

積合せトラック物流における都市内集配活動のモデル化とその推定

A Macroscopic-modeling of Urban Collection/Delivery Service on Consolidated Cargo Transport

家田 仁*, 佐野可寸志**, 小林 伸司***

By Hitoshi IEDA, Kazushi SANO and Shinji KOBAYASHI

In the urban area, most of goods are carried by trucks, and the request of consumers and retailers for convenient service and high frequency delivery derived the increase of freight traffic flow in recent years, and the improvement of the logistic system in urban region has been getting nation-wide interest from the viewpoint of traffic congestion and environmental pollution. Many kinds of countermeasures like truck-bay construction on road side, joint transport by common carriers and whole-salers, or socioscopic regulations are proposed against these problems. This study proposes a macroscopic collection/delivery model, where the rational economic behavior of carriers and truck drivers are introduced, and which can output the number of terminals, truck size, the number of trucks, running distance, running time, and so on, so as to evaluate the effects and the influence of those countermeasures. The model is applied on urban regions in Tokyo Metropolitan District, and the integrated survey are fulfilled for the model calibration and fitness test.

1. はじめに

わが国の都市内物流はほとんどがトラック輸送に依存している。これはドライバーの人手不足といった物流企業経営上の問題に加えて、トラックの走行と駐停車に伴う交通渋滞や大気汚染等の社会的な問題を引き起こし社会的な関心を呼んでいる。こうした事態に対して、公的セクターにおいても、道路上のトラックベイ設置や荷捌き施設の付置義務化及び貨物車優先パーキングメータ設置などの施設面と、共同集配送事業に対する支援・斡旋などの運営面などで、積極的な政策展開が強く要請されており、これらの施策がトラック台数やそのサイズ、走行距離、駐停車時間などの面でどのような影響をもたらすの

か事前に予測する手法が必要とされている。そこで本研究では、都市部でとりわけ顕著な積合せトラック物流を対象において、上述のような各種の政策実施がもたらす効果の予測・評価やその公的セクターを含めた受益・負担関係の妥当性の検討等を支援することを目的として、物流事業者の行動を記述再現し、簡便に操作できるマクロなモデルを構築する。さらに、東京都都市部において資料調査と実測調査を行いモデル推定を行う。

2. 既往の研究と本研究の位置付け

集配送問題を扱った研究としては、1980年代の一連の研究^{1) 2) 3)}があげられる。これらは、集配送にともなう諸費用を最小化するような最適なトラックの運行形態を求めるものであるが、数理モデルの適用事例といった色彩が強く、モデル推定を含めた実用性という視点からは満足のものとはなっておらず、また事業者の費用のみに着目し、これらと顧

キーワード： 物流政策、積合せ輸送

* 正会員 工博 東京大学助教授 土木工学科

** 正会員 工修 東京大学助手 土木工学科

*** 正会員 工修 清水建設(株) 土木本部

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

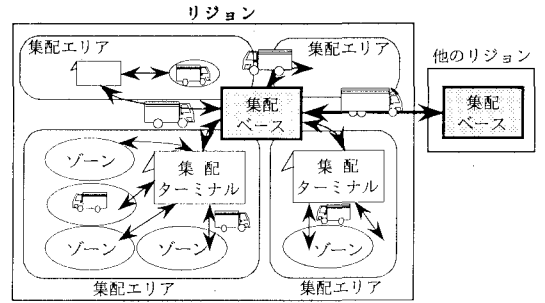
客へのサービスレベルのトレードオフ関係の分析は行われていない。実際の観点に立つ研究は少ないがその中でも松本⁴⁾は、顧客のサービス水準を考慮したモデル分析を行い、実証的なデータを用いて供給者の配送行動を記述し一定の成果を得ているが、事業者の行動分析に主たる目的を置くもので、各種物流政策の効果の予測評価や社会的にみた便益の評価といったニーズに応えることのできる方法論には必ずしもなっていない。

文献⁵⁾は、以上のような認識に立って各種の物流政策の評価に政策立案者・交通計画者・都市計画者が応用するための方法論として、都市内の集配輸送における物流事業者の配車行動とドライバー運行動の二段階の行動をいずれも広義のコスト最小化行動という形で記述するモデルを構築し、福岡天神地区に適用してモデル推定を試みると共に、天神地区の共同集配送事業の評価に適用しその実用上の方向性を示したものである。これは本研究のプロトタイプを提案したものであるが、以下のような重要な課題が残された。①物流事業者の集配ターミナルの配置行動を取り入れていないこと、②本来同時的な二段階のモデルにフィードバックがかかっておらず、論理的に不整合が見られること、③車両停車時のコストの取扱いが都市施設政策的にみて十分操作性の高いものとなっていないこと、④実測調査対象が福岡市天神地区に限られモデルの妥当性など十分には明らかにできていないこと。

