
JOURNAL OF INFRASTRUCTURE PLANNING AND MANAGEMENT No. 548/IV-33 October 1996 CONTENTS

[Paper]

Papers (In Japanese)

- A Modal Split Model for Medium and Long Distance Freight Transportation
Taking into Account Commodity Price and Distribution Lots
.....*Hitoshi IEDA, Kazushi SANO and Shinji KOBAYASHI* 1
- Research Regarding the Calculation of Damping Constants in an Equation to
Forecast Railway Vibration
.....*Mitsuo YANAGISAWA* 11
- A Study on Optimizing Number of Berths in Truck Terminals
.....*Eiichi TANIGUCHI, Michihiko NORITAKE, Tadashi YAMADA*
and Toru IZUMITANI 23
- The Use Characteristics and the Discriminant Modeling of Downtown
on-Road Parking Facilities
.....*Eisuke DOGAKI* 35
- Study on Evaluation of a Route and Destination Guidance System for the
Visually Handicapped
.....*Koji NODA, Yukimasa MATSUMOTO, Hiroshi OGINO*
and Yuzuru KURIMOTO 45

Technical Report (In Japanese)

- A Study on the Application of the Environmental Impact Statements on City
Planning Roads
.....*Yuji TYOU, Hiroshi SUGIURA, Masahiro ENDO*
and Takao SUGIMOTO 55

Technical Note (In Japanese)

- The Effect of Purchase Amount of Downtown Shoppers on Their Parking
Time
.....*Naosuke IZUMI, Tomonori SUMI, Yosinao OHEDA*
and Hideaki NAKASIMA 65

[International Meetings]

- The 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory
.....*Satoshi FUJII and Toshiyuki YAMAMOTO* 71
-

投稿論文(和文)
PAPERS

商品価格と流動ロットに着目した 都市間貨物輸送機関分担モデル

家田 仁¹・佐野可寸志²・小林 伸司³

¹正会員 工博 東京大学教授 土木工学科 (〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 工博 長岡技術科学大学助教授 建設系 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

³正会員 工修 清水建設株式会社 土木本部設計第二部 (〒105-07 東京都港区芝浦1-2-3)

トラックの増加による環境破壊や交通渋滞等の問題を背景としたモーダルシフト等の各種政策効果の予測及び評価への応用を開発目的として、品類別の都市間貨物輸送機関分担モデルを構築した。本モデルは、現在のところ最も系統的な貨物輸送データといえる全国貨物純流動調査をベースとして、流動ロットサイズの決定過程と商品価格の影響を明示的に取り込んだ品類別の機関分担モデルである。今回は、1985年のデータを対象としてパラメータの推定を行い、モデルの基本的な特性を明らかにした。

Key Words : freight transport, modal split, distribution lot size

1. はじめに

産業構造の変化や利用者ニーズの多様化に伴い、トラックの持つ利便性や機動性から、端末輸送のみならず幹線輸送においても、トラック輸送への依存が年々増加している。しかし、トラック台数の増加とともに、環境破壊、交通渋滞、運転手不足といった問題も顕在化しており、都市部・都市間ともに物流のあり方について幅広い関心を呼んでいる。

都市間輸送については、コンテナ列間の長大化、ピギーバック輸送など既存施設の効率運用施策と同時に、テクノスーパーライナーや高速道路に併設する物流システムなど、新たな幹線系物流システムの開発も進んでいる。そこで、本研究では、これらの施策の効果の予測、及び評価への応用を念頭において、商品価格と流動ロットに着目した都市間貨物輸送機関分担モデルを構築した。

貨物輸送は、複雑な流通過程の一部であること、取り扱う物品が多様であること、運送業務に種々の理由から公的規制が加えられていることなどの理由からその分析の困難性が主張されることが少なくない。一方、旅客輸送にしても嗜好の違いや場合差により、ある程度の一見合理的でない行動が観察されるが、通常はこれらを確率的誤差として扱い、合理的行動を前提としたモデルにより説明あるいは予測されることが多い。貨物の場合、基本的にはそれが

企業の経済活動の一環として行われているので、合理的意志決定及び行動を前提とした扱いはむしろ旅客輸送よりも適切であると考えられる。問題は、第一には物品の多様性をどのように扱うべきか、第二には合理的行動にどこまでの要素を取り込むべきかという二点にあると考えられる。

第一の点については素朴には品目の違いに集約され、各種の品目毎に分析するという方法が対応策として考えられるが、計画者が得られる物流関連のデータが現実問題として大幅に限定されていることを考えると、有効な定量分析を行う上では必ずから限界がある。品目の違いをさらに分析すれば、価格、密度、流動ロットサイズといった品目を超えた共通の数量的表現形態によりその多様性を表現できる可能性の高い要素と、荷姿、生鮮度への依存性（価格の時間減性）、流通形態の違いなど数量的表現が難しく、ある程度の類似の品目群として分離した扱いが必要と考えられる部分とがある。

第二の点は分析モデルというものが、本来その使用目的に応じた精度や解像度への要求に対応して現実の現象を部分的に再現するに過ぎないものであることを考えれば、内生化するべき要素がアブリアリに決まっているものではなく、様々の試行を経て経験的に確立されていくべきものであると考えられる。

本研究ではこうした考え方にに基づき、種々の問題点はあるものの現状では最も系統的な貨物輸送デー

タといえる、全国貨物純流動調査を対象として、品類区分による必要最小限の個別分離的な取り扱いと同時に、品類内での商品価格の分布を内生的に導入し、物品の多様性を表現する。さらに、物流上重要な役割を演じる流動ロットサイズの決定過程を機関分担モデルに明示的に取り込むことにより、取り扱いの簡便な地域間貨物流動の機関分担モデルの構築を試みる。

2. 既往の研究と本研究の特徴

物流においては、貨物によって品目、商品価格、流動ロットサイズが大きく異なり、これらの違いを直接モデルに取り込むことは、詳細なデータが非常に多く必要となり、実用上不可能であることが多い。しかし、これらの貨物の要素は機関選択に大きな影響を与えているため、それを無視すると、経済理論上の整合性を失った、精度の低いモデルとなる可能性が高い。

貨物輸送の機関分担や選択モデルに関しては、現在までに次のような研究が行われているが、①機関分担や選択対象が限定されている②普遍性の高いデータを使用していない③品目が限られている④経済理論に非整合といった欠点も持ち合わせている。

