

地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時予測への 離散－連続選択モデルの適用可能性*

Joint Estimation of Mode and Lot Size in Freight Transportation

溝上章志**・柿本竜治***・竹林秀基****

by Shoshi MIZOKAMI, Ryuji KAKIMOTO and Hideki TAKEBAYASHI

1. はじめに

人の交通手段選択行動をモデル化するのに、近年、確率効用理論に基づく非集計型離散選択モデルが用いられるようになった。一方、貨物の輸送手段分担モデルには輸送トン数を計測単位とした集計型モデルが通常、利用されている。例えば、運輸政策審議会¹⁾は国内貨物需要を4段階推定法で予測する際、品目別分布交通量(純流動)と件とし、将来の交通施設整備および輸送サービス下での輸送機関別輸送量(総流動)を予測ことを目的とした輸送機関分担モデルを示しているが、地域間輸送機関分担モデルには集計型ロジットモデルが適用されている。これは、最終的に求めたい成果がトン数ベースの手段別分担率であり、1件の出荷貨物(定義:全国貨物純流動調査では、出荷日・品目・着業種・屈先地・屈先施設・代表輸送手段が同一の流動貨物)ごとのロットサイズ(輸送量)が異なるために、輸送需要の手段分担予測に非集計型離散選択モデルを適用しにくいためである。集計型モデルは量の把握に優れていると同時に、過去における適用例の多さから実用性は高い。しかし、これらのモデルではロットサイズそのものを説明変数として用いているために将来予測への利用可能性には疑問が残る。

1件の貨物を出荷する際、荷主はどの輸送手段で輸送するかと、どのくらいのロットサイズを出荷するかという選択を同時決定していると考えられる。このような質と量の同時選択行動のモデル化には、離散－連続選択モデル(discrete-continuous model)の適用が有効で

あると考えられる。以下、離散－連続同時選択を扱っている研究に絞って従来の研究を紹介する。荷主の貨物出荷行動は輸送手段選択と輸送需要選択を同時決定する行動であり、これらの選択は相互に関連しているとして、溝上²⁾は離散－連続選択モデルを地域間物流輸送手段選択/ロットサイズ決定問題に適用し、荷主の貨物出荷行動のモデル化を行っている。モデル推定には通常の段階的方法を用いており、手段選択の効用関数、ロットサイズ関数はそれぞれ個々に見るならば統計的に有意であるものの、特にロットサイズ需要関数の適合度はあまり高くないという結果を得ている。一方、Abdelwahabら³⁾は従来の在庫理論に基づく輸送需要予測問題の枠組みの中で、Leeら⁴⁾によって示された同時方程式モデルを適用したモデルを提案している。データはアメリカ国勢調査局の貨物輸送調査(CTS)であり、推定値の初期値を2段階最小自乗法から得る最尤法によるモデル推定を行っている。これにより得られた選択確率モデル、需要関数はともに適合度の高いこと、輸送料金と時間が選択に大きな影響を及ぼすことが示されている。結論として、最尤推定法によるモデル推定の統計的信頼性の高さ、手段選択と輸送量選択に関連性を仮定することの重要性を強調している。ただ、この方法は理論の複雑さと実用性とのバランスの点で現実問題への適用には問題があると思われる。

本研究は、文献2)を参考にして離散－連続選択モデルの地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時決定への適用可能性を明らかにすることを目的とする。その中で、荷主の観測されない特性による効用関数の誤差特性とモデルの理論的導出の整合性を離散－連続両モデルの間で保つことができる繰り返し推定法を提案し、従来から用いられている選択性修正法と推定特性の比較検討を行っている。さらに、全国貨物純流動調査データを用いて輸送手段／ロットサイズ同時決定モデル

*キーワード:物資流動、輸送手段選択、離散-連続選択モデル

**正会員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科

(〒860 熊本市黒髪 2-39-1, Phone:096-342-3541, Fax:096-342-3507)

***正会員 博(学) 熊本大学自然科学研究科

****学生員 熊本大学大学院工学研究科

と各種推定法の適用可能性の実証分析を行った。

2. 離散-連続選択モデルによる輸送手段/ロットサイズ同時決定モデル

(1) 輸送手段/ロットサイズ同時決定モデル

a) 離散-連続選択モデルの概要⁵⁾

離散-連続選択状況のモデル化を消費者行動理論に習って数学的に説明する。簡単のために、2財の経済を仮定するとき、消費者の行動は予算制約下での効用最大化行動として、以下の最適化問題で定式化できる。

$$\begin{aligned} \max: & U(x_1, x_2) \\ \text{s.t. } & y = t_1 x_1 + t_2 x_2 \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 x_i は各財の消費量、 y は所得、 t_i は各財の価格、 $U(\cdot)$ は消費者の直接効用関数である。この問題の最適解 (x_1^*, x_2^*) を元の直接効用関数に代入したものは次式のような財の価格と所得の関数になる。

$$U^* = U^*(x_1^*, x_2^*) = Y(t_1, t_2, y) \quad (2)$$

このときの Y を間接効用関数という。間接効用関数とは、財の価格と所得が所与のとき、予算制約下で直接効用を最大にする需要量が選択された後に得られる効用関数である。