そこで、本研究では、上記研究を受け、①物流事業者の集配ターミナル配置行動を取り入れ、従来の二段階のモデルと合わせて三段階のモデルとし、②上位モデルと下位モデルとの間にフィードバックがかかる形をとり、③路上駐車車両数、駐車回転率、パーキングメーターなどの整備度を操作変数として取り込んだモデルに改良し、④東京都市部というより一般的で広範囲の地域を対象とした大規模な集配活動実測調査と資料収集調査を独自に実施し、モデルの推定と検証を行い、積合せトラック物流における都市内集配送に関する網羅的で実用的な分析手法の開発を目指したものである。

3. マクロ集配輸送計画モデルの構築

(1) マクロ集配輸送計画モデルの構造



〔上図はベース経由型の場合を示す。
直行型の場合は、集配ベースが省略される〕

図-1 集配地域の概念

ここでは、物流に関する各種の施策をマクロに評価するため、物流事業者やトラックドライバーの行動を記述し、地域の集配輸送を第一次近似的に再現することのできるモデルを構築するため、モデルの対象とする地域について次の三つを定義する。

(〔図-1〕参照)

①**集配リジョン**：積合せ輸送における集配活動の基本となる営業区域。集配リジョンの中には、いくつかの集配エリアが含まれる。集配リジョンと相手リジョン間との基幹輸送形態には、大きく分けて集配ターミナルから集配ベースへ荷物を輸送し、荷物をまとめた上で、ベースから荷物を相手地域へ輸送する方法(ベース経由型)と、集配ターミナルから相手地域へ直接トラックで輸送する方法(直行型)がある。集配リジョンの中の集配エリア総数は同時にターミナル設置数を意味する。

②**集配エリア**：1箇所の集配ターミナル(事業者により、センター、デポなどとも呼称される)が担当する集配区域。

③**集配ゾーン**：集配エリア内で1台の集配トラックが担当する集配地区。集配エリアの中の集配ゾーン総数は同時に稼動トラック台数を意味する。

そして、マクロな集配輸送の計画を、上記の3地域に対応した各サブモデルで記述する。リジョン区分計画サブモデルは集配リジョンを対象とし、事業者がコストを最小化するように、集配エリア数(すなわち集配ターミナル数)を決定する行動を記述する。エリア集配計画サブモデルは、集配エリアに関するもので、事業者がコストを最小化するように、集配エリアに導入する集配車両サイズと集配ゾーン数(す

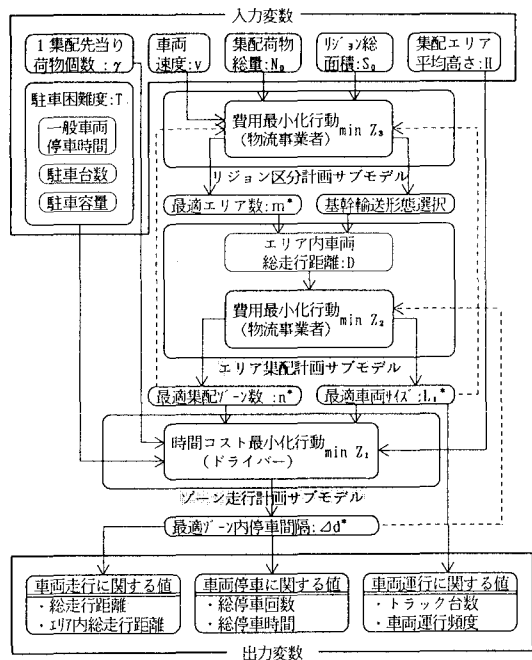


図-2 モデルの構造

なわち車両数)を決定する行動を記述する。さらに、エリア集配計画サブモデルの下位にあるゾーン走行計画サブモデルは、集配業務を実際に行うトラックドライバーがエリア集配計画サブモデルによって決められた集配ゾーン内で集配業務にかかわるコストを最小化するように車両の停車頻度を決定するというものである。(【図-2】参照)

(2)モデル構築上の仮定

本モデルでは簡略化のため以下の仮定をおく。

- ①集配荷物はサイズ、重量など均一とする。
- ②変数間の関係は、一次近似(比例もしくは逆比例)により記述できる。
- ③集配トラックは(配送開始時、集荷帰還時に)最大容量まで利用される。
- ④運送事業者、乗務員は、集配リジョン、エリア、ゾーンに関する十分な情報を持ち、自らにとって合理的な行動をとる。
- ⑤集配送地域は、あらゆる点(集配荷物需要密度、建築物、街路、...)で均質とする。

(3)ゾーン走行計画サブモデルの定式化

ゾーン内の集配作業はゾーン内走行、①停車場所

確保、②積み卸し/積み込み、③横持ち、④縦持ち、⑤集配先滞在の5つの作業から構成される。これらの作業時間は下記の変数を用いると、1回集配あたり各々① d/v_1 、② $t_1 \cdot a \cdot d$ 、③ $a \cdot \Delta d \cdot d / 2C \cdot v_H$ 、④ $t_2 \cdot a \cdot d / \gamma$ 、⑤ $t_2 \cdot a \cdot d / \gamma$ と表される。