岡¹⁾は、時間価値という概念を用い、経済理論に整合的なモデルを構築しようとしているが、2機関の選択である、品目が限られている、流動ロットが考慮されていないモデルである。鹿島・森川²⁾、渡辺・定井³⁾の研究は都市内の営業用、自家用トラックの選択、林⁴⁾の研究は海運と陸運の選択に限られている。Murthy等⁵⁾は、鉄道とトラックの2機関を対象に、集計ロジットモデルを適用しているが、経済理論に整合したものにはなっていない。藤野・小池⁶⁾は全国規模の機関分担モデルを構築しているが、輸送距離、輸送時間とその信頼性のみを説明変数として、品目の違いが考慮されていないことが問題点である。要藤・鹿島⁷⁾は実用性の高い全国貨物純流動調査をデータに取り入れており、説明変数として輸送時間と運賃に加えて流動ロットサイズを用いている点で評価できるが、品目ごとの回帰分析型のモデルであるため経済理論上の整合性がなく、品目によっては高い説明力が得られていない。Chiang等⁸⁾は、短距離の貨物輸送に流動ロットサイズと輸送機関を同時に決定する多項ロジットモデルを提案しているが、流動ロットサイズが離散的な選択肢として表現されていることと、説明変数が22にも及ぶといった実用面での課題が残されている。

Adbelwahab等⁹⁾は流動ロットサイズと輸送機関選

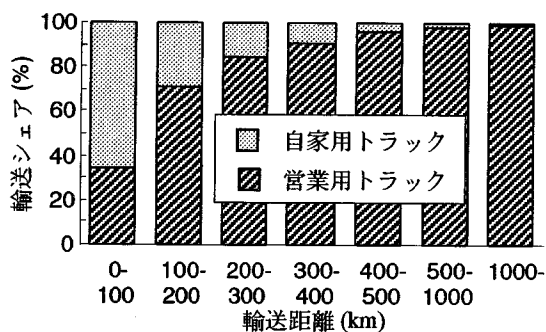


図-1 輸送距離帯別貨物自動車シェア

択を2段階のモデルとして定式化しているが、説明変数が多く、上述のモデルと同様の課題を持っている。

現在までの貨物流動予測の最大の障害は、品目によって商品価格・流動ロットサイズなどの主要な特性が全く異なることであった。本研究では流動ロットに着目することにより、貨物の基本単位を明確にし、貨物の特性の分布を変数として内生化した物流理論を構築する。以下に、本モデルの特徴を対象機関、取り扱い品目、荷送人行動のモデル化、使用データに関して述べる。

都市間貨物輸送の機関としては、自動車（営業用トラック、自家用トラック）、鉄道、内航海運、航空といったものが挙げられる。都市間トラック輸送の場合、営業車の占める割合は90%以上であり、航空の分担率はトンキロベースでも0.1%不足であること考慮して、本研究の機関分担モデルは営業用トラック、鉄道、海運の3機関を対象として取り扱う。（図-1）

本モデルは、すべての品目を扱うものとするが、55品目に及ぶ商品分類を全国貨物純流動調査と同じ8品類に分類し、各品類毎に機関別県間輸送量を推定する。貯蔵性、荷姿特性といった現実には品目毎に違う性質も、各品類ごとに一定であると考え、在庫費用、時間損失費用は、各品目の商品価格に比例するものとし、各品目の違いを明示的に取り扱う。

上記の範囲を対象に、既存の在庫理論に基づき、荷送人の利潤最大化行動を集計ロジットモデルを用いて記述した。各荷送人は、各品目の商品価格を勘案し、在庫費用と輸送費用と機会損失等の費用が最小となるように、流動ロットサイズと輸送機関を決定するものとした。その際、荷送人には認知誤差があると考え、決定論的手法ではなく、確率項を含む効用関数を使用した。

モデルの推定方法としては、商品価格の分布を仮

定し、観測された機関分担率や流動ロットサイズの分布を最も良く再現するものを逆算することによって、価格の分布や在庫費用のパラメータを推定した。また、本モデルは、商品価格と流動ロットサイズを内生的に取り扱ったために、外生的には容易に入手が可能な全国貨物純流動調査と貨物輸送運賃のデータのみを使用すれば、モデルのパラメータ推定をおこなうことが可能であり、非常に実用的であると考えられる。

3. 都市間貨物輸送機関分担モデルの構成

(1) 流動ロットサイズ、価格分布

流動ロットサイズとは一回の取引で、発地着地間で運搬される物品の量で、トラック数台分まとめて運搬する場合など単一の流動ロットとしてカウントされる。

さて、多数の物品が複数の品類に大区別され、今その内のある品類の輸送を検討することとする。当該品類の中でも物品は多様なものが含まれ、その単位重量あたりの価格 p は確率密度関数 $\phi_p(p)$ に従っているものとする。品類内での物品の多様性はこの単位重量価格 p により代表されるものとする。物資流動の起終点を複数のゾーンに区分し、 r ゾーン発 s ゾーン着の当該品類の貨物流動量を Q_{rs} とする。今、発ゾーン r の代表的荷送人が単位重量価格 p の物品を着ゾーン s の荷受人まで、流動ロットサイズ L 、代表交通機関 i で輸送することを考える。 p の近傍に価格が存在する物品の流動量 q_s は価格の確率密度関数により、

$$q_s = \phi_p(p) \cdot Q_{rs} \cdot dp \quad (1)$$

となる。この代表的荷送人の着ゾーン s 宛取り扱い流動量は流動量 q_s に比例するものとする。これは、当該品類の取り扱い荷送人の事業規模が一定で、特定の荷受人と専属契約関係にないことを意味する。以下簡単のため記号 r, s を省略する。

(2) 在庫費用

一定期間の流動量 q を流動ロットサイズ L で輸送すると、発送周期は L/q （発送頻度 q/L ）となる。当該期間の荷送人および荷受人の在庫費用は在庫設備関連費用と在庫品管理費用とが考えられる。

前者は、最大在庫量と財の保管に必要な設備のグレードに依存すると考えられるが、最大在庫量が流動ロットサイズ L に比例し、設備のグレードが財の価格 p に比例すると考えると $p \cdot L$ に比例するものと考えられる。後者は、延べ在庫時間 \times 在庫量（これは図-2中の斜線部面積に該当するがこれは流動ロット