需要関数 x_i^* は、直接効用関数から予算制約付きの最適化問題(1)を解くことで求められるが、この手続きは単純な関数形を除いては現実の市場データから実用的なものを導出するのはかなり困難である。しかし、直接効用関数でなく間接効用関数をダイレクトに仮定した場合、以下のRoyの恒等式により需要関数は簡単に導出することができる。

$$x_i^* = -\frac{\partial Y / \partial t_i}{\partial Y / \partial y} = g_i(t_i, y) \quad (3)$$

b) 輸送手段/ロットサイズ同時決定モデルの定式化

以下の前提条件のもとに、荷主が1件の貨物を出荷する際、輸送手段とロットサイズを同時決定する行動を離散-連続選択モデルによって定式化する。

① 地域間物流需要の予測フレームは運政審モデルと同様に段階的とし、品目別の地域間貨物流動量は前のプロセスですでに予測済みで、それが本モデルによ

て予測される需要量のコントロールトータルとなる。

② 産出物の輸送費用や輸送量とは無関係に最適生産はすでに達成されており、企業は産出物の出荷行動にのみ直面している。一件あたりの出荷の際、企業(荷主)は効用最大化行動をとる。

③ トラックと船舶の2手段の場合を想定する。

いま、選択肢 i が選ばれるという条件付き間接効用関数 Y_i を以下のように仮定する。

$$Y_i = Y_i(t_i, y, s, z_i, u_i) = V_i(t_i, y, s, z_i, \eta) + \varepsilon_i \quad (4)$$

ただし、 t_i はトンキロ当たり輸送運賃、 y は予算、 s は荷主の特性、 z_i は輸送手段の特性、 u_i は誤差項である。式(4)の右辺に示すように、この誤差項 u_i は荷主の観測されない特性 η と選択肢別の誤差 ε_i に分解できるとする。ここで、 ε_i に同一で独立なガンベル分布(以後I.I.G.D.と記す)が仮定できるとき、輸送手段 i の選択確率 p_i は以下のロジットモデルで表すことができる。

$$p_i = \frac{\exp\{V_i(t_i, y, s, z_i, \eta)\}}{\sum_j \exp\{V_j(t_j, y, s, z_j, \eta)\}} \quad (5)$$

次に、選択肢 i が選択されるという条件付きロットサイズ関数は、Royの恒等式(3)より以下のように示すことができる。

$$x_i^* = -\frac{\partial Y_i(t_i, y, s, z_i, u_i) / \partial t_i}{\partial Y_i(t_i, y, s, z_i, u_i) / \partial y} = g_i(t_i, y, s, z_i, u_i) \quad (6)$$

ここで、具体的な効用関数を仮定して輸送手段選択確率、および輸送ロットサイズ関数を導出しよう。いま、条件付き間接効用関数を

$$Y_i = (\alpha_i + \beta_i t_i + \theta_i y + \phi_i z_i + \varphi s + \eta) \cdot \exp(-\theta_i) + \varepsilon_i \quad (7)$$

のように仮定する。ただし、 α_i 、 β_i 、 θ_i 、 ϕ_i 、 φ 、および θ は推定されるべきパラメータである。これは基本的には各変数について線形の効用関数を持つが輸送運賃の上昇によって効用が指数関数的に減少することを仮定する。このとき、誤差項 ε_i にI.I.G.D.を仮定したとき、輸送手段 i の選択確率は以下ようになる。

$$p_i = \frac{e^{(\alpha_i + \beta_i t_i + \theta_i y + \phi_i z_i + \varphi s + \eta) \cdot \exp(-\theta_i)}}{\sum_j e^{(\alpha_j + \beta_j t_j + \theta_j y + \phi_j z_j + \varphi s + \eta) \cdot \exp(-\theta_j)}} \quad (8)$$

一方、ロットサイズ関数は式(6)より

$$x_i = -\frac{1}{\theta_i} \{ \beta_i - \theta(\alpha_i + \beta_i t_i + \theta_i y + \phi_i z_i + \varphi s + \eta) \} \quad (9)$$

