

費用制約を考慮した効用理論に基づく女性の旅行行動についての離散連続選択モデルの構築*

A Random Utility Discrete-Continuous Choice Model of Women's Travel Behavior That Accounts for Income Constraints*

池田泰敏^{***}, 藤井 聡^{***}, 北村隆一^{****}

By Yasutoshi Ikeda^{***}, Satoshi Fujii^{***} and Ryuichi Kitamura^{****}

1.はじめに

近年, 女性の消費行動は活発なものとなり, それに伴う交通需要も増大してきているものと考えられる。女性の消費活動の拡大の背景には, 女性の社会的地位についての社会的共通認識が変化していることが存在するものと考えられるが, 仕事を持つことによって収入が増加したことも挙げられよう。個人的に利用可能な収入が増加し, 市場に存在する種々の財, サービスを自由に購入することが可能となり, その結果, 女性の趣味娯楽活動が増加してきたものと考えられる。それに伴って, 女性の趣味娯楽活動に伴う交通行動も増加してきたものと考えられる。そして, この傾向は, 今後も増加し続けるものと推測される。将来の交通需要を考えるにあたって, 今後増加することが予想される女性個人の趣味娯楽活動による交通行動を考慮することは不可欠であると考えられる。

先述のように, 女性個人の趣味娯楽活動への需要の活性化の重要な要因の一つに, 収入の増加が挙げられる。したがって, 女性個人の交通需要の解析を目指したモデルの構築を図る場合には, 収入と交通需要との関係を明示的にモデル構造に取り込む必要がある。一般的な交通需要解析の手法の一つとして, 交通行動の背後に効用を仮定し, 個人はその効用が最大となるように行動していると考えた効用理論に基づいたアプローチが挙げられる。このアプローチは機関選択や経路選択, 交通発生等の個人の交通行動の種々の局面のモデル化に適用されてきている。そして, このアプローチに基づいて, 収入が交通行動に与える影響を考慮する場合, 効用関数の説明要因として収入を導入するという方法が多く用いられてきた¹⁾²⁾。しかし, このアプローチでは, 他の消費行動を考慮せずに交通行動のみを対象としていること, および, 効用に直接的に収入が影響するという点の, 2 つを前提にしているが, これらの前提に基づいて構築された行動モデルで, 収入の変化に伴う交通需要の変化を十分に分析できるかどうかには, 議論のあるところと考えられる。収入の交通行動への影響を考慮する場合, 他の消費行動にまで視野を広げ, 交通行動を希少性を持った交通サービスの消費行動と捉えることが,

より有効ではないだろうか。

本研究では, この認識に立ち, モデル化の対象を世帯の消費行動にまで広げ, 趣味娯楽サービスの消費を含む全般的な消費活動を効用理論の枠組みで捉える。そして, 世帯収入の女性個人の趣味娯楽費用への配分問題, ならびに, 女性個人の趣味娯楽費用に基づいた趣味娯楽活動の実行のそれぞれをモデル化する。すなわち, このモデルでは収入を直接的に効用関数に導入するのではなく, 行動を実行するために必要な予算として捉え, 効用を最大化する際の制約条件として導入する。

本研究では, 女性個人の趣味娯楽活動に伴う交通需要の解析を目指す始めの試みとして, 消費時間と消費費用の双方ともが他の趣味娯楽活動よりも大きな国内旅行, 海外旅行を解析対象とすることとした。また, 従来より高い頻度で存在していたと考えられる家族同伴での旅行ではなく, 女性の社会進出に伴って増加することが予想される友人や同僚等と連れ立って行く旅行に着目することとした。

2.モデルシステムの概要

本研究では, 女性個人が家族とは独立に行う, すなわち, 家族との同伴ではない海外旅行需要, 国内旅行需要の予測を目的としたモデルシステムを提案する。このモデルシステムは, 図-1 に示したように, 世帯個人属性と世帯収入を与件として与えることで, 国内旅行, 海外旅行のそれぞれに費やす費用と日数を出力するモデルシステムであり, 「費用配分モデル」「旅行日数・費用モデル」の2つのサブモデルから構成されている。以下, それぞれのサブモデルについて述べる。