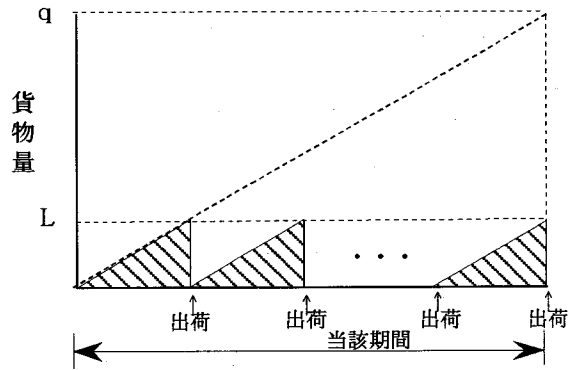


図-2 当該期間における在庫量の推移

サイズ L に比例する)と財の管理に必要な作業のグレードに依存すると考えられるが、前者と同様に結局 $p \cdot L$ に比例するものと考えられる。そこで、一定期間中の在庫費用 $C_s(L)$ を

$$C_s(L) = s \cdot p \cdot L \quad (s: \text{比例定数}) \quad (2)$$

とおく。

(3) 輸送費用

輸送に係わる費用は、端末取り扱い費用と運行費用（これらの直接的な負担者は、営業輸送業者の場合と、荷送人の場合があるが、最終的にはすべて荷送人が負担することとなる）とがある。1回の発送あたりの端末取り扱い費用は、流動ロットサイズ L に比例するものと考えられる。1回あたりの運行費用は、主として輸送距離 d_i に比例すると考えられる。人件費や高速道路通行料、輸送距離と重量の積に比例すると考えられる燃料費などが考えられる。代表交通機関 i を前提にした一回発送あたりの輸送費用 $C_m(L, i)$ を

$$C_m(L, i) = t_{1i} \cdot L + t_{2i} \cdot d_i + t_{3i} \cdot d_i \cdot L \quad (3)$$

(t_{1i}, t_{2i}, t_{3i} : 比例定数)

とおく。

(4) 貨物輸送における荷主の時間評価額

貨物輸送における輸送時間の経済的(不)効果は、①物品の生産または購入に費やされた資金の輸送時間中における機会費用、リードタイムに相当する輸送時間中の商品需要見込みの変化に伴うリスク費用：需要の過大見込みの場合は在庫費用増大、過小見込みの場合には可能な利潤の逸失、物品の価値が時間遞減的な場合の逸失利潤、などの要素があげられ、各要素とも商品価格に比例するものと考えられる。それらは、必ずしも輸送時間に比例するものとはみなせないが、ここでは簡単のため、物品の単位重量あたりの輸送時間評価額が輸送時間と単位重

量あたり価格 p に比例するものとする。したがって、代表交通機関 i の輸送時間を T_i とすると1回の発送あたりの輸送時間に相当する損失 $C_i(L|i)$ は、

$$C_i(L|i) = w \cdot p \cdot T_i \cdot L \quad (w: \text{比例定数}) \quad (4)$$
 となる。

(5) 流動ロットサイズの決定過程

以上により、荷主にとっての一定期間中の総費用 $V(L|i)$ は、

$$V(L|i) = C_s(L) + \{C_m(L|i) + C_i(L|i)\} \cdot (q/L) \\ = s \cdot p \cdot L + t_{2i} \cdot d_i \cdot q/L + (t_{1i} + t_{3i} \cdot d_i + w \cdot p \cdot T_i) \cdot q \quad (5)$$

となる。

荷送人及び荷受人は財の市場における競争力追求のため、中間費用を抑えるように協議の上、流動ロットサイズを決定するものと考えられる。そこで総費用 $V(L|i)$ を代表交通機関 i の条件付きで L について最小化しようとする式(5)を微分することにより、最適な流動ロットサイズ $L_i^*(p)$ が、

$$L_i^*(p) = \sqrt{q \cdot t_{2i} \cdot d_i / (s \cdot p)} \quad (6)$$

と決定される。これより流動ロットサイズは低価格の財が長距離輸送で流動量の多い場合に拡大することがわかる。流動ロットサイズが最適化される代表交通機関 i の場合の最小総費用 $V^*(i|p)$ は、

$$V^*(i|p) = V(L_i^*(p)|i) \quad (7)$$

と求められる。

なお、上記のように交通機関別に最適な流動ロットサイズが決定されると考えるべきであるが、使用データの精度の影響から、計算結果は3機関同一の流動ロットサイズとして計算した場合と、ほとんど結果においては差が見られなかった。そこで次章のモデルの推定では、計算量を減ずるために3機関同一の流動ロットサイズとして計算を行う。

(6) 交通機関選択率

荷送人が流動ロットサイズが最適化された最小総費用 $V^*(i)$ の大小によって代表交通機関を選択するものとする、上式に交通機関に共通な極値分布による確率的変動項を加法的に仮定すると集計ロジットモデルが適用可能である。当該品類の内、単位重量あたりの価格が p の物品群の代表交通機関 i の選択率は、

$$\text{prob}(i|p) = \exp(\lambda \cdot V^*(i|p)) / \sum_j \exp(\lambda \cdot V^*(j|p)) \\ (\lambda: \text{確率項のパラメータ}) \quad (8)$$

となる。よって、当該品類全体での代表交通機関 i の選択率 $\text{prob}(i)$ は、

$$\text{prob}(i) = \int \phi_p(p) \cdot \text{prob}(i|p) \cdot dp \quad (9)$$

また、当該品類全体での流動ロットサイズ L の重量確率分布関数 $\Phi(L)$ は、

$$\Phi(L) = \{ \sum_{r,s} Q_{rs} \int \phi_p(p) \cdot \text{prob}(i|p) \cdot dp \} / \sum_{r,s} Q_{rs} \\ \text{for } \forall p, i \text{ s.t. } L_i^*(p) \leq L \quad (10)$$

