

選択構造の異質性を考慮した生活圏推定モデルの構築

A model system of personal action space that accounts for heterogeneity in choice structure

藤井 聡** 木村 誠司* 北村 隆***

By Satoshi Fujii, Seiji Kimura, Ryuichi Kitamura

1. はじめに

戦後、我が国ではモータリゼーションの進行や交通基盤の整備により、個人の交通行動は活性化され、個人の生活圏は大幅に拡大した。近年では、労働時間の短縮、週休二日制、長期休暇などの普及による自由時間の増大に伴い、レジャーや娯楽等の非日常的な活動に関する生活圏も拡大している。その結果、交通計画では従来の通勤交通混雑等の問題に加え、休日における道路や公共交通機関の混雑といった新しい問題が生じている。すなわち、個人の生活圏の拡がりは、個人の活動の自由度の向上という肯定的側面を持つ一方で、新たな交通混雑の誘発という負の側面を持つ。そこで、個人の生活圏の拡がりの規定要因を抽出し、生活圏の拡がりを予測することを目的として生活圏を本研究の対象とした。

本研究では、生活圏を「個人が実行する複数の交通行動を時間軸上で集計して得られる空間的拡がり」と捉える。そして、個人の生活圏は地理的空間を複数のゾーンに分割した場合に、それらの各ゾーンに一定期間内に訪れる回数（以下、来訪頻度）を要素とする行列で表現できるものと考え、本研究では、交通行動の背後に存在する個々の意思決定要素に対応する複数のサブモデルを開発し、それを統合する形で生活圏モデルシステムを構築する。このモデルシステムを用いることで算定される来訪頻度から、個人の生活空間の拡がり、すなわち生活圏を特定する。なお、これらサブモデルを構築する際には、一連のトリップ目的間の状態依存関係や誤差相関等を考慮し、より精緻なモデルシステムの構築を図る。

一般に、自由度の高い活動を目的とした交通行動では、トリップの発生、目的地、交通手段など多くの局面で個人や世帯の自由意思で決定がなされる

キーワード：交通行動分析、発生交通、交通手段選択

* 学生員 京都大学大学院工学研究科応用システム科学専攻

** 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 助手

*** 正会員 RnD 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 教授

(606-01 京都市左京区吉田本町 Tel:075-753-5136 Fax:075-753-5916)

と考えられる。自由意思に大きく左右される意思決定には、個人の異質性が存在すると考えられる。近年、交通行動分析においてはそうした観点から、選択肢集合^{1) 2)}、説明変数の係数^{3) 4)}、未観測変数^{5) 6) 7)}等の異質性に焦点をあてた研究が盛んになされている。しかし、意思決定構造の異質性を対象とした研究は未だなされていない。本研究では、生活圏モデルシステムのサブモデルをネステッドロジットモデル（以下、NLと呼ぶ）の枠組みに基づいて開発するが、その際、従来では全ての個人について共通と仮定されていた選択構造が、個人によって、あるいは、一個人においても日によって異なると仮定する。すなわち、選択構造の異質性を考慮した交通行動モデルの開発を目指す。

本稿では、上述の考え方に基づいて、理論的な生活圏モデルシステムの枠組みを示すと共に、アンケート調査を実施して得られたデータに基づいて数値計算例を示し、生活圏モデルシステムの構築に向けての方向性に関して議論する。

2. モデルシステムの概要

(1) モデルシステムの構成

前述のように、本研究では、個人の生活圏は地理的空間を複数のゾーンに分割した場合に、それらの各ゾーンに一定期間内に訪れる回数(来訪頻度)を要素とする行列で表現できるものと考え、また、個人の生活圏は目的別に定義されるものとし、目的*l*の生活圏は次のような行列ND_{*l*}で表現できるものと考え、以下に示す式では個人を示す引き数を省略する。

$$ND_l = \begin{pmatrix} ND_{l11} & ND_{l12} & \dots & ND_{lij} & \dots & ND_{liJ} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ND_{li1} & ND_{li2} & \dots & ND_{lij} & \dots & ND_{liJ} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ND_{lJ1} & ND_{lJ2} & \dots & ND_{lJj} & \dots & ND_{lJJ} \end{pmatrix}$$

ND_{*lij*}：一定期間内に目的*l*、機関*i*で地域*j*に訪れる回数（来訪頻度）(i=1,2,...,I) (j=1,2,...,J)

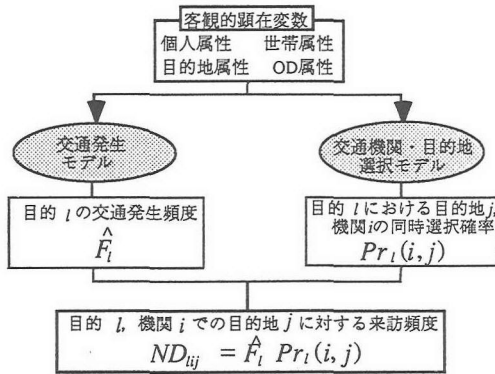


図-1 モデルシステムの構成

本研究で開発する生活圏モデルシステムは、行列 ND_{ij} の要素 ND_{ij} を推定するものである。なお、来訪頻度を定義するための期間を一カ月とする。

本研究で提案するモデルシステムの構成を、図-1に示す。本モデルシステムは客観的な顕在変数を入力とし、来訪頻度を最終的な出力とする。このシステムでは、個人の目的別の交通発生および交通機関・目的地選択の二つの局面に着目する。モデルシステムを構成する各モデルはそれぞれの局面に対応した非集計モデルである。「交通発生モデル」を用いて発生頻度（個人一か月あたりの来訪の総数）の期待値を算出し、一方で目的地、交通機関に関する意思決定を離散的な選択問題と捉えた「交通機関・目的地選択モデル」によって交通機関・目的地選択確率を算出する。本稿では、こうして求められた目的別発生頻度の期待値、目的別交通機関・目的地選択確率から、以下の式に従って目的別・手段別の各地域への来訪頻度を推定する。

$$ND_{ij} = \hat{F}_l Pr_l(i, j) \quad (\forall i, j, l) \quad (1)$$

ND_{ij} : 目的 l における地域 j に対する手段 i での来訪回数

\hat{F}_l : 目的 l における目的別発生頻度の期待値

$Pr_l(i, j)$: 目的 l において、地域 j 、手段 i を選択する交通機関・目的地同時選択確率

なお、本稿では発生頻度の確率分布と交通機関・目的地選択確率は、独立変数が与えられたとして、条件的に独立であると仮定している。この両者が条件的独立でないことが想定されるが、交通機関選択と目的地選択はいずれもトリップの形態に関する選択であるため、交通機関選択と目的地選択が独立と仮定するより、交通発生と交通機関選択、あるいは交通発生と目的地選択とを独立と仮定するのがより妥当な仮定であると考えた。また、これら三者の相