- L_1 : 集配車両サイズ[m]
- v_1 : 集配ゾーン内走行速度[m/分]
- d : ゾーン内走行距離[m]
- Δd : ゾーン内停車間隔[m]
- C : 横持ち運搬容量(台車容量) [個/台]
- a : 集配荷物線密度[個/m]
- γ : 集配先荷物個数[個/軒]
- H : 集配先高さ[階]
- v_H : 横持ち速度[m/分]
- v_V : 縦持ち速度[階/分]
- t_1 : 比例定数

さて、車両を停車させる際には、[1]路上での停車場所の探索・確保や車両の停車・発車に際する手間、[2]パーキングメーターの使用料や違法駐車摘発などのコストが費やされると考えられ、これらを時間の単位で表したものを停車コストと呼ぶこととする。1集配あたりの停車コスト[1]は、車両サイズ L_1 と停車回数 $d/\Delta d$ に比例すると考えられる。また、1集配あたりの停車コスト[2]については、車両の総停車時間に比例すると考えられる。そこで、 t_3 、 t_4 をエリアの一般的駐車需要、駐車スペース供給量(路線延長、路外駐車場の駐車可能台数など)、さらに荷捌き用の駐車施設の整備度等に依存するパラメータとして、1集配あたりの停車コスト[1]は $t_3 \cdot L_1 \cdot d / \Delta d$ 、1集配あたりの停車コスト[2]は $t_4 \cdot$ [車両の総停車時間]と表されるものとする。

以上より、1集配あたりの総所要時間 Z_1 (停車コストの時間相当値を含む)は、次式で求められる。

$$Z_1 = \frac{d}{v_1} + t_3 \cdot L_1 \cdot \frac{d}{\Delta d} + (1+t_4) \cdot \left\{ t_1 \cdot a \cdot d + \frac{a \cdot \Delta d \cdot d}{2C \cdot v_H} + \frac{2 \cdot H}{\gamma} \cdot \frac{a \cdot d}{v_V} + t_2 \cdot \frac{a \cdot d}{\gamma} \right\} \dots (1)$$

ゾーン内車両走行速度 v_1 は、ゾーンの街路構造、駐車スペース整備度、交通量、車両サイズ L_1 、ゾーン内停車間隔 Δd によって変化すると考えられる。そこで、エリアの物理的状況と与件とし車両サイズに逆比例、停車間隔に比例するものとする、ゾーン内車両走行速度 v_1 は、 $t_5 \cdot \Delta d / L_1$ となる。便宜上、 $t_5' = 1/t_5$ とおくと、式(1)は、

$$Z_1 = (t_3 + t_5') \cdot L_1 \cdot \frac{d}{\Delta d} + (1 + t_4) \cdot \left(t_1 \cdot a \cdot d + \frac{a \cdot \Delta d \cdot d}{2C \cdot v_H} + \frac{2 \cdot H}{\gamma} \cdot \frac{a \cdot d}{v_V} + t_2 \cdot \frac{a \cdot d}{\gamma} \right) \quad \dots (2)$$

となる。

ドライバーは、上記の一般化された時間コストを最小化するように Δd_{opt} を決定すると仮定すると、 $\partial Z_1 / \partial \Delta d = 0$ を満たす最適停車間隔が求められる。

$$\Delta d_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot (t_3 + t_5') \cdot v_H \cdot C \cdot L_1}{(1 + t_4) \cdot a}} \quad \dots (3)$$

(4) エリア集配計画サブモデルの定式化

文献⁵⁾より最適ゾーンサイズ n_{opt} 、最適トラックサイズゾーンサイズ L_{1opt} は次式で求められる。

$$L_{1opt} = \sqrt[3]{\frac{4k_3 \cdot k_7^2}{v_2^2 \cdot (k_1 + k_2 + k_5) \cdot (t_3 + t_5')}} \cdot \Delta d \cdot D \cdot N \quad \dots (4)$$

$$n_{opt} = \sqrt[3]{\frac{v_1 \cdot k_3 \cdot (t_3 + t_5')^2}{2k_7 \cdot (k_1 + k_2 + k_5)}} \cdot \frac{D \cdot N}{\Delta d^2} \quad \dots (5)$$

(5) リジョン区分計画サブモデルの定式化

ここではまず基幹輸送形態の違いに応じて、2種類のモデルを構築し、さらに両者の選択プロセスを定式化する。

a) ベース経由型リジョン区分計画サブモデル

事業者が集配エリア(集配ターミナル)の数を決定する際に考慮する項目としては、費用の中で約半分を占める人件費を筆頭に、車両費、保険費、燃料費、修理費、ターミナル費、仕分け費用等がある。また、集配エリアを多くすると、集配頻度が少なくなりサービスレベルが低下し、機会的損失を被る恐れもある。そこで、本モデルでは、総費用を人件費のように車両走行時間に比例する費用とターミナルの資本費のように車両走行時間に比例しない費用と機会費用の3つの費用考慮した。