と求められる。

4. モデルの適用と推定

(1) 全国貨物純流動調査への適用

前章で構築したモデルを、昭和60年の全国貨物純流動調査に適用しパラメータ推定を行う。ここでは、流動ロットサイズはすべての輸送機関で共通とし、すべての輸送機関の輸送費用、在庫費用と時間費用の和が最小となるように決定されるものとする。そこで、当該品類の都道府県間流動量 Q の貨物のうち、輸送機関 i による流動量を Q_i とすると、単位重量価格 p の商品の流動量 q のうち、輸送機関 i による流動量 q_i は、

$$q_i = \phi_p(p) \cdot Q_i \cdot dp \quad (11)$$

と表される。式(2)(3)(4)(5)より、商品価格 p 、流動量 q の貨物にかかる総費用 V は、

$$V = C_s + \sum (C_m + C_i) \cdot q/L \\ = s \cdot p \cdot L + \sum \{ (t_{1i} + t_{3i} \cdot d_i + w \cdot p \cdot T_i) \cdot q_i + (t_{2i} \cdot d_i \cdot q_i / L) \} \quad (12)$$

これを L で微分することにより、最適な流動ロットサイズ L_0 が、

$$L_0 = \sqrt{\sum t_{2i} \cdot d_i \cdot q_i / (s \cdot p)} \quad (13)$$

と決定される。

次に、この L_0 をもとに、改めて当該品類の輸送機関 i による流動量 Q_i' を導く。商品価格 p の貨物を輸送機関 i により q_i 輸送する場合の、確率的誤差項を含めた総費用 U_i は、式(5)をもとに、以下のように表される。

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \\ = \theta_1 \cdot C_m + \theta_2 \cdot C_i + \theta_3 \cdot X_i + \varepsilon_i \\ = \theta_1 \cdot (t_{1i} \cdot L_0 + t_{2i} \cdot d_i + t_{3i} \cdot L_0 \cdot d_i) \cdot (q_i / L_0) \\ + \theta_2 \cdot p \cdot T_i \cdot q_i + \theta_3 \cdot X_i + \varepsilon_i \quad (14)$$

ただし、ここで C_s は、すべての輸送機関で等しいため、 U_i より除いている。戸口間輸送が可能で機動的なトラックと、必ず積み替えがともなうそれ以外の輸送機関との差別化のため、トラックの選択肢固有ダミー変数 X_i (トラックのみ $X_i=1$, それ以外は $X_i=0$)を取り入れる。なお、 $\theta_2 \cdot w$ を新しく θ_2 とおき直している。

集計ロジットモデルの適用により、商品価格 p 、流動量 q の貨物の、輸送機関 i の選択率 P_{ip} は、

$$P_{ip} = \frac{\exp(V_i)}{\sum_j \exp(V_j)} \quad (15)$$

と決定される。したがって、当該品類全体での輸送機関 i の選択率 P_i は、

$$P_i = \int \phi_p(p) \cdot P_{ip} \cdot \phi_p \quad (16)$$

輸送機関*i*による流動量 Q_i は、

$$Q_i = Q \cdot P_i \quad (17)$$

と推定される。

(2) 使用データの修正

a) 全国貨物純流動調査データ

全国貨物純流動調査は、全国的な貨物流動の実態把握を目的として、昭和45年度以降5年おきに運輸省により実施されている調査である。その特徴は、貨物の出発点から到着点までを一区切りの流動として捉えることにあり、貨物の真の発着地、真の流動量、流動ロットサイズなどが明らかになることである。調査は年間の出入荷量および輸送傾向を把握する年間調査と、貨物の流動を詳細に把握する3日間調査からなり、モデルの推定にあたっては、出荷1件ごとに品目、発着地、重量、利用輸送機関、所要時間などを調査した3日間調査(昭和60年度)データを使用する。具体的には、①都道府県間流動量(代表輸送機関・品類別)－重量－、②都道府県間物流時間(代表輸送機関別)、③品類品目・流動ロットサイズ階層別流動量(代表輸送機関別)－件数－を使用するが、①、②については、調査期間がわずか3日間と限られているために、期間中に偶然発生したと考えられる流動や、明らかに調査票への記入ミスと考えられるデータが多く、③については、そのままの形ではモデル推定に使用できないため、修正して用いることにした。各データの修正方法を以下に述べる。

【都道府県間流動量】

各品類毎に対象とする輸送機関のシェア合計が90%未満のODペア、各品類毎に合計流動量が100トン未満のデータは対象外とした。

【営業用トラックの物流時間 (T_e)】

調査3日間に流動のなかった都道府県間ペアには物流時間のデータが存在しない。そこで、 T_e のデータがないペアはモデル推定より削除した。また、極端に速度の遅いデータは信頼性が低いと考え削除した。

【鉄道の物流時間 (T_r)】

鉄道の物流時間は距離に対し、ばらつきが大きいいため、そのままモデル推定には使用せず、図-3のように、鉄道の物流時間は営業用トラックの物流時間と正の相関があることを利用し、 $T_r = T_e + 20(\text{hours})$ と修正した。

【海運の物流時間 (T_k)】

海運のデータのなかには、調査3日間に流動がなく物流時間のデータの存在しないペアが多く、これ

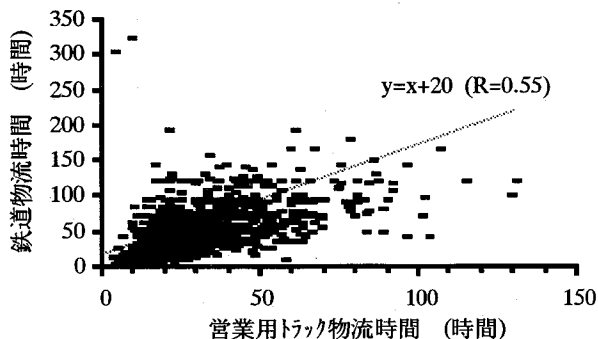


図-3 営業用トラックと鉄道の物流時間

らをすべて削除するわけにはいかない。そこで、 T_k のデータがないものは、 T_k のデータが存在するペアを用いて、輸送距離の1次関数として補正した。

また、データのなかには他の輸送機関と比較して物流時間が短すぎるものがある。これは、集荷、配達時間(端末時間)を物流時間から除いて記入したことが原因として考えられる。そこで、 $T_k < T_r$ のデータは記入ミスと考え、端末時間を30時間とし、 $T_k = T_r + 30(\text{hours})$ とした。

