

73. 交通管理政策が都市内貨物集配送に与える効果の定量的シミュレーション分析

A Simulation Analysis on Effect of Transportation System Management on Physical Distribution in CBD

兵藤哲朗*・高橋洋二*・久保幹雄*・苦瀬博仁*・松尾靖浩**

Tetsuro Hyodo, Yoji Takahashi, Mikio Kubo, Hirohito Kuse and Yasuhiro Matsuo

This paper aims to describe a truck vehicle routing behavior and discuss a feasibility of cooperative pickup & delivery service in a Central Business & Commercial Area. Especially, we focus on ability of Transportation Demand (or System) Management policies to promote the service. One of the features of this study is to calculate optimal truck routing. In this study, we apply METRO (MEta Truck Routing Optimizer) which is one of the most efficient tools to solve hard routing problems. The study area is Ginza district and several transportation policies are analyzed. Finally, we discuss several efficient policies to realize the cooperative service.

Keywords : Cooperative pickup & delivery service, Vehicle routing problem
共同集配送、運搬経路問題、都市内物流

1. はじめに

都市内の交通環境を改善するためには、都市内自動車交通の過半数を占める貨物交通の削減や、その効率化が不可欠である。特に、人車の集中する都心地区においては、商業・業務活動に伴う物流交通が支配的であることから、物流活動や貨物の集配送システム自体を改善することが必要となる。このような問題意識に基づき、都市内の貨物搬入を集約化する、いわゆる貨物の共同集配送システムの推進が求められている。しかし、民間企業活動の一環として、貨物集配送を捉えれば、共同集配送を実現化するためには、利用者や運送業者のコスト削減を前提とせざるを得ない。その場合には、共同集配送を推進する公共主体の役割として、利害を調整し、あわせて公共主体の持ち得る権限を行使した、共同集配送システム推進に寄与するインセンティブ施策の実行が不可欠であろう。

以上の問題意識に基づき、本研究では共同集配送に対するインセンティブ施策として、交通管理政策をとりあげ、その共同集配送に与える効果を定量的に把握することを目的とする。具体的な方法論として、本研究では輸送業者の利潤最大化（費用最小化）の規範を直接モデルに反映させるべく、最適配送計画システムを取り込んだモデル分析を行う。これにより、従来にない、地域の特性を反映した種々の交通管理政策の評価を、実行に即した詳細な指標により行う可能性が示されよう。また、本研究の特徴として、具体的なモデル分析地区をとりあげ、実調査に基づいた定量的な検討を行っている点をあげることができる。

2. 従来の研究と本研究の特徴

(1) 都市内貨物集配送に関する研究事例

都市内の貨物輸送の問題を、貨物輸送効率化という視点から捉えた研究事例の大部分は、貨物の共同集配送や積み合わせの効率化をその解決策としてとりあげている。とりわけ、わが国の先進的な共同集配送システムの具体事例である、福岡市天神地区をとりあげた研究例が多く見受けられる¹⁾²⁾。しかしながら、その分析の多くは天神地区の現況解析に留まっており、モデル化に際しても、配送エリアの集計化に伴う、マクロ的な扱いを行うに留まっている。特に、街路構造や交通ネットワーク構造、顧客需要量の空間的バラツキなどを考慮した研究事例は見あたらない。また、共同集配送の問題を概念的に整理し、地球環境問題からその有効性を考察した研究事例もあるものの³⁾、共同集配送の効果については、定量的な検討はなされていない。

このように共同集配送に関わる研究は、集計的なマクロ分析がなされるに留まっており、個々のトラックの運行形態を考慮した分析は見られない。しかし、貨物輸送が輸送業者トラックにより行われることを考慮すれば、トラックの運行に関わる行動メカニズムを分析フレームに取り込むことが、効率的な都市内貨物輸送を実現するための交通政策を検討するためには不可欠なこととなる。トラックの行動メカニズムとしては、「所与条件のもとでトラックは最小費用の運行経路を選択する」という形に定式化でき、これにより輸送業者は利潤最大化を達成することになる。そこで、本研究では、次節に述べる、個々のトラックの最適集配送経路メカニズムを内

