

個人の自由目的来訪活動における滞在時間・出費・来訪頻度同時選択モデルの構築 A Simultaneous Choice Model of Monetary and Time Expenditure, Location and Frequencies of Discretionary Activities

阿部昌幸*, 山本俊行**, 藤井聡***, 北村隆一****

By Masayuki ABE, Toshiyuki YAMAMOTO, Satoshi FUJII, and Ryuichi KITAMURA

1. はじめに

近年、個人の交通行動が交通行動以外の種々の活動と強い相互作用を持つ点に着目し、一日の時間資源に基づいた活動と交通行動との連関を捉えようとする試み^{1), 2)}や、所得に基づいた消費行動と交通行動との連関を捉えようとする試み^{3), 4)}がなされてきている。この流れの中で、藤井らは、所得と時間資源の双方に基づいた消費行動と交通行動との連関を考慮した、交通需要解析モデルの提案を図っている^{5), 6)}。

このモデルは、個人は所得制約と時間資源制約の下で、複数の目的地への来訪頻度を調整することで、種々の消費行動に伴う総効用を最大化するという行動仮説に基づくものであり、行動、出費、時間利用データを合わせて用いて効用関数が推定されている。このモデルの適用上の特徴としては、消費行動との連関を考慮した的確な需要解析が期待できる点、モデルの出力の一つである地域別の出費額に基づいた地域経済の観点からの評価が可能である点、等が挙げられる⁵⁾。しかし、それらの適用の際に重要となる各目的地域での滞在時間や出費額については、構造方程式モデルを用いて変数間の共分散関係が記述されているに過ぎない。それに加えて、機関選択が考慮されていないという点も重要な課題点として残されている。

本研究は、これらの課題点に着目して、藤井らのモデルと同様の考え方に基いて、目的地別、交通

キーワード：発生交通、分布交通、交通手段選択

* 正会員 工修 名古屋鉄道株式会社
(〒450-8501 名古屋市中村区名駅1丁目2番4号,
Tel: 052-571-2111)

** 正会員 工修 京都大学大学院工学研究科
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel: 075-753-5136,
Fax: 075-753-5916)

*** 正会員 博士(工学) 京都大学大学院工学研究科

**** 正会員 Ph.D. 京都大学大学院工学研究科

機関別の来訪頻度と、個々の目的地での滞在時間と出費を決定変数とした行動モデルの構築を目指す。

以下、2.でモデルの概要を、3.で未知パラメータの推定方法を、そして、4., 5.で推定計算のためのデータの概要と推定結果について述べる。

2. モデルの概要

本モデルでは、個人の総効用 U_{total} は、来訪目的地域 j ($j=1, 2, \dots, J$) への来訪行動によって得られる効用 U_j と、来訪行動以外のことに費用を消費して得られる効用 U_o 、来訪行動以外のことに時間を消費して得られる効用 U_o の総和であるものとし、個人はその総効用が最大となるように行動すると仮定する。その際、個人にとって自由に消費できる総費用、および総時間は限られており、個人はそれらの制約の下で上記の効用を最大化するものと仮定する。また、来訪行動によって得られる効用は、来訪目的地における滞在時間 T_j 、消費した費用(出費) P_j 、利用交通機関 i ($i=1, 2, \dots, I$) 別の来訪頻度 N_{ij} に依存するものと考え、 U_j を以下のように仮定する。

$$U_j = U(P_j, T_j, N_{1j}, \dots, N_{Ij}, \dots, N_{Ij}) \quad (1)$$

以上より、個人は、式(3)の制約条件のもとで、式(2)で示される効用を最大化するように行動するものと仮定する。

目的関数

$$U_{total} = \sum_j U_j + U_G(G) + U_o(T_o) \rightarrow \max \quad (2)$$

制約条件

$$\begin{cases} \sum_j P_j + \sum_i \sum_j c_{ij} N_{ij} + G = Y \\ \sum_j T_j + \sum_i \sum_j t_{ij} N_{ij} + T_o = T_{total} \end{cases} \quad (3)$$

$$P_j \geq 0, T_j \geq 0, N_{ij} \geq 0, G > 0, T_o > 0$$

ただし、 G, T_o は、それぞれ対象目的地域への来訪

行動以外に消費する費用, および自由時間を表わし, Y, T_{total} はそれぞれ個人の総自由費用, および総自由時間を表わす。また, c_{ij}, t_{ij} は, それぞれ利用交通機関 i で, 地域 j に来訪する際の 1 回当たりの往復交通費, および往復移動時間を表わす。