【流動ロットサイズ】

品類品目・流動ロットサイズ階層別流動量一件数は輸送機関別にまとめられている。そこで、鉄道、営業用トラック、海運の3機関を合計して、品類別の流動ロットサイズ階層別流動量(3機関合計)を求めた。

b) 輸送運賃

可能であれば、純流調査データのみからすべてのパラメータを推定することが望ましいが、今回の研究では、輸送費用に関するパラメータは内生化されておらず、その値は昭和60年の運賃をもとに外生的に与える。まず、営業用トラックについては、全体のトンキロの95%以上を占める区域トラックの運賃として関東運輸局認可の運賃表¹⁰⁾から、運賃、重量、距離の関係を重回帰分析によりパラメータを推定した(表-1)。鉄道については、昭和60年当時の国鉄車扱貨物運賃¹¹⁾と、端末の集荷、配送およびターミナルコストからなる通運料金の和を用いた。通運料金については、全国の貨物駅の総数から端末距離の平均が、10~20km区間にあると考え、国鉄貨物の通運料金を用いた。海運については、自由運賃制であるため厳密な運賃表が存在せず、タンカー運賃のみがまとめられている。貨物船の平均運賃がタンカー運賃の約2倍であることから、海運の運賃にタンカー運賃の2倍とした。海運の通運料金については、全国の貨物港の総数から端末距離の平均が

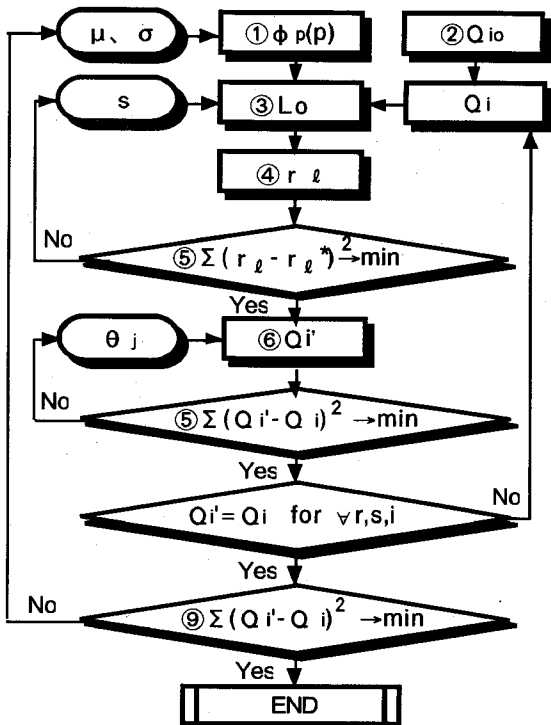


図-4 パラメータの推定方法

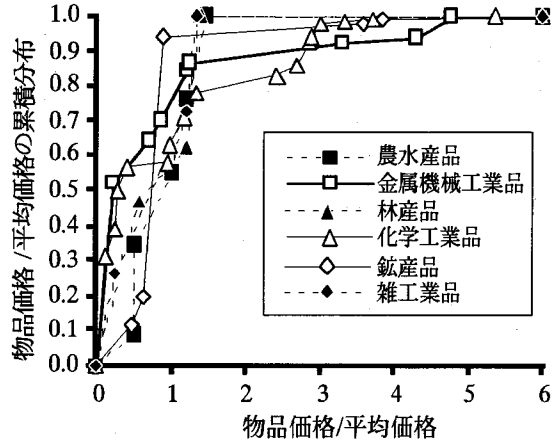


図-5 物品価格の分布

表-1 輸送費用に関するパラメータ

輸送機関	i	t _{1i} ¥/t	t _{2i} ¥/km	t _{3i} ¥/t・km
鉄道	1	4,712.51	17.28	7.99
営業用貨物車	2	3,406.57	74.81	7.95
海運	3	4,367.05	10.90	1.21

表-2 パラメータ推定結果 (1)

品 類	e ¥/t	v (¥/t) ²	μ ¥/t	σ (¥/t) ²	s	θ ₁	θ ₂	θ ₃	R _L	R _c
農水産品	9.9e+06	2.4e+13	1.6e+01	4.7e-01	3.0e-01	6.2e-06	2.0e-09	2.5	0.85	0.90
林産品	1.3e+04	7.1e+08	8.6e+00	1.3e+00	5.9e-03	-1.3e-06	1.0e-08	3.8	0.83	0.92
鉱産品	3.3e+09	2.4e+08	1.5e+01	4.7e-03	2.4e-04	-8.1e-06	4.5e-10	1.9	0.58	0.96
金属機械工業品	3.3e+09	2.8e+22	1.8e+01	2.8e+00	2.9e-03	-2.8e-05	1.9e-11	2.7	0.95	0.91
化学工業品	5.5e+13	4.5e+30	2.8e+01	2.7e+00	1.0e-08	-1.0e-05	3.5e-16	1.2	0.81	0.81
軽工業品	1.6e+06	3.0e+13	1.3e+01	1.6e+00	6.1e+00	-2.4e-05	1.4e-08	3.4	0.85	0.91
雑工業品	5.5e+08	2.6e+18	1.9e+01	1.5e+00	1.7e-02	-3.3e-05	-8.2e-11	5.0	0.99	0.99
特殊品	4.4e+05	9.6e+04	1.3e+01	7.0e-03	3.5e-01	-2.8e-05	3.8e-08	4.0	0.60	0.81

10~20km区間にあると考え、国鉄貨物の通運料金を用いた。

c) 県間距離

県間距離は各輸送機関ごとに設定し、各都道府県庁所在地間の各輸送機関の使用経路を用いた。

(3) モデル推定法

パラメータ μ, σ, s, θ₁, θ₂, θ₃の推定方法を以下にまとめる。

①当該品類の単位重量あたりの商品価格pの分布 φ_p(p)が、対数正規分布に従う時、φ_p(ln(p))は、正規分布N(μ, σ²)に従う。商品価格の分布に関するパラメータ μ, σと、在庫費用に関するパラメータ sを仮定する。

②輸送機関iによるr, s間流動量Q_iに初期値Q₁₀を与える。

③価格pのr, s間の貨物の流動ロットサイズL₀が、式(13)により決定される。

④本来ならば③で求めた流動ロットサイズをpの分布で積分し、各ODごとに足しあわせると流動ロットサイズの分布が求められるが、今回はデータの制約から、L₀が階層ℓに属するケースが発現する確率r_ℓを次式により求める。(L₀の分布状況は、図-8,9を参照)

$$r_{\ell} = \frac{\sum_{r,s} (q/L_0)/F}{\sum_{r,s} (q/L_0)} \quad \text{for } \forall L_0 \in \text{階層 } \ell \quad (18)$$

