

地域間物流需要の手段とロットサイズの同時選択モデルの開発

熊本大学 正 員 溝上 章志
 熊本大学 正 員 柿本 竜治
 熊本大学 学生員 〇蒲地 慶貴

1. はじめに

貨物の輸送手段選択モデルには、通常輸送トン数を計測単位とした集計型のモデルが利用される。これは、最終的に求めたいものがトン数ベースの手段別分担率であり、パーソントリップとは違って1件の出荷貨物ごとにロットサイズが異なるため、輸送需要の手段分担予測に離散選択モデルが直接的に適用できないためである。しかし、荷主は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していると考えられる。物流輸送における荷主の出荷行動において、輸送手段選択(離散選択)とロットサイズ選択(連続選択)は独立でなく、互いに関連した行動であるといえる。このような選択行動のモデル化には、質と量の選択を同時決定する離散-連続選択モデルの適用が有効と考えられる。本研究では、荷主の貨物出荷行動の離散-連続選択モデルによるモデル化を行うこと、およびその中で荷主の観測されない特性を確率変数として明示的に導入した改良モデルの有効性を純流動調査データを用いて実証的に検討することを目的とする。

2. 離散-連続選択モデルの適用可能性

(1) 離散-連続選択モデルの概要

離散-連続選択モデルを簡単に説明する。消費者行動理論に習って、荷主の行動は以下の最適化問題で表現できると仮定する。

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

ただし、 x_i は輸送手段*i*の輸送トンキロ数、 t_i はトンキロ当たり輸送運賃、 y は予算、 $U(\cdot)$ は荷主の直接効用関数である。このとき、荷主*n*にとって効用最大となる最適投入要素量 x_i を直接効用関数に代入した間接効用関数 Y_i は以下で定義される。

$$Y_i = V_i(t_i, y, s, z_i, \eta) + \varepsilon_i \quad (2)$$

s は決定者の特性、 z_i は選択肢*i*の特性である。また、 η は荷主の観測されない特性、 ε_i は選択肢*i*の観測されない特性、つまり誤差項である。ここで、 ε_i に同一で独立なガンベル分布を仮定すると、以下に示すロジットモデルによる輸送手段選択確率を

得ることができる。

$$P_i = \frac{\exp V_i}{\sum \exp V_i} \quad (3)$$

一方、Roy's identityから、以下のように投入要素需要関数(=輸送需要関数)が得られる。

$$x_i = - \frac{\partial Y / \partial t_i}{\partial Y / \partial y} = g(t_i, y, z_i, s, \eta) \quad (4)$$

ここで、直接効用関数でなく、選択肢*i*を選択するという条件付き間接効用関数 Y_i を

$$Y_i = V_i + \varepsilon_i = (\alpha_i + \beta_i t_i + \theta_i y + \phi_i z_i + \psi_i s + \eta) e^{-\theta_i t_i + \varepsilon_i} \quad (5)$$

のように直接的に仮定すると、輸送手段*i*の選択確率 P_i は式(3)により、輸送需要関数は

$$x_i = \frac{1}{\theta_i} (\beta_i - \theta_i (\alpha_i + \beta_i t_i + \theta_i y + \phi_i z_i + \psi_i s + \eta)) \quad (6)$$

のように求められる。以下では式(5)、(6)を用いて実証分析を行う。

(2) 従来モデルからの改良点

離散-連続同時選択モデルに関する従来の研究では、間接効用関数の変数の一つである選択者の観測されない特性を表現する η は、需要関数の推定の際の選択性バイアスの修正に利用されるだけで、離散選択モデルの推定には確率変数として明示的に取り扱われていない。本研究では、式(7)のように η を期待値 $E(\eta)$ とその偏差 ν に分離し偏差 ν を確率変数として明示的に取り扱う。

$$\eta = E(\eta) + \nu \quad (7)$$

ν は η の期待値や他の変数と独立、かつその期待値が0であることから、ここでは ν に標準正規分布を仮定して輸送手段選択確率を理論的に推定する方法を示す。

式(5)の間接効用関数は式(7)より

$$Y_i = (\beta_i x_i + E(\eta) + \nu) \exp(-\theta_i t_i) + \varepsilon_i \quad (8)$$

であるから、たたみ込みにより、輸送手段*i*の選択確率 p_i は以下ようになる。

$$p_i = \int_{-\infty}^{\infty} P_i(\nu) f(\nu) d\nu \quad (9)$$

従って、尤度関数は以下のようになり、これを最大

にする間接効用関数 Y_i のパラメータ $\{\beta, \theta\}$ が推定されなければならない。

$$L = \prod_i \prod_n \left[\int_{-\infty}^{\infty} P_i(\nu) f(\nu) d\nu \right] \delta_{in} \quad (10)$$