* 東京商船大学商船学部流通情報工学課程 (Tokyo University of Mercantile Marine)

** 東京商船大学大学院商船学研究科流通情報工学課程専攻 (Tokyo University of Mercantile Marine)

包した分析方法を採用し、都市内貨物集配送に関わる効果分析を行うこととする。

(2) 配送計画問題の概略⁹⁾

点化する貨物需要（顧客）を、各種の制約条件（稼働時間上限、積載重量条件など）のもとで、複数台のトラックにより最小費用で集配送を行う問題は、従来より運搬経路問題（Vehicle Routing Problem）と呼ばれている。一般的な運搬経路問題の諸仮定は下記の通りである。

- 1) デポに待機している運搬車の種類及び最大積載重量は既知である。
- 2) 顧客の位置は既知であり各顧客の需要量も所与である。
- 3) 地点間の移動時間・距離・費用は既知。
- 4) 一つの経路に含まれる顧客の需要量の合計は運搬車の最大積載重量を超えない。
- 5) 運搬車の台数は、決められた上限を超えない。
- 6) 運搬車の稼働時間が一日の上限を超えない。

上記の仮定のもと、総費用を最小化する経路を求めるのが、運搬経路問題であるが、その解はいわゆる組み合わせ最適化により求めることになり、顧客数が多いと指数関数的に組み合わせ数が増加し、厳密な最適解を求めることが極めて困難となる。そのため、セービング法¹⁰⁾や、スウィープ法¹⁰⁾などをはじめとする厳密解に近い近似解を効率的に求める方法が多く提案されているが、本研究では著者の内の一人らが開発した、「配送計画支援システム METRO (MEta Truck Routing Optimizer)」⁹⁾を用いる。

METRO 自体は運搬経路問題の種々の解法を含めたソフトウェアである。その解法には多くの特徴を有するが、本研究では、運搬経路問題を共同集配送に取り込む方法論を検討することを一目的とすることから、解法の詳細については参考文献⁹⁾に譲ることとする。

3. 分析対象地域と貨物発生集中原単位の推計

(1) 分析対象地域の概略

本研究では、首都圏内で商業・業務貨物交通が集中する地区として、銀座地区を分析対象にとりあげる（図-1）。銀座地区は、大規模な店舗や飲食店、そして業務地区としての機能もあわせもち、貨物搬出入については、時間帯や荷物の内容に大きな偏りがなく、都市内貨物の代表地区と見なせる。

また、後述するが、銀座付近に汐留めの旧国鉄貨物ヤード跡地があり、その地域に貨物集約拠点を計画する案も提案されている⁹⁾ことから、分析対象とする貨物集配送システムの実現化可能性も考慮し得ることも、銀座地

区を対象地域とした理由の一つである。

(2) 銀座地区物流調査について

分析対象地域の貨物搬出入特性については、平成5年3月に本研究室を中心に行われた「銀座地区物流調査」を用いる。同調査では、銀座地区内より表-1に示すサンプルを抽出し、各々について日常の貨物搬出入頻度や時間帯、品目などについてアンケート調査を行った。また、同時期に、ランダムに抽出された街区において、平日の1日、目測による貨物搬出入カウント調査を平行して実施した。なお、調査対象地域は銀座中心地域をカバーする銀座1～8丁目である。

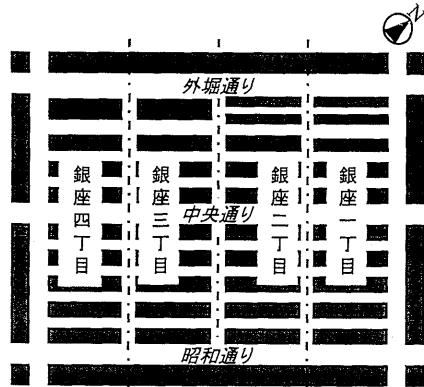


図-1 分析対象地区

表-1 銀座地区物流調査の主な調査項目

<p>調査方法：218事業所に対する留め置き調査 (オフィス：56社、物販店：102店、飲食・食料品店：58店、ホテル：1社、画廊：1社) 回収結果：有効回収数166、回収率76% 調査項目： 1) 基礎項目：建物面積・用途・就業者数 2) 貨物搬出入について：貨物搬入・搬出の時間帯別頻度、主要搬入出品目、駐車場有無・利用状況、貨物積み卸しの実態、共同輸送の参加意思有無など</p>