ここで、F = Σ(q/L₀) : 総件数

⑤④で求めた発現確率r_ℓと実測値の残差が最小になるようなパラメータ sを推定する。

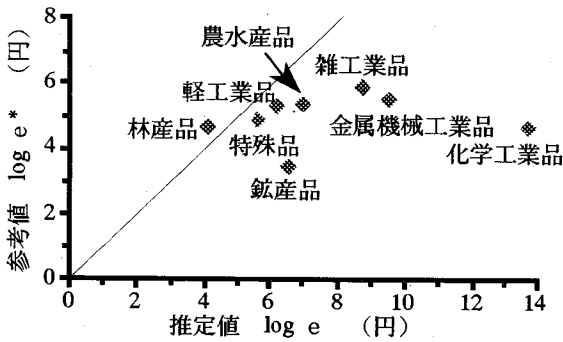


図-6 平均価格の推定値と参考値の関係

表-3 平均価格と在庫費用

品 類	平均価格(¥/t)	在庫費用(¥/期)
農水産品	243,500	1,499
林産品	44,100	1,167
鉱産品	3,100	1,228
金属機械工業品	337,400	1,507
化学工業品	46,400	1,889
軽工業品	225,200	1,747
雑工業品	818,700	1,811
特殊品	80,400	1,691

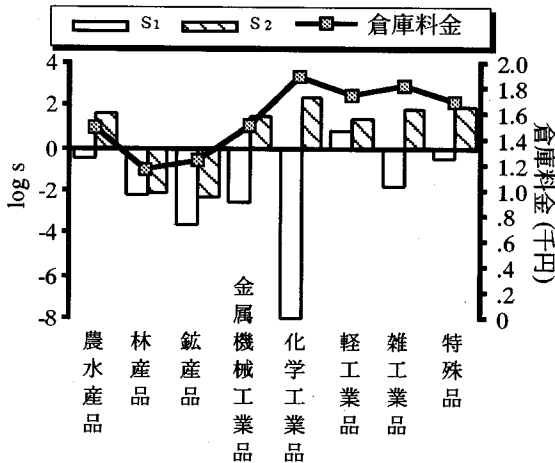


図-7 在庫に関するパラメータと倉庫料金

推定された各パラメータ値について考察を加える。平均価格 e については、運輸経済研究センターにおいて、純流調査と同じ品類区分により、昭和59年度の各品目の出荷量を金額で表示することが試みられている¹³⁾(ただし、特殊品については品目が少し異なる)。これを品類別にまとめると、各品類の平均価格 e^* は表-3のように、また各品類内の品目の価格分布は図-5のようになる。 e^* に比べ、モデルで得られた平均価格 e の値は、全体的に大きめの値となっている。特に、化学工業品、金属機械工業品については、大きくかけ離れた値となっているが、これらを除けば、 e と e^* とは、正の相関がある(図-6)。

分散 v については、 σ で判断すると、実際は品類内で価格の分散が小さいと考えられる農水産品、また、価格の分散が大きいと考えられる金属機械工業品、化学工業品については、推定された σ の値は、現実と適合している(表-2)。しかし、分散は小さいと考えられる林産品、雑工業品について、やや大きめに、逆に分散が大きいと考えられる鉱産品は小さく推定されていることに疑問が残る。

在庫費用の比例定数 s については、取り扱いが雑でよく在庫の形態にも気を使う必要のない林産品、鉱産品は低く、逆に金属機械工業品、化学工業品、軽工業品については高いと考えられる。これらを営業用普通倉庫料金と比較すると、各品類の代表的品目の倉庫料金は表-3のようになるが、得られたパラメータの値とは整合しない(図-7)。

また、 θ_1 は運賃、 θ_2 は時間に関するパラメータで、両方とも負となることが前提となるパラメータであるが、推定された値は θ_2 については、雑工業品を除いた全品類で正という結果となっている。 θ_3 はトラックの運賃、時間以外の有利性を示すパラメータである。戸口間一貫輸送ができる、荷造りが容易であるというトラック輸送の特性を反映し、全品類で正となっていることは、十分納得できる結

⑥輸送機関 i による r, s 間流動量 Q_i^r が式(17)により決定される。

⑦⑥で求めた各輸送機関別OD別の流動量と実測値の残差が最小になるような、パラメータ $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ を推定する。

⑧次式が成立すれば⑨へ、そうでなければ、 $Q_i^r=Q_i^s$ として③へ。

$$Q_i^r=Q_i^s \quad \text{for } \forall r, s, i \quad (19)$$

⑨各輸送機関別OD別の流動量の実測値と推定値の残差の総和が最小になるようにパラメータ μ, σ を再推定するが、改善の余地が無い場合は終了する。

以上の流れを図-4に示す。

5. モデルの推定結果および考察

パラメータの推定結果を表-1, 2に示す。なお、商品価格の平均値 e 、分散 v は、前述の商品価格の分布に関するパラメータ μ, σ を用いると、次式により計算される¹²⁾。

$$e = \exp(\mu + \sigma^2/2) \quad (20)$$

$$v = \exp(2\mu + \sigma^2) \cdot (\exp(\sigma^2) - 1) \quad (21)$$

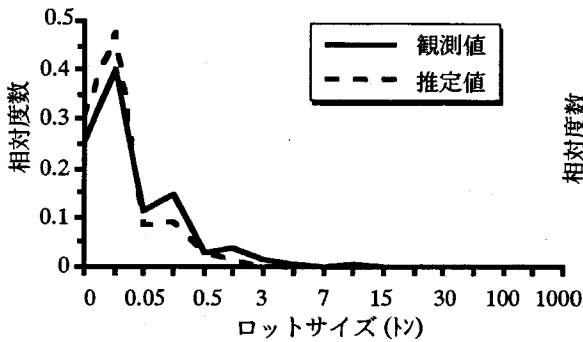


図-8 流動ロットサイズの分布(雑工業品)

