朗, 高橋 洋二, et al. : 「駐車場情報提供システムを考慮した交通行動モデルの検討」, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp. 855-860, 1996.
- 16) 名古屋市長者町縦横間屋街 ITを活用した物流効率化実証実験, 中部運輸局プレリリース, 2004.

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*

相浦宣徳**・谷口栄一***

本研究では、地区物流における路上荷さばきを対象とし、貨物車両および貨物車両以外の車両(以下、他車両)の駐停車行動を考慮した路上荷さばき施設配置計画モデルを構築した。他車両の駐停車行動を対象区域における交通特性に基づき表現することにより、ルール設定基準、啓発活動ならびに情報技術活用の効果が検討可能となった。京都市四条通に本モデルを適用し、「他車両に対する荷さばき用区画の使用規制」、「予約システムの導入」の各々について効果および影響を検討した結果、使用規制の取締り、予約システムにより貨物車両に要する費用は概ね減少するが、使用規制の取締りの強度レベルまたは、予約システム利用率によっては、システム全体において負の便益が発生することが確認できた。

Planning of Loading-Unloading Spaces Considering behavior of Delivery Vehicles *

By Nobunori AIURA**・Eiichi TANIGUCHI***

The provision and management of loading-unloading spaces for pickup-delivery vehicles are important issues in busy urban areas. In areas without loading-unloading spaces, delivery vehicles often park on the roadway lanes and this generates negative impacts in terms of road capacity and safety. The model described in this paper can be classified as a facility location problem. It determines the optimal location of loading-unloading spaces by minimizing the total cost that is comprised of delay penalty, fixed cost, operation cost, parking fee and waiting cost of both pickup-delivery vehicles as well as passenger cars. Furthermore this model takes into account both the behavior of pickup-delivery vehicles and that of passenger cars.