車両走行時間に比例する費用は、輸送ベース間の走行時間、輸送ベースと集配ターミナル間の走行時間、集配エリア内での走行時間を求め、それに比例定数 k_3 を掛けて表す。車両走行時間に比例しない費用は、トラックの大きさと台数に比例する車両償却費用とターミナル設備償却費用、荷物の個数に比例する仕分け費用等から構成される。集配頻度の低下による営業上の機会費用は、集配頻度の逆数とマーケットサイズ(荷物個数)に比例するものとした。上記の費用をまとめて図-3に示す。これらの費用を合

物流事業者の総費用

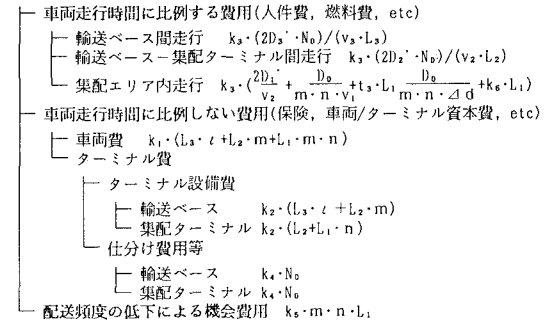


図-3 物流事業者の費用構造

計した事業者総コストは、次式で示される。

$$Z_3 = k_1 \cdot (L_3 \cdot \ell + L_2 \cdot m + L_1 \cdot m \cdot n) + k_2 \cdot (L_3 \cdot \ell + 2L_2 \cdot m + L_1 \cdot m \cdot n) + k_3 \cdot \left\{ \frac{2D_3' \cdot N_0}{v_3 \cdot L_0} + \frac{2D_2' \cdot N_0}{v_3 \cdot L_0} + \frac{N_0}{L_1} \cdot \left(\frac{2D_1'}{v_2} + \frac{D_0}{m \cdot n \cdot v_1} + t_3 \cdot L_1 \cdot \frac{D_0}{m \cdot n \cdot \Delta d} + k_5 \cdot L_1 \right) \right\} + 2k_4 \cdot N_0 + k_5 \cdot m \cdot n \cdot L_1 \quad \dots (6)$$

ゾーン内停車間隔 Δd は、下位モデルの最適行動下では式(4)(5)を満たすので、次式の関係が得られる。

$$\Delta d = \frac{v_2 \cdot (t_3 + t_5')}{2k_7} \cdot \frac{L_1}{n} \quad \dots (7)$$

また、集配ターミナルゾーン間の走行距離は、 $D_1' = k_7 D = D_0 / m$ とゾーン内車両走行速度は、 $v_1 = \Delta d / (t_5' \cdot L_1)$ 表される。これらを代入すると、式(6)は、

$$Z_3 = k_1 \cdot (L_3 \cdot \ell + L_2 \cdot m + L_1 \cdot m \cdot n) + k_2 \cdot (L_3 \cdot \ell + 2L_2 \cdot m + L_1 \cdot m \cdot n) + k_3 \cdot \left\{ \frac{2D_3' \cdot N_0}{v_3 \cdot L_0} + \frac{2D_2' \cdot N_0}{v_3 \cdot L_0} + \frac{N_0}{L_1} \cdot \left(\frac{4k_7 \cdot D_0}{m \cdot v_2} + k_5 \cdot L_1 \right) \right\} + 2k_4 \cdot N_0 + k_5 \cdot m \cdot n \cdot L_1 \quad \dots (8)$$

となる。相手地域-輸送ベース、輸送ベース-集配ターミナル間の輸送頻度については、ここでは現実の輸送実態に鑑み、1日1往復としすると、

$$Z_3 = (k_1 + k_2 + k_5) \cdot L_1 \cdot m \cdot n + (k_1 + 3k_2 + 2k_4 + k_5) \cdot N_0 + k_3 \cdot \left(\frac{2D_3' \cdot \ell}{v_3} + \frac{2D_2' \cdot m}{v_3} + \frac{4k_7 \cdot D_0 \cdot N_0}{m \cdot v_2 \cdot L_1} \right) \quad \dots (9)$$

となる。

事業者は総コストを最小になるように、集配エリ

ア数 m_{opt} を決定するとすれば、 Z_B を m で偏微分することにより最適なエリア数が次式で求められる。

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{4v_3 \cdot k_3 \cdot k_7 \cdot N_0 \cdot D_0}{(k_1+k_2+k_3)v_2 \cdot v_3 \cdot L_1^2 \cdot n + 2k_3 \cdot v_2 \cdot D_0' \cdot L_1}} \dots (10)$$

b) 直行型リジョン区分計画サブモデル

ベース経路型と同様に、事業者総コストと最適エリア数は次式により求められる。

$$Z_B = (k_1+k_2+k_3) \cdot L_1 \cdot m \cdot n + (k_1+k_2+k_4+k_6) \cdot N_0 + k_3 \left(\frac{2D_3' \cdot l \cdot m}{v_3} + \frac{4k_7 \cdot D_0 \cdot N_0}{m \cdot v_2 \cdot L_1} \right) \dots (11)$$