となる。従って間接効用関数のパラメータさえ推定されていれば、輸送運賃や輸送手段の特性値が与えられると荷物出荷 1 件当たりの輸送手段とロットサイズが同時に予測できる。通常は $\theta_i = \theta$ とすることが多いが、ここではより一般化したモデルとして定式化し、推定を行う。

(2) モデルの推定方法

a) 段階的推定法

離散-連続選択モデルの推定には完全情報最尤推定法と選択性修正法 (selectivity correction approach) が用いられる。しかし、前者についてはその理論が難解という理由で、実際に適用された例はほとんどみられない。一方、選択性修正法は、離散選択モデルの効用関数を最尤推定法で推定した後で、選択性修正項を導入した需要関数を最小二乗法を用いてそれぞれ個別に推定するという段階的推定法で、適用例も多い。ここでは、地域間貨物の輸送手段/ロットサイズ選択モデルにおける選択性修正法の意味について詳細に検討する。

輸送手段選択時における輸送距離、ロットサイズと輸送手段の関係について考える。実際に輸送された荷物のロットサイズと輸送距離は図-1 に示すような分布をしていると考えられ、それを回帰するロットサイズ関数は破線のような傾きを持つ線となる。これが輸送距離とロットサイズとの真の関係である。しかし、現実にはあるロットサイズ以下の荷物は大半がトラックによって輸送されており、実測データから得られるトラックのロットサイズデータは図-2 の実線の丸で示されているものだけとなる。一般的に、1 件当たりの輸送距離が長いときには船舶が、輸送距離が短いときにはトラックの選択確率が高くなる傾向があると考えられる。しかし、関連企業にトラック運送会社があるとか、荷物の形状によりトラックで輸送せざるを得ないなどの理由により、本来は船舶を選択するであろう輸送距離であるにもかかわらず、トラックを選択し、かつロットサイズが小さいケースが現実には存在する。このようなトラックを選択している現実のデータを用いてロットサイズ関数の推定を行うと、先の真の関係とは異なり、実線のようにバイアスを持った関係が得

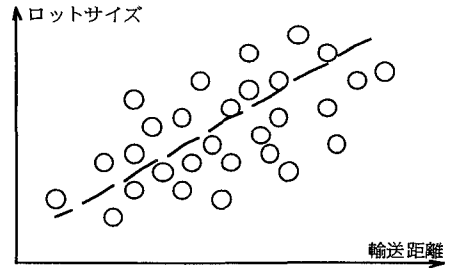
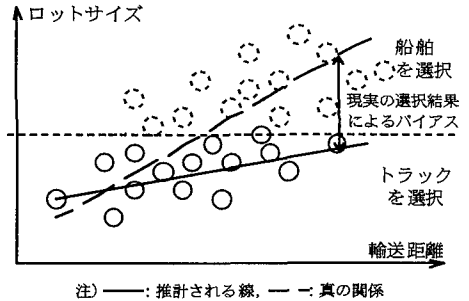


図-1 ロットサイズと輸送距離との真の関係



注) —: 推計される線, - - -: 真の関係

図-2 選択性バイアスの意味

られることになる。この原因は、荷主や品目の観測されない特性値 η にトラックの効用を相対的に高めるような選択性バイアスが含まれるからである。この場合、ロットサイズ関数の推定時にはこの選択性バイアスを除去しなければならない。このようなバイアスの修正方法を選択性修正法という。

理論的にはこの選択性バイアスは、式(4)で u_i を ε_i と η に分解することによって生じ、選択輸送手段 i に依存した η の期待値 C_i としてロットサイズ関数の中に次式のように導入される。

$$x_i = -\frac{1}{\theta_i} \{ \beta_i - \theta(\alpha_i + \beta_i t_i + \theta_i y + \phi_i z_i + \varphi s + \tau_i C_i + \nu) \} \quad (10)$$

ここで、 $\tau_i = -\frac{\sqrt{6}\sigma^2}{\pi} \rho_i$ 、 $C_i = \left[\frac{P_j \ln P_j}{1 - P_j} + \ln P_i \right]$ であ