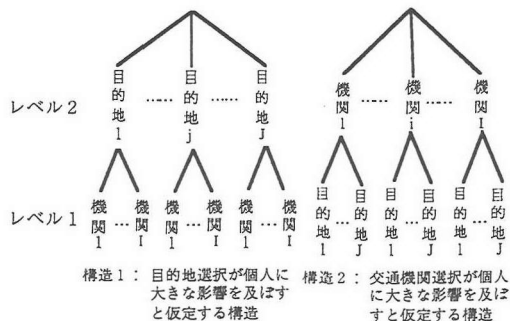


図-2 交通機関・目的地選択行動における二つの構造

関を考慮した同時確率を定式化し、これをモデル化することは、推定計算時に多重積分が必要であり、計算コストの観点から困難であることが予想される。そこで、本稿では、発生頻度の確率分布と交通機関・目的地選択確率の条件的独立を仮定した。ただし、本モデルシステムをより発展させるために、発生頻度の確率分布と交通機関・目的地選択の相関を考慮し、かつ、交通発生に関わる選択構造に関する個人の異質性を表現することが必要となると考えられる。

(2) 交通発生モデル

発生頻度は、非負の変数である。これを内生変数としたモデルを定式化するためには、以下のように0における左側打ち切り変数⁹⁾と捉える方法がある。

$$F_l = \begin{cases} F_l^* & \text{if } (F_l^* > 0) \\ 0 & \text{if } (F_l^* \leq 0) \end{cases} \quad (2)$$

F_l : 目的 l の発生頻度

F_l^* : F_l に対応する潜在変数

F_l^* は発生頻度に影響を与える変数の関数である。さらに、異なる目的の F_l^* の間には、状態依存関係が存在するものと考え、以下のように定式化する。

$$F^* = HF^* + \Gamma\tau + \pi \quad (3)$$

F^* : F_l^* を要素とするベクトル

H, Γ : パラメータ行列

τ : 発生頻度を規定する要因行列

π : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

式(2)(3)から得られる F_l から期待値 \hat{F}_l を算定する。なお、以上の様な定式化は一般に構造方程式モデル⁸⁾と呼ばれる。ここに式(2)が測定方程式、式(3)が構造方程式である。また、パラメータ H, Γ は重み付き最小二乗法に基づいて推定する。

(3) 交通機関・目的地選択モデル

本研究では、複数の選択構造を仮定し、かつ、各個人が特定の選択構造を持つという事象は確率事象であるとする交通機関・目的地選択モデルの構築を

図る。

(a) 交通機関・目的地同時選択確率の定式化

交通機関・目的地選択行動をモデル化するにあたり、誤差項の共分散構造を考慮することが可能なNLを適用する。交通機関・目的地選択行動をNLでモデル化する場合、図-2に示すような二つの選択構造が考えられる。以下、それぞれの構造を、構造1、構造2、そしてこれらの構造の下位階層をレベル1、上位階層をレベル2と表記する。一般に、二つの選択行動をNLに基づいてモデル化する場合には、選択肢の類似性がより小さい選択行動、あるいは、それぞれの個人にとってより重要な選択行動を上位の階層とした選択構造を想定し、それを全ての個人が共有するものと仮定する¹³⁾。このアプローチに基づいて交通機関・目的地選択をモデル化する場合には、交通機関選択肢集合と目的地選択肢集合のそれぞれの選択肢の類似性を考慮して、構造1、構造2のいずれかを全ての個人に対して仮定する。しかし、選択構造が各個人によって異なっており、かつ、一個人においても状況によって選択構造が異なっていることが考えられる。すなわち、選択構造に個人間の異質性が存在することが考えられる。

個人の異質性を考慮する方法論として、セグメンテーションを行うアプローチが挙げられる。選択構造に関する異質性を考慮する場合には、各個人を構造1のセグメントと、構造2のセグメントに分類する方法が考えられる。しかし、問題となるのは、セグメンテーションを行うための基準と方法論である。従来のセグメンテーションを行う分析は、個人属性等の外生的な基準に基づいたものが一般的であった。しかし、近年では、態度指標や個人パラメータの内生的な基準に基づいてセグメンテーションを行う方法が提案されている¹⁰⁾。さらに、各個人のセグメントへの帰属を確率的に取り扱い、個人の異質性を考慮するためのセグメンテーション手法をより一般的に拡張した方法論が提案されている。一般にこの方法論は潜在クラス分析と呼ばれ、個人の異質性を考慮した交通行動をモデル化する際に、非常に適用性が高いアプローチであると考えられる¹¹⁾。

従来の研究においては、このアプローチに基づいて佐々木らはパラメータの異質性を⁴⁾、Swaitら¹²⁾、森川ら²⁾は選択肢集合の異質性を考慮した交通行動モデルを提案している。しかし、離散選択行動をモデル化する際に、各選択肢の選択確率に大きな影響力を持つと考えられる選択構造自体の異質性を考慮した交通行動モデルは提案されていない。

