

離散-連続選択モデルの地域間物流輸送手段選択問題への適用

九州東海大学 正員 溝上 章志

〇九州東海大学 学生員 宮口 和久

1. はじめに

交通手段選択行動を分析する際には、その理論的、実証的有用性の理由で離散選択(非集計)モデルがよく用いられる。しかし、貨物輸送に対しては輸送トン数を計測単位とした集計型モデルが使われる。これは、求めたいのが輸送量についての手段別分担率であり、かつ、パーソントリップとは違って貨物の輸送量は1件の出荷貨物(純流動調査の定義は、出荷日、品目、着業種、届先地、届先施設、代表輸送手段が同一の流動貨物)ごとに異なるため、直接的に離散選択モデルを適用できないからである。しかし、荷主が1件の貨物を出荷する場合には、一つの輸送手段を選択すると同時に、1件当たりの輸送量も決定しているのである。このように、輸送手段の選択(離散的選択)と出荷貨物1件当たりの輸送量の選択(連続的選択)とは相互に関連している。この問題を解決するには離散-連続選択モデル(Discrete/Continuous Choice Model)が有効と考えた。本研究では、これを地域間物流輸送手段選択問題に適用し、その有用性の検証を行うことを目的とする。

2. 離散-連続選択モデル

離散-連続選択モデル理論的背景の詳細は他に譲るが、ここでは1件の出荷貨物を出荷する際に地域間に輸送手段が2つ(トラックと船舶)存在し、荷主が輸送手段と輸送トンキロとを同時に決定する場合の定式化を示す。

いま x_i を輸送手段 i の輸送トンキロ数、 t_i をトンキロ当たり輸送運賃、 y を予算、 $U(\cdot)$ を荷主の効用関数とすると、荷主の行動は以下の最適化問題で表現できる。

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

この問題の解(x_1^* , x_2^*)を元の効用関数に代入した後の間接効用関数

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

は、輸送手段別トンキロ当たりの輸送運賃と予算の関数となる。このとき、手段別の輸送トンキロ数 x_i^* の

需要関数は Roy's identity により

$$x_i^* = -(\partial Y / \partial t_i) / (\partial Y / \partial y) \quad i=1, 2 \quad (3)$$

で表される。いま、間接効用関数として直接的に

$$Y_i = Y_i(t_i, y, z_i, s, \eta_i) \quad i=1, 2 \quad (4)$$

のような輸送手段 i を選択したという条件付きの間接効用関数を採用する。ここで z_i は輸送手段 i の特性値ベクトル、 s は荷主の属性ベクトル、 η_i は誤差項である。これを確率効用理論における効用の確定項とみなす。さらに、確率項 ε_i がガンベル分布に従うと仮定できるとき、輸送手段 i の選択確率 p_i は

$$p_i = \frac{\exp(Y_i(t_i, y, z_i, s, \eta_i))}{\sum_j \exp(Y_j(t_j, y, z_j, s, \eta_j))} \quad i=1, 2 \quad (5)$$

なるロジットモデルで表される。また、式(3)より、輸送手段 i を選択したという条件付きの輸送トンキロ関数 x_i^* は、

$$\begin{aligned} x_i^* &= -(\partial Y_i / \partial t_i) / (\partial Y_i / \partial y) \\ &= g_i(t_i, y, z_i, s, \eta_i) \quad i=1, 2 \end{aligned} \quad (6)$$

で表される。

3. 地域間物流輸送手段選択モデルの構築

荷主の地域間の物流輸送手段選択行動を分析するために設定した条件付き間接効用関数は、

$$Y_i = (\alpha_i + \beta_1 t_i + \theta_1 y + \phi s + \phi_i z_i + \eta) \cdot \exp(-\theta t_i) \quad (7)$$

なるより一般的なものであり、パラメータ α_i や θ_i などを選択肢 i に固有に設定したものを基本としている。また、誤差項 η については選択肢共通と仮定した。このときの輸送トンキロ関数 x_i^* は、

$$\begin{aligned} x_i^* &= (1/\theta_i) \cdot \{(\alpha_i \theta - \beta_1) \\ &\quad + \theta(\beta_1 t_i + \theta_1 y + \phi s + \phi_i z_i + \eta)\} \end{aligned} \quad (8)$$

で表される。式(7)で $\theta_i = \theta$ としたものが実用的に用いられる関数である。

全国ベースで地域間の物資流動を純流動の形で調査したものとしては全国貨物純流動調査がある。このうち、3日間流動調査データからは55品目別に出荷貨物1件ごとの輸送手段と輸送トン数が分かる。そのほか z_i としては所要時間、積替えの有無などが、 s としては発・着産業種、従業員数などが把握できる。予算

y としては年間出荷・販売額が利用可能であるが、調査対象事業所の特定化を防ぐために階層化されたものが公表されているだけである。現在のところ予算データが入手できていない、モデルの適用可能性の基礎的検討を主目的としていることのために、今回はモデルに予算yを説明変数として導入していない。