ここで, 来訪行動によって得られる効用 U_j の効用関数を, 式(4)のように定義する。

$$U_j = (\alpha_j P_j^{\theta_j} + \beta_j T_j^{\rho_j}) \ln \left(\sum_i N_{ij} + 1 \right) + \sum_i \gamma_{ij} N_{ij} \quad (4)$$

$$0 < \theta_j < 1, 0 < \rho_j < 1$$

ただし, $\alpha_j, \beta_j, \gamma_{ij}, \theta_j, \rho_j$ は, 各々の来訪目的地における出費, 滞在時間, 来訪頻度の増加に伴う限界効用に影響を及ぼすパラメータを表わす。

式(4)において, 第 1 項は来訪目的地での滞に伴う効用を表わしており, 地域 j で消費する総出費・総滞在時間によって得られる限界効用は相互に独立であること, および来訪頻度の増加に伴う限界効用が逓減することを仮定している。さらに, 地域 j で消費する総出費・総滞在時間の増加に伴い, その各々の限界効用が逓減することを仮定している。また, 第 2 項は来訪目的地までの移動に関する移動抵抗を表わしており, その移動抵抗の大きさは, 自宅と来訪目的地間の移動に利用する交通機関に依存する。

一方, 来訪行動以外に費用・時間を消費することによって得られる効用については, 各々の限界効用が逓減することを考慮し, 以下のように定式化する。

$$U_G(G) = \eta \ln(G) \quad (5)$$

$$U_O(T_O) = \mu \ln(T_O) \quad (6)$$

ただし, η, μ は各々の限界効用に影響を及ぼすパラメータを表わす。

以上の定式化による先の最適化問題を, ラグランジェの未定乗数法を用いて解くと, 最適解が満たす必要条件が以下のように導かれる。

$$\frac{\alpha_j}{\theta_j} P_j^{\theta_j-1} \ln \left(\sum_i N_{ij} + 1 \right) - \frac{\eta}{G} \begin{cases} = 0 & \text{if } (P_j > 0) \\ \leq 0 & \text{if } (P_j = 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{\beta_j}{\rho_j} T_j^{\rho_j-1} \ln \left(\sum_i N_{ij} + 1 \right) - \frac{\mu}{T_O} \begin{cases} = 0 & \text{if } (T_j > 0) \\ \leq 0 & \text{if } (T_j = 0) \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{\alpha_j P_j^{\theta_j} + \beta_j T_j^{\rho_j}}{\sum_i N_{ij} + 1} + \gamma_{ij} - \frac{\eta}{G} c_{ij} - \frac{\mu}{T_O} t_{ij} \begin{cases} = 0 & \text{if } (N_{ij} > 0) \\ \leq 0 & \text{if } (N_{ij} = 0) \end{cases} \quad (9)$$

次に, 各効用に及ぼす影響の大きさを表すパラメータを, 定式化の際に仮定した非負条件等を満たすように, 式(10)のように定式化する。

$$\begin{cases} \alpha_j / \theta_j = \exp(\mathbf{A}Y_j + \xi_j) & \theta_j = \mathbf{B}W_j \\ \beta_j / \rho_j = \exp(\mathbf{C}Y_j + \zeta_j) & \rho_j = \mathbf{D}W_j \\ \gamma_{ij} = \mathbf{E}X_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ \eta = \exp(\mathbf{F}Z + \xi_G) \\ \mu = \exp(\mathbf{G}Z + \zeta_{T_O}) \end{cases} \quad (10)$$

