

[特集]

横断的及び縦断的異質性を考慮した 交通選択行動ダイナミックスの表現

張 峻屹¹・杉恵頼寧²・藤原章正³

¹正会員 工博 広島大学大学院助教授 国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 工博 広島大学大学院教授 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)
E-mail: ysugie@hiroshima-u.ac.jp

³正会員 工博 広島大学大学院教授 国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp

今までの動的交通選択モデルでは個人から得られる属性データと行動データがフルに活用されず、選択行動の異質性を満足に表現していない。本研究では確率効用最大化理論に基づき、交通サービス水準に関する個人の嗜好構造を時間的に分割することにより、嗜好の個人間変動（横断的異質性）及び時間的変化（縦断的異質性）を同時に取り入れた動的交通機関選択モデルを構築する。実際の交通選択行動（RP）パネルデータによる検証の結果、提案した動的モデルが選択行動変化のダイナミックスをより柔軟で精度良く記述できることを示した。同様な嗜好構造を、Swaitらが開発したDGEVモデルに取り入れることにより、パネル調査の初期条件だけではなく、打ち切りタイミングも選択行動に影響することを明らかにした。

Key Words: cross-sectional/longitudinal heterogeneity, DGEV model, closing timing of panel survey

1. はじめに

(1) 研究背景

交通計画や政策は変化する将来に対して作成・制定されることを考えると、この変化をいかに計測し、予測するかを明確にしなければ、成功する交通計画・政策がありえないと言っても過言ではない。人々は今現在何を考えているか、どのような行動をとっているかなどについては、調査などを通じてかなり高い精度で把握することが可能である。しかし、将来、例えば今とまったく同じ条件においても人々が同じ行動を繰り返すか、それともまったく別の行動をとるのかを知ることは、プランナーにとって重要である。

近年、交通分野では、特に需要予測モデルの信頼性が厳しく問われるようになってきている。交通需要予測モデルの良し悪しは結局、将来の変化をどのように捉えるかにかかわる。本研究では、データの制約上、中・短期の交通需要予測に寄与する行動の時間的な変化の把握に焦点を当てている。

この変化を計測・予測する方法としては、今まで集計型・非集計型動的交通行動モデルがそれぞれ提案されてきている。集計型モデルは主に、説

明変数と目的変数（交通需要）との相関関係に着目した統計的なアプローチに基づくものである¹⁾。非集計型モデルの多くは確率効用最大化理論に基づくものである²⁾。近年、集計型モデルより、変化のメカニズムをより論理的かつ詳細に記述できる非集計型モデルの開発が主流となっている。本研究では後者の非集計型モデルを研究の対象とする。

(2) 問題認識

確率効用最大化理論が提案されてから約30年が経った。個人が自分にとって最も望ましい選択肢を選ぶという仮説に基づき開発されたロジットモデルやネスティッド・ロジットモデルは、モデル構造の簡潔さ及び推定のしやすさから、現在交通を含む多くの分野において幅広く適用されている。

これらのモデルは実用性が高い一方、効用最大化仮説については、心理学などの分野からその問題点が指摘されている³⁾。例えば、そもそも合理的な人間は存在しないとか、人々の選択は状況依存のため、確率効用最大化理論で仮定するような安定的行動が成立しないかなどである。人間の心理や選択行動に関する意思決定のメカニズムは複雑である。それを追求することは、学術的

な価値が非常に大きい。しかし、このような意思決定メカニズムの解析において、個人の態度や嗜好のような主観的な指標に基づく場面が多く、需要予測に際して、これら主観的指標の時間的安定性が問題となってくると考えられる。

(3) 研究目的

本研究は実際の交通機関選択行動 (RP) パネルデータを用いて、交通需要予測の中で中心的な役割を果たすサービス水準変数に対する嗜好の個人間変動及び時間的な変化を同時に取り入れた動的交通機関選択モデルを構築し、モデルによる行動変化ダイナミクスの表現の有効性を明らかにすると同時に、パネルデータを用いて動的モデルを構築する際の課題についても検証する。嗜好の個人間変動は同一時点に着目したものであり、横断的異質性として定義する。また、ここでは、時間的な変化も個人によって異なると仮定しているため、それを縦断的異質性として定義する。