り、 ρ_i は η と ε_i との相関係数である。最終的には式(10)で示される重回帰式を最小二乗法によって推定するのが基本である。

①従来の選択性修正法

この推定の手順は、まず、式(7)において $\eta = 0$ として最尤推定法によって輸送手段選択モデルのパラメータ

$\alpha_i, \beta_i, \theta_i, \phi, \psi, \theta$ を推定した後、これらの値を用いて式(8)より選択確率を計算し、選択性修正項 C_i を求める。次にロットサイズ関数式(10)に選択性修正項 C_i を導入し、最小二乗法を用いて $\alpha_i, \beta_i, \theta_i, \phi, \psi, \theta$ と τ_i を改めて推定するというものである。この方法では、本来、輸送手段選択モデルとロットサイズ関数とで同じ値のはずの $\alpha_i, \beta_i, \theta_i, \phi, \psi, \theta$ は両モデルで異なる推定値となるので、間接効用関数からのロットサイズ関数を導出する際の理論的整合性(Royの恒等式)を保つことができない。しかし、未知パラメータの数が多い分、推定精度は向上する。

②係数 τ_i だけを推定する方法

従来型の選択性修正法に対し、ここで提案する方法は、ロットサイズ関数の未知パラメータとして輸送手段選択モデルで推定した値をそのまま使用し、選択性修正項だけでロットサイズ関数のバイアスを除去しようとするものである。具体的には、式(7)において $\eta=0$ として最尤推定法で輸送手段選択モデルのパラメータ $\alpha_i, \beta_i, \theta_i, \phi, \psi, \theta$ を推定し、式(8)より選択確率を計算して、選択性修正項 C_i を求める。その後、輸送手段選択モデルで求めたパラメータと説明変数データを式(9)に代入してロットサイズの予測値と実績値との誤差である η_i を求め、 $\eta_i = \tau_i \cdot C_i$ より τ_i だけを求めるというものである。この方法では間接効用関数からロットサイズ関数を導出する際の理論的整合性は保たれるが、ロットサイズ関数の未知パラメータは τ_i だけとなるので、適合性に問題が生じるおそれがある。

b) 繰り返し推定法

選択性修正法の選択性修正項は、選択肢 j が選択された条件下での誤差項 η の期待値であり、ロットサイズ関数を推定する際に実績需要データに生じている輸送手段に依存したバイアスである。式(7)では式(6)の誤差項 u_i を η と ε_i とに分離するが、上記の段階推定法では効用関数内の η を0として離散選択モデル(8)を推定する。また、従来形の選択性修正法は、間接効用関数とロットサイズ関数とで理論上同じ値のはずのパラメータが異なる推定値になることを黙認する。しかし、理論的には η は選択肢 i ごとに η_i でなければならない、輸送手段選択モデルの推定時にもこれを選択性修正項 $E[\eta_i]$ とランダム項 v として導入する必要がある。また、ロットサイズ関数を間接効用関数からRoyの恒等式を用いて導出するためには、ロットサイズ関数のパラメ

ータの推定値は間接効用関数のそれと同じ値でなければならない。

上記の点のような両モデルの間での理論的導出と誤差項の整合をはかるために、ここで式(8)の輸送手段選択モデルで推定されたパラメータを用いて式(9)より η を求め、これを再び式(8)で用いるというループをパラメータベクトル $w = \{\alpha_i, \beta_i, \theta_i, \phi, \psi, \theta\}$ が収束するまで繰り返すという推定法を提案する(図-3参照)。 w が収束したときの η はまさに各サンプルの持つ真の誤差値となる。この方法を以後、前の段階推定法に対して繰り返し推定法とよぶことにする。図-3にこれら3つの推定方法の概略とそれぞれの特徴を示しておく。

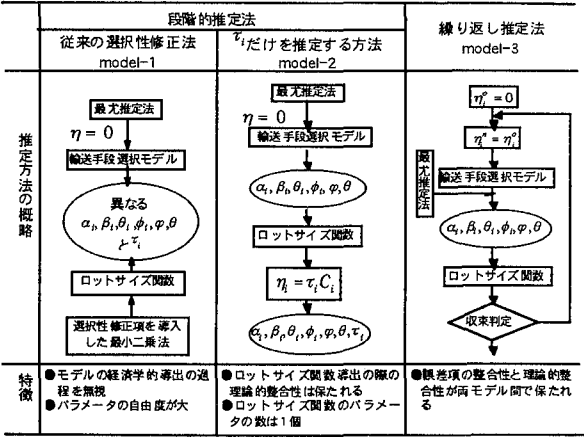


図-3 推定方法の概略と特徴

3. モデルの推定と考察

(1)データの収集、作成

本研究では、モデル推定のためのデータとして、昭和60年度版全国貨物純流動調査の中の3日間流動調査(以下、3日間調査)データを利用する。この3日間調査は、昭和60年10月22日から24日までの3日間の出荷貨物1件ごとに表-1に示すような項目について調査したものである。ここで、出荷貨物の出荷日、品目、着業種、居先地、居先施設、代表輸送機関が同一の貨物について、これらを調査期間内でトータルしたものを1ロットとし、その総重量をロットサイズとしている。品目においては55分類に細分化されている品類を表-2のような16品目に統合した。この3日間調査のデータのうち、荷主の特性 s としては従業者規模、敷地

