

## 時間価値の分布を考慮した交通手段選択モデルについて

東京商船大学 兵藤 哲朗 HYODO Tetsuro

## 1. 時間価値分布と交通手段選択モデル

わが国では都市間の交通手段分担率を推計する手法として、1960年代より犠牲量モデルが用いられてきた。同モデルは時間価値が個人間で確率的に分布することを前提とし、一般化費用最小の手段が選ばれるとの仮定より分担率を求める手法である。しかし1970年代後半より、操作性がよい非集計 Logit モデルが導入されるにつれ、犠牲量モデルが用いられることも少なくなった。反面、Logit モデルは時間価値は一定値を持つという構造を有するため、「個人間で時間価値は異なる」という本質的な仮定はないがしろにされてきた嫌いもある。Logit モデルのこの制約は、Probit モデルや、最近開発された Mixed Logit モデル<sup>2)</sup>により緩和される。本稿では時間価値の分布を前提に、それらモデルの特性を把握する。

## 2. 時間価値分布を考慮した離散選択モデル

所要時間、費用のパラメータが固定される Logit モデルでも、1)属性別に両パラメータを推定、2)交通手段別に両パラメータを推定、3)「費用/所得」なる変数により所得により異なる時間価値を表現 といった方法で時間価値の個人間の相違を表すことは可能である。しかし、1)は用いる属性を先決できずモデル操作上セグメントの数も限られる、2)は手段別に時間価値が異なり個人間の相違を表現できない、3)は所得データが必須であるといった欠点を有している。確率効用を前提とする離散選択モデルにおいては、時間価値の分布を考えることは、

$$\theta(\omega \cdot \text{time} + \text{cost}) = \theta_1 \cdot \text{time} + \theta \cdot \text{cost} \quad (1)$$

において、 $\theta_1$  を確率変動するパラメータとして推定し、その推定標準偏差値を  $\theta$  で除することにより、時間価値の標準偏差を得ることに相当する。つまり、次のようなパラメータの確率変動を推定できるモデルならば、時間価値分布を扱うことができる。

## (1) Taste Variation モデル (Probit モデルにおける)

効用関数のパラメータ  $\beta$  が個人間でバラツキを持つ、

いわゆる random coefficient (確率変動係数) モデルは従来 Probit モデルの応用として定式化されてきた<sup>2)</sup>。効用関数の1パラメータが確率的に変動する例をとれば、

$$U_{in} = \beta x_{in} + \varepsilon_{in} \quad (\varepsilon_{in} \sim N(0, \sigma^2)) \quad (2)$$

において、

$$\beta = \bar{\beta} + \eta_n \quad (\eta_n \sim N(0, \sigma_\beta^2)) \quad (3)$$

と仮定したときに、例えば選択枝数が2のときの Probit モデル誤差分散共分散行列が

$$\sigma_\beta^2 \begin{bmatrix} x_{1n}^2 & x_{1n}x_{2n} \\ x_{1n}x_{2n} & x_{2n}^2 \end{bmatrix} + \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

で定式化できる。これが Probit モデルにおける random coefficient モデル、ないしは“taste variation”モデルである。

## (2) Mixed Logit モデル

Mixed Logit モデルは Logit モデルの効用関数を

$$U_{in} = V_{in} + [\mu' z_{in} + \varepsilon_{in}] \quad (5)$$

のように、誤差項を選択枝・個人間で相互独立する Gumbel 分布  $\varepsilon_{in}$  と、平均0の確率変数ベクトル  $\mu$  及び選択枝  $i$  に関する特性変数ベクトル  $z_{in}$  から算出される項に分離するモデルである。 $\mu$  が確率分布をするため、選択確率および  $\mu$  の母数パラメータを含むモデルパラメータは、多数の乱数発生によるシミュレーション法により推定される。具体的には、 $\mu$  の確率密度関数を  $f(\mu|\Omega)$  と定義すれば、 $\varepsilon_{in}$  として Gumbel 分布を仮定しているため、通常の Logit モデルと同様に、 $\mu$  が所与の条件付き選択確率式は次の通り導かれる。

$$L_i(\mu) = \exp(\beta' x_i + \mu_i) / \sum_j \exp(\beta' x_j + \mu_j) \quad (6)$$

よって、選択確率は確率密度関数を乗じた、

$$P_i = \int L_i(\mu) f(\mu|\Omega) d\mu \quad (3)$$

で算出される。シミュレーション法により、 $\mu$  を有限の乱数により置き換え、パラメータを推定可能である。Mixed Logit モデルでは、Taste Variation モデルと同様の式は(5)式中の  $z_{in}$  を確率的に変動するパラメータに乗せられる変数値  $x_{in}$  で置き換えることにより得られる。

表 時間価値分布を考慮したモデル (パラメータ右の()内はt値)

