

# 都市内物流を行う事業所の貨物車台数及びサイズ決定行動モデル\*

—東京都市圏物流調査を用いた推定—

*Modeling of Consignor's Optimum Number/Size of Trucks in Urban Logistics.\**

内藤 智樹\*\*・家田 仁\*\*\*

By Satoki NAITO\*\*, Hitoshi IEDA\*\*\*

## 1. はじめに

近年東京圏や京阪神圏などの都市圏においては、物資流動量の伸びに比べ貨物車走行量の伸びが著しく大きい。こうした貨物車走行量の増大は、80年代後半からみられるようになった物流の多頻度小口化による影響が大きいと考えられ、大気汚染や道路交通渋滞の一因となっている。しかし現状では、物資流動量・貨物車走行量・配送頻度の3つの間の関係が把握されていないため、物流の多頻度化や道路交通渋滞に起因する自動車の走行速度の低下が都市圏全体の貨物車走行量に及ぼす影響が定量的に把握できない。

そこで本研究では、事業所の合理的行動を仮定した上で、物資流動量と貨物車走行量との関係を配送頻度や走行速度を考慮して定式化し、都市圏全体の物資流動量が与えられたとき都市圏全体での貨物車走行量を算定することができる「貨物車走行量予測モデル」を考案した。図-1にその全体構造を示す。

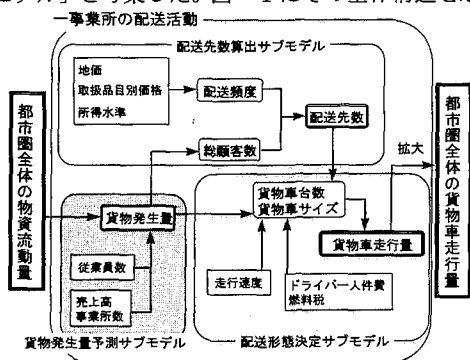


図-1 貨物車走行量予測モデルの全体構造

\*キーワード: 物資流動

\*\*学生員 東京大学大学院社会基盤工学専攻

\*\*\*正会員 工博 東京大学工学部土木工学科教授

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1 TEL:03-3812-2111

内線6119 FAX:03-5800-6868)

なお、本稿では「貨物車走行量予測モデル」のうち、事業所が貨物車の台数とサイズを決定する部分についての検討結果を紹介する。

## 2. 従来研究と本研究の位置付け

都市内物流に関して、事業所の最適な貨物車台数や貨物車サイズの決定行動問題を扱った最近の研究としては文献<sup>1)2)</sup>があげられる。これらはともに配送に関わる諸費用を最小化するような運行形態を求めるものであり、諸費用を定式化した上で実際に事業者に対し調査を実施し、その結果を用いてモデルの推定を行っている。筆者ら<sup>1)</sup>は、地区型共同集配送に着目し、集配エリアに導入する貨物車サイズとゾーン数(貨物車台数)を決定する行動モデルを構築しているが、共同集配送は対象とする集配エリアが小さくデータの収集も比較的容易であるものの、配送活動が特徴的であるため一般の事業所にこのモデルを適用することは難しい。また佐野<sup>2)</sup>は、東京圏内の食料品を取り扱う事業所を対象に行った詳細調査をもとに、事業所の費用と荷受け人の費用との和を最小化する貨物車台数・貨物車サイズ・配送頻度を決定するモデルを構築しているが、モデルが複雑であることやデータの入手が困難であることなどから、本研究の最終目的である都市圏全体での貨物車走行量の予測に用いることは難しい。

そこで本研究では、研究の最終目的を念頭におき、①業種を問わず一般の事業所に適用できること、②入手が容易なデータを変数とした実用性の高いものであること、この2つの条件を満たすモデルを構築する。

### 3. 貨物車台数及びサイズの決定行動モデル

#### (1) モデルの構造

本モデルの構造を図-2に示す。都市内物流を行う各事業所について、一日あたりの貨物発生量、配送先数、自動車の走行速度を入力変数とし、事業所の一あたりの配送に関わるコストを、使用する貨物車台数・サイズを変数として定式化する。このコストは資本費、運営費、顧客逸失リスクの3種類の和と定義する。そして、事業所は一あたりの配送に関わるコストが最小となるように自由に貨物車台数と貨物車サイズを決定するものと仮定する。