図-2、3に調査の代表的結果を示す。時間帯別の搬出入回数を見ると、搬入と搬出では大きな差がなく、10時、13時、16時の3回のピークが存在することが分かる。また、建物用途別の一日当たり搬出入回数分布より、物販店は1日当たり1～2回、飲食店では多頻回の集配送が行われていることが分かった。

(3) 貨物発生集中原単位の推計

実施された銀座地区物流調査を用いて、図-4のフローチャートに従い、用途別貨物発生集中量を算出する。

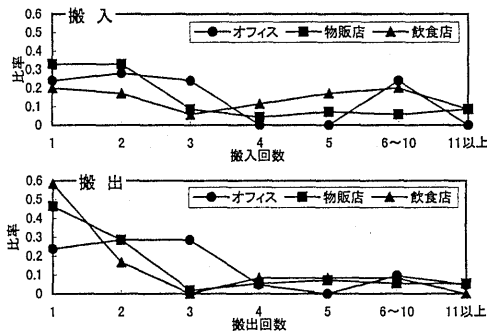


図-2 建物用途別の貨物搬出入回数の分布

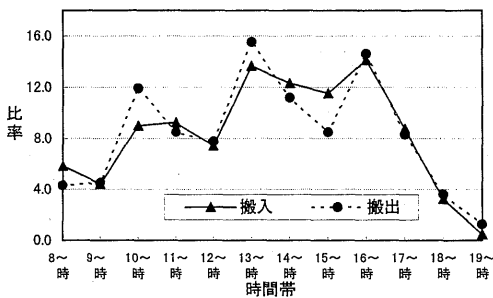


図-3 時間帯別貨物搬出入の分布

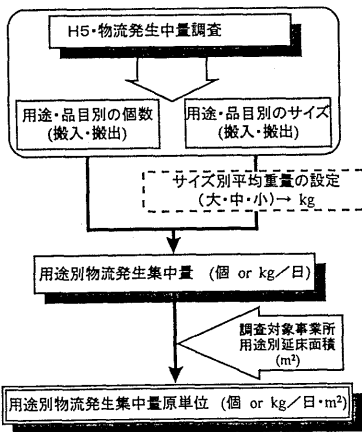


図-4 建物用途別貨物量原単位推計フロー

また、貨物のサイズ別の重量については、アンケート調査より得られた平均値を用いている。推計された用途別の貨物原単位を表-2に示す。

次に、表-2の原単位、及び現地調査と住宅地図より作成された街区別・建物用途別延べ床面積を用いて、銀座1～4丁目の街区別貨物発生集中量を算出する。さらに、その値に調査結果から得られた時間帯別の貨物搬出入率を乗じることにより、一日の貨物集配送量を求める。

なお、次章で説明されるシミュレーションの分析対象地域を銀座1～4丁目としたのは、分析作業を簡便化するためであるが、対象地域を銀座全域に広げることも可能である。

表-2 銀座地区物流発生集中原単位 (Kg/(100m²・日))

	発生	集中
オフィス	8.50	5.78
物販店	3.54	6.00
飲食店	11.60	14.50

4. 交通管理政策を取り込んだシミュレーション分析

(1) シミュレーションの前提

本シミュレーションでは、先に示した銀座地区において、最適な貨物集配送が行われると仮定し、その走行パフォーマンス比較を通じて、地区内の各種交通政策の有効性を検討する。シミュレーションの主要な仮定は、下記の通りである。