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{4v_3 \cdot k_3 \cdot k_7 \cdot N_0 \cdot D_0}{(k_1+k_2+k_3)v_2 \cdot v_3 \cdot L_1^2 \cdot n + 2k_3 \cdot v_2 \cdot D_0' \cdot L_1}} \dots (12)$$

式(10)、(12)によると、直行型、経路型とも、①車両運行の時間コストが大きい、②取扱荷物量(需要)が多い、③車両走行距離が長い、④集配ターミナルゾーン間の走行速度が低い、⑤相手地-集配ターミナル間の走行速度が高い、⑥資本コストが小さいときに、集配リジョンをより多くのエリアに区分することが分かる。

c) ベース経路型、直行型の選択

式(10)を式(9)に代入することにより、経路型における最適化された結果としての総コスト Z_B が、式(12)を式(11)に代入することにより、直行型における最適化された総コスト Z_A が求められる。現実のエリア数は、与えられた条件のもとに Z_B を最小化する方の方式の選択と同時に決定される。 $Z_A \leq Z_B$ となる条件は、結果のみ示すと以下の通りである。

$$\frac{N_0}{D_0} \geq \frac{16k_3 \cdot k_7 \cdot l}{(2k_2+k_4)^2 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot L_1} \left\{ \frac{\sqrt{(k_1+k_2+k_3) \cdot v_3 \cdot L_1 \cdot n + 2k_3 \cdot D_0' \cdot l}}{2} - \sqrt{(k_1+k_2+k_6) \cdot v_3 \cdot L_1 \cdot n + 2k_3 \cdot D_2'} \right\} \dots (13)$$

この結果は、荷物量が多く、集配需要密度 N_0/D_0 が、式(13)の右辺より大きいとき、直行型の輸送を行うことを示している。

4. 東京都市部での資料収集と集配活動実測調査

(1) リジョン区分計画サブモデルの推定に用いるデータ

物流事業者A社より、[表-1]に示すデータを提供して頂いた。いずれも、1992年の取扱い荷物個数の平均的な月の1ヶ月間のデータである。

(2) エリア集配計画サブモデルの推定に用いるデータ

A社と同じく物流事業者B社より、[表-2]に示すデータを提供して頂いた。上記データと同様に、19

表-1 エリア集配計画サブモデル使用データ

調査項目	車両サイズ、車両台数(集配ゾーン数) 取扱荷物個数、エリア面積		
	A社	B社	
調査エリア	住宅地	中野区内の4エリア 杉並区内の4エリア 板橋区内の4エリア 和光市内の1エリア 緑区内の4エリア	中野区 松戸市 杉並区 所沢市 板橋区 八千代市 和光市 港北区 緑区 世田谷区
	商業地	中央区内の7エリア	中央区 台東区 中区
	業務地	新宿区内の6エリア	新宿区
	工業地	川崎区内の3エリア	川崎区 鶴見区 幸区 墨田区
	その他	江東区内の5エリア	江東区
	合計	38エリア	19エリア

表-2 リジョン区分計画サブモデル使用データ

調査項目	車両サイズ、車両台数(集配ゾーン数) 取扱荷物個数、リジョン面積
	調査リジョン

表-3 ゾーン走行計画サブモデル使用データ

調査日	調査場所
92-06-17	江東区 亀戸2丁目18~45, 北砂5丁目, 大島2丁目 江東区 南砂4丁目, 6丁目, 枝川, 塩浜, 門前仲町
92-10-08	中央区 銀座5~8丁目, 日本橋馬喰町, 日本橋横山町, 東日本橋 新宿区 新宿3丁目, 新宿三井ビル, 新宿三井ビル, 第一生命ビル
92-10-14	新宿区 新宿3丁目2~20 中央区 銀座1~8丁目, 日本橋馬喰町, 日本橋横山町, 東日本橋 川崎区 浮島町, 夜光, 小島町 杉並区 井草4~5丁目, 上井草, 今川, 桃井1~2丁目
92-11-11	杉並区 永福, 和泉 中央区 日本橋横山町, 東日本橋1丁目, 2丁目5~8 中央区 銀座5丁目5~7, 6丁目7~9, 7丁目6~8, 8丁目6~8 川崎区 浮島町, 小島町
92-11-12	川崎区 千鳥町, 四谷下町, 塩浜2丁目 新宿区 新宿三井ビル, 京王ビル, 新宿ビル, KDD, 東京都庁 杉並区 阿佐谷南1丁目1~41, 今川2~4丁目 板橋区 高島平2丁目, 高島平3丁目