本研究は以下のように構成される。まず、第2節では既往研究について、特に異質性と行動変化のダイナミクスに着目してレビューを行う。次に、第3節では本研究で構築する動的モデルについて説明する。第4節ではモデルパフォーマンスを確認すると同時に、パネルデータに基づくモデル構築時の課題も検証する。最後に、第5節では結論と今後の研究課題を述べる。

2. 既往研究のレビュー

本研究では、横断的異質性と縦断的異質性に基づく交通選択行動ダイナミクスの表現を研究目的としているため、ここでは両者に着目して関連する既往研究をレビューする。

北村⁴⁾は変動という集約的な概念の中で、本研究で対象とする嗜好の個人間変動と時間的な変化をそれぞれ個体間の変動と経時的変動として位置づけている。加えて、本研究では、嗜好の時間的な変化についても個人間の変動を許容している。

(1) 行動変化について

本研究での時間的な変化は、取り扱う時間間隔によって、リアルタイムの変化、時間帯別 (ピーク・オフピークとか) 変化、曜日変動、週間変動、季節変動、年次変化などに分けられる。また、規則性があるかどうかという視点から、変化を、繰り返して現れるという周期的な変化、時間の経過

とともに一定の率 (または規則的な変化率) で推移するトレンド変化、状況に応じて変化する文脈依存型変化などに分けることもできる。

選択行動の意思決定プロセスは個人の記憶に基づく知覚と信念によって形成され、態度、動機/情緒と嗜好から影響を受ける⁵⁾。そして、知覚/信念・態度・動機/情緒の間の複雑な相互作用関係に影響される。さらに、選択行動は局所的で、適応性・学習性を持ち、文脈に依存して変わりやすいため、選択行動が元々時間的に変化しやすいものであると解釈することができる。

(2) 行動変化の影響要因

人間の交通行動については、「移動者」、「移動」及び「周辺環境」という3つの側面から網羅的に把握することが可能であると考えられる。本研究で取り扱う変化を以下のように考察してみる。

a) 移動者にかかわる要因

移動者にかかわるものとしては、個人の客観的な属性 (性別や年齢、教育水準や収入、車の免許保有の有無、交通機関の利用可能性、世帯内での地位)、個人の主観的な属性 (アクティビティ・交通機関の嗜好性、公共心や社会責任感)、所属集団 (例えば、世帯) 属性 (世帯構成やライフステージ、居住形態や世帯構成員の雇用状況、車の保有状況、就業形態) を挙げることができる。それ以外に、行動習慣の変化、将来予定行動の影響、選択肢間の評価重みの違い^{6),7)}、意思決定方法の変化 (個人意思決定か集団意思決定^{8),9)} や意思決定影響要因の変化が考えられる。

b) 移動にかかわる要因

移動にかかわるものは、時空間上における所要時間や料金のような交通機関や施設の変動的なサービス水準以外に、駐車場の容量や飛行機の座席数のような短期不変的サービス水準、移動の本源的需要である活動 (例えば活動目的によって利用する交通機関が異なる) を含める。

c) 周辺環境にかかわる要因

一方、周辺環境にかかわるものは、移動者全員に共通に影響する要因を指す。例えば、車購入ローンの利息は購入者によらず一定である。また、特定ルート上の特定時刻における道路渋滞状況はそのルートを利用しようとするすべての人にとって同じである。景気が交通手段の利用状況に与える影響⁴⁾もこのグループに属する。

(3) 行動変化の捉え方について

前述の各種変化を計測することができるかどうか

かやどのように計測するかについては、技術の進歩にかなり影響される。例えば、今まで不可能または困難だと思われたリアルタイムの変化の計測は、ITの進展によって可能になった¹⁰⁾。

a) モデルにおける変化影響要因の導入方法

前述の移動者と移動そのものにかかわる要因については、基本的にそのまま、または多少の修正を加えた上でモデルの中に容易に取り入れることができる。周辺環境の変化については、対象期間によって異なれば、複数時点のデータを用いてそれを簡単に表現することが可能である。複数時点にわたり、周辺環境の客観的な変化がない場合、それに関する個人の主観的認知（例えば、景気への認知）をモデルの中に取り入れることが必要であり、今後の研究課題として残される。

b) 変化の把握に関する代表的なモデルの概説

日本では、実務的に使われている非集計型交通需要予測モデルのほとんどは、クロスセクションデータを用いて構築されたもので、現在の母集団内の変動パターンが将来にわたっても変わらないと仮定している。一方、学術的には非集計動的交通行動モデルの開発は1980年代から盛んに行われるようになってきている。本研究ではパネルデータを用いた動的離散選択モデルを対象とするため、これに関連する代表的な既往研究を紹介する。