- 1) 汐留地区の共同集配拠点が、銀座1～4丁目の全ての貨物の集配送を扱う。これは銀座に隣接する汐留の旧国鉄貨物ヤード跡地内に、銀座地区内の貨物を全て扱う共同集配拠点が整備されることを想定している。
- 2) 貨物の集配送は簡単のため(午前、午後)×(集荷、配送)の4通り考える。無論、時間指定や特定輸送業者との契約貨物が存在するが、今回は分析の簡便化を目的に、それらも含め貨物の発生集中時間帯を単純化する。
- 3) 一つの区画ブロックを4つのゾーンに分割し、各ゾーン内の用途(オフィス、物販店、飲食店)別床面積(建築面積×階数)に前章で求めた原単位を乗じ、ゾーン別時間帯(午前、午後)別貨物発生集中量を推計する。
- 4) トラックの最大積載量は4トン、トラック最大稼働時間は6[時間/(台・日)]とする。これらの条件は、運搬経路問題を解くに当たり、トラック稼働制約条件として考慮される。
- 5) トラックの走行速度は、都内の自動車平均走行速度を勘案し、25[Km/時]とする。なお、後述するが、一方通行路を多く横切る道路区間については、信号による停車発進回数が増えることを想定し、天神地区調査など2)から得られている、5[Km/時]を走行速度とする。
- 6) 貨物の積み卸し時間、横持ち運搬時間は天神地区調査結果など2)より、下記の通り設定する
 - －積み卸し時間 = 0.05 [分/Kg]
 - －横持ち運搬時間 = $D \cdot \Delta d / (9101)$ [分]
 ただし、D : 貨物量 [Kg]、 Δd : 集配経路上の停車間隔 [m]

(2) 交通管理政策のオプション

分析対象である銀座1～4丁目では、一方通行規制が行われている(図-5)。

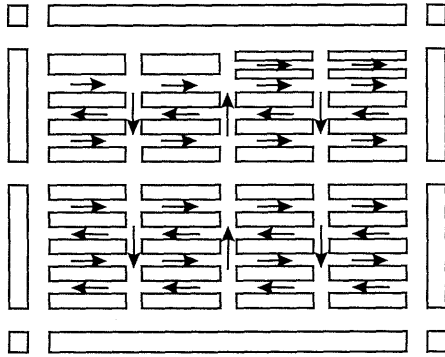


図-5 現況の交通管理政策

本シミュレーションでは、貨物集配送に影響を与えると考えられる交通管理政策として、下記の3種類を想定する。

- 1) 共同荷捌き場の設置：貨物集配送の効率化を促進する交通政策としては、一般に共同荷捌き場の設置があげられる。これにより、数多く存在する貨物の集配箇所を集約し、トラック駐停車回数の削減、対象道路の平均走行速度の向上を図ることができる。その反面、個別の貨物発生集中建物から、共同荷捌き場まで荷物を運ぶ、いわゆる横持ちの時間が増加するデメリットも存在する。本シミュレーションでは、図-6の位置に共同荷捌き場を設置することを仮定する。
- 2) 駐車禁止の強化：現況では、貨物集配送のトラックは対象地域内の各道路の任意の場所に駐停車することができる。しかし、幹線道路などの容量の増大、速度向上を図るためには、特定路線の沿道におけるトラックの駐停車を禁止することも、交通管理政策として考えられる。そこで、図-7の通り、特定路線の沿道において、乗用車も含めた駐停車を禁止するという条件を設定する。
- 3) 一方通行路の変更：地区内の各事業所に貨物を集配送するトラックにとり、道路の一方通行規制は、その移動経路に大きな影響を及ぼすことになる。無論、一方通行規制は物流効率化を第一義に決定される訳ではないが、ここでは物流に対する他の交通管理政策の効果を比較するために、現況より単純な仮定する(図-8)。なお、先にも述べたとおり、一方通行路を多く横切る道路(図中上下に通じる道路)は信号による停車発進回数が多いことから、走行速度を5 [Km/時]としている。