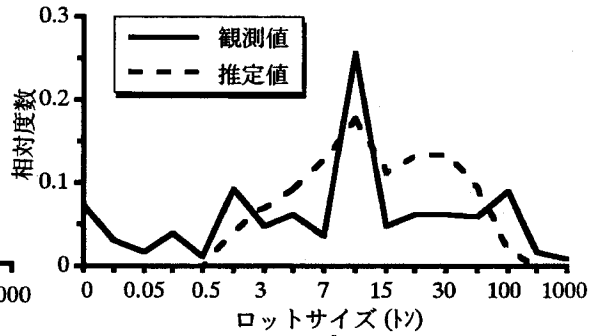


図-9 流動ロットサイズの分布(鉱産品)

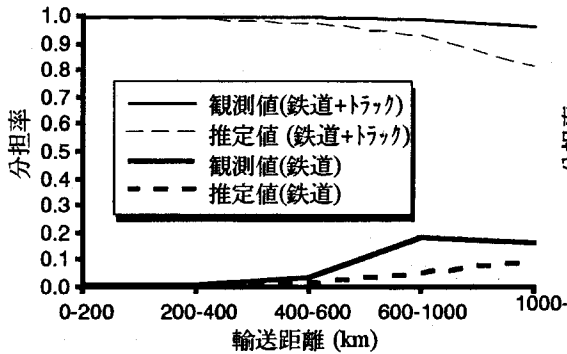


図-10@ 輸送距離帯別機関分担率(雑工業品)

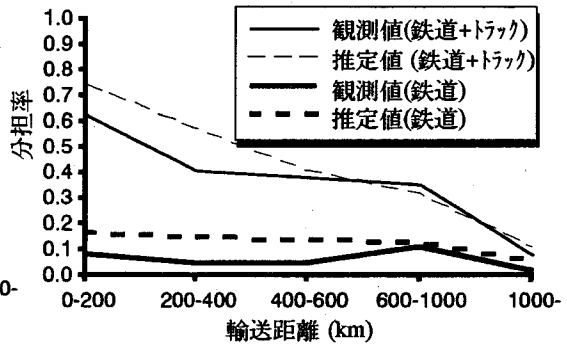


図-11 輸送距離帯別機関分担率(鉱産品)

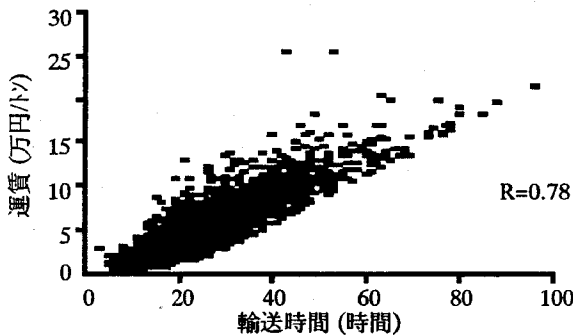


図-12 輸送時間と営業用トラック料金

果である。

推定されたパラメータを用いて再現された流動ロットサイズ分布、輸送機関分担の適合性を示すグラフのなかで最も相関が良かった雑工業品と悪かった鉱産品の結果を図-8～図-11に示す。これによると、モデルの再現性としては十分な結果が得られ、機関分担モデルを構築するという目的は一応達成したといえる。

これらの問題点をまとめると以下ようになる。

- ①平均価格 e の値が過大評価されている。
- ②価格の分散 v の値が一部非現実的である。
- ③在庫費用の比例定数 s の値が非現実的である。
- ④時間に関するパラメータ θ_2 の値が正である。

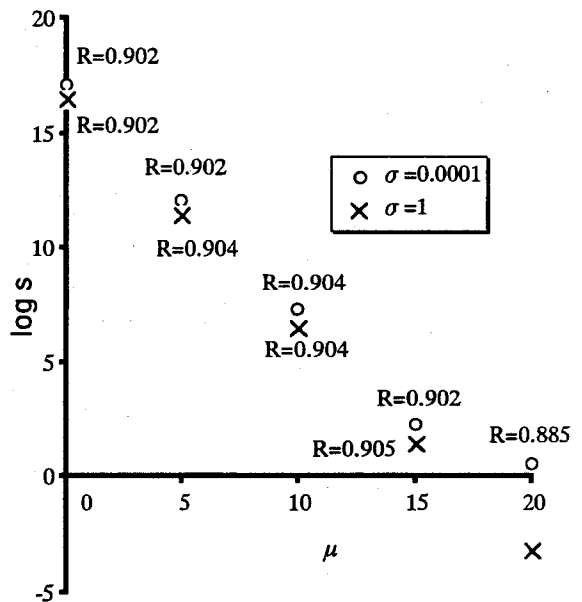


図-13 μ と s の相互関係の安定性(軽工業品)

これらの原因を挙げると、図-12に示すように、運賃と時間に正の相関があることと、 θ_2/θ_1 (1であることより、パラメータの推定に時間の項が影響を与えていないことである。その直接的な結果として、④のような問題点が生じてしまったと考えられ

表-4 パラメータ推定結果 (2)

品 類	e ¥/t	v (¥/t) ²	μ ¥/t	σ (¥/t) ²	s	θ ₁	θ ₂	θ ₃	R _L	R _c
農水産品	2.4e+05	5.2e+05	1.2e+01	3.0e-03	4.2e+01	-4.0e-06		2.3	0.82	0.90
林産品	4.4e+04	1.1e+09	1.0e+01	6.7e-01	6.9e-03	-4.5e-06		3.4	0.75	0.92
鉱産品	3.1e+03	1.4e+08	6.7e+00	1.7e+00	5.3e-03	-7.7e-07		-3.9	0.60	0.77
金属機械工業品	3.4e+05	4.7e+14	8.6e+00	2.9e+00	2.8e+01	-2.4e-05		2.2	0.95	0.90
化学工業品	4.5e+04	6.4e+12	6.7e+00	2.8e+00	2.6e+02	-2.7e-05		0.98	0.79	0.76
軽工業品	2.3e+05	3.9e+12	1.0e+01	2.1e+00	2.3e+01	-1.8e-05		3.0	0.84	0.90
雑工業品	6.2e+05	2.5e+11	1.3e+01	7.1e-01	7.0e+01	-3.6e-05		5.5	0.99	0.99
特殊品	8.0e+04	4.0e+05	1.1e+01	7.9e-03	9.0e+01	-4.9e-05		2.7	0.66	0.72