ただし, Z, Y_j, W_j, X_{ij} は個人属性等の説明変数ベクトル, $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \mathbf{E}, \mathbf{F}, \mathbf{G}$ は未知パラメータベクトルを表わす。また, $\xi_j, \zeta_j, \varepsilon_{ij}, \xi_G, \zeta_{T_O}$ はそれぞれ正規分布に従う誤差項を表わす。なお, 本稿では, 各誤差項は独立と仮定して以下の分析を行う事とした。

3. 未知パラメータの推定方法

本研究では, 式(7), 式(8), 式(9), および式(10)で定式化した最適解が満たす必要条件に含まれる未知パラメータを段階推定によって推定する。まず, 式(7), 式(8)の条件式を用いて, 各々に含まれる未知パラメータを推定し, それを与件として式(9)の条件式に含まれる未知パラメータを推定する。

式(7), (8)を式変形することによって, $P_j > 0, T_j > 0$ の場合には, 以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} \ln P_j - \ln G - \ln \left\{ \ln \left(\sum_i N_{ij} + 1 \right) \right\} \\ = \mathbf{A}Y_j + \mathbf{B}W_j \ln P_j - \mathbf{F}Z + \xi_j - \xi_G \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \ln T_j - \ln T_O - \ln \left\{ \ln \left(\sum_i N_{ij} + 1 \right) \right\} \\ = \mathbf{C}Y_j + \mathbf{D}W_j \ln P_j - \mathbf{G}Z + \zeta_j - \zeta_{T_O} \end{aligned} \quad (12)$$

一方, 個人が地域 j に来訪しなかった場合や, 来訪したものの出費を伴わなかった場合には, $P_j = 0$, あるいは $T_j = 0$ となるが, その場合, 式(7), (8)がそれぞれ常に成り立つ。よって推定に際しては, それぞれ $P_j > 0, T_j > 0$ であるケースのみをデータとして用いる。なお, このように一部のサンプルのみを用いてパラメータの推定を行った場合には, 選択性バイアス (Selectivity bias) の影響を受けることが知られているが, 本稿ではそれに対する修正は行っていない。

式(11), (12)より導かれる対数尤度関数をそれぞれ

れ最大化することによって各未知パラメータを推定する。なお、両式ともに、目的地域に関わらず、共通な誤差項 ξ_o , ξ_{T_o} がそれぞれ含まれているため、推定に際しては、誤差項の相関を考慮するために、Mixing Distribution Model¹⁷⁾の枠組みを適用し、未知パラメータの推定を行なう。

次に、式(11), (12)より推定された各未知パラメータを与件として式(9)を変形すると、以下の式が導かれる。

$$\frac{\hat{\eta}}{G} c_{ij} + \frac{\hat{\mu}}{T_o} T_{ij} - \frac{\hat{\alpha}_j P_{ij}^{\hat{\rho}_j} + \hat{\beta}_j T_{ij}^{\hat{\rho}_j}}{\sum_i N_{ij} + 1} \quad (13)$$

$$\begin{cases} = EX_{ij} + \varepsilon_{ij} & \text{if } (N_{ij} > 0) \\ \leq EX_{ij} + \varepsilon_{ij} & \text{if } (N_{ij} = 0) \end{cases}$$

よって、未知パラメータベクトル E に関しては、式(13)より導かれる対数尤度関数を最大化することによって推定する。なお、式(13)は、片側打ち切りを受けるケースを含む Tobit Model と捉えることが可能である。

4. データの概要

分析に際しては、平成9年に京都市民を対象として行われたアンケート調査「京都市民の交通行動についての調査」の一部、および、対象地域におけるネットワークデータ、来訪目的地ゾーンの社会経済指標データを用いた。この調査では、アンケート調査に先立って行われた予備調査において調査への参加を表明した3,171世帯に対し、世帯調査票1枚と、予備調査で被験者の回答した参加人数分の個人調査票を郵送配布した。得られたサンプル数は、1,954世帯（回収率61.6%）、回収個人票総数は3,943枚となった。分析には、アンケート調査より得られたデータのうち、世帯属性・個人属性・日帰りの娯楽レジャー等の活動に関するデータを用いた。