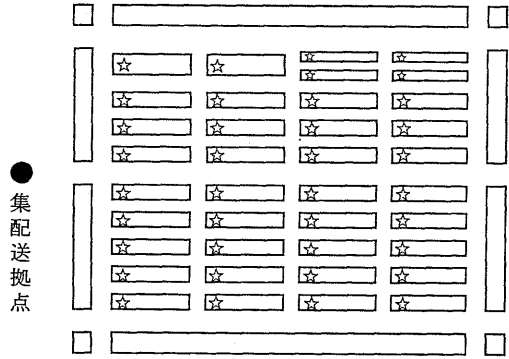


図-6 交通政策オプション(共同荷捌き場)
[☆が共同荷捌き場を示す]

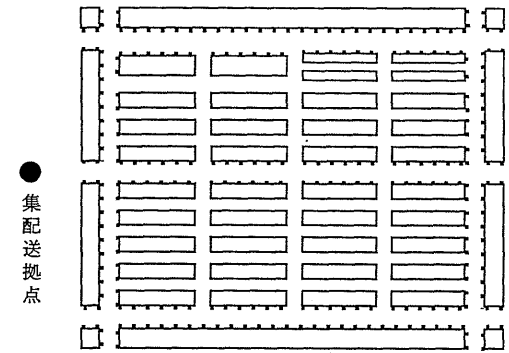


図-7 交通政策オプション(駐車禁止)
[破線区間が駐車禁止区域を示す]

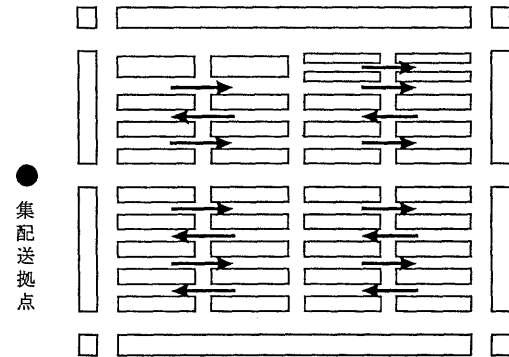


図-8 交通政策オプション(一方通行)

(3) シミュレーション結果とその考察

運搬経路問題の求解を、先に示した4通りの需要量について行った。対象とする交通政策は、前記3通りであるが、参考のため、新たな交通政策を考えない「現況」ケースと、4.(2)3)で設定した一方通行と他の交通政策を同時に考慮したケースについて解を求めた。なお、こ

ここで定義される「現況」とは、現況の交通管理策のもとで共同集配送が実現されることを想定しており、現況の貨物集配送状況を再現するものではない。従って、現況ケースにおいても現実には存在しない集配送拠点からの貨物の集配送が行われるものとしている。図-9は、10時集荷の「現況+共同荷捌き」における最適経路の一例を図化している。

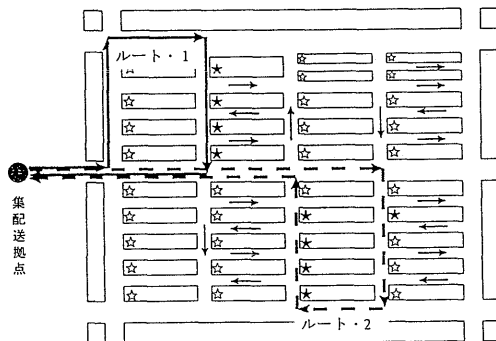


図-9 最適配送経路の一例

また、紙面の都合上、算出した4通りの内、トラック必要台数の多かった、10時出荷と16時配送について、各々表-3、4に推計結果を示す。表中で、「台数」は各集配送に(制約条件下で)必要となるトラック台数を示し、「総走行距離」はトラック走行距離の合計を示す(横持ち運搬距離は含まれない)。「総稼働時間」は、「走行時間」と「横持ち時間」の合計である。これらの指標のうち、本研究では「総走行距離」をエネルギー、排ガスなどに関連する環境負荷指標、「総稼働時間」「走行時間」「横持ち時間」をトラック事業者の営業費用に関わる指標として、以降の考察を行うこととする。

表より、まず貨物量の多い、夕方の配送で最も多くのトラックが必要となることが分かる。また、分析対象地域が狭いため、貨物集配送にかかる時間のうち、大部分が各顧客とトラック間の運搬である、横持ち時間に支配されているが、これは天神地区調査²⁾と同様の数値となっている。現況の場合、この横持ち時間は、トラックの駐車時間と相当するため、沿道における駐車車を伴う集配送行為が、交通走行環境に多大な悪影響を及ぼしていることが示唆されよう。