動的離散選択モデルに関する代表的な研究は、Heckman¹¹⁾によってなされた。

$$d_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{if } u_{ijt} \geq 0 \\ 0, & \text{if } u_{ijt} < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$u_{ijt} = \beta \mathbf{x}_{ijt} + \sum_{k=1}^{\infty} \gamma_{t-k,t} d_{ij,t-k} + \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_{k,t-k} \prod_{q=1}^k d_{ij,t-q} + \sum_k g_k u_{ijt-k} + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

ここで、 d_{ijt} は時間 t 、個人 i 、選択肢 j の選択結果、 u_{ijt} は効用変数、 \mathbf{x}_{ijt} は説明変数で β は嗜好パラメータ、 g_k は k 次遅れ操作子の影響度合い、 ε_{ijt} は誤差項、 γ, λ は時間的に変動するパラメータである。

式(2)の第2項は真の状態依存効果、第3項は累積効果、第4項は行動の惰性をそれぞれ捉える。

Heckmanモデルは、多くの動的モデルを特殊ケースとして含めることができる¹¹⁾から、モデル構造がかなり一般的なものとなっていることが分かる。Heckmanモデルが提案されて以来、多くの関連研究がなされている²⁾。動的モデルに関する最近の研究として、SwaitらのDGEVモデル²⁾を取り上げることとする。彼らはHeckmanの効用関数の考え方を

採用し、GEVモデル¹²⁾のG関数を以下のように定義した。

$$G(y_{ijt}) = \sum_j \left\{ \prod_{s=1}^{\infty} \gamma_{ijs} y_{ijt+s} \cdot \prod_{s=0}^t \alpha_{ijs} y_{ijt-s} \right\}^{\mu_t} \quad (3)$$

$$y_{ijt} = \exp(v_{ijt}) \quad (4)$$

ここで、 v_{ijt} は効用関数の確定項、 α_{ijs} と γ_{ijt} はそれぞれ過去と将来効用の割引パラメータ、 μ_t は時点 t のスケールパラメータである。 α_{ijt} は状態依存性（習慣保持性、多様性追求）を表す。

将来の期待を表す項を以下のように現在効用の冪乗として表現することにより、

$$y_{ijt}^{\phi_{ijt}} = \prod_{s=1}^{\infty} \gamma_{ijs} y_{ijt+s} \quad (5)$$

確率効用最大化理論の枠組みの中で、以下のような動的GEVモデル（DGEV）を導出できる。

$$p_{ijt} = \frac{\exp(\mu_t \tilde{v}_{ijt})}{\sum_j \exp(\mu_t \tilde{v}_{ijt})} \quad (6)$$

$$\tilde{v}_{ijt} = (1 + \phi_{ijt}) v_{ijt} + \sum_{s=1}^t (v_{ijt-s} + \ln(\alpha_{ijs})) \quad (7)$$

ここで、 \tilde{v}_{ijt} は前出の v_{ijt} と区別するため、meta-utilityと呼ばれる。 ϕ_{ijt} は将来行動の影響（将来の期待）を捉えるパラメータ、 $\phi_{ijt} \geq 0$ である。なお、式(7)は式(3)と式(5)から導かれるものである。

このDGEVモデルでは初期条件、将来行動の影響、状態依存性及び、時間的に変化するスケールパラメータ・共分散構造・嗜好を同時に表現することができる。また、式(6)のmeta-utility \tilde{v}_{ijt} は従来から存在するどのようなGEVタイプのモデルにも適用できるとされている²⁾。DGEVモデルは離散選択行動ダイナミクスの解明に大きく寄与すると期待されている。本研究では、DGEVモデルにおける「将来の期待」という概念を活かして、パネル調査の打ち切りによる選択行動への影響を分析する。