そこで、本研究では、潜在クラス分析の考え方に

基づき、選択構造に関する異質性を考慮した交通機関・目的地同時確率(式(1)における $Pr_l(i,j)$)を以下のように定式化する。

$$Pr_l(i,j) = \sum_k Pr_l(s,t,k) \quad (4)$$

$$= \sum_k Pr_l(s,t|k) \times P_l(k)$$

- k : 選択構造 (=1:その個人の選択構造が構造1の場合, =2:その個人の選択構造が構造2の場合)
- s : レベル1の選択肢 (=i:k=1の場合, =j:k=2の場合)
- t : レベル2の選択肢 (=j:k=1の場合, =i:k=2の場合)
- i : 交通機関
- j : 目的地
- l : 活動目的 (=1:日常的自由活動目的, =2:非日常的自由活動目的)

$Pr_l(s,t,k)$: 目的 l での構造が k であり、選択肢 s 選択肢 t が選択される同時確率

$Pr_l(s,t|k)$: 目的 l での構造が k であった場合に選択肢 s 選択肢 t が選択される条件付き確率

$P_l(k)$: 目的 l での構造が k である確率

(b) 選択構造が与件として与えられた場合の交通機関・目的地条件付き選択確率の定式化

NLの枠組みに基づいて、選択構造が与件として与えられた場合の交通機関・目的地条件付き選択確率(式(4)における $Pr_l(s,t|k)$)を以下のように定式化する。

$$Pr_l(s,t|k) = Pr_l(t|k)Pr_l(s|t,k) \quad (5)$$

$$Pr_l(s|t,k) = e^{V_{is}^k} / \sum e^{V_{is}^k} \quad (6)$$

$$Pr_l(t|k) = e^{VM_{it}^k + \lambda_{it}^k \Lambda_{it}^k} / \sum e^{VM_{it}^k + \lambda_{it}^k \Lambda_{it}^k} \quad (7)$$

ここに、

$$V_{is}^k = \gamma_{is}^k X_{is}^k \quad (8)$$

$$VM_{it}^k = \delta_{it}^k X_{it}^k \quad (9)$$

$$\Lambda_{it}^k = \ln\left(\sum e^{V_{is}^k}\right) \quad (10)$$

$Pr_l(t|k)$: 目的 l 、構造 k の基で選択肢 t が選択される条件付き確率

$Pr_l(s|t,k)$: 目的 l 、構造 k で選択肢 t を選択した条件の基で選択肢 s が選択される条件付き確率

V_{is}^k : 目的 l 、構造 k の場合に選択肢 s 選択肢 t 組み合わせで変化する確定効用

VM_{it}^k : 目的 l 、構造 k の場合に、レベル1の選択肢とは無関係に選択肢 t のみで変化

する確定効用

λ_l^k : 未知パラメータ

$\gamma_{ls}^k, \delta_{lt}^k$: 未知パラメータベクトル

X_{ls}^k, X_{lt}^k : 説明変数ベクトル

(c) 選択構造確率の定式化

本研究では、各個人の構造選択確率（式（4）における $P_l(k)$ ）は、トリップ目的間に相関が存在するものと仮定し、選択構造が決定される構造に関して、構造方程式モデルのアプローチに基づいて以下のように定式化する。

$$k_l = \begin{cases} 1 & \text{if}(d_l^* \leq \theta_l) \\ 2 & \text{if}(d_l^* > \theta_l) \end{cases} \quad (11)$$

$$d_l^* = \mathbf{B}_l X_l + \zeta_l \quad (12)$$

k_l : その個人の目的 l における選択構造

d_l^* : 目的 l における選択構造 k_l を規定する潜在変数

θ_l : 目的 l におけるしきい値

\mathbf{B}_l : 目的 l における未知パラメータ行列

X_l : 目的 l における説明要因ベクトル

ζ_l : 目的 l における正規分布 $N(0, \sigma_l)$ に従う誤差項

そして、 $P_l(k)$ を以下のように定式化する。

$$P_l(k) = \begin{cases} \Phi\left(\frac{\theta_l - \mathbf{B}_l X_l}{\sigma_l}\right) & \text{if}(k_l = 1) \\ \Phi\left(\frac{\mathbf{B}_l X_l - \theta_l}{\sigma_l}\right) & \text{if}(k_l = 2) \end{cases} \quad (13)$$

$\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数

ここで誤差項 ζ_1, ζ_2 の共分散を仮定することで、構造選択確率の目的間の誤差相関を考慮することができる。

(d) 推定方法

式（4）～（13）で定式化した交通機関・目的地選択確率に含まれる未知パラメータを推定する方法として以下の二つの方法が考えられる。一つは、

$$LL_j = \prod_n P_{l_i}^n(i, j) \quad (14)$$

$P_{l_i}^n(i, j)$: 個人 n が目的 l で交通機関 i , 目的地 j を選択する同時確率

で定式化される尤度関数 LL_j を最大化することで全てのパラメータを同時に推定する方法である。もう一方の推定法では、はじめに $P_l(k)$ に含まれる未知パラメータ $\mathbf{B}_l, \theta_l, \sigma_l$ を推定し、それに基づいて、各個人についての $P_l(k)$ を求める。そして、以下の式で定式化される尤度関数 LL_s を最大化することで、それ以外の未知パラメータを推定する。

$$LL_s = \prod_n \left\{ \sum_k P_{l_i}^n(s, t | k) \times P_l^n(k) \right\} \quad (15)$$

$P_{l_i}^n(s, t | k)$: 個人 n の、目的 l での構造が k である場合、選択肢 s 選択肢 t を選択する条件付き確率

$P_l^n(k)$: 個人 n の、目的 l での構造が k である確率の推定値

前者の推定方法では、選択行動結果を、 $P_l(k)$ に含まれる未知パラメータ $\mathbf{B}_l, \theta_l, \sigma_l$ に反映させることができる。しかし、尤度関数 LL_s のパラメータに関する非線形性が非常に高く、計算コストの観点から推定が困難であることが欠点として挙げられる。また、各個人の選択構造に関する情報が得られている場合、後者の方法ではその情報をパラメータ推定値に反映させることができるが、前者の方法では反映できないという欠点がある。

本稿で示す数値計算例では、計算コストの削減を図るため、そして、選択構造に関する情報がアンケート調査から得ており、このデータをパラメータ推定値に反映させるために、後者の方法で推定することとした。