次に、各交通管理政策の比較検討のため、表-3、4の結果について、現況を1としたときの各指標の相対値を図化した(図-10、11)。まず共同荷捌き場の設置は、総走行距離と走行時間の減少につながるものの、共同荷捌き場までの横持ち距離の増大に伴い、総稼働時間は現況に比べ36%の増加となることが分かった。つまり、共

同荷捌き場の設置に関しては、その政策を実現するためには、従来のように横持ち時間中、トラックが駐停車するのではなく、例えば各顧客が共同荷捌き場まで貨物を授受に移動するなどの必要性が生じる。これはすなわち、共同荷捌き場設置による30%近くのトラック走行量削減、すなわち社会的費用削減が、個々の顧客の共同荷捌き場までの横持ち量の増加という私的費用の増加なくしては実現されないことを示している。共同荷捌き場を有効に活用するためには、別途、低廉な横持ち運搬システムの導入など、私的費用の低減化が不可欠であろう。

表-3 交通政策別の計算結果(10時集荷)

	台数	総走行距離(m)	総稼働時間(分)	走行時間(分)	横持ち時間(分)
現況	9	39,015	2,121	89	2,032
現況+共同荷捌	9	27,870	2,886	65	2,821
現況+駐車禁止	9	42,900	2,346	99	2,247
一方通行+共同荷捌	9	20,745	2,878	57	2,821
一方通行+駐車禁止	9	35,160	2,336	89	2,247

表-4 交通政策別の計算結果(16時配送)

	台数	総走行距離(m)	総稼働時間(分)	走行時間(分)	横持ち時間(分)
現況	10	44,790	2,391	102	2,289
現況+共同荷捌	10	28,380	3,254	67	3,187
現況+駐車禁止	10	42,765	2,638	99	2,534
一方通行+共同荷捌	10	23,550	3,252	65	3,187
一方通行+駐車禁止	10	35,790	2,623	89	2,534

また、横持ち距離の増加を伴う、駐車禁止の強化策においても同様の傾向を示すケースもみられるが(図-11)、駐車禁止による迂回経路増加に起因する総走行距離や走行時間の増加を引き起こすケース(図-10)もみられ、結果の一意性は認められない。これは、その結果が、駐車禁止が強化される沿道の貨物発生集中状況に大きく左右されることを表しているものと推測される。このケースにおいては横持ちをトラックドライバーがせざるを得ないことも考えあわせると、駐車禁止強化を行う箇所が不適切な場合、貨物集配送にとり何らメリットを生じない、すなわち交通管理政策としては無意味な結果をもたらす可能性を示唆している。

本シミュレーションで仮定した、新たな一方通行の設定については、概ね走行時間、走行距離とも短縮される傾向にある。前述したとおり、一方通行路を決める場合、通過交通も含めた検討が必要であり、ここで示されたケースが一般的(社会的)に望ましい訳ではない。しかしながら分析結果より、例えば特定時間帯において貨物車に優先通行権を与える交通路の選定など、道路ネットワーク運用上の工夫により輸送効率を高める可能性の存