集配トラック乗り込み調査	車両運行調査 ・車両サイズ ・集配ターミナル出発/到着時刻, 出発/到着時のトリップメーター ・集配ゾーン出発/到着時刻, 出発/到着時のトリップメーター
	集配活動調査 ・停車位置(路上, 路外) ・停車開始/終了時刻 ・積み卸し/積み込み開始・終了時刻 ・横持ち開始/終了時刻, 運搬方法(人力/台車), 運搬距離 ・縦持ち開始/終了時刻, 運搬方法(階段/エレベーター), 運搬距離 ・集配送荷物大きさ, 個数 ・集配以外の訪問の場合その内容 ・集配先到着/出発時刻 ・付帯業務内容, 開始/終了時刻 (集配トラックに同乗の調査員が、集配ターミナルの出発から帰着までの一連の集配作業をドライバーの活動に従って追跡調査した)
集配地区概況調査	道路駐車状況調査 ・車両通行の可否 ・車両駐車可否(可能な場合両側, 片側を区別) ・パーキングメーター設置台数 ・パーキングメーター利用台数 ・路上駐車禁止場所の駐車車台数 ・路外駐車スペースの台数 (午前午後各1回, 当該ゾーンを徒歩周回しながら計測した。)
	駐車回転率調査 ・調査開始/終了時刻 ・調査道路延長 ・路上駐車禁止場所の駐車車可能台数 ・パーキングメーターの設置台数 ・路上駐車禁止場所への駐車車開始/終了時刻 ・パーキングメーターへの駐車車開始/終了時刻 (当該ゾーンの典型的な路上敷か所に、1時間程度ずつ張り付き調査を行った。ただし、回転率は次式による。 回転率[時] = (駐車車開始台数+駐車車終了台数)/2 / 駐車車可能台数・調査時間

92年の取扱い荷物個数の平均的な月のデータである。調査エリアの選定にあたっては、住宅地、商業地、業務地(オフィス等)、工業地といった明確な特徴を持つエリアを中心に考えている。

(3) ゾーン走行計画モデルの推定に用いるデータ

ゾーン走行計画サブモデルは、ドライバーの行動を記述するモデルなので、前2項のような事業者に対する資料請求ではなく、集配トラックへの同乗調査及び、徒歩周回による集配地区の駐車状況調査を独自に行った。

調査年月日、調査場所、調査項目および調査方法については[表-3]にまとめた。

5. マクロ集配輸送計画モデルの推定と検証

(1) 基礎データの整理

- ① 実際の荷物個数を標準的な荷物のサイズ(約2才程度の段ボール箱を基準：1才=30cm立方)に置き換えた実質荷物個数として用いる。取扱い荷物個数を実質荷物個数に換算する関係式は、実質荷物個数をN、取扱い荷物個数をN_tとして、 $N=1.41 \times N_t$ [個]となった。
- ② 車両サイズ(最大積載量)と実質荷物個数との関係を分析した結果(夜間便等の極端に荷物の少ない場合は除く)、車両サイズ1トあたりの実質荷物個数N_tは、 $N_t=61.3$ [個/t]と表すことができた。
- ③ 車両走行距離D[m]は本来は道路総延長R[m]、エリア面積S[m²]、荷物個数N₀[個]の関数と考えられる⁵⁾。推定例； $D = 0.832 R \times \{1 - \exp(-5000 N_0/S)\}$ [m]しかし今回は簡単化のため、車両走行距離をエリア面積に比例するものとして次式により計算を行った。
 $D = 0.00601 \times S$ [m]
- ④ 実測調査により、車両1台あたりの駐停車に必要な平均的なスペースは8.67mとなった。

(2) ゾーン走行計画サブモデルの推定と検証

ゾーン走行計画サブモデルの推定の際に、横持ち速度、縦持ち速度、横持ち運搬容量、積み込み/積み卸し作業時間、集配先滞在時間等は異なるゾーン間で共通と考えた。一方、集配先高さ、集配先荷物個数、ゾーン内走行速度等は、ゾーン間で異なる値を使用してモデルの推定を行った。また、モデルの推定には集配活動実測調査で得られたデータ中で、江東区内9ゾーンを除いたデータを用い、モデルの検証には江東区内のデータを用いた。

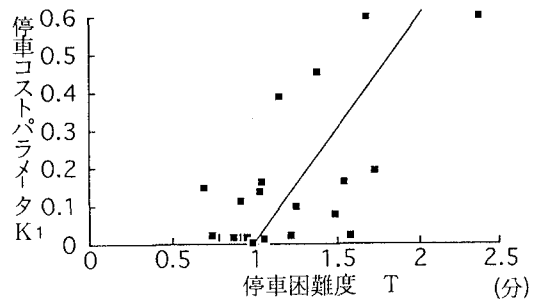


図-4 停車コストパラメータの推定

(3) 停車コストパラメータの推定

式(28)において、車両走行にかかわるパラメータをまとめて、 $(t_3+t_6)/(1+t_4) = K$ とおく。Kは、ゾーン間で共通な部分と、異なる部分からなると考えられるが、共通部分を t_6' で代表することにする。すると、K'をゾーン間で共通のパラメータとして、 $K=K' \cdot t_6'$ とする。したがって、式(3)は、
$$\Delta d = \sqrt{\frac{2K' \cdot t_6' \cdot v_H \cdot C \cdot L_1}{a}} = K_1 \sqrt{\frac{t_6' \cdot v_H \cdot C \cdot L_1}{a}}$$
と表すことができる。 …(14)