(1)費用配分モデル

費用配分モデルは, 女性個人の世帯の収入と世帯・個人属性より, その女性個人が1年間に費やす海外旅行費用, 国内旅行費用を出力するサブモデルである。

a)世帯の意思決定についての仮定

世帯は, 式(2)で表される世帯収入制約の下で, 式(1)に示した年間世帯効用を最大化するように, 当該世帯の一構成員である女性個人の海外旅行, 国内旅行のそれぞれの費用と, それ以外に費やす費用を決定していると考えられる。

$$U_{all} = e^{A_d Z + \epsilon_d} \ln(x_d) + e^{A_o Z + \epsilon_o} \ln(x_o + 1) \quad (1)$$

$$+ e^{A_{other} Z + \epsilon_{other}} \ln(x_{other} + 1)$$

* キーワーズ: 交通行動分析, 発生・集中, 消費行動
 ** 正会員 工修 住友商事
 *** 正会員 工修 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
 **** 正会員 Ph.D 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
 (〒606-01 京都市左京区吉田本町, tel: 075-753-5136, fax: 075-753-5916)

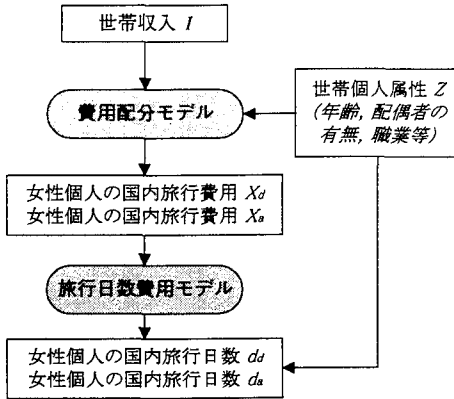


図-1 モデルシステム構成図

$$I = x_a + x_d + x_o \quad (2)$$

U_{ait} : 一年間の世帯収入に基づく消費活動に伴う、その世帯の総効用

x_a : 女性個人が一年間に家族とは独立に行う海外旅行に伴う総費用(単位:万円, ≥ 0)

x_d : 女性個人が一年間に家族とは独立に行う国内旅行に伴う総費用(単位:万円, ≥ 0)

x_o : 世帯が、女性個人が家族とは独立に実行する海外旅行・国内旅行以外の財、サービスの消費に費やす総費用(単位:万円, ≥ 0)

I : 世帯総収入(単位:万円, ≥ 0)

Z : 個人属性・世帯属性

A_a, A_d, A_o : 未知パラメータベクトル

$\varepsilon_a, \varepsilon_d, \varepsilon_o$: それぞれ独立な正規分布に従う誤差項

ここで、式(2)において対数関数を用いているのは、各項目に費やす費用の増加に伴って、それぞれの消費活動に伴う限界効用が低減していくものと考えたためであり³⁾、それぞれの費用に1を加えているのは費用が0となった場合に限界効用が ∞ に発散することを避けるためである⁴⁾。また、指数関数を用いているのは、限界効用の非負条件を考慮したためである⁵⁾。

b) 費用配分モデルによる海外・国内旅行費用の導出

式(1)で表される総効用を、式(2)の費用制約の下で最大化する問題を解くと以下の需要関数 F が誘導される。

$$\begin{pmatrix} x_a^* \\ x_d^* \\ x_o^* \end{pmatrix} = F(I, Z, B_a, B_d, \xi_a, \xi_d) \quad (3)$$

x_a^*, x_d^*, x_o^* : それぞれ x_a, x_d, x_o の最適解

B_a, B_d : 未知パラメータベクトル ($B_a = A_a \cdot A_o, B_d = A_d \cdot A_o$)

ξ_a, ξ_d : 誤差項 ($\xi_a = \varepsilon_a - \varepsilon_o, \xi_d = \varepsilon_d - \varepsilon_o$)

