

古典的消費者行動に基づく交通行動モデルの地域間旅客需要予測への適用

Applicability of the Transportation Behavior Model in the Context of Classical Consumer Behavior Theory to the Forecasting Inter-regional Travel Demand*

森杉壽芳**, 上田孝行***, 小池淳司****, 小森俊文*****

By Hisayoshi MORISUGI**, Takayuki UEDA***, Atsushi KOIKE****, Toshifumi KOMORI*****

1.はじめに

従来の四段階推定法における離散選択モデルは、ロジットモデルを代表として交通需要分析に用いる場合には、次のような問題点が挙げられる。まず第一に、総交通需要量が外生的に与えられているため、交通整備による誘発需要量を考慮できない点である。実際には交通整備が行われると、対象とする交通ネットワークの各部で交通量が変化するだけでなく、総交通需要量自体が増加する。従って、交通サービスの一般化費用や質の水準を総交通需要量に反映させて、内生化する必要がある。第二に、交通以外の財との需要の相互依存性が無視されている点である。個人は自分の収入や時間を交通だけでなく他の財やサービスの消費に分配しているので、交通需要は本来なら他の財へのそれと独立に決定されるものではない。そのため、交通以外の財の属性にも依存したモデルとする必要がある。

そこで、上記の問題点を克服するために、古典的消費者行動理論に基づいた新しい交通需要予測モデルが、Morisugi, Ueda, Le(1995)¹⁾によって提案されている。このモデルは、需要シェアが従来のロジットモデルと同様の形式であり、さらに総交通需要量が内生化されている。従来のロジットモデルのテクニックを活かしながら、交通サービスの変化あるいは交通以外のその変化によって総交通需要量が変化することを表現できる。

本研究では、まず新しい交通需要予測モデルを示した後、ネスティッドロジットモデル形式である、目的地と交通機関の二段階選択モデルを構築する。

さらに、事例研究として地域間旅客需要予測に適用し、モデルの有効性を確かめる。

2.古典的消費者行動による交通需要予測モデル

古典的消費者行動理論では、消費者が財あるいはサービスを消費することによって効用を満たす経済主体において、一定の所得の下で効用が最大限に満たされるような組み合わせを選択するものと仮定している。そこでこの理論に基づいて、ある個人の効用を(1)式のように定式化する。

$$V(q) = \max_x U(X_1, X_2, \dots, X_K) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{k \in K} q_k X_k = 1$$

$U(\cdot)$: 直接効用関数, $V(q)$: 間接効用関数,

q : 価格ベクトル, X_k : 財 (あるいはサービス) k に対する需要量, $k \in K = \{1, \dots, K\}$: 財の種類を表すラベル, $q_k = p_k / y$: 所得で基準化された価格, y : 所得

上の最大化問題を解き、解である需要関数を目的関数である効用関数に代入すると、(2)式のように各財の価格ベクトルの間接効用関数として表される。

$$V(q) = U(X_1^*, X_2^*, \dots, X_K^*) \quad (2)$$

また、ロワの恒等式により財 i に対する需要量は、(3)式のように変形できる。

$$X_i(q) = \frac{\frac{\partial V(q)}{\partial q_i}}{\sum_{k \in K} q_k \frac{\partial V(q)}{\partial q_k}} \quad \text{for } i \in K \quad (3)$$

これを用いて、各交通サービスへの需要量は、総交通需要量と各サービスの需要シェアへの形式に分解できる。まず、交通サービスを意味する財のグループとそれへの総交通需要量を定義する。

$$N_j(q) = \sum_{i \in J} X_i(q) \quad (4.a)$$

$$j \in J = \{1, \dots, J\} \subset K = \{1, \dots, K\} \quad (4.b)$$

$N_j(q)$: 総交通需要量, $J = \{1, \dots, J\} \subset \{1, \dots, K\}$: 交

*キーワード: 交通行動分析, 発生・集中, 目的地選択

**正会員 工博 アジア工科大学教授, 土木工学科

***正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科

(岐阜市柳戸 1-1, TEL058-293-2447, FAX058-230-1248)

****正会員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科

*****学正員 岐阜大学大学院 博士前期課程

通サービスを意味する財のラベルのグループ

従来の交通需要分析のように総交通需要量を外生的に与えることと、導出されたモデルのように内生化するとの相違は次のように表現される。

$$\frac{\partial N_j}{\partial q_i} = 0 \quad \text{for all } i \in K \quad (\text{従来}) \quad (5.a)$$

$$\frac{\partial N_j}{\partial q_i} \neq 0 \quad \text{for all } i \in K \quad (\text{本モデル}) \quad (5.b)$$