4. モデルの推定と結果の考察

適切にいくつかの品目を統合して55品目を10の品類(A～J)に再分類し、品類ごとにモデルを推定する。各品類ごとの輸送件数と輸送トン数について、トラック、船舶、フェリーの各分担率を図-1に示す。輸送トン数では、鉄鋼、石油・石炭製品、化学工業、鉱産品、窯業・土石製品などで船舶の分担率がやや多めであるが、輸送件数については全ての品類でトラックの分担率が90%を越えている。ここで提案した輸送手段選択モデルでは、手段別選択確率モデル、輸送トンキロ需要関数とも出荷貨物1件1件を一つのサンプルとして推定を行うことから、各輸送手段別輸送件数がそのまま選択肢別サンプル数となる。手段別選択確率モデルの推定結果の一部を表-1に示す。いくつかの例外があるものの、輸送時間、距離、運賃とも有用であり、パラメータθは特に統計的有意性が高い。符号条件についてもほぼ妥当となった。しかし、最尤推定法はサンプル数の多い選択肢の選択確率を上げるようにパラメータを推定すること、説明変数として重要な予算を導入していないことなどのため、船舶の的中率がかなり低くなっている。

輸送トンキロ需要関数の推定には、手段別選択確率モデルによる選択性バイアスを修正するための選択性修正法を用いている。データとしてはトラックと船舶のサンプルをプールしたものをを用いた。推定結果を表-2に示す。品類によって符号や有意な変数組が異なり、需要の発生機構が異なるのが分かる。選択性修正項は鉄鋼だけで統計的に有意になっており、その導入は選択性バイアスの修正に貢献している。しかし、いずれのモデルも適合度は高いとはいえず、特に輸送用機械の適合度は極めて低い結果となった。

5. おわりに

いずれの品類についても、手段別選択確率モデル、輸送トンキロ需要関数の両方の適合度が高いモデルを推定することはできなかった。これを解決するためには、船舶のサンプル数の補充、予算、その他の LOSデ

ータの導入が必要である。また、荷主を対象としたより詳細な輸送手段選択と輸送量に関するアンケート調査が必要である。

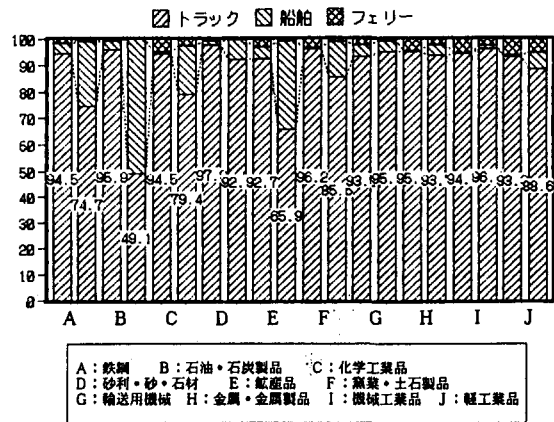


図-1 輸送手段別分担率 (左:輸送件数, 右:輸送量)

表-1 輸送手段別選択確率モデルの推定結果

	鉄鋼	石油石炭製品	輸送用機械
定数項	0.7372E-01 (0.000)	0.2975E-01 (0.000)	0.2247E-01 (0.000)
積替えラグミ	0.7632E-01 (0.068)	0.2059E-01 (0.017)	0.2642E-01 (0.002)
時間	トラック 0.1789E+00 (0.128)	0.9505E-01 (0.809)	-0.6861E-01 (0.054)
	船舶 -0.6271E-01 (2.850)	-0.1927E+00 (2.833)	-0.1537E+00 (2.964)
距離	トラック -0.2232E-01 (0.000)	-0.1187E-01 (0.000)	-0.3635E-02 (0.000)
	船舶 0.5481E-02 (2.858)	0.1187E-01 (3.193)	0.3635E-02 (0.811)
運賃	トラック 0.5564E+00 (0.000)	0.2245E+00 (0.000)	0.1696E+00 (0.000)
	船舶 -0.1571E+00 (1.537)	-0.1934E+00 (3.623)	-0.1460E+00 (0.567)
運賃	0.8363E-01 (724.468)	0.1534E+00 (480.989)	0.2995E+00 (658.852)
サンプル数(船舶)	414(80)	392(38)	270(94)
全体の 中率	0.5204 85.6	0.4003 88.7	0.1033 74.1
トラック/船舶	96.0/23.3	97.4/ 7.9	100.0/ 0.0

表-2 輸送トンキロ需要関数の推定結果

	鉄鋼	石油石炭製品	輸送用機械
定数項	-0.3462E+03 (3.072)	*	0.11718E+02 (0.155)
積替えラグミ	0.3146E+02 (238)	0.2497E+02 (0.475)	0.1764E+02 (5.557)
時間	トラック -0.2273E+01 (0.091)	-0.3728E+01 (0.018)	-0.8112E+01 (0.491)
	船舶 -0.6900E+01 (2.811)	0.1173E+02 (1.041)	-0.5302E+00 (1.871)
距離	トラック 0.6185E+01 (0.427)	-0.1037E+01 (0.028)	-0.4868E-02 (0.608)
	船舶 0.4153E+00 (2.173)	-0.1159E+01 (1.822)	0.3708E-01 (2.254)
運賃	トラック *	-0.2324E+01 (0.126)	*
	船舶 -0.7454E+00 (0.045)	0.2185E+03 (8.141)	0.1268E+01 (0.108)
選択性 修正項	トラック -0.1739E+03 (2.438)	-0.3354E+02 (0.248)	0.5217E+01 (0.141)
	船舶 -0.8498E+02 (3.211)	-0.2004E+01 (0.109)	0.7577E-01 (0.037)
F値	21.8	43.6	5.7
自由度調整済R ²	0.2736	0.4549	0.0738

注) *はF≧0.00001の変数選択条件を満足しない。