本稿では、紙面の都合上、需要関数 F の詳細については省略するが、式(3)は、総世帯収入 I 、個人属性ベクトル Z 、

未知パラメータベクトル B_a, B_d 、および、誤差項 ξ_a, ξ_d が与えられれば、 x_a^*, x_d^*, x_o^* を導くことができることを示している。

c) 未知パラメータの推定

パラメータベクトル B_a, B_d および誤差項 ξ_a, ξ_d の分散共分散行列を推定するにあたり、上述の最適化問題から式(3)に示した需要関数を誘導する過程で導出される、以下の方程式を用いる¹¹⁾。

$$\ln \left(\frac{x_a^* + 1}{x_o^* + 1} \right) = \begin{cases} B_a Z + \xi_a & \text{if } (x_a^* > 0) \\ \geq B_a Z + \xi_a & \text{if } (x_a^* = 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$\ln \left(\frac{x_d^* + 1}{x_o^* + 1} \right) = \begin{cases} B_d Z + \xi_d & \text{if } (x_d^* > 0) \\ \geq B_d Z + \xi_d & \text{if } (x_d^* = 0) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 ξ_a, ξ_d をそれぞれ $N(0, \sigma_a^2), N(0, \sigma_d^2)$ に従うものと考え、かつ、互いの相関係数を ρ とすると、各個人について以下の尤度関数が誘導される。

$$L_i = \begin{cases} \phi_{\xi_a, \xi_d}(\delta_a, \delta_d) & \text{if } (x_a^* > 0, x_d^* > 0) \\ \int_{-\infty}^{\delta_d} \phi_{\xi_a, \xi_d}(s, \delta_d) ds & \text{if } (x_a^* = 0, x_d^* > 0) \\ \int_{-\infty}^{\delta_a} \phi_{\xi_a, \xi_d}(\delta_a, t) dt & \text{if } (x_a^* > 0, x_d^* = 0) \\ \int_{-\infty}^{\delta_a} \int_{-\infty}^{\delta_d} \phi_{\xi_a, \xi_d}(s, t) ds dt & \text{if } (x_a^* = 0, x_d^* = 0) \end{cases} \quad (6)$$

ここに、

$$\phi_{\xi_a, \xi_d}(s, t) = \frac{1}{2\pi\sigma_a\sigma_d\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left(\frac{s^2}{\sigma_a^2} - 2\rho \frac{st}{\sigma_a\sigma_d} + \frac{t^2}{\sigma_d^2} \right) \right\}$$

$$\delta_a = \ln \left(\frac{x_a^* + 1}{x_o^* + 1} \right), \quad \delta_d = \ln \left(\frac{x_d^* + 1}{x_o^* + 1} \right)$$

そして、式(6)、ならびに、総世帯収入 I 、個人属性ベクトル Z, x_a^*, x_d^*, x_o^* の観測値に基づいて尤度関数を定式化し、これを最大化することで、 B_a, B_d および誤差項 ξ_a, ξ_d の分散共分散行列を推定する。

なお、式(4)(5)に示される連立方程式は、誤差相関を考慮した構造型の Tobit モデルと解釈することができる。

(2) 旅行日数・費用モデル

このモデルは、個人属性、および、費用配分モデルの出力である海外・国内旅行費用から、旅行日数を出力するサブモデルである。なお、当然ながら、海外・国内旅行費用が0である女性個人は海外旅行、国内旅行を実行することは不可能であるため、このモデルは、海外・国内旅行費用が正である女性個人にのみ適用される。

a) 女性個人の意思決定についての仮定

女性個人は、式(8)、(10)の制約条件の下で、式(7)、(9)で定式化される効用を最大化するように、海外旅行、国内旅行のそれぞれの旅行日数と一日あたりの費用を決定してい