5. 推定結果の考察

2. で構築した来訪行動モデルを4. で述べたデータのうち不備のない1584サンプルを分析の対象として、3. で述べた推定方法によって未知パラメ

ータの推定を行った。式(11),(12)による推定結果をそれぞれ表1(A)、表1(B)に、それらの推定によって得られた各パラメータを与件として式(13)によって推定した結果を表1(C)に示す。

表1 来訪行動モデル推定結果(A)

	変数名	推定値	t 値
来訪行動の出費に関する パラメータベクトル A	滋賀県グミ	-0.125	-4.33
	京都府グミ	-0.117	-3.86
	大阪府グミ	-0.352	-5.51
	兵庫県グミ	-0.446	-4.89
	奈良県グミ	-0.273	-3.78
	自宅からの距離	0.009	5.99
	名所・寺社数	-0.024	-2.18
	小売業商店密度	0.172	3.61
	アミューズメント施設数	0.038	2.68
	定数項	-12.71	-
来訪行動の出費に関する パラメータベクトル B	就業者グミ	0.008	3.10
	世帯構成員数	-0.003	-3.80
	定数項	0.924	-
来訪行動以外の 費用消費行動に関する パラメータベクトル F	世帯収入500万円未満グミ	-1.278	-51.61
	世帯収入1500万円以上グミ	0.809	24.56
	一人暮らしグミ	-0.114	-1.94
	会社員・公務員グミ	0.051	2.23
	世帯内10才未満子どもグミ	-0.143	-6.25
Sample Size		3686	
var(ξ_j)		0.057	
var(ξ_o)		0.097	
R ²		0.914	

まず表1(A)について述べる。ここでは、個人が来訪行動している地域で、かつ、その地域で出費を伴っている来訪行動データを抽出し、3,686ケースを推定サンプルとして用いて未知パラメータの推定を行なった。表1(A)より、決定係数が0.914と非常に大きく、概ね個人の来訪行動を説明できていることが分かる。個々のパラメータ値に着目すると、名所・寺社数は-0.024となっており、名所やお寺を来訪するような行動では、あまり出費をしない傾向があるものと考えられる。また、小売業商店密度やアミューズメント施設数が正となっていることから、商店や娯楽施設が集積しているような地域では、より出費が大きくなることが分かる。パラメータベクトルBに関しては、まずベクトルの大きさが0.9程度であることから、出費の増加に伴う限界効用の増加が逓減していることが確認できる。またその度合いは、世帯の構成員数が多いほど、より大きく限界効用が逓減する傾向があることが分かる。

次に、表1(B)の滞在時間に関する推定結果については、個人が来訪行動している地域の来訪行動デ

ータを抽出し、3,895 ケースを推定サンプルとして用いて未知パラメータの推定を行なった。表1 (B) の推定結果より、滞在時間に関しては概ね出費と同様の要因によって説明が可能であることが分かる。

表1 来訪行動モデル推定結果(B)

	変数名	推定値	t 値
来訪行動の滞在時間に関する パラメータベクトル C	滋賀県ダミー	-0.047	-1.54
	京都府ダミー	-0.043	-1.34
	大阪府ダミー	-0.391	-5.34
	兵庫県ダミー	-0.520	-4.93
	奈良県ダミー	-0.263	-3.15
	自宅からの距離	0.011	6.20
	小売業商店密度	0.126	2.45
	アミューズメント施設数	0.255	6.79
来訪行動の滞在時間に関する パラメータベクトル D	定数項	-8.29	-
	アミューズメント施設数	-0.040	-6.43
	年齢	0.001	1.52
来訪行動以外の 時間消費行動に関する パラメータベクトル G	定数項	0.791	-
	年齢	0.010	3.50
	女性ダミー	-0.048	-1.84
	就業者ダミー	-0.317	-11.61
Sample Size	一人暮らしダミー	-0.140	-1.94
var(ζ_j)		0.043	
var(ζ_{70})		0.211	
R ²		0.668	

表1 来訪行動モデル推定結果(C)