3. データの収集

本研究では、阪神高速道路湾岸線の新規供用区間の供用効果の把握を目的として、湾岸線供用後の平成6年11月に実施したアンケート調査から得られたデータを利用する。なお、この調査に先立ち、調査費用の削減を目的として、予備調査を実施した。予備調査では、質問項目の少ない調査票を、大阪湾岸地域の居住者を中心として地域別に無作為に抽出した7,000人に対して郵送で、湾岸線競合路線利用者の10,500人に対して路側における手渡しで配付した。今回の調査では、予備調査で反応のあった回答者および、回答者が所属する世帯の16歳以上の世帯構成員を対象とした。本研究では、この調査で得られた以下のデータを用いて分析を加える^(脚注1)。

社会経済属性

- ・居住地、勤務地、性別、年齢、職業、収入、運転免許の有無等

生活圏属性

- ・各地域（図-3のA～L）への一か月間あたりの目的別の来訪回数（来訪頻度）
- ・各地域（図-3のA～Lへ来訪する際の主な目的別の交通手段

その他

- ・トリップを実行する際に、目的地を先決するか、

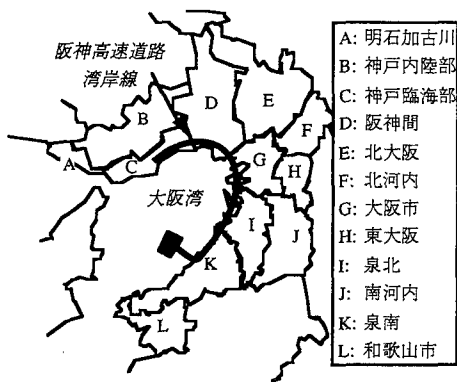


図-3 生活圏分析における地域区分

交通機関を先決するかに関する目的別の回答
 なお、本調査では、自由活動における交通目的は、
 日常的自由目的：買い物、飲食など
 非日常的自由目的：娯楽、レジャーなど
 の二つに分類した。

これに加えて、93年度道路時刻表、平成二年度一般交通量調査、および、95年度鉄道時刻表から市区町村間の自動車と鉄道を利用した場合のそれぞれの所要時間、費用等を求めた。本研究では、これらのデータを利用することで、個人の生活圏に対して分析を加える。

4. 数値計算

本章では、2. で示したモデルシステムの推定計算を、3. で得られたデータに基づいて行う。ここでは、その結果を示すと共に、本研究で提案するモデルシステムに関して考察を加える。なお、本章で利用する変数名の定義を表-1に示す。

(1) 交通発生モデルの推定

日常的自由目的と非日常的自由目的における交通発生モデルの推定結果を表-2に示す。なお、ここでは、2. で述べたアンケート調査から得られたサンプルのうち、データに不備のない420名を対象として推定計算を行った。また、各個人の F_1 と F_2 に関しては、各地域への来訪頻度を目的別に足し合わせて求めた。

表-2から、重相関係数については低い水準となっているものの^{脚注3)}、「モデル構造が正しい」という帰無仮説の基での χ^2 値が十分小さな値をとっており、かつ、GFI、およびAGFIも十分1に近い値となっていることが分かる¹⁴⁾。これより、モデル全体の適合度は十分に高いことが分かる。一方、 F_1 の F_2 に対するパラメータが0.33と大きく、かつ値も高

表-1 変数の定義

Sex	1女性; 0 それ以外
Age	年齢
Occupation	1 非就業者; 0 それ以外
License	1 免許保有; 0 それ以外
MainUser	1 自分専用自家用車を保有; 0 それ以外
FreqD	1 週2回以上自動車を利用; 0 それ以外
FreqH	1 週2回以上高速道路を利用; 0 それ以外
PIIncome	1 個人収入が1,000万円以上; 0 それ以外
NChildren	世帯の子供の数
NFamily	世帯人数
HHIncome	1 世帯収入が1,000万円以上; 0 それ以外
TerMode	0 最寄り駅までの移動が徒歩; 1 それ以外
TerTime	最寄り駅までの時間 (分)
NVehicles	世帯の自動車保有台数
DYears	現在の居住地の居住年数
Sales	居住地域の商業売上高 (百万円)
NRamps	居住地域の高速ランプ数
TAcc	居住地域の鉄道アクセス ¹⁾ リテ ²⁾ 指標 (居住地域から全地域への鉄道所要時間逆数和)
CAcc	居住地域の自動車アクセス ¹⁾ リテ ²⁾ 指標 (居住地域から全地域への自動車所要時間逆数和)
TTime	居住地から目的地までの鉄道所要時間(分)
Distance	居住地から目的地までの距離(Km)
Workarea	1 目的地が勤務地; 0 それ以外

表-2 交通発生モデルの推定結果

変数	日常的自由目的 発生頻度潜在変数 F_1		非日常的自由目的 発生頻度潜在変数 F_2	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
F_1			0.33	9.24
F_2				
Sex	-0.113	-2.79		
FreqD	-0.069	-1.70	-0.072	-2.41
FreqH			0.123	3.58
PIIncome	-0.104	-3.01		
MainUser			0.058	1.91
NChildren			-0.069	-2.24
NFamily	-0.087	-2.78	-0.132	-4.22
HHIncome	0.080	2.72		
TerMode	-0.309	-6.08		
TerTime	-0.195	-6.09		
NVehicles	0.121	3.85		
DYears	-0.051	-1.95	0.094	2.68
Sales	-0.057	-4.20	0.023	3.58
NRamps	0.097	3.15		
重相関係数	0.122		0.172	

Sample Size = 420 GFI = 0.9997
 χ^2 (df = 22) = 11.29 (p = 0.97) AGFI = 0.9962

いことから、日常の交通行動が非日常の交通行動に大きな影響を与えていること、すなわち、目的別の発生回数には状態依存が存在することが確認できた。その他、日常的自由目的での発生頻度は最寄り駅までの端末時間の増加に伴い減少する、自動車保有台数の増加に応じて増加するという妥当な結果となった。一方、非日常的自由目的の発生頻度は、高速道路利用頻度の増加、家族数の減少に伴って大きく増加する傾向が存在することが