ると仮定する。

$$U_a = m_a^{\exp(\beta_a Z + \pi_a)} \ln(d_a + 1) \quad (7)$$

$$x_a = m_a d_a \quad (8)$$

U_a :一年間に家族とは独立に実行する海外旅行に伴う、女性個人の総効用

d_a :女性個人が、一年間に家族とは独立に実行する海外旅行の日数

m_a :女性個人が海外旅行を行う場合の、一日あたりの費用

x_a :一年間に女性個人が海外旅行に費やす費用

$$U_d = m_d^{\exp(\beta_d Z + \pi_d)} \ln(d_d + 1) \quad (9)$$

$$x_d = m_d d_d \quad (10)$$

U_d :一年間に家族とは独立に実行する国内旅行に伴う、女性個人の総効用

d_d :女性個人が、一年間に家族とは独立に実行する国内旅行の日数

m_d :女性個人が国内旅行を行う場合の、一日あたりの平均費用

x_d :一年間に女性個人が国内旅行に費やす費用

なお、 β_a, β_d はパラメータベクトル、 π_a, π_d は誤差項である。ここで、式(7)(9)における $\ln(d_a + 1)$ 、 $\ln(d_d + 1)$ なる項は、総効用は旅行日数の増加に伴って増加するが、限界効用は低減していくことを表現している³⁾。それぞれの日数に1を加えているのは、旅行日数が0となった場合に限界効用が ∞ に発散することを避けるためである⁴⁾。また、 $m_a^{\exp(\beta_a Z + \pi_a)}$ 、 $m_d^{\exp(\beta_d Z + \pi_d)}$ なる項は、旅行日数についての限界効用は、一日あたりの平均旅行費用と正の相関を持ち、かつ、個人属性によっても影響を受けるとの考え方を意味している。

b)旅行費用・日数モデルによる海外・国内旅行日数の導出

式(7)(9)および式(11)(12)で表される総効用について、式(8)(10)で表される制約条件の下での最大化問題を解くと、最適解 $m_a^*, m_d^*, d_a^*, d_d^*$ についての以下の式が誘導される。

$$\ln \left[\frac{d_a^*}{(d_a^* + 1) \ln(d_a^* + 1)} \right] = \beta_a Z + \pi_a \quad (13)$$

$$x_a = m_a^* d_a^* \quad (14)$$

$$\ln \left[\frac{d_d^*}{(d_d^* + 1) \ln(d_d^* + 1)} \right] = \beta_d Z + \pi_d \quad (15)$$

$$x_d = m_d^* d_d^* \quad (16)$$

これらの式(13)～(16)の4つの式を用いると、個人属性 Z と旅行費用 x_a, x_d ならびに未知パラメータ β_a, β_d と誤差項 π_a, π_d が与えられていれば、最適解 $m_a^*, m_d^*, d_a^*, d_d^*$ をそれぞれ

算定することができる。なお、式(13)～(16)からなる最適解 $m_a^*, m_d^*, d_a^*, d_d^*$ についての連立方程式は解析的に解くことはできない。したがって、連立解の算定にあたっては、数値的な方法を用いることが必要である。

b)未知パラメータの推定

誤差項 π_a, π_d を互いに独立な正規分布に従うものと仮定し¹²⁾、式(13)(15)を重回帰式とみなしてパラメータ β_a, β_d を推定する。なお、式(11)、(13)の左辺は、 d_a^*, d_d^* が観測されていれば算定できる。

3.数値計算例

モデルの推定にあたっては、財団法人家計経済研究所が、全国の25歳～35歳までの女性個人(1500個人)を対象として、94年10月に行った消費行動に関する調査³⁾結果を用いた。この調査では、世帯収入を含む世帯の家計や趣味・娯楽活動、ならびに、個人属性、世帯属性等が調査された。

(1)費用配分モデルの推定結果

費用配分モデルの推定計算を行うにあたり、上記のデータから、各調査項目を不備なく回答した1054サンプルを抽出した。推定結果を表-1に示す。なお、式(1)(3)の定式化から、それぞれのパラメータの符号が正ならば、世帯収入に占める女性個人の国内・海外旅行の出費の割合が増加することを示しているものと解釈できる。