面積規模、発業種、着業種などが、輸送手段の特性 α としては、所要時間、積み替えの有無、コンテナ利用の有無などを利用できる。また、予算 y に関してはその代理指標として出荷額が調査されているものの、データの機密上その値は直接的には公表されておらず、カテゴリー化されている。ここでは、カテゴリー化された総生産額の間中値を用いざるを得なかった。また、このデータから独自に品目別の地域間総輸送トン数を作成し、これもODペア変数として利用する。なお、ゾーンは県単位、セントロイドは県庁所在地としている。

表－1 貨物純流動調査の調査項目

1. 従業者規模	2. 敷地面積規模	3. 出荷額規模	4. 発産業
5. 発業種	6. 着業種	7. 発都道府県	8. 着都道府県
9. 屈先施設	10. 輸送品目	11. 代表輸送機関	
12. トラック利用の有無	13. 発地における鉄道貨物駅・港湾・空港		
14. 着地における鉄道貨物駅・港湾・空港	15. コンテナ利用の有無		
16. 積替の有無	17. 積替出荷時の輸送機関	18. 輸送件数	
19. 輸送重量	20. 輸送時間		

表－2 品目分類

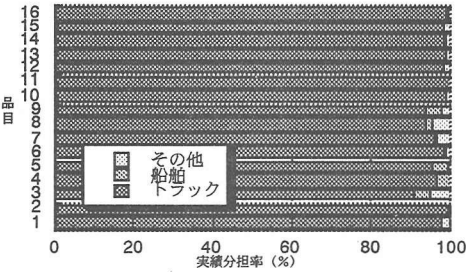
1. 農水産品	2. 林産品	3. 鉱産品	4. 砂利・砂・石材
5. 鉄鋼	6. 金属・金属製品	7. 機械工業品	8. 輸送用機械
9. 石油・石油製品	10. 窯業・土石製品	11. 生コンクリート	
12. 化学工業品	13. 軽工業品	14. 製造食料品	15. 雑工業品
16. 特殊品			

選択肢となる輸送手段はトラックと船舶の2種類に限定して推定を行った。これは、代表輸送機関から判断しており、OD間で利用された輸送手段のうち最も輸送距離の長い輸送機関のことである。

輸送サービス水準に関するデータについては、純流動調査データからは利用手段の輸送時間しか得られない。そこで、代替手段の輸送時間にはゾーン間代表輸送手段別輸送時間の平均値を用いた。一方、輸送キロトン当たりの輸送運賃 t_i はおおむね輸送距離と重量に依存して変化していることから、「路線トラック運賃の適用法」の解説などから基準運賃率表の運賃を距離で単回帰した次式を用いた。なお、偏回帰係数の下の値は t 値を示す。

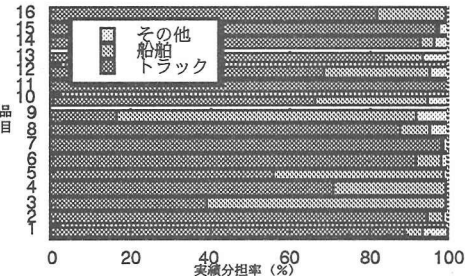
$$\text{単価}(\text{円}/\text{t} \cdot \text{km}) = 7533.15 + 20.72 \times \text{輸送距離}(\text{km})$$

(684.8) (67.5)



図－4 地域間輸送実績分担率（件数）

その際、道路網として全国貨物自動車営業キロ程図を



図－5 地域間輸送実績分担率（輸送トン数）

参考に、ノード 275、リンク 1062 の輸送ネットワークを作成し、各リンクに距離を設定、さらに道路網については'87道路時刻表から平常時とピーク時の所要時間の情報を追加している。また、輸送距離はこれらのネットワーク上での最短経路探索より求めている。これらのデータを用いて各モデルの推定を行った。以下にその結果を示し、考察を加える。

(2)推定結果

モデルの推定は全 16 品目のうちの鉄鋼、鉱産品、石油・石油製品、砂利・砂・土石の 4 品目について行った。このとき、出荷貨物 1 件がサンプルとなり、オリジナルの純流動調査データを全て利用するとサンプル数が多すぎてモデル推定計算に時間を要するので、ランダム抽出によりサンプル数を 300 程度に減らしている。以下では、重量ベースでの船舶の実績分担率が高い石油・石油製品と鉱産品についてのモデルの推定結果を紹介する。表－3 に石油・石油製品の推定結果を、表－4 に鉱産品の推定結果を示す。また、砂利・土石、および鉄鋼については、輸送手段選択モデルについては尤度比と的中率、ロットサイズ関数においてはF値と寄与率という適合度指標だけを図－5 に示す。これらのうち、