グループに属する各財への需要量は、総交通需要量とグループ内での需要シェアの積として、次のように分解できる。

$$X_j = N_j(q) \cdot x_j(q) \quad \text{for all } j \in J \quad (6.a)$$

$$N_j(q) = \frac{\sum_{j' \in J} \frac{\partial V(q)}{\partial q_{j'}}}{\sum_{k \in K} q_k \cdot \frac{\partial V(q)}{\partial q_k}} \quad (6.b)$$

$$x_j(q) = \frac{\frac{\partial V(q)}{\partial q_j}}{\sum_{j' \in J} \frac{\partial V(q)}{\partial q_{j'}}} \quad (6.c)$$

この結果、総交通需要量が内生的である特性に加えて、それが J に属する財（交通サービス）の属性だけでなく、 J 以外の財の属性の関数として表される。これによって、交通サービスの価格だけでなく、それ以外の財の価格が変化した場合の交通需要量の変化を分析できる。

3. ネスティッドロジットモデル形式への拡張²⁾

まず財の分類に対して、次のようなサブグループを導入する。

$$d \in D = \{1, \dots, D\}$$

$$j = (m, d) \in M_d = \{(1, d), \dots, (M_d, d)\}$$

$d \in D = \{1, \dots, D\}$: サブグループを表すラベル,

$j = (m, d) \in M_d = \{(1, d), \dots, (M_d, d)\}$: サブグループ M_d に含まれる財を表すラベル

次に間接効用関数 $V(\cdot)$ については、以下のように特定化する。

$$V(q) = \int_{q \rightarrow \infty} \left[\sum_{j' \in J} \left(\frac{\partial G(y_1(s_1), \dots, y_J(s_J))}{\partial y_{j'}} \cdot \frac{-dy_{j'}(s_{j'})}{ds_{j'}} \right) ds_{j'} \right. \\ \left. + \sum_{h \in H} \left(-\frac{\partial W(q_H)}{\partial s_h} \right) ds_h \right] \quad (7.a)$$

$$= G(y_1(q_1), \dots, y_J(q_J)) + W(q_H)$$

$$G(y_j) = \sum_{d \in D} \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^\mu \quad (7.b)$$

$$y_j = \int_{q_j}^\infty \exp[-k_j(s_j)] ds_j \quad (7.c)$$

$y_j: q_j$ の単調増加関数、 $W(\cdot)$: 注目している財のグループ J 以外に依存した間接効用、 q_H : 注目している財のグループ J 以外の財の価格ベクトル $H = \{1, \dots, H\} = K - J$: 交通以外の財のラベルのグループ、 $k_j(\cdot)$: 交通機関の選好度を表す関数、 μ : パラメータ

ここで導入した $y_j(q_j)$ という関数は、個別の効用を示すものであり、価格だけでなく質的な要因を取り込むことができる。

(7.a), (7.b) 式を (6.c) 式に代入すると、財 j に対する需要量 $x_j(q)$ は (8.a) 式のように表される。また (6.b) 式に代入すると、総交通需要量が得られる。

$$x_j(q) = \frac{\left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \cdot \exp[-k_j(q_j)]}{\sum_{d \in D} \left\{ \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \cdot \sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right\}} \quad (8.a)$$

$$N(q)$$

$$= \frac{\sum_{d \in D} \left\{ \left(\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\}}{\sum_{d \in D} \left\{ \left(\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\} + \sum_{h \in H} q_h \cdot W_h} \quad (8.b)$$

(8.a) 式は、さらにサブグループ d の需要シェア $x(d)$ と、それに含まれる財 m の需要シェア $x(m|d)$ の積の形に分解できる。ここで導出されたモデルは、需要シェアが従来のネスティッドロジットモデルと同様の形式であり、さらに総交通需要量が内生化された形である。

$$x_j(q) = x(d, m) = x(m|d) \cdot x(d) \quad (9.a)$$

$$x(m|d) = \frac{\exp[-k_j(q_j)]}{\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})]} \quad (9.b)$$

$$x(d) = \frac{\left(\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^{\mu-1}}{\sum_{d \in D} \left\{ \left(\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\}} \\ = \frac{\exp \left[\ln \left(\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) + (\mu-1) \ln \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right) \right]}{\sum_{d \in D} \exp \left[\ln \left(\sum_{j' \in M_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) + (\mu-1) \ln \left(\sum_{j' \in M_d} y_{j'} \right) \right]} \quad (9.c)$$