各ゾーン毎に集配荷物密度、横持ち運搬容量、横持ち運搬速度、車両サイズ、ゾーン内走行速度に係わる定数 t_6' 及び実測された平均停車間隔が得られれば、式(14)により、ゾーン間で共通な停車コストパラメータK₁を逆推定することができる。こうして得られた仮想的停車コストを表すパラメータK₁は、モデルの構造上停車の困難さを表すはずである。そこで、ゾーン内の平均的な駐停車車両の1回あたり停車時間と駐停車占有率(駐停車台数/駐停車可能台数)の積を停車困難度Tと定義し、これをK₁とプロットするとやや説明力に不十分な点は残るもののK₁=0.24T-0.13の関係が得られた。[図-4]

以上より推定されたパラメータを用いた停車間隔のモデル推定値と実測値とを比較すると、本モデルが概ね現状を再現していることがわかる。[図-5]

さらにこうして得られたゾーン走行計画サブモデルを、検証のため江東区に適用した結果、モデルが実用上は必要な精度を持つと考えることができた。

(4) エリア集配計画サブモデルの推定と検証

エリア集配計画サブモデルが導く最適行動下での車両サイズ及びゾーン数(式(5)、(6))におけるv₂、

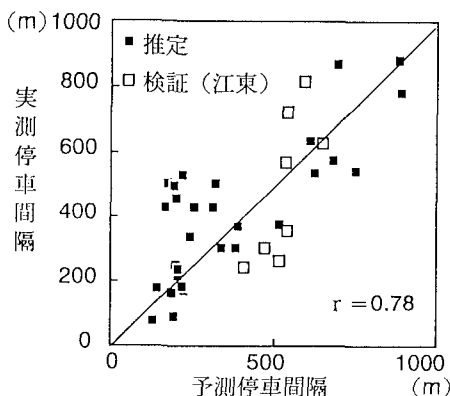


図-5 ゾーン走行計画サブモデルの適合性

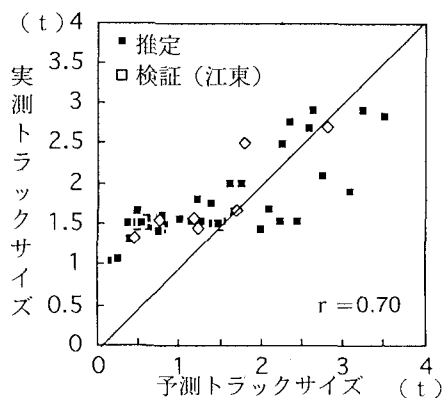


図-6 エリア集配計画サブモデル (I) の適合性

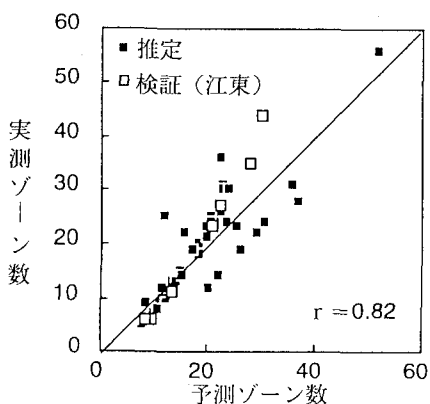


図-7 エリア集配計画サブモデル (II) の適合性

k_1 その他のパラメータがゾーン間で共通とすると、これらはまとめて、

$$L_1 = K_2 \cdot \sqrt[3]{D \cdot N \cdot \Delta d} \quad n = K_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{D \cdot N}{\Delta d^2}}$$

と表すことができる。モデルの推定には、江東区データ(6エリア)を除いた合計52エリアを用い、江東区データはモデルの検証用とする。データよりD, Nを算出し、 Δd についてはゾーン走行計画サブモデルを用い、各エリアの平均的な値を算出した。これと実際の L_1 , n をプロットすることにより同モデルの適合性の確認と総合パラメータ K_2 , K_3 の推定を行うことができる。(【図-6】【図-7】参照)トラックサイズが1.5t未満のところでは予測値は実測値に対して過小となっているが、これは1.5tのウォークスルータイプの規格車が多数導入されていることや、荷物の変動に対応できるよう少し大きめの車両を利用していることに起因していると考えられるが、実際には十分な適合度をもつものとみなすことができよう。以上より、エリア集配計画サブモデルの総合パラメータは、

$$K_2 = 0.0004 \quad [t / (m^{2/3} \cdot \text{個}^{1/3})]$$

$$K_3 = 0.766 \quad [m^{1/3} / \text{個}^{1/3}] \text{ となる。}$$

これらの方法で推定されたエリア集配計画サブモデルを検証のため江東区のデータに適用した結果、車両サイズ、ゾーン数とも概ね適合しており、実用上は十分といえる。

(5) リジョン区分計画サブモデルの推定と検証

リジョン区分計画サブモデルには、直行型とベース経由型の2種類ある。まず直行型が導く最適行動下では、式(12)において、 v_2 , k_1 などのパラメータが各エリアで共通とすると、これらはまとめて、

$$m = \sqrt{\frac{N_0 \cdot D_0}{K_4 \cdot L_1^2 \cdot n + K_6 \cdot L_1}} \quad \dots (15)$$