(4) 異質性の種類と捉え方に関するレビュー

今まで、異質性に関する統一した定義はない。個人の観測特性（性別、年齢、所得、世帯人数など）または非観測特性（嗜好、態度、性格、動機などの省略変数）によって生じる交通行動の違いとして解釈するのが主流であった¹³⁾⁻¹⁶⁾。そして、前者によるものを観測異質性、後者によるものを非観測異質性として呼ばれる。しかし、近年、異質性の定義は拡張され、非常に一般的な概念として定着しつつある。例えば、Swait & Bernardino¹⁷⁾

は個人間の変動が、確率効用最大化理論の枠組みの中で確定項、嗜好パラメータ、意思決定ルール、選択肢集合、誤差構造といった側面において生じると主張する。

パネル調査の初期条件が選択行動に与える影響についても個人によって異なると考えられる。しかし、この種の異質性は今まであまり認識されていない¹⁸⁾⁻²⁰⁾。また、Roy²¹⁾はマーケットをセグメントするために、異質性を横断的異質性と縦断的異質性に分け、推定残差を用いてブランド選択モデルを構築した。さらに、藤井²²⁾は選択モデル構造の異質性を主張する。

特に、非観測異質性を考慮しないと、擬似状態依存を生じさせ、真の状態依存効果を過大に評価してしまう可能性があるとの指摘がある²³⁾⁻²⁶⁾。Guptaら²⁷⁾は消費の選択における同様な現象があると報告した。

以下では、まず観測異質性と非観測異質性の順でレビューを行う。次に、最近適用範囲の拡大を見せている潜在クラスモデルについて特筆したい。

a) 観測異質性

同一個人から複数のSP回答が収集可能な場合、個人別のモデルを推定することができる。この場合個人間の完全な異質性を許容することになる²⁸⁾。マーケティング・リサーチ分野ではモニター制度による長期にわたる購買行動の記録や、時間をかけた詳細なSP調査データが多く存在するため、個人ごとに多くの観測値を得て個人別パラメータを推定することが一般的に行われている²⁹⁾。

最近、交通分野でもプレペイドカードやICカードを駅の自動改札機やバス車内のデータ読み取り機に直接挿入することなどして運賃を支払うシステムが導入され、都市圏内での共通化も広がりつつある³⁰⁾。このようなカードデータを用いて、個人間の完全な異質性を許容できる交通行動モデルの構築が可能となる。ITS技術の進展によって、このような現象の表現可能性が拡大していくと考えられる。一方、データ利用に関わるプライバシーの問題があるため、実用化には課題がなお残る。

次に、母集団を嗜好のおおよそ均一であろうと思われるいくつかのサブグループに分け、サブグループごとにパラメータを推定するマーケット・セグメンテーション法がある³¹⁾。また、マーケティング・リサーチ分野では、Bock & Uncles³²⁾は、消費者間の異質性が少なくとも、商品特性の嗜好、消費者相互作用効果（他者の影響に対する反応の違い）、選択バリアー、バーゲン交渉力と売り手への利益といった5つの側面において現れると主張

する。これらの情報をセグメント分けの基準として利用することが可能である。

b) 非観測異質性

非観測異質性の影響については、モデルの多くの構成要素に影響する。関連研究を選択肢別嗜好項、属性別嗜好項、選好、誤差構造、状態依存項、パネル調査の初期条件、選択肢集合、モデルの構造に分けてレビューする。

(i) 選択肢別嗜好項

選択肢別嗜好項が確率的に変動するかどうかによって、選択モデルは固定効果モデルとランダム効果モデルに分けられる³³⁾。前者は選択肢別嗜好項の確率的な変動を仮定しない。後者はそれを仮定する。後者はさらに、確率分布関数の形によって連続的な確率分布を仮定するパラメトリックな手法³³⁾と離散的な確率分布を仮定するMass Point手法^{13)-16), 34)-37)}に分けられる。