表-1から、居住地域についての変数以外の変数については、海外旅行、国内旅行の双方について同じ符号の係数が推定されていることがわかる。また、誤差項の相関係数も0.86と非常に高い値が推定されている。これらの結果は、一年間に使える海外旅行費用と国内旅行費用の間には極めて強い相関が存在し、海外旅行に活発に行く女性個人は、国内旅行にも活発に行く、あるいは、その逆の傾向が存在することを示している。

個々のパラメータに着目すると、国内旅行・海外旅行共に、既婚で子供を持ち、親と同居している女性個人ほど、家族とは独立に行う旅行に費やす費用が少なくなる傾向が示されている。また、職業についてのパラメータ値を見てみると、国内旅行費用、海外旅行費用ともに正になっており、仕事を持っている女性個人ほど、家族とは独立に旅行に行くことが多くなることがわかる。

(2)旅行日数・費用モデルの推定結果

上述のデータより、国内旅行費用が0でない女性個人174人、海外旅行費用が0でない女性個人87人を抽出し、2.(2)c)で述べた方法で推定した結果を、表-2、表-3に示す。ここで、それぞれのパラメータ値が正ならば、その変数が大きな女性個人は旅行日数を短くして、贅沢な旅行をすることを示している¹³⁾。この旅行日数・費用モデルの推定結果から、旅行の質と旅行日数のトレードオフは、個人属性、世帯

表-1 費用配分モデル推定結果

変数	パラメータ	t値
30歳未満の夫を持つ時1, それ以外0	-2.48	-5.66
30歳以上の夫を持つ時1, それ以外0	-2.99	-6.70
国内旅行 親と同居している時1, それ以外0	-0.29	-2.63
Bd 子供の人数	-0.16	-4.18
職業を持つ時1, それ以外0	0.59	7.82
定数項	-6.91	-7.25
居住地域が町村の場合1, それ以外0	-0.33	-1.69
30歳未満の夫を持つ時1, それ以外0	-2.26	-3.67
30歳以上の夫を持つ時1, それ以外0	-2.70	-10.45
海外旅行 親と同居している時1, それ以外0	-0.30	-1.56
Ba 子供の人数	-0.05	-1.34
職業を持つ時1, それ以外0	0.77	2.55
定数項	-7.07	-16.49

$$\sigma_e = 1.32, \sigma_s = 1.49, \rho = 0.86$$

Sample Size = 1054, L(C) = 829.82, L(B) = 632,

$$\chi^2 (df = 13) = 395.38$$

表-2 旅行日数・費用モデル(国内)

	パラメータ	t値
定数項	-0.16	-3.28
親と同居している時1, それ以外0	-0.05	-2.73
最終学歴が大学以上の時1, それ以外0	-0.11	-5.01
海外旅行費用の対数 $\ln(x_d)$	-0.21	-16.22
職業を持つ時1, それ以外0	-0.06	-1.79

Sample Size = 174, Adj. R² = 0.67

表-3 旅行日数・費用モデル(海外)

	パラメータ	t値
定数項	-0.24	-3.43
30歳未満の夫を持つ時1, それ以外0	-0.21	-1.70
最終学歴が大学以上の時1, それ以外0	-0.08	-2.43
海外旅行費用の対数 $\ln(x_d)$	-0.18	-8.91

Sample Size = 87, Adj. R² = 0.50

表-4 仮想個人の予測結果

	独身 仕事無し	独身 仕事有り	夫有り 仕事有り	夫有り 仕事無し
国内旅行日数*	5.4日/年	9.4日/年	4.9日/年	4.1日/年
海外旅行日数*	3.7日/年	5.4日/年	4.6日/年	2.7日/年
国内1日あたりの費用*	¥8,557	¥11,829	¥13,305	¥16,956
海外1日あたりの費用*	¥14,988	¥20,509	¥19,717	¥11,959
国内旅行に行く割合*	7.90%	8.10%	2.70%	1.80%
海外旅行に行く割合*	7.00%	8.80%	3.50%	1.80%