とおくことができる。同様に、ベース経由型が導く最適行動下では、式(10)において、 v_2 , k_1 などのパラメータが各エリアで共通とすると、これらはまとめて、

$$m = \sqrt{\frac{N_0 \cdot D_0}{K_6 \cdot L_1^2 \cdot n + K_7 \cdot L_1}} \quad \dots (16)$$

とおくことができる。モデルの推定には、東京23区西部5リジョンを除いた35リジョンを用い、23区西部5リジョンのデータはモデルの検証に使用する。データより N_0 , D_0 , L_1 , n を算出し、3.(5)c)に述べ

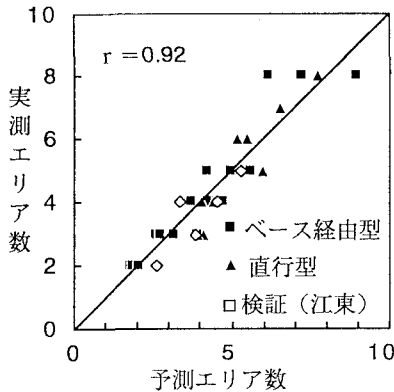


図-8 リジョン区分計画サブモデルの適合性

たベース経由型/直行型の選択行動とエリア数 m が決定されると考え、 m の誤差二乗和を最小化するようにパラメータ $K_4 \sim K_7$ を推定した。なお、このパラメータベクトルのもとにベース経由型と直行型の限界点を与える集配需要密度(N_0/D_0)は、 0.1 [個/m]となる。この結果、総合パラメータはそれぞれ、

$$K_4 = 0.278 \times 10^6 \text{ [個} \cdot \text{m/t]} \quad K_5 = 37.2 \times 10^6 \text{ [個} \cdot \text{m/t]}$$

$$K_6 = 0.785 \times 10^6 \text{ [個} \cdot \text{m/t]} \quad K_7 = 114 \times 10^6 \text{ [個} \cdot \text{m/t]}$$

と推定された。これを用い再現されたエリア数の推定値と実測値とを比較すると、本モデルが概ね現状を再現していることがわかる。[図-8]

以上のように推定されたリジョン区分計画サブモデルを、23区西部に適用した結果、エリア数はよく合致しており、実用上十分と考えることができる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、

- ①都市内物流に関連した諸施策の効果を予測・評価するための方法論として、都市内の積合せトラック物流における集配活動に着目し、経済合理性に基づく事業者とドライバーの行動を記述するマクロな集配輸送計画モデルを構築した。
- ②東京都市部において大規模な資料収集調査および集配活動実測調査を独自に実施し、モデルの推定を行いその適合性を確認した。
- ③推定されたモデルを江東地域に適用し、モデルの安定性・移転性を検証した。

本研究の実施により、当初の研究目的である集配

活動の総合的理解という点では一定の成果を得たものと考えているが、今後の課題としては、

- ①本モデルから出力される走行量、停車時間といった物流マーケット上の変数を地域全体での総時間損失や大気汚染といった社会的効果(影響)を表す出力につなげること。
 - ②各種の物流関連施策の施行有無・施行前後の事例にモデルを適用し、施策効果の評価への適用性を確認する。
 - ③各種施策の効果分析をさらに受益と負担の帰着分析に発展させ、公的セクターの介入根拠及びその妥当規模の検討を行う。
- などが挙げられる。

7. あとがき

本研究の実施に上、お名前はここでは上げられないが物流会社の方々には多大なる御協力を頂いた。また、東京商船大学高橋洋二教授、東北大学稲村肇教授、中央大学鹿島茂教授をはじめ土木学会物流ワークショップの方々には種々の示唆を頂いた。最後に実測調査にあたっては、当研究室のメンバーには非常に多くの労力を提供して頂いた。ここに深く感謝する次第である。

—参考文献—

- 1) D. Burns, W. Hall, E. Blumenfeld, and Daganzo: Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs, Operation Research Vol. 33, No. 3, pp467~490, May-June, 1985
- 2) Daganzo: Supplying a Single Location from Heterogeneous Sources, Trans. Res. Vol. 19B, No. 5, pp409~419, 1985
- 3) W. Hall: Determining Vehicle Dispatch when Shipping Frequency Differs among Suppliers, Trans. Res., Vol. 19B, No. 5, pp421~431, 1985
- 4) 松本: 都市内物流に関するロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフ, 土木学会論文集 第413号/IV-12, pp. 31~38, 1990.1
- 5) 家田, 佐野, 常山: 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, 1992