分かる。

(2) 交通機関・目的地選択モデルの推定

(a) 推定のための前提

交通機関・目的地選択モデルの推定に際しては、来訪頻度に関するデータから対象ケース（オブザベーション）を抽出した。その際、

「各回答者が実行する複数の交通機関・目的地同時選択の意思決定は、それぞれが独立である」と仮定し、各回答者からその回答者の発生回数に等しい数のケースを抽出した。そして、抽出したケースのうち、データに不備のない685ケースを対象として推定計算を行った。

また、交通機関選択の選択肢集合に関しては、
 ・鉄道 ・自動車
 を選択肢とした。目的地選択に関しては、抽出した685ケースの目的地選択結果を図-3に示したAからLまでの地域別に集計して地域別の選択サンプル数が微小であった地域を統合し、以下の8地域を選択肢集合にすることとした。

- ・大阪市 ・北大阪地域 ・泉北地域
- ・泉南地域 ・神戸臨海地域 ・神戸内陸地域
- ・阪神間地域 ・東大阪地域

さらに、選択構造に関して、

「より重要な選択行動、あるいは、より類似性の小さい選択行動¹³⁾を、時間的に先に決定する」

と仮定した。この仮定に基づいて、3. で述べたデータの中で、

「トリップを実行する際に、目的地を先決するか、交通機関を先決するかに関する目的別の回答」を、その個人に対する選択行動に関する情報と捉えることとした。すなわち、目的地選択を先決する被験者は構造1に従って、交通機関選択を先決する被験者は構造2に従って交通機関・目的地選択行動の意思決定を行う、あるいは、目的地選択を先決する被験者は構造1の誤差構造を持ち、機関選択を先決する被験者は構造2の誤差構造を持つ、と仮定した。

この仮定に基づいて、はじめに $P_i^*(k)$ に含まれる未知パラメータを推定して各個人について $P_i^*(k)$ を求め、次に式(15)で定式化される尤度関数 LL_S に基づいてパラメータを推定する方法を用いることとした。その際、式(11)の個人の目的別の選択構造 k_i を、調査から得られる交通機関と目的地の先決に関する上述の設問項目から得ることとした。

表-3 選択構造確率のパラメータの推定結果

変数	日常的自由目的 d_1		非日常的自由目的 d_2	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
Age	0.043	2.30		
Sex	-0.20	-7.43	-0.24	-9.54
Occupation			-0.165	-4.72
License	-0.16	-7.22	-0.078	-3.18
FreqH	0.12	5.49	0.072	3.14
PIincome	-0.162	-6.22	-0.24	-10.24
MainUser	-0.057	-2.34	-0.162	-6.34
NChiledren	0.11	5.12	0.22	10.02
NFamily			-0.16	-9.16
HHIncom	0.052	3.42		
TerTime			-0.082	-4.98
NVehicles	0.086	4.07	0.13	6.46
DYears	-0.060	-3.63		
TAcc	0.099	5.52		
CACC			-0.174	-9.91
NRamps	-0.14	-8.35	-0.11	-8.56
重相関係数	0.085		0.124	
Cov(ζ_1, ζ_2) = 0.61 Var(ζ_1) = 0.92 Var(ζ_2) = 0.88				
$\theta_1 = 0.17 \quad \theta_2 = 0.036$				
Sample Size = 420			GFI = 0.9995	
$\chi^2(df = 16) = 25.30$ (p=0.064)			AGFI = 0.9923	

(b) 選択構造確率におけるパラメータの推定

以上の前提に基づいて、選択構造確率 $P_i(k)$ に含まれる未知パラメータを重み付き最小二乗法によって推定した結果を表-3に示す。 d_1^* および d_2^* のそれぞれの重相関係数は低い水準に留まっている。ただし、選択構造(式(11)の k_i)は二つのカテゴリーのみを持つ離散変数である。一般に、少数のカテゴリーを持つ離散変数と連続変数との相関係数は過小に評価される傾向を持つ。また、 χ^2 値、GFI、AGFIはそれぞれ良好な値をとっている。これらから、モデル全体の適合度が高いことが確認できる。 d_1^* と d_2^* の誤差項の共分散は、大きな値をとっていることが分かる。それぞれの分散を考慮すると、相関係数は0.76となり、目的別の選択構造には極めて強い誤差相関が存在することが分かる。

ここで、各外生変数の d_1^* と d_2^* に対するパラメータの絶対値に着目する。なお、ここに示した構造方程式の推定結果は、各変数を正規化した後に推定した結果であり、パラメータの絶対値の大きさがその変数の従属変数への影響の程度を示していると解釈できる。表-3から、日常的自由目的においては、性別、免許保有、個人収入などの個人属性が強い規定要因となっていることが分かる。一方、非日常的自由目的では、個人属性に加えて、子供の数や、世帯人数、自動車保有台数等の世帯属性も選択構造に大きな影響を与えていることが分か

る。これは、非日常的自由目的の交通行動の方が、日常的自由目的の交通行動よりも、世帯構成員と同伴で実行する傾向が強いこと^[脚註3]が原因であると思われる。すなわち、世帯構成員と同伴で実行する傾向が強い非日常的自由目的の交通行動では、意思決定構造も世帯の属性に影響を受けることとなるものと思われる。

次に、パラメータの符号に着目する。なお、式(11)より、パラメータが正(負)の場合には、その変数が増加することで構造2(構造1)を選択する確率が高くなる。表-3より、高速ランプが多く存在する地域に居住している個人は目的を問わず、また、自動車アクセシビリティが高い地域に居住する個人は非日常的自由目的のトリップを実行する場合に、構造1、すなわち、目的地が上位レベルの選択構造を持つ確率が高いことが分かる。逆に、TAccのパラメータが正であることから、鉄道が便利に利用できる地域に居住する個人は、構造2を持つ傾向が強いことが分かる。このように、選択構造は、居住地域の自動車、および、鉄道の利便性に影響を受けていることが分かった。