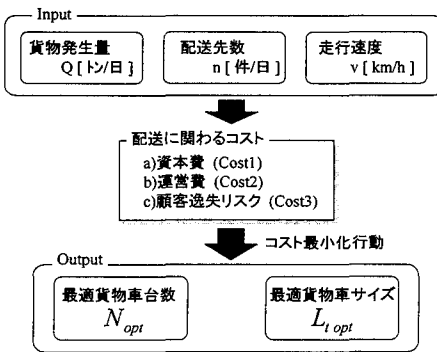


図-2 貨物車台数及びサイズの決定行動モデルの構造

#### (2) モデルの定式化

##### a) 資本費 (Cost1)

資本費は貨物車の購入や維持管理等に關わる費用である。筆者ら<sup>1)</sup>は資本費を貨物車台数と貨物車サイズの双方に比例するものとしていたが、本研究では貨物車台数には比例、貨物車サイズについてはその一次関数に比例するものとする。

$$Cost1 = a_1 N (b_1 L_t + b_2) \dots (1)$$

これは、現実的には資本費が貨物車サイズの増大に比例して増加するとは考えにくいためである。

##### b) 運営費 (Cost2)

運営費は貨物車の燃料費やドライバーの人

件費に代表されるコストで、事業所の一日の総配送時間（貨物の卸しにかかる時間を含む）に比例するものとする。事業所の総配送時間については、顧客はすべて均質であるとの仮定のもと、以下のようにして求める。

一台の貨物車が一日に事業所を出発する回数を  $F$  [回/日]、一台の貨物車が一回の巡回で配送する顧客数を  $n'$  [件/回] とするとこれらは

$$F = \frac{Q}{NL_t} \dots (2)$$

$$n' = \frac{n}{N} \cdot \frac{1}{F} = \frac{nL_t}{Q} \dots (3)$$

と表せる。

顧客間相互の距離を  $l$  [km] とすれば、一台の貨物車が一回の巡回配送で走行する距離は帰社トリップも含めると  $(n'+1)l$  とできる。

また、一配送先での貨物の卸しにかかる時間は一配送先あたりの貨物量に比例するとすると、一巡回での貨物の卸しにかかる時間の合計  $t_{unload}$  は、 $c_1$  を比例定数として、

$$t_{unload} = c_1 \cdot \frac{Q}{n} \cdot n' = c_1 L_t \dots (4)$$

と表せる。

式(2)~(4)より、事業所が一日の配送活動に費やす総配送時間は式(5)で表せる。

$$N \cdot F \cdot \left\{ (n'+1) \frac{l}{v} + c_1 L_t \right\} = \left( n + \frac{Q}{L_t} \right) \frac{l}{v} + c_1 Q \dots (5)$$

これにより、Cost2は

$$Cost2 = a_2 \left\{ \left( n + \frac{Q}{L_t} \right) \frac{l}{v} + c_1 Q \right\} \dots (6)$$

とできる。

##### c) 顧客逸失リスク (Cost3)

顧客逸失リスクとは事業所のサービス水準の低下が招く顧客逸失の可能性を事業所のコストの一種として取り入れたものである。本研究ではこれを、貨物車一台の一日の担当顧客数に比例し、貨物車の走行速度に反比例するものとする。これは、貨物車一台の担当顧客数の増加は一顧客に対するきめ細かなサービスを施しにくくなること、走行速度の低下は時間に対する不確実性を増加させ配送のリスクが増加

すること、この二点を考慮した結果である。

$$Cost3 = a_3 \frac{n}{Nv} \dots\dots(7)$$

### (3) 最適な貨物車台数、貨物車サイズの決定

式(1),(6),(7)より、事業所の一泊あたりの配送に関わるトータルコスト TC は

$$TC = a_1 N(b_1 L_i + b_2) + a_2 \left\{ \left( n + \frac{Q}{L_i} \right) \frac{l}{v} + c_1 Q \right\} + a_3 \frac{n}{Nv} \dots\dots(8)$$