*一年間の旅費が0でない場合の平均値

**各ケース1000回のテスト計算のうちの一年間の旅費が0でなかった割合

属性によって、影響を受けており、かつ、家計から捻出される海外旅行費用・国内旅行費用の水準によっても規定されていることが示された。

最後に、本モデルシステムの適用例を示す。仮想的な女性を想定し、その女性が結婚、就職等で所属する世帯が変遷するにつれて、海外・国内旅行の費用、日数等がどのように変遷するかを、推定したパラメータ値に基づいて解析した^[4]。その結果を表-4に示す。国内旅行、海外旅行に行くそれぞれ割合が結婚後大幅に減少すること、独身/既婚を問わず、仕事を持っている方が旅行日数が長いことが示されている。このように、本モデルシステムでは、退職や結婚といった個人属性、世帯属性の変化が、女性個人の家族と独立に行く趣味娯楽活動に及ぼす影響を分析することが可能である。

4. まとめ

本研究では、女性個人の趣味娯楽活動に伴う交通行動に焦点をあてた分析を行った。世帯収入を各活動項目へ配分する資源として捉え、世帯効用関数に基づいて女性個人の一年間の国内、海外旅費総計を出力するモデル、一年間の国内、海外旅費総計に基づいて実行する海外、国内旅行の日数出力するモデル、の2つからなるモデルシステムを構築した。本モデルシステムを用いて、仮想女性個人を対象として数値計算を行ったが、これによって、本モデルシステムで、個人属性、世帯属性の変化に伴う海外・国内旅行行動の変化を解析できることが示された。

本モデルの枠組みでは、旅行日数といった要素だけではなく、旅費額を予測することが可能であることが、大きな特徴の一つである。すなわち、本稿で示した枠組みを適用し、発展させることで、交通需要予測だけでなく交通需要に伴う出費を予測することが可能であり、混雑の緩和、交通需要の管理といった観点のみならず、観光産業の発展を視野に収めた政策評価を行うことができるものと期待される。

最後に、貴重なデータを提供していただいた、財団法人家計経済研究所に厚く御礼申し上げます。

注

- [1] 本研究では、世帯のその他の消費活動費用 x_s^* が0となることはありえないと仮定している。なお、推定計算のために用いたデータにおいても、消費活動費用 x_s^* が0の世帯は存在しなかったため、この仮定は妥当であるものと考えられる。
- [2] 国内旅行についての誤差項 π_d と海外旅行についての誤差項 π_o との間に共分散が存在することが予想される。しかし、その共分散を推定するためには、海外旅行と国内旅行の双方を実行した女性個人を推定サンプルとする必要がある。今回推定計算に用いたデータでは、国内旅行と海外旅行の双方を実行した女性個人は48名に過ぎなかったため、今回の推定計算例では、それぞれの誤差項を独立と仮定した。
- [3] 式(13)(15)の左辺は、 $d_s > 0$, $d_o > 0$ の領域で単調増加関数であるため。
- [4] 各ケースについて、モデル内の誤差項を推定された分散、および相関係数に基づいてランダムに発生させて100回ずつ算定し、その平均をとった。

参考文献

- 1) 例えば、藤井聡、木村誠司、北村隆一：選択構造の異質性を考慮した生活圏推定モデルの構築、土木計画学研究・論文集、No.13, pp.613-622, 1996。
- 2) 例えば、山本俊行、藤井聡、吉田洋、北村隆一：世帯構成員間の関係に基づいた自動車利用確率を考慮した機関選択モデルの構築、土木計画学研究・論文集、No.13, pp.535-542, 1996。
- 3) Kitamura, R., Yamamoto, T., Fujii, S. and Sampath S. (1996) A Discrete-Continuous Analysis of Time Allocation to Two Types of Discretionary Activities Which Accounts for Unobserved Heterogeneity, Transportation and Traffic Theory - Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. 431-454.
- 4) 藤井 聡・北村隆一・瀬戸公平：生活行動に伴う個人の効用を考慮した生活行動—交通行動モデルシステムの開発、土木学会論文集、No. 562/IV-35, pp. 83-96, 1997。
- 5) 財団法人家計経済研究所編：消費生活に関するパネル調査、大蔵省印刷局, 1995