(c) 選択構造が与えられた場合の交通機関・目的地条件付き選択確率のパラメータ推定

表-3に示した推定結果を用いて $P_i^*(k)$ を算出し、式(15)の尤度関数を最大化して推定した結果を、表-4に示す。また、比較のために、構造1、構造2のそれぞれを仮定したNLを完全情報最尤推定法で推定した結果を表-5、表-6に示す。なお、ここでは、本モデルシステムの数値計算例として、トリップ目的が日常的自由目的の交通行動を対象とした推定結果を示す。

まず表-4に示した適合度と、表-5、表-6に示した適合度に着目すると、 ρ^2 値、 $\bar{\rho}^2$ 値、 χ^2 値のいずれも2つの構造を同時に仮定した方が良好な値を示していることが分かる。この結果は、個人間の選択構造に関する異質性、とりわけ、誤差構造に関する異質性の存在を示唆しているものと考えられる。

次に、表-4に示したログサム変数の係数推定値に着目すると、構造1と構造2のログサム変数の係数はそれぞれ0.89、0.11となった。そして、構造1のログサム変数の係数が1.0に等しいとの帰無仮説の基でのt値、および構造2のログサム変数の係数が0.0に等しいとの帰無仮説のもとでのt値は、それぞれ0.17、0.89と低い値となった。ここで、交通機関、目的地jの組み合わせの効用の誤差項を ε_j とした場合の分散共分散行列の要素を $\sigma_{ij,ij}$ とすると、表-4における構造1の誤差構造を特定する誤差項の分散

共分散行列は、

$$\sigma_{ij,ij} = \begin{cases} \frac{\pi^2}{6} & \text{if}(i=i \text{ and } j=j) \\ 0 & \text{if}(i \neq i \text{ or } j \neq j) \end{cases} \quad (16)$$

で定義される $\sigma_{ij,ij}$ で構成される分散共分散行列に近く、構造2の誤差構造を特定する誤差項の分散共分散行列は、

$$\sigma_{ij,ij} = \begin{cases} \frac{\pi^2}{6} & \text{if}(i=i) \\ 0 & \text{if}(i \neq i) \end{cases} \quad (17)$$

で定義される $\sigma_{ij,ij}$ で構成される分散共分散行列に近い。本章(a)で述べた選択構造と意思決定の時間的順番に関する仮定に基づく、目的地を先決する個人については、交通機関と目的地の組み合わせ(機関-目的地ペア)をそれぞれ独立な選択肢として認識して選択行動を行っている一方、交通機関を先決する個人については同一の交通機関を持つ複数の機関-目的地ペア間の誤差相関が大きい、とも解釈できる。

ここで、表-4で推定された様な個人間の誤差構造に関する異質性、すなわち、式(16)、あるいは式(17)で特定される二つの誤差構造に近い誤差構造を持つ二つのセグメントが実際に存在する、と仮定すると、構造1のみ、あるいは構造2のみを前提とした推定計算を行った場合には二つのセグメントの「中間的」な誤差構造が推定されるものと予想される。すなわち、表-4の構造1、構造2において推定されたログサム変数の係数よりも、より1.0あるいは0.0から離れた係数が推定される、ということが推察される。

ここで、表-5、表-6で推定されたログサム変数の係数推定値に着目する。構造1のログサム変数の係数に関しては、全員に対して共通の構造を仮定することで表-4に示した推定値よりも1.0から離れた値が推定され、構造2のログサム変数の係数に関してはより0.0から離れた値が推定された。これは、先に述べた二つのセグメントの存在の仮定に基づいた推察に一致する推定結果である。

この推定結果と先述した「推察」との一致は、本節の冒頭で述べた適合度の比較に加えて、個人間の選択構造(誤差構造)の異質性の存在を示す結果であると考えられる。

次に、表-4に示した説明変数の係数推定値に着目する。なお、構造1の下位レベル、および構造2の上位レベルにおける交通機関選択では、鉄道の確定効用を0に固定した。すなわち、パラメータが正の場合にその変数の増加によって自動車の選択確

表-4 交通機関・目的地選択モデルの推定結果（構造1・構造2の両者を仮定）

構造1				構造2			
		パラメータ	t 値			パラメータ	t 値
レベル1 (下位レベル) 交通機関 選択	Age	0.042	0.64	レベル1 (下位レベル) 目的地 選択	大阪市ダミー	-8.16	-5.52
	Sex	-0.28	-3.29		北大阪ダミー	-0.13	-2.15
	NVehicles	0.42	5.56		泉北ダミー	-0.29	-4.05
	TTime	0.39	4.05		泉南ダミー	0.068	1.21
	自動車定数項	-0.38	-6.02		神戸臨海ダミー	0.20	3.96
レベル2 (上位レベル) 目的地 選択	Workarea	0.10	1.69	神戸内陸ダミー	-0.025	-0.41	
	Distance	-1.09	-4.53	阪神間ダミー	0.12	2.22	
	大阪市ダミー	7.97	0.33	TTime	-1.16	-4.69	
	北大阪ダミー	-3.88	-0.55	レベル2 (上位レベル) 交通機関 選択	FreqD	2.04	7.41
	泉北ダミー	6.75	2.43		NVehicles	1.46	4.42
	泉南ダミー	6.91	0.28		NFamily	-1.09	-7.21
	神戸臨海ダミー	7.40	0.30		自動車定数項	-9.08	-18.83
	神戸内陸ダミー	7.14	0.29				
阪神間ダミー	7.34	0.30					
	Logsum(λ_2)	0.89	1.24 (0.17)*		Logsum(λ_2)	0.11	0.89 (7.29)*

Sample Size = 425, L(0) = -1928.11, L(B) = -1589.41, $\chi^2 = 677.41$, $\rho^2 = 0.18$, $\bar{\rho}^2 = 0.17$ * : 1からのt値 (ρ^2 の自由度を修正する際の変数の数としては、選択構造モデルの変数も加えた)