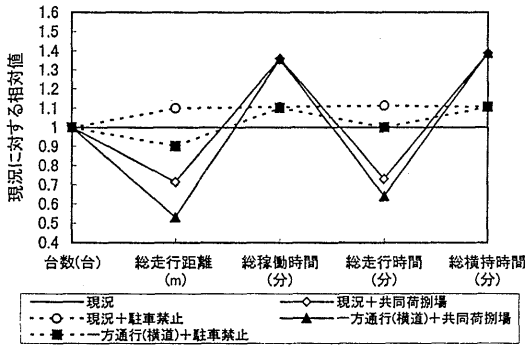


図-10 交通政策の特性比較：現況＝1（10時集荷）

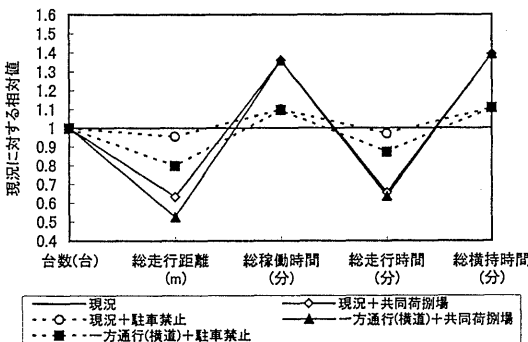


図-11 交通政策の特性比較：現況＝1（16時配送）

表-5 各交通政策の効果の現況に対する比較

	台数	総走行距離 (m)	総稼働時間 (分)	走行時間 (分)	横持時間 (分)
現況＋共同荷捌	±	-	+	-	+
現況＋駐車禁止	±	+	+	±	+
一方通行＋共同荷捌	±	-	+	-	+
一方通行＋駐車禁止	±	-	+	±	+

在が示されたと考える。

表-5は、以上に述べた各政策効果を総括した結果である。表より、①エネルギー、排ガスなど走行距離で測られる環境負荷の面からは、「現況＋駐車禁止」以外の政策は、有効性が認められること、②トラック事業者の立場からは、横持時間の私的負担を伴うという条件付きで、共同荷捌き場設置を受け入れる余地があり、③横持時間の増加を相殺し得る、効率的な（迂回経路の削減につながる）道路ネットワークが設定されるならば、駐車禁止区域の強化も事業者を受け入れられる可能性があることが分かる。ただし、駐車禁止区域の導入には、顧客需要の空間的分布に配慮する必要があることは先に述べたとおりである。

5. おわりに

本研究では、都市内貨物集配送について、個々のトラックの最適配送経路の解を用いた各種交通管理政策の評価を行った。特に従来検討されることになかった、集配送トラックの行動原理を反映させたシミュレーション分析の方法論を提示し得た。本研究の成果としては、1)銀座地区における物流調査により、建物用途別の貨物発生集中原単位を推計し得たこと、2)シミュレーション分析より、共同荷捌き場設置や駐車禁止箇所、一方通行ネットワークの貨物集配送に与える効果を定量的に把握し得たこと、3)共同集配送を実現するインセンティブ施策としての各種交通管理政策の実現性を、環境面、費用面から比較考察し得たこと（表-5）があげられる。

なお、本分析では銀座地区を事例にとりあげたものの、共同集配送そのものが仮想状況であることから、現況再現性のチェックはできなかった。今後、詳細なトラックによる集配送の実態把握を行い、より現実性の高いシミュレーションシステムを構築することが課題としてあげられる。

末筆ではあるが、本研究の分析には恩田靖久氏（現（株）新開）の協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

<参考文献>

- 1)根本(1992):”都市内物流の共同化の効果とその促進施策”,第27回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.349-354
- 2)家田・佐野・常山(1992):”マクロ集配輸送計画モデルの構築とその「地区型共同集配送」評価への適用、土木計画学研究・論文集、No.10, pp.247-254
- 3)根本・谷口(1994):”都市内物流システムの運用方策”,第28回土木計画学シンポジウム, pp.97-118
- 4)登・高田・岐美(1994):”都市内物流の削減と円滑化のための共同物流デポ計画”,第29回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.73-78
- 5)久保・毛利(1996):”配送計画支援システム METRO とその適用事例”,オペレーションズリサーチ, Vol.41, No.8, pp.429-435
- 6)T.A.Feo, M.G.C.Resende and S.H.Smith(1994):”A greedy randomized adaptive search procedure for maximum independent set”, Operations Research, 42, pp860-878
- 7)F.Glover(1989):”Tabu search I”, ORSA Journal on Computing, 1, pp.190-206
- 8)久保(1995):”離散構造とアルゴリズム IV”,メタヒューリスティクス(室田編),近代科学社
- 9)東京都都市計画局(1993):”既成市街地における地下物流システムの可能性に関する調査報告書”
- 10)圓川・伊藤(1996):”生産マネジメントの手法”,朝倉書店