表-3 モデルの推定結果（石油・石油製品）

説明変数	段階的推定法			繰り返し推定法
	model-1.1	model-1.2	model-2	model-3
定数項	-0.1415E+03 (-7.869)	0.6492E+02 (0.514)	-0.1415E+03 (-7.869)	-0.1418E+03
所要時間 (時間)	トラック -0.1635E+00 (-4.530)	0.4737E+00 (0.113)	-0.1635E+00 (-4.520)	-0.5391E+02
船舶	0.1246E+00 (4.33)	0.1450E+02 (1.603)	0.1246E+00 (4.33)	-0.1366E+03
輸送料金 (円/t・km)	トラック 0.2796E+01 (10.435)	-0.4096E+01 (-0.386)	0.2796E+01 (10.435)	-0.5776E+00
船舶	-0.1240E+02 (-7.184)	0.9542E+02 (1.995)	-0.1920E+02 (-7.184)	-0.8157E+02
生産額 (億円)	トラック -0.8275E-02 (-2.483)	0.1820E-01 (0.791)	-0.8275E-02 (-2.483)	-0.1057E+02
船舶	-0.6933E-02 (-1.853)	0.1238E+00 (1.701)	-0.6933E-02 (-1.853)	-0.1461E+02
OD間輸送量 (千t)	0.5509E-02 (3.159)	-0.4914E-01 (-0.292)	0.5509E-02 (3.159)	0.4561E+02
輸送運賃 (円/t・km)	-0.1031E-01 (-12.913)		-0.1031E-01 (-12.913)	0.4229E-01
選択性修正項		0.6345E+02 (1.190)	-0.4454E+00 (-8.722)	
尤度比 的中率 全体	0.742 92.7		0.742 92.7	0.575 84.9
トラック/船舶	97.7/45.8		97.7/45.8	100/0
F値 自由度調整済み寄与率	23.5 0.4417		162.9 0.397	131.2 0.346

model-1.1 と model-1.2 は通常の選択性修正法による輸送手段選択モデルとロットサイズ関数の推定結果であり、model-2 は選択性修正法で選択性修正項のパラメータ τ_i だけを推定した結果である。また、model-3 は繰り返し推定法による推定結果である。なお、繰り返し計算の際は t 値の算出は行っていない。

まず、石油・石油製品の推定結果について考察する。選択性修正法による輸送手段選択モデル（model-1.1）では尤度比や的中率（以後、これらのモデルの適合性を示す指標を総じて適合度と記す）の高いモデルが得られた。また、各変数の t 値は高く、符号条件もほぼ妥当と考えられる。一方、ロットサイズ関数（model-1.2）はあまり適合度の高いモデルが得られていないといえる。しかし、「所要時間」が長く「輸送料金」が高くなるほど船舶によるロットサイズが大きくなる傾向にあること、選択性修正項はバイアスの修正にかなり貢献していることなどがわかる。model-2 では選択性修正項の t 値が向上しているが、適合度はほとんど向上していない。model-3 では「定数項」はほとんど変化してい

表-4 モデルの推定結果（鉱産品）

説明変数	段階的推定法			繰り返し推定法
	model-1.1	model-1.2	model-2	model-3
定数項	-0.1646E+01 (-0.392)	0.8235E+02 (0.921)	-0.1646E+01 (-0.392)	-0.2559E+01
所要時間 (時間)	トラック -0.3764E-01 (-0.179)	-0.2528E+01 (-0.637)	-0.3764E-01 (-0.179)	-0.2822E-01
船舶	0.6603E-02 (0.017)	-0.3880E+03 (-10.780)	0.6603E-02 (0.017)	-0.7083E-01
輸送料金 (円/t・km)	トラック 0.2228E+00 (0.295)	0.2345E+00 (0.032)	0.2228E+00 (0.295)	0.2742E+00
船舶	-0.5122E+00 (-0.607)	0.9885E+03 (9.640)	-0.5122E+00 (-0.607)	-0.5769E+00
生産額 (億円)	トラック -0.1825E-03 (-0.105)	-0.2126E+00 (-0.604)	-0.1825E-03 (-0.105)	-0.3020E-03
船舶	0.1291E-01 (0.138)	-0.2567E+00 (-1.657)	0.1291E-01 (0.138)	-0.7094E-01
OD間輸送量 (千t)	-0.1231E-02 (-0.099)	0.5030E+00 (0.725)	-0.1231E-02 (-0.099)	0.1278E-02
輸送運賃 (円/t・km)	-0.6255E+00 (-2.327)		-0.6255E+00 (-2.327)	-0.4733E+00
選択性修正項		0.1979E+03 (0.345)	-0.6713E-02 (-0.128)	
尤度比 的中率 全体	0.999 100.0		0.999 100.0	0.258 95.4
トラック/船舶	100/100		100/100	100/0
F値 自由度調整済み寄与率		33.3 0.415	0.14 0.000	1817.8 0.832