表-5 交通機関・目的地選択モデルの推定結果（構造1を仮定）

		パラメータ	t 値
レベル1 (下位レベル) 交通機関 選択	Age	-0.13	-0.72
	Sex	-0.28	-4.24
	NVehicle	0.67	6.13
	TTime	-0.51	-3.69
	自動車定数項	-0.46	-2.83
レベル2 (上位レベル) 目的地 選択	Workarea	0.072	2.01
	Distance	-0.53	-9.33
	大阪市ダミー	0.19	4.23
	北大阪ダミー	-0.35	-5.43
	泉北ダミー	-0.50	-7.83
	泉南ダミー	-0.11	-2.17
	神戸臨海ダミー	0.08	1.73
	神戸内陸ダミー	-0.12	-2.27
阪神間ダミー	-0.02	-0.51	
	Logsum(λ_2)	0.63	1.78 (1.04)*

Sample Size = 425 * : 1からのt値
L(0) = -1928.11 L(B) = -1644.68
 $\chi^2 = 566.87$ $\rho^2 = 0.15$ ($\bar{\rho}^2 = 0.14$)

表-6 交通機関・目的地選択モデルの推定結果（構造2を仮定）

		パラメータ	t 値
レベル1 (下位レベル) 目的地 選択	大阪市ダミー	0.39	8.57
	北大阪ダミー	-0.16	-2.87
	泉北ダミー	-0.25	-3.92
	泉南ダミー	0.10	1.86
	神戸臨海ダミー	0.29	5.88
	神戸内陸ダミー	0.088	1.69
	阪神間ダミー	0.23	4.49
	TTime	-1.10	-11.19
レベル2 (上位レベル) 交通機関 選択	FreqD	0.39	5.17
	NVehicles	0.59	5.72
	NFamily	-0.40	-3.69
	自動車定数項	-0.64	-4.72
	Logsum(λ_2)	0.53	3.09 (2.72)*

Sample Size = 425 * : 1からのt値
L(0) = -1928.11 L(B) = -1679.07
 $\chi^2 = 498.09$ $\rho^2 = 0.13$ ($\bar{\rho}^2 = 0.13$)

率が増加する、と解釈する。また、目的地選択の説明変数としては、ダミー変数の他に人口や商業床面積等の目的地固有変数を導入して推定計算を行ったが、それらについては選択構造の固有性を考慮したモデル、構造1を仮定したモデル、構造2を仮定したモデルのいずれでも有意な係数が得られなかったため、係数を0.0に固定して推定計算を行った。構造1に関しては、鉄道所要時間の増加に伴って自動車選択確率が増加する、自動車保有台数が多い個人ほど自動車選択確率が高い、という妥当な結果となっている。目的地選択についても、

より遠方の地域の選択確率は低く、勤務地域であれば選択確率が高い、という妥当な結果が得られた。一方、構造2に関しては自動車保有台数が多い個人ほど自動車を選択する傾向が強い、鉄道での所要時間が大きい地域ほど目的地選択確率が低下する、という妥当な結果が得られた。

ここで、構造1のみ、あるいは構造2のみを仮定した表-5、表-6の説明変数の係数推定値と比較すると、絶対値は異なっているものの、符号に関しては概ね同じものが推定されている。ただし、構造1を仮定した場合の下位レベルにおけるTTimeの係数

推定値については、表-4では正の値が推定された一方で、表-5では負の値となった。ここでは、電車の確定効用を0に固定しているため、TTimeに関しては、二つの選択構造を同時に仮定した場合の係数推定値の符号の方が妥当な結果となった。これは、選択構造に関する個人間の異質性を考慮することで妥当なパラメータが推定できる、ということを表付ける一つの結果であると考えられる。

5. 結論

本研究で提案した来訪頻度を推定する生活圏モデルシステムは、交通発生モデル、および、交通機関選択・目的地選択モデルの二つで構成される。本稿では、生活圏モデルシステムの構築を目的として、目的間の状態依存を考慮した交通発生モデルを構造方程式モデルに基づいて、個人の選択構造の異質性を考慮した交通機関・目的地選択モデルをNLに基づいてそれぞれ構築した。そして、アンケート調査をに基づく統計解析結果を示した。

統計解析の結果、日常的自由目的と非日常的自由目的の発生頻度間の状態依存の存在、および、日常的自由目的と非日常的自由目的の選択構造確率間の誤差相関の存在が統計的に確認できた。個人の選択構造には居住地域の公共交通機関、および、自動車に関する整備水準が影響を及ぼしていることが統計的に確認できた。また、日常的自由目的の選択構造は個人属性が大きな規定要因となっている一方で、非日常的自由目的の選択構造には世帯属性も大きく影響を及ぼしていることが分かった。交通機関・目的地選択確率に関する推定結果からは、個人間には選択構造に関する異質性の存在が示唆された。また、選択構造に関する異質性を考慮することでデータの適合度が向上することが確認できた。

実用的な生活圏モデルシステムを構築するためには、様々な課題が存在する。本研究は未だ途上にあり、以下のような問題点が課題として残されている。

- 1) 本研究では、二つの選択構造を仮定した結果を示したが、個人の選択構造はさらに多様であることが考えられる。今後、先験的に仮定する選択構造数に関して検討を加え、計算コスト、適合度の両者のトレードオフを考慮した上で、先験的に仮定する適切な選択構造数の把握を目指す。

- 2) 選択構造と交通機関・目的地選択の同時推定を行い、データとして得られた交通行動結果を選択構造確率のモデル推定に反映させ、個人間に存在する選択構造に関する異質性をより高い精度でモデル化する。
- 3) 交通発生と交通機関・目的地選択行動の両者の相関を考慮したモデル化を図る。
- 4) 本稿で示した推定計算では、各個人から得られた複数の交通行動は、それぞれが独立に意思決定されているものと仮定した。この仮定を緩和し、誤差相関を考慮した交通行動モデルの構築を目指す。
- 5) 本稿では、推定結果を示したに過ぎず、モデルシステムによる交通需要予測を目指した集計化に関する検討を加えていない。各サブモデルで推定された出力を統合し、モデルシステム全体のアウトプットである来訪頻度予測値と実際のデータとの比較・検討、および、データの入手可能性を考慮した外生変数の特定化が必要である。