	変数名	推定値	t 値
来訪行動の 利用交通機関別 来訪頻度に関する パラメータベクトル E	総駐車場容量×自動車	0.0121	3.49
	駐車場料金×自動車	-0.0049	-6.98
	自宅からの距離	0.0017	22.55
	高齢者×バス	0.0099	3.39
	電車所要時間	-0.0106	-3.27
	電車乗り換え回数	-0.0035	-3.06
	バス所要時間	-0.0191	-6.88
	バス料金	-0.0010	-1.55
	バス乗り換え回数	-0.0106	-4.64
	女性ダミー	0.0033	3.81
	世帯収入1500万円以上ダミー	-0.0032	-2.01
	世帯内10才未満子どもダミー	0.0032	3.07
	電車ダミー	0.0204	15.35
	バスダミー	0.0080	4.95
	自動車ダミー	0.0312	23.05
Sample Size	定数項	-0.1146	-
var(e_y)		136,460	
L(C)		0.057	
L(β)		-4267.4	
L(β)		-2926.0	
χ^2 (df=18)		2682.9	

最後に、表1 (C) の推定結果については、各個人から得られる目的地 20 地域、利用交通機関 5 交通機関（京都市以外の目的地は電車と自動車の 2 交通機関）それぞれの来訪行動データを抽出し、134,640 ケース（1584×(15×5+5×2)）を推定サンプルとして用いて未知パラメータの推定を行なった。表1 (C)

より、 χ^2 値が 2682.9 であり、パラメータベクトル E の要素の符号も妥当なものであることから、構築したモデルが統計的に有意なものであることが分かる。次に、交通機関属性に着目すると、バス所要時間と電車所要時間を比較すると、その絶対値はバス所要時間の方が大きなものとなっている。電車費用が有意とはならなかったことも合わせると、電車よりもバスの方が、所要時間、料金ともに移動抵抗が大きいことを示していると考えられることができる。一方、自動車の利用者にとっては、駐車場容量が大きいほど、駐車場料金が安いほど移動抵抗が小さくなるということが分かる。

5. おわりに

本研究では、一定期間における個人の利用交通機関別来訪頻度、来訪目的地での総滞在時間・総出費を同時に予測する来訪行動モデルを構築した。推定結果から、個人が来訪行動を実施する際には、来訪目的地における総合的な効用が影響するということが定量的に把握できた。

しかしながら、式(12),(13)を用いた推定に際して、来訪行動を行ったケースのみをパラメータ推定時のサンプルとしていることによる問題や、各地域毎の誤差項、および、同一地域での出費と滞在時間の限界効用に関する誤差項は独立と仮定することによる問題などは今後の課題である。

参考文献

- 例えば、Kitamura R., S. Fujii, and E.I. Pas: Time use data for travel demand analysis: Toward the next generation of transportation planning methodologies, Transport Policy, Vol. 4, No. 4, pp. 225-235, 1997.
- 例えば、Kitamura, R. and S. Fujii: Two computational process models of activity-travel behavior. In T. Garling, T. Laitila and K. Westin (eds.) Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling (forthcoming).
- 森杉善芳, 上田孝行, 小池淳司, 小森俊文: 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, 土木計画学研究・講演集, No. 19(1), pp. 451-454, 1996.
- 藤井 聡, 池田泰敏, 北村隆一: 費用制約を考慮したランダム効用理論に基づく女性の旅行行動モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No.15, 投稿中- 1998.
- 藤井聡, 北村隆一, 熊田善亮: 所得制約・自由時間制約下での消費行動のモデル化: 新しい交通需要解析手法に関する一考察, 土木学会論文集, 投稿中-
- 熊田善亮, 藤井 聡, 北村隆一: 個人の費用と時間の消費行動を考慮した生活圏の離散・連続モデル分析, 土木学会第 52 年回次学術講演会講演概要集第 4 部, pp. 142-143, 1997.
- 西井和夫, 北村隆一, 近藤勝直, 弦間重彦: 観測されていない異質性を考慮した繰り返しデータに関するパラメータ推定法: Mass Point Model と Mixing Distribution Model, 土木学会論文集, No.506/ IV-26, pp25-33, 1995.