となる。TC を最小化するような  $N$ 、 $L_i$  を求めるには  $\frac{\partial TC}{\partial N} = 0$ 、 $\frac{\partial TC}{\partial L_i} = 0$  の連立方程式を  $N$ 、 $L_i$  について解けばよい。すると最適貨物車台数  $N_{opt}$ 、最適貨物車サイズ  $L_{i opt}$  について次の関係式が得られる。

$$\frac{\sqrt{Qv}}{n} N_{opt}^{1.5} = k_1 \frac{v}{n} N_{opt}^2 + k_2 \dots\dots(9)$$

$$\frac{nv}{Q^2} L_{i opt}^4 = s_1 L_{i opt} + s_2 \dots\dots(10)$$

ただし、

$$k_1 = -\frac{\sqrt{a_1 b_2}}{\sqrt{a_2 b_1 l}} \quad k_2 = \frac{a_3}{\sqrt{a_1 a_2 b_1 l}} \dots\dots(11)$$

$$s_1 = \frac{a_2^2 l^2}{a_1 a_3 b_1} \quad s_2 = \frac{a_2^2 l^2 b_2}{a_1 a_3 b_1^2}$$

(顧客間相互の距離  $l$  についてはデータが得られないためパラメータの中に含めて取り扱った)

パラメータ  $k_1$ 、 $s_1$  と  $Q$ 、 $n$ 、 $v$  が与えられれば式(9)、(10)を解析的に解いて解を求めることが可能である。

## 4. モデルの推定

事業所の業種別に、式(9)、(10)における  $a_i$ 、 $b_i$  の複合パラメータ  $k_i$ 、 $s_i$  を重回帰分析により推定する。推定には昭和 57 年に行われた東京都市圏物流調査<sup>3)</sup>のデータを用いる。この調査は東京都市圏に立地する約 4 万の事業所に対して事業所特性、貨物車の行動特性、貨物流動特性を調べたものである。この調査によると東京都市圏に関する一日の物資流動量を

重量ベースで見ると都市圏「内→内」の流動が 53% であるのに対し、件数ベースでは 90% が都市圏「内→内」の流動である。

今回パラメータの推定を行った業種は、調査において都市圏「内→内」の荷動き件数の多かった 9 業種である。なお入力変数のうち貨物車の走行速度については昭和 58 年道路交通センサスによるピーク時旅行速度を用いた。図-3、図-4 に食料・飲料卸売業の場合の推定結果を示す。重相関係数はそれぞれ 0.95、0.69 となっており、概ね良好な結果といえる。

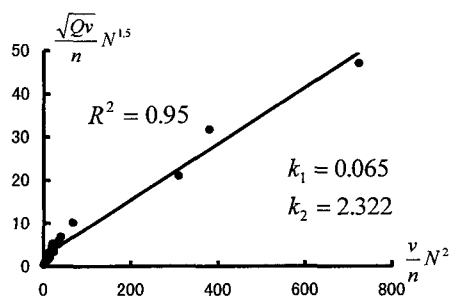


図-3 式(9)の推定結果(食料・飲料卸売業)

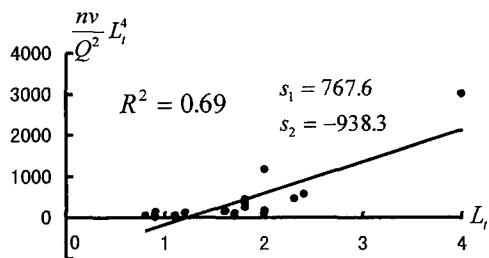


図-4 式(10)の推定結果(食料・飲料卸売業)

## 5. 考察

本研究で用いたものと同じデータを使って、従来研究<sup>1)</sup>と同じく、資本費のうち貨物車サイズに関する部分の定数項  $b_2$  を 0 として食料・飲料卸売業についてモデル推定を行った時の重相関係数はいずれも本研究の結果よりも小さく、貨物車台数、貨物車サイズの双方について精度は向上している。