る。また、時間の項が無視されることから、式(14)は、

$$U_i = \theta_1(t_{1i} \cdot L_0 + t_{2i} \cdot d_i + t_{3i} \cdot L_0 \cdot d_i)(q_i/L_0) + \theta_3 \cdot X_i + \varepsilon_i$$

$$= \theta_1 \cdot t_{2i} \cdot \sqrt{d_i \cdot q_i} / \sqrt{\sum t_{2j}(s \cdot p)} + \theta_1 \cdot (t_{1i} + t_{3i} \cdot d_i) \cdot q_i + \theta_3 \cdot X_i + \varepsilon_i \quad (22)$$

となり、図-13のとおり、商品価格pとパラメータsが互いに従属する形となり、μ、σ、sを独立して推定することが不可能となる。このために、①～③のような問題が生じたと考えられる。なお、図-13は、μとσとsの相互関係と安定性を示したもので、分散を示すパラメータσの値に関わらず、μとsの値は決定される。

次に、問題となった、θ₂の項(時間の項)を除外し、商品価格の平均eを上記データから外生的に与えパラメータ推定を行った。その結果を表-4に示す。予測値と実測値の相関係数は全体的に見ると、流動ロットサイズ、機関分担ともあまり変化していないが、各パラメータ値はかなり変化している。σについては、林産品、雑工業品については小さくなり、鉱産品については大きくなり、より現実に近い結果となっている。sについても、図-7に示すように、現実とかけ離れた以前の結果と比べ、大小関係は明らかにより納得できる方向へと改善され、θ₁はすべて負となった。鉱産品のθ₃が正へと変化した。海運が大量輸送機関であること、鉱産品の発着地が海に近いといった海運の有利性が、トラックの有利性を上回っているためと考えられる。

以上の値を用いて再現された流動ロットサイズ分布、機関分担率の適合性は、以前の結果と比べあまり変化がなかったが、各パラメータが現実と照らし合わせて納得できる値となった。このことは、このモデルの構築理論の方向が間違っていないことを示すと考えられる。

6. 結論および今後の課題

本研究は最も系統的な貨物輸送データといえる全国貨物純流動調査を対象として、流動ロットサイズ

の決定過程を明示的に取り込んだ品類別の機関分担モデルを構築したものである。本研究から得られた主な結論と今後の課題は以下のとおりである。

- ①品類区分による必要最小限の個別に分離した取り扱いと同時に、品類内での商品価格の分布を内生的に導入し、さらに物の動きにおいて重要な役割を演じる流動ロットサイズの決定過程を取り込んだ中長距離貨物輸送の機関分担モデルを構築した。また、このモデルを利用することにより、モーダルシフト推進策等の物流施策の評価が可能となる。
- ②上記のモデルを昭和60年度全国貨物純流動調査に適用した結果、モデルの再現性を確認した。

また今後の課題として以下のことが挙げられる。

- ①本研究においては、モデルの再現性についての確認で終わっているが、昭和60年度以外の純流調査データを用い、モデルの予測性(時間的移転性)の確認が必要である。また、パラメータの推定方法や最適性の検討も課題として残されている。
- ②純流調査には、記入ミスや偶然の流動と考えられるデータが多く、本研究では大胆な修正を行った。それが最良のものというわけではない。純流調査データの修正方法の確立が必要である。
- ③本研究においては、モデルのおおまかな構造は確立できたが、運賃と時間のモデルへの取り組み方法と推定されたパラメータの値については不満の残るものであり、今後、細部までつめる必要がある。また、このモデルでは運賃を外生的に与えたが、運賃の決定過程を内生的に取り扱ったモデルの構築も可能であろう。

参考文献

- 1) 岡昭二：時間価値を用いた分担率モデルについて、土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.165～166、1977。
- 2) 鹿島茂、森川優：都市内貨物の貨物車選択構造に関する一考察、土木計画学研究発表会講演集、土木学会、2、pp.132～138、1980。
- 3) 渡辺武、定井喜明、戸根秀孝：貨物輸送における自

- 家用・営業用自動車の分担に関する研究, 土木学会
第37回学術講演会講演概要集, 第4部, pp.1~2,
1982.
- 4) 林: 需要者の選択行動に基づくフェリー輸送貨物量
推計法の研究, 土木学会年次学術講演会講演概要
集, 1985.
- 5) A. S. Narashimha Murthy and B. Ashtakala: A MODAL
ANALYSIS USING LOGIT MODELS, *Journal of*
Transportation Engineering, Vol. 113, No.5,
pp.502-519, September, 1987.
- 6) 藤野研一, 小池慎一郎; 道路の信頼性評価に基づく
今後の鉄道等物流ネットワークに関する研究, 土木
計画学研究発表会講演集, 1989.
- 7) 要藤洋文, 鹿島茂, 森浩: 幹線貨物の輸送手段分担
率モデルの作成, 土木学会年次学術講演会講演概要
集, pp.133~134, 1983.
- 8) Chiang: A Short-run Freight Demand Model; The Joint
Choice of Mode and Shipment Size, Center for
Transportation Studies, M.I.T. Cambridge Mass,
1980.
- 9) Walid Abdelwahab and Michel Sargious: MODELING
THE DEMAND FOR FREIGHT TRANSPORT,
JOURNAL OF TRANSPORT ECONOMICS AND
POLICY, pp.49-70, January 1992.
- 10) 貨物自動車運賃研究会: 全国貨物自動車営業キロ程
図
- 11) 日本国有鉄道: 貨物運賃料金表, 1984年.
- 12) 数学公式, 岩波書店
- 13) 運輸経済センター: 金額表示貨物地域流動表の作
成, 1988.3.

(1993.9.16. 受付)

A MODAL SPLIT MODEL FOR MEDIUM AND LONG DISTANCE FREIGHT TRANSPORTATION TAKING INTO ACCOUNT COMMODITY PRICE AND DISTRIBUTION LOTS

Hitoshi IEDA, Kazushi SANO and Shinji KOBAYASHI

In order to evaluate the transport policies and the effect of improvement of infrastructure, an intercity modal split model has been developed that takes into account the commodity price and distribution lot size explicitly. In estimating this model, we use the Japan freight net flow data conducted by the Ministry of Transport in 1985.

Through the modeling process, we have been able to establish the conception of the model and realize the basic characteristics.