	Mixed Logit モデル		Probit モデル	Logit モデル	
	正規分布	対数正規分布	仕事	共通変数	固有変数
時間(G)	-2.140 (18.9)	-2.114 (10.7)	-1.713 (19.8)	-1.144 (28.2)	-0.968 (18.8)
費用(G)	-7.832 (5.8)	-4.516* (3.9)	-6.039 (6.1)	-3.060 (3.3)	---
定数項(A)	-3.395 (19.4)	-3.763 (16.9)	-2.739 (19.8)	-2.207 (18.8)	-3.035 (14.5)
定数項(R)	-1.597 (14.7)	-1.582 (13.8)	-1.272 (14.4)	-0.990 (12.9)	-1.074 (5.6)
時間σ(G)	0.9004 (13.0)	0.5450* (14.1)	0.7303 (13.1)	---	---
費用(A)	---	---	---	---	-0.677 (0.6)
費用(R)	---	---	---	---	-5.686 (3.6)
費用(C)	---	---	---	---	-8.756 (6.1)
初期尤度	-3002.5	-3002.5	-3002.5	-3002.5	-3002.5
最終尤度	-2105.3	-2129.8	-2098.7	-2229.6	-2211.5
DF 調整尤度比	0.2988	0.2907	0.3005	0.2569	0.2627
サンプル数	3000	3000	3000	3000	3000
VT[円/分]	273	468	284	374	A:1430 R:170 C:111
VTのσ[円/分]	115	121**	121	---	---

時間は100分、費用は10万円単位。(A)(R)(C)は各々航空・鉄道・車、(G)は共通変数

\*推定時は変数変換されている \*\*対数正規分布の標準偏差であり他結果とは直接比較できない

### 3. 事例分析

本分析では、平成7年の幹線旅客純流動表から作成した都市間個人トリップを用いたモデル構築を行った。対象とするのは航空・鉄道・車の3手段で、3手段とも利用可能性をもつ仕事目的(3000サンプル抽出)のトリップを用いた。結果より、時間価値(表中「VT」)分布を仮定したモデルは通常のLogitモデルに比して説明力が大幅に改善されるとともに、時間価値分布のパラメータ(表中「時間σ」)も有意であることが確認できる。また、Probitモデルとの比較からは、理論的に導かれるLogitモデルとProbitモデルとのパラメータ比( $\pi/\sqrt{6}$ )を保持した構造となっていることが確認され、両モデルがほぼ同様の説明力を持つことがわかる。

図は表の正規分布を仮定したMixed Logitモデル推定パラメータと、推定に使用したサンプルの平均的交通サービス値を用いた感度分析結果である。10000個の正規乱数を発生させることで、時間価値の分布をシミュレートし、各々の最大確率を与える選択肢を選択結果として分担率を算出している。参考として、各条件下の各モード利用の平均時間評価値(図中「VT」)も表示した。図を見ると、航空費用の増加に伴い、鉄道分担率が上昇することが確認できるが、同時に車の分担率は殆ど変化しないことが分かる。また、航空と鉄道の平均時間評価値は共に上昇している。これより、本モデルでは、航空費用の増加は、航空利用者の内の時間評価値が低いトリッ

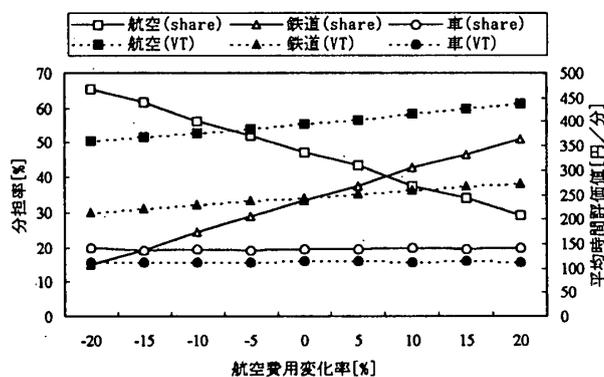


図 Mixed Logit モデル感度分析 [航空費用変化]

プの鉄道への転換を表すことが理解される。また、時間価値分布を考慮したモデルが従来型モデルより説明力が向上しているのも、時間評価値が高いトリップが航空を利用し、その逆に車利用者の時間評価値が低いという現象を適切に表現していることによる。時間価値分布を扱うモデルを用いれば、単に分担率の変化だけでなく、各交通手段の質の変化(この場合時間評価値の相違)をも分析対象とすることが可能となる。これは従来型のLogitモデルでは扱うことができなかった利点といえる。

### 参考文献

- 1) Brownstone, D. and Train, K. (1999): Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns, J. of Econometrics, Vol.89, pp.109-129
- 2) Train, K. (1986): *Qualitative Choice Analysis*, MIT press
- 3) Alam, M.J., Ohta, K. and Harata, N. (1996): Random distribution of value of time in discrete choice model for economic analysis of transportation projects, 土木学会第51回年講, pp.378-379