4. 目的地・交通機関別旅客需要予測モデル

3.で導出されたモデルにおいて、サブグループ d が目的地、それに含まれる財 m がその目的地に行く際に利用可能な交通機関とする。ここで関数 $k_j(\cdot)$ については、地域間の交通一般化費用の線形関数として、以下のように定式化する。

$$k_j(q_j) = \alpha_j q_j + \beta_j \quad (10)$$

q_j : 地域間の交通一般化費用を所得で基準化したもの、 α_j, β_j : パラメータ

(10)式を(9.b)式、(9.c)式に代入すると以下のようになる。

$$x(m|d) = \frac{\exp[-\alpha_j q_j - \beta_j]}{\sum_{j \in \mathcal{M}_d} \exp[-\alpha_j q_j - \beta_j]} \quad (11.a)$$

$$x(d) = \frac{\exp\left\{\mu \ln \sum_{j \in \mathcal{M}_d} \exp[-\alpha_j q_j - \beta_j]\right\}}{\sum_{d \in \mathcal{D}} \exp\left\{\mu \ln \sum_{j \in \mathcal{M}_d} \exp[-\alpha_j q_j - \beta_j]\right\}} \quad (11.b)$$

$N(q)$

$$= \frac{\sum_{d \in \mathcal{D}} \left\{ \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} \exp[-\alpha_j q_j - \beta_j] \right) \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} y_j \right)^{\mu-1} \right\}}{\sum_{d \in \mathcal{D}} \left\{ \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} q_j \cdot \exp[-\alpha_j q_j - \beta_j] \right) \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} y_j \right)^{\mu-1} \right\} + \sum_{h \in \mathcal{H}} q_h \cdot W_{qh}} \quad (11.c)$$

$x(m|d)$: 目的地 d 交通機関 m の需要シェア

$x(d)$: 目的地 d の需要シェア

また、関数 W_{qh} については以下のように仮定する。

$$W_{qh} = \exp[-\delta q_h - \varepsilon] \quad (12.a)$$

$$W_{qh} = -\delta q_h - \varepsilon \quad (12.b)$$

$$W_{qh} = e^{-\varepsilon} \cdot q_h^{-\delta} \quad (12.c)$$

q_h : 合成財価格を所得で基準化したもの

δ, ε : パラメータ

5. 便益定義³⁾

本モデルでは、(7.a)式の間接効用関数を用いて、(7.b),(7.c),(12.a)~(12.c)式にそれぞれ対応させて、等価的偏差(EV)の概念に基づき、便益を以下のように定義することができる。

$$V^b\left(\frac{P}{y}\right) = \sum_{d \in \mathcal{D}} \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} \frac{1}{\alpha_j} \exp\left(-\alpha_j \frac{P_j^a}{(y+EV)} - \beta_j\right) \right)^\mu + \sum_{h \in \mathcal{H}} \left(\frac{1}{\delta} \exp\left(-\delta \frac{P_h}{(y+EV)} - \varepsilon\right) \right) \quad (14.a)$$

$$V^b\left(\frac{P}{y}\right) = \sum_{d \in \mathcal{D}} \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} \frac{1}{\alpha_j} \exp\left(-\alpha_j \frac{P_j^a}{(y+EV)} - \beta_j\right) \right)^\mu + \sum_{h \in \mathcal{H}} \left(-\frac{\delta}{2} \cdot \left(\frac{P_h}{(y+EV)} \right)^2 - \varepsilon \right) \quad (14.b)$$

$$V^b\left(\frac{P}{y}\right) = \sum_{d \in \mathcal{D}} \left(\sum_{j \in \mathcal{M}_d} \frac{1}{\alpha_j} \exp\left(-\alpha_j \frac{P_j^a}{(y+EV)} - \beta_j\right) \right)^\mu + \sum_{h \in \mathcal{H}} \left(e^{-\varepsilon} \cdot \frac{1}{(\delta-1)} \cdot \left(\frac{P_h}{(y+EV)} \right)^{-\delta+1} \right) \quad (14.c)$$

スーパースクリプト a, b : プロジェクトなし, あり,

p_j : 地域間の交通一般化費用, p_h : 合成財価格

6. 事例研究

本研究では、地域間旅客需要（1990 年全機関幹線旅客流動表）を対象にして、提案したモデルを適用した。なお交通機関は、航空・鉄道・自動車の3種類とした($m=3$)。また合成財消費の関数 W_{qh} は、4.で仮定したものを用い、合成財価格には、県別消費者物価指数または県別平均地価をそれぞれ所得で基準化したものを用いた。

(1) パラメータ推定

全国より8地域（岩手・栃木・神奈川・愛知・京都・広島・香川・福岡）を取り出し、その地域間での旅客純流動データを用いて、モデルのパラメータ推定を行った（表1~3）。世帯の年間所得・交通一般化費用・合成財価格に関するデータは、すべて1990年のものを用いた。なお、各地域での内タトリップは無視する。

表1 パラメータ推定結果

	パラメータ	推定値	t値	需要シェアの相関係数
航空 $m=1$	α_1	-240	-3.55	0.986
	β_1	23.4	13.9	
鉄道 $m=2$	α_2	-422	-4.67	
	β_2	26.7	15.2	
自動車 $m=3$	α_3	-514	-10.1	
	β_3	26.2	14.5	
	μ	0.720	21.6	0.854