ないが、「所要時間」、「輸送料金」とともにトラックの効用がより高くなるように修正されている。輸送手段選択モデルの的中率は 84.9% となっているが、予測される輸送手段はすべてトラックになっている。これは、算出される各サンプルの η の値が効用の値のかなり割合を占め、ロットサイズがランダム項 η の大きさによってほぼ決まってしまうためである。また、F 値、寄与率も低下していることから、予測モデルとして有用とはいえない。

次に、鉱産品の推定結果について考察する。選択性修正法による輸送手段選択モデル（model-1.1）では効用関数の非線形部分の輸送運賃は統計的に有意であり、他の品目と同様に手段選択への影響が高くなっているが、線形部分の説明変数は統計的に有意といえるものがないことが分かる。ロットサイズ関数（model-1.2）では船舶の「所要時間」と「輸送料金」が統計的に有意となっているが、選択性修正項は統計的に有意でない。model-2 では寄与率、F 値とも極端に低下し、選択性修正項の t 値はかなり小さく、選択性バイアスは統

計的に有意でないことが分かる。これに対して、繰り返し推定法（model-3）を用いた場合、輸送手段選択モデルでは的中率が95.4%とかなり高い値となった。また、ロットサイズ関数でもその寄与率とF値はともにかなり高く、予測モデルとしても有用といえる。

4. 輸送手段／ロットサイズ同時決定問題への 離散－連続選択モデルの適用可能性

以上の結果を総合的に検討し、輸送手段／ロットサイズ同時決定問題への離散－連続選択モデルと各推定法の適用可能性について考察する。

提案した繰り返し推定法では、輸送手段選択モデルについては、石油・石油製品以外の品目で適合度が低くなる結果となった。石油・石油製品と砂利・砂・土石、鉱産品では、トラックの的中率が100%となるものの、船舶の的中率は低くなっている。ロットサイズ関数については、全品目ともF値、寄与率が向上しており、両モデルの適合性をバランスよく向上させるようにパラメータが推定される特性を持つ。しかし、鉄鋼と石油・石油製品については、各サンプルともランダム項 η の値がかなり大きく、ロットサイズが η の大きさによって決まってしまう結果となっている。これより、分析モデルとしては有効であるもののロットサイズ関数の予測には有効とはいえないようである。

一方、砂利・砂・土石や鉱産品に対しては、推定されたロットサイズ関数の寄与率は高く、実績値との適合度は非常に高いものとなった。これは、これらの品目はロットサイズ規模を自由に選択できるために、実績データの中に含まれる荷物の形状などに依存する観測されない特性の値が選択手段に影響を受けにくく、選択性バイアスが小さいためと考えられる。このように、品目によっては繰り返し推定法の適用が従来の段階推定法より有効である場合もある。品目分類をさらに細分化し、サンプル間での荷物の形状などによる観測されない特性 η の値を小さくしていくことによって、繰り返し推定法の適用可能性はさらに高くなると考えられる。

選択性修正法を用いた場合、輸送手段選択モデルについては全品目で尤度比が高く、鉄鋼と石油・石油製品に関しては全ての変数が統計的に有意となった。特に「所要時間」と「輸送料金」、輸送手段選択モデル

表－5 モデルの推定結果

		段階的推定法			繰り返し推定法
		model-1.1	model-1.2	model-2	model-3
砂 砂利	尤度比 均中率	3.999 100.0		0.999 100.0	0.005 89.0
	F 値 寄与率		20.7 0.506	20.7 0.146	2.7*10 ⁷ 0.999
土石	尤度比 均中率	0.572 87.2		0.572 87.2	0.001 61.7
	F 値 寄与率		22.1 0.395	58.4 0.182	594.0 0.697