また、9 業種についてそれぞれ推定した式(9)についてのパラメータ  $k_1$ 、 $k_2$  を標準偏差を用いて基準化

して平面上にプロットしたのが図-5である。式(11)の複合パラメータに関する関係式より、顧客間距離が業種を問わず一定と仮定すれば、 $k_1$ の値が大きい業種は配送に関わるコストのうち資本費のウェイトが高いもしくは運営費のウェイトが低い、 $k_2$ が大きい業種は顧客逸失リスクのウェイトが高いもしくは資本費、運営費のウェイトが低いといえることができる。

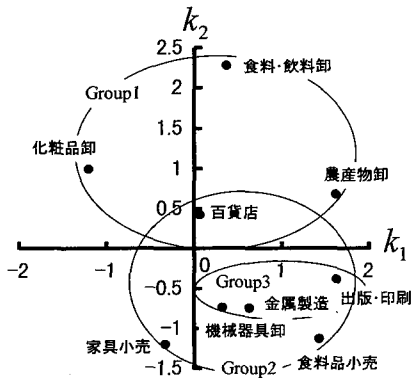


図-5 業種別の特徴

図-5をみると左右方向では、農産物卸売業や出版・印刷関連産業のように重量の大きい品目を扱う業種は右方向に、化粧品卸売業や家具小売業のように重量あたりの価格が高い品目を扱う業種は左方向に集まる傾向がみられる。また、上下方向でみると、図中に丸で囲った Group1 のような業種は、近年話題になっている物流の合理化の影響を受けやすいと同時に扱う品目の品質劣化速度が速いと予想され、事業所間の競争が激しい業種であると考えられる。これに対し、Group2 のように主として最終消費者に対し貨物を配送する業種や Group3 のように顧客がほぼ固定である業種は Group1 の業種に比べれば競争はそれほど激しくないと考えられる。そのため、上下方向についての図-5の結果は妥当であるといえる。

## 6. おわりに

本研究では都市圏全体での貨物車走行量を予測する全体モデルの一部として、事業所の顧客逸失リス

クを含めた費用最小化行動を仮定し、使用する貨物車の台数とサイズの決定行動を記述するモデルを構築した。本モデルの特徴は、事業所の配送に関わるコストを資本費、運営費、顧客逸失リスクの3種類に簡略化し、また入力変数にも比較的入手が容易なものを用いることにより操作性を高めた点である。さらに、東京都市圏物流調査のデータを用いてパラメータの推定を行った結果、モデルの妥当性が示されるとともに、業種の違いによる配送に関わるコストについてのウェイトの差異を把握した。

今後の研究の方向性として以下の点があげられる。

### [1] 配送に関わるコストの再検討

本研究では配送に関わるコストを3種類の費用を用いて表現したが、これはかなり粗い分類であるため、モデルの操作性は考慮しながらも文献調査や事業所へのインタビュー調査等を通じてこれらの費用構造を見直す必要がある。特に資本費については貨物車サイズのべき乗に比例させるといった見直しが必要である。また、品物の品質劣化費用といった新たに取り入れるべき費用の有無についても検討を要する。

### [2] 貨物の重量特性を考慮した分析

本研究では配送される貨物を重量のみを単位として扱ったが、特に貨物車サイズの決定には貨物の体積あたり重量も大きく影響していると考えられる。そのため貨物車サイズの決定要因を貨物の重量特性を含めて検討することも必要である。

## <参考文献>

- 1) 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, 1992. 11, pp. 247~254
- 2) 佐野可寸志「都市内物流における流動ロットと輸送頻度の決定メカニズム」, 東京大学学位論文, 1994. 3
- 3) 東京都市圏交通計画協議会「昭和58年度東京都市圏総合交通体系調査報告書・物資流動調査・現状把握編」, 1984. 3
- 4) 宮下正房, 中田信哉「物流の知識」, 日経文庫