(ii) 属性別嗜好項

これに関するモデルは多く提案されているが、基本的に、ロジットモデルかプロビットモデルの枠組みの中で、属性別嗜好項が多変量正規分布に従うと仮定して、MSLE (Maximum Simulated Likelihood Estimation) などのような推定方法でモデルを推定する。混合型ロジットモデルや混合型プロビットモデル^{25), 26), 38)-44)}がその代表的な事例である。また、Bhat & Guo⁴⁵⁾は混合型空間相関ロジットモデルを提案し、居住地選択における選択肢の空間相関及び非観測嗜好異質性を考慮した。

(iii) 選好

Morikawa⁴⁶⁾はRP/SP融合モデルの中で、選好の異質性を誤差成分の分解により表現した。

(iv) 誤差構造

Bhat⁴⁷⁾はネスティッド・ロジットモデルのログサム変数パラメータを個人属性の関数として定義することにより、異質な共分散誤差構造を表現し、都市間交通手段の分析に適用した。Bhat²⁵⁾は嗜好パラメータ及び誤差構造の異質性について、混合型ロジットモデルの中で正規分布により表現した。

(v) 状態依存項

Bhat & Castelar²⁶⁾は混雑プライシング政策の分析において、SP/RP融合モデルの枠組みの中で、3種類の異質性（選好、LOS変数に関する嗜好及び状態依存）を混合型ロジットモデルにより表現した。

(vi) パネル調査の初期条件

初期条件の異質性については、今まで固定初期条件法と相関初期条件法⁴⁸⁾という2つ代表的な方法が提案されている^{18), 48)}。前者は非観測異質性の影響を無視するのに対して、後者はそれを考慮に入

れる。Degeratu¹⁸⁾は、一次マルコフプロセスから導き出される状態依存項を離散選択モデルに取り込み、多変量正規分布により連続的な異質性を表現し、さらに、両手法を比較した結果、関連初期条件法がより有効であることを確認した。

(vii) 選択肢集合

Chiangら⁴⁹⁾は選択肢集合の特定と選択肢の選択を統合するモデルを提案し、選択肢集合の異質性及び嗜好パラメータの異質性を考慮した。嗜好については、パラメータの正規確率分布を仮定した。Swait⁵⁰⁾のGenLモデルも選択肢集合の異質性を表現できると考えられる。

(viii) モデルの構造

藤井ら²²⁾はネスティッド・ロジットモデルの上位・下位構造が個人によって異なると考え、正規分布に従う構造選択確率式を定義し、異質な構造をもつネスティッド・ロジットモデルを推定した。

c) 潜在クラスモデル

潜在クラスモデルは最近、いろいろな選択現象を柔軟に表現できるということで注目されている。同手法の基本的な考え方は、母集団にはデータから直接に識別できないいくつかの離散的なセグメントが存在する可能性がある。先駆的な研究としてKamakura & Russel (1989)⁵²⁾, Wadel & Kamakura (1998)⁵³⁾を取り上げることができる。この方法は交通手段選択を始めとする多くの場面において応用されている⁵⁴⁾⁻⁵⁶⁾。Kurauchi & Morikawa⁵¹⁾は、個人が意思決定を行う際に、補償型ルールに従う人もいれば、非補償型に従う人も存在するというルールの異質性を、潜在クラスモデルにより表現した。

Boxall & Adamowicz⁵⁷⁾も離散選択モデルにおける異質性を扱う潜在クラス手法をレビューしている。

実は前述の非観測異質性を表現するMass Point手法^{13)-16), 34)-37)}については、Mass Pointの重みパラメータが潜在クラスモデルの帰属確率として定義すれば、潜在クラスモデルと似たようなセグメンテーション機能を果たすことになる。こういう意味からみると、潜在クラスモデルはMass Point手法の発展形としてみなすことができる。

Natter & Feurstein⁵⁸⁾はSPデータを用い、個人間の異質性を考慮した潜在クラスモデルが理論的に優れており、内的妥当性が高いが、約2年間の週間スキャンパネルデータに適用してみた結果、外的妥当性については、データの特性に依存すると結論づけた。質の高い調査データの重要性を示唆した。

注目すべきなのはWalker & Ben-Akiva⁵⁶⁾の