における非線形項が輸送手段選択行動に与える影響が高いことが分かった。ロットサイズ関数においても「所要時間」、「輸送料金」は有意になっており、これらの変数がロットサイズ決定に大きな影響を与えていることが分かる。一方、鉱産品と砂利・砂・土石では選択性修正項のパラメータのt値は低く、統計的に有意ではなくなっている。この2品目については先ほど述べた理由により、選択性バイアスが小さいため考えられる。ロットサイズ関数の推定の際、 τ_i だけを推定する方法を見ても同様のことがいえる。

地域間物資流動には、石油・石油製品や鉄鋼のように選択性バイアスがかなり大きな値になっている品目も多い。このような場合にも、段階推定法は輸送手段選択モデルに対して高い推定精度を達成できることが明らかになった。また、選択性修正法の採用によってロットサイズ関数の推定にも、ある程度有効であることが実証的に検証された。現時点においては、輸送手段選択モデルとロットサイズ関数の両方がともに高い適合度を持つモデルは得られていないものの、離散－連続選択モデルと選択性修正法を用いた段階推定法によるモデルの推定法は、地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時決定問題に適用可能であるといってもよいであろう。

5. おわりに

本研究では、離散－連続選択モデルの輸送手段／ロットサイズ同時決定問題への適用可能性を検討した。その中で、繰り返し推定法を導入し、従来の選択性修正法と推定特性の比較検討を行った。その結果、一般的に輸送手段／ロットサイズ同時決定モデルの推定には選択性修正法が有効であることが実証的に明らかになった。ただし、鉱産品や砂・砂利・土石などのよう

に、出荷日と発着地、輸送機関が同一の出荷貨物の重量を他と比べて比較的自由に設定できると考えられる品目については、選択性バイアスが小さく、提案した繰り返し推定法によるロットサイズ関数の修正が有効である場合もあることが明らかになった。いずれにせよ、離散-連続選択モデルは、品目ごとに適切な推定方法を採用することによって地域間貨物の輸送手段／ロットサイズの同時決定問題に適用可能であると結論してもよいであろう。

モデルの適用分析に用いた純流動調査データは、多くの品目でトラックの実績分担率が圧倒的に高く、船舶のサンプルが少ないために、本研究では限られた品目でしかモデルの適用可能性を検証できなかった。今後、船舶のサンプルを充実させた独自の調査データによる検証が必要となろう。また、輸送経路／輸送手段／ロットサイズ同時決定モデルへの拡張、理論的にも実用上もより有効なモデル推定法の開発が望まれる。これらについてはある程度の成果を得ているが、発表は別の機会に譲る。さらに、より本質的には、一般均

衡分析の枠組みの中で、要素入荷と生産物出荷を同時に考慮した企業の利潤最大化行動による輸送手段／ロットサイズ決定モデルを定式化することが必要であろう。

参考文献

- 1) 運輸政策審議会：物流予測モデル資料，運輸経済研究センター，1992.
- 2) 溝上章志，柿本竜治，蒲地慶貴：地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時決定モデルとその推定法，土木計画学研究・講演集，No.19(2)，pp.179-182，1996.
- 3) Abdelwahab, W., and M. Sargious : "Modelling the Demand for Freight Transport", Journal of Transport Economics and Policy, pp.49-70, 1992.
- 4) Lee, L.R., G.S. Maddala and R.P. Trost : "Asymptotic Covariance Matrices of Two-Stage Probit and Two-Stage Tobit Models for Simultaneous Equations Model with Selectivity", Econometrica 48, pp.491-503, 1980.
- 5) 佐野伸也：質的選択分析－理論と応用，三菱経済研究所，1990.

地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時決定予測への離散-連続選択モデルの適用可能性

溝上章志・柿本竜治・竹林秀基

1件あたりの荷主の貨物出荷行動では、輸送手段選択だけでなく輸送ロットサイズも同時に決定されており、かつ2つの選択が関連していると考えられる。本研究では、地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時決定モデルへの離散-連続選択モデルの適用可能性を明らかにすることが主な目的である。その中で、荷主の観測されない特性による効用関数の誤差項の両モデル間での整合を計るために、新たに両モデルの繰り返し推定方法を提案すると同時に、従来から用いられている段階推定法と推定特性の比較を全国貨物純流動調査データを用いて、実証的に明らかにする。

Joint Estimation of Mode and Lot Size in Freight Transportation

by Shoshi MIZOKAMI, Ryuji KAKIMOTO and Hideki TAKEBAYASHI

It seems that senders decide transportation mode and lot size simultaneously when they ship a unit of their shipment. This paper develops a joint estimation model of mode and lot size choices in inter-regional freight transportation using the discrete / continuous consumer choice model. The applicability of this model to such simultaneous choice process is verified using the national survey of the net flow of freight data.