謝辞

最後に、調査、および資料の提供にご協力頂いた阪神高速道路公団に対して深甚な謝意を表します。

脚注

- [1] このアンケート調査では、居住地ベースに抽出されたサンプル(Random Sample)と路側において抽出されたサンプル(Choice-Based Sample)が得られている。一般に、両者を統合したサンプル(Enriched Sample)を対象として分析を加える場合、重み付け補正が必要となる¹⁵⁾。本研究では、この重み付け補正を加えずに分析を行っているが、生活圏モデルシステムの実用化を目指す場合、重み付け補正は不可欠である。
- [2] 一般に、発生頻度を内生変数とした回帰式を定式化した場合、重相関係数の水準は低いことが知られている^{16) 17)}。これは、交通発生は交通行動以外の生活行動に大きく影響されるためであると考えられ、アクティビティ分析のアプローチが有効であると思われる¹⁸⁾。ただし、本稿で示す生活圏モデルは、アクティビティ分析のアプローチのモデル化に比較して簡便な手法であり、実用性が高いものと思われる。
- [3] 本研究で利用したデータを得たアンケート調査では、時間利用調査も合わせて実施した¹⁸⁾。この調査からは、各トリップの同伴者数に関するデータが得られている。同伴者数に関して集計したところ、全トリップについての平均は0.36(人/トリップ)、趣味・娯楽・スポーツ目的についての平均は0.43(人/トリップ)となっており、非日常的自由目的のトリップでは、同伴者傾向が強いことが示されている。また、トリップ前後の活動の同伴者から判断したトリップ同伴者種別では、家族との同伴傾向が高いことが示されている。

参考文献

- 1) Tversky, A.: Elimination by Aspects: A Theory of Choice, *Psychological Review*, Vol.79, No.4, pp. 281-299, 1972.
- 2) 森川高行・竹内博史・加古裕二郎: 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, *土木計画学研究・論文集*, No. 9, pp. 117-124, 1991.
- 3) 山本俊行・藤井聡・北村隆一: 個人の選好特性を考慮した交通機関選択分析, *土木学会*, 講演集, pp.890-891, 1994.
- 4) 佐々木邦明・森川高行・杉本直: 潜在セグメントを考慮した動的な休日買物目的地選択分析, *土木計画学研究・論文集*, No.12, pp.397-404, 1995.
- 5) 西井和夫, 北村隆一, 近藤勝正, 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, *土木学会論文集*, No.506 / IV-26, pp. 25-34, 1995.
- 6) 森川高行・山田菊子: 系列相関を持つRPデータとSPデータを同時に用いた離散型選択モデルの推定法, *土木学会論文集*, No.476 / IV-21, pp. 11-18, 1993.
- 7) Kitamura, R., Yamamoto, T., Fujii, S.: A Discrete-Continuous Analysis of Time Allocation to Two Types of Discretionary Activities Which Accounts for Unobserved Heterogeneity, In the proceedings of the 13th ISTTT, 1996.
- 8) Jöreskog, K. and Sörbom, D.: LISREL VI - An analysis of Linear Structural Relation by of Linear Structural Relation by Maximum Likelihood, Instrumental Variables, and Least Squares Methods, User's Guide, Department of Statistics, Univ. of Uppsala, Uppsala, Sweden, 1984.
- 9) Madala, G.S.: Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics, Cambridge University Press, pp. 149-196, 1983.
- 10) 森川高行・白水靖郎: SPデータを用いた交通需要予測のためのマーケット・セグメンテーションに関する研究, *土木計画学研究・講演集*, No. 14 (1), pp. 589-596, 1991.
- 11) Ben-Akiva, M., Stoper, P., Golob, T.F., Gunn, H., Mahmassani, H.: Panel Discussion-Research Priorities in Travel Behavior Modelling and Analysis, Presented at 7th World Conference on Transport Research, Sydney, 1995.
- 12) Swait, J. and Ben-Akiva, M.: Empirical Test of a Constrained Choice Discrete Model, Mode Choice in San Paulo, Brazil, *Transportation Research B*, Vol. 21B, No. 2, pp. 103-115, 1987.
- 13) 黒川洗編: 非集計行動モデルの理論と実際, 社団法人土木学会, p. 73, 1995.
- 14) 豊田秀樹: SASによる共分散構造分析, 東京大学出版会, pp. 99-118, 1992.
- 15) Ben-Akiva, M., Lerman, S.R.: Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, The MIT Press, pp. 217-252, 1985.
- 16) 荒木敏, 北村隆一, 藤井聡: 発生交通構造を把握するための個人の生活圏に関する分析, *土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第4部*, pp.828-829, 1994.
- 17) 古屋秀樹, 兵藤哲朗, 森地茂: 発生回数の分布に着目した観光交通行動に関する基礎的研究, 1993年度代28回日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 319-324, 1993.
- 18) 門間俊幸, 藤井聡, 北村隆一: 時間利用パターンを考慮した就業者の交通行動分析, *土木計画学研究・講演集*, No.18(1), pp. 321-324, 1995.

選択構造の異質性を考慮した生活圏推定モデルの構築

藤井 聡, 木村 誠司, 北村 隆一

本研究では、生活圏を「個人が実行する複数の交通行動を時間軸上で集計して得られる空間的拡がり」と捉え、交通発生モデル、交通機関・目的地選択モデルの2つから構成される、生活圏を推定するためのモデルシステムを構築した。特に交通機関・目的地選択モデルを構築する際には、複数の選択構造を想定し、個人はそれらの選択構造を確率的に所有すると仮定して選択構造の異質性を考慮した。本稿では、アンケート調査から得られたデータに基づいて推定した結果を示した。推定の結果、発生頻度の目的間の状態依存、選択構造に関する目的間の誤差相関、そして、選択構造に関する異質性の存在がそれぞれ統計的に示された。

A model system of personal action space that accounts for heterogeneity in choice structure

Satoshi Fujii, Seiji Kimura, Ryuichi Kitamura

A model system of personal action space is developed. This model system comprises a trip generation equations system and a mode and destination choice model system. The mode and destination choice model system takes into account the heterogeneity in choice structure by adopting nested logit models with multiple choice structures. Results of model estimation indicate the following: 1) there is heterogeneity in choice structure across individuals, 2) the trip frequency for routine activities affects that for non-routine activities, 3) the unobserved factors affecting structure choice are correlated between routine and non routine activities.