ただし、 $f(\nu)$ は標準正規分布の p.d.f., δ_{in} は荷主が輸送手段 i を選択したとき 1 をとるダミー変数である。

3. モデルの推定と推定結果の考察

モデル推定のためのデータは昭和 60 年版全国貨物純流動調査 3 日間調査データである。モデルは鉄鋼、鋳産品といった 16 の品目ごとに推定される。荷主の特性としては従業者規模、敷地面積、発着業種などが、輸送手段の特性としては、所要時間、積み替えの有無、コンテナ利用などが得られる。本モデルでは予算 y を必要とするが、これに相当する調査項目はデータの機密上、公表されていないため、カテゴリ化された荷主企業の総生産額を用いている。また、コントロールトータルとしての地域間総輸送トン数も変数として導入している。輸送手段はトラックと船舶の 2 種類に限定した。

表-1 は、鉄鋼についての輸送手段選択モデルの推定時に、 η を確率変数として扱うケース (MODEL-1.1, 1.2) とそうでないケース (MODEL-2.1, 2.2) の輸送手段選択モデルおよび輸送需要関数の推定結果を示したものである。まず、手段選択モデルについては両モデルとも符号条件は論理的であり、適合度、 ρ^2 とも高い値が得られている。両モデルを比較すると、MODEL-1.1 は MODEL-2.1 よりも θ 以外の変数についても値があがっており、説明変数としての統計的有効性が向上している。特に効用関数の線形部分の変数についての有効性が向上している。これは、選択性修正項としてバイアスの修正に用いられる η は選択確率と相関を持つが、手段選択モデルの効用関数の推定に η を確率変数として取り扱うことによって、この相関がなくなることによって起きていると考えられる。その結果、パラメータの値そのものも両モデルでかなり違いが生じている。一方、輸送需要関数は重回帰分析により推定を行っているが、これについても大半の変数について MODEL-2.2 よりも MODEL-1.2 でも値があがっており、F 値や R^2 も向上している。これらのことから、荷主の輸送手段選択には荷主の観測されない特性 η が大きく影響しており、これを確率変数として明示的に取り扱った本モデルの有効性が実証的にも検証されたといえよう。

表-1 モデルの推定結果

鉄鋼	輸送手段選択モデル		輸送需要選数モデル	
	MODEL-1.1	MODEL-2.1	MODEL-1.2	MODEL-2.2
定数	-0.1699E+02 -1.528	-0.3771E+00 -0.584	0.2388E+03 2.769	0.1561E+03 1.841
種 (荷主)	0.1811E+01 3.831	0.4149E+00 1.338	-0.5977E+02 -2.039	-0.3569E+01 -1.247
従業員数 0-100 (人)	0.1655E+01 2.440	0.3185E+00 1.018	-0.7649E+02 -1.653	-0.4218E+02 -0.915
100-500	0.1638E+01 3.120	0.2512E+00 0.898	-0.1084E+03 -2.582	-0.7232E+02 -1.752
500-1000	0.3504E+00 0.679	0.4538E-02 0.037	-0.3996E+02 -0.799	-0.2365E+02 -0.466
OD 距離 (キロ)	0.2680E-02 1.392	0.5714E-03 0.835	0.4677E-01 0.494	0.8549E-01 0.926
輸送手段 (種類)	-0.8312E-02 -0.867	-0.2511E-03 -0.232	-0.1938E+00 -0.242	-0.1930E+00 -0.240
積み替え	0.4205E-01 2.892	0.2099E-01 2.069	-0.2243E+01 -1.699	-0.1355E+01 -0.953
コンテナ利用	0.6993E+00 2.044	0.2695E-01 0.707	-1.5678E+01 -1.243	-0.3714E+01 -0.850
所要時間 (分)	-0.1733E+01 -1.235	-0.3675E-01 -0.516	0.7264E+02 8.210	0.5657E+02 6.364
予算 (億円)	-0.1682E-02 -1.695	-0.1611E-03 -1.230	0.5969E-02 0.495	0.9019E-02 0.734
地域間総輸送トン数	-0.1898E-02 -1.767	-0.2291E-03 -1.198	0.1316E+00 8.458	0.1434E+00 8.621
輸送手段 θ (円/t・km)	-0.5436E-01 -2.839	-0.1877E+00 -2.893		
選択性修正項	トラック		0.1298E+03 8.216	0.8530E+02 7.606
	船舶		-0.1445E+01 -0.595	-0.4914E+00 -0.553
尤度比検定 ρ^2	0.70416 92.3	0.72583 93.1		
F 値	98.2/59.0	98.6/61.5	22.0	20.6
決定係数 R^2			0.5140	0.4975

注) 1. 線形パラメータ、2. 非線形パラメータ (39)

4. おわりに

本研究では消費者行動理論にそって各モデルを導出しているが、物流は本来、企業の生産活動の一部であることから、企業の行動理論、つまり利潤関数からのモデルの導出が必要と考えられる。また、 ν の分布に標準正規分布を仮定したことの妥当性の検証と、離散-連続選択モデルの同時推定法の検討が残された課題である。

(参考文献)

1. 佐野神也: 質的選択分析, 三菱経済研究所
2. 溝上章志: 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可能性に関する検討, 第 48 回年次学術講演会講演要旨集第 4 部, pp. 748-749, 1993.