表2 パラメータ推定結果
(合成財価格=県別消費者物価指数)

関数 W_{qh}	パラメータ	推定値	t値	総交通需要量の相関係数
(12.a)	δ	-3.68	-4.29	0.868
	ε	23.5	25.6	
(12.b)	δ	-1.52E+09	-3.14	0.813
	ε	2.02E+09	4.25	
(12.c)	δ	-3.94	-4.50	0.878
	ε	19.8	147	

表3 パラメータ推定結果
(合成財価格＝県別平均地価)

関数 W_{gh}	パラメータ	推定値	t値	総交通需要量の相関係数
(12.a)	δ	-11.4	-3.40	0.811
	ε	23.6	133	
(12.b)	δ	-8.58E+10	-2.48	0.711
	ε	1.54E+10	8.42	
(12.c)	δ	-0.472	-2.17	0.663
	ε	21.6	31.1	

(2)総旅客需要量の弾力性

総旅客需要量の弾力性は、交通一般化費用（航空・鉄道・自動車）・年間所得・合成財価格の場合について調べた。以下にその結果の一部を示す（表4～6）。

表4 総旅客需要量の交通一般化費用に対する弾力性

合成財価格		県別消費者物価指数		
関数 W_{gh}		(12.a)		
地域	交通機関	航空	鉄道	自動車
岩手県		0.19	2.29	0.33
栃木県		0.04	1.23	0.34
神奈川県		0.04	1.07	0.28
愛知県		0.02	0.99	0.29
京都府		0.04	1.06	0.29
広島県		0.03	1.30	0.33
香川県		0.06	1.45	0.27
福岡県		0.14	1.66	0.25

表5 総旅客需要量の年間所得に対する弾力性

合成財価格		県別消費者物価指数	県別平均地価
関数 W_{gh}		(12.a)	(12.a)
地域			
岩手県		-0.96	3.65
栃木県		-0.84	2.36
神奈川県		-0.75	1.46
愛知県		-0.82	1.79
京都府		-1.31	1.13
広島県		-1.33	2.35
香川県		-1.16	2.51
福岡県		-1.48	2.78

注）ここで弾力性がマイナスというのは、所得の増加に対して総旅客需要量が減少することを意味する。

表6 総旅客需要量の合成財価格に対する弾力性

合成財価格		県別消費者物価指数	県別平均地価
関数 W_{gh}		(12.a)	(12.a)
地域			
岩手県		3.67	0.86
栃木県		2.41	0.78
神奈川県		2.11	0.09
愛知県		2.10	0.51
京都府		2.68	-0.24
広島県		2.95	0.70
香川県		2.90	0.75
福岡県		3.47	0.74

(3)交通システム改善による旅客需要変化

地域間の交通システムが改善された場合を想定し、総旅客需要量変化および目的地・交通機関別旅客需要変化を推定した（表7）。

case

関西－関東間の鉄道整備により、京都府－神奈川県間およびそれ以北の地域への鉄道一般化費用がODペア毎に一律2000円減少する。

表7 旅客需要量変化（発地：京都府）

目的地	航空	鉄道	自動車	total
岩手	-5.19	20.5	-5.19	14.5
栃木	-5.69	19.8	-5.69	16.1
神奈川	-5.79	19.7	-5.79	16.4
愛知	0.00	-0.04	-0.04	-0.04
広島	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
香川	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
福岡	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
total	-2.57	4.12	-0.35	3.08

単位：%

7.おわりに

本研究では、従来の交通需要分析での問題点を克服した新しい交通需要予測モデル（ネスティッドロジットモデル形式）の適用可能性を示した。ある交通機関のシステムが改善された場合、目的地・交通機関別需要シェアが変化するだけでなく、誘発需要が計測できることが確認できた。今回の事例研究においては、対象地域を8地域に限定して行ったが、現在対象地域を拡張した場合のモデルの有効性を確認している。今後は、合成財消費の効用を表す関数形および合成財価格に用いる指標について考える必要がある。

参考文献

- 1) Hisa MORISUGI, Taka UEDA, Le Dam HANH : A New Proposal for Travel Demand Forecasting in The Context of Classical Consumer Behavior Theory, presented at 7th WCTR, 1995.
- 2) Morisugi, H., Ueda, T. and Le, D.H. : GEV and Nested Logit Models in the Context of Classical Consumer Theory, Journal of Infrastructure Planning and Management, No.506/IV-26, JSCE, pp129-136, 1995.
- 3) 森杉壽芳：プロジェクト評価に関する最近の話題，土木計画学研究論文集，No7, pp1-33, 1989.
- 4) Varian, H. R., 佐藤隆三・三野和雄訳：ミクロ経済分析，劉草書房，1986.
- 5) 土木学会土木計画学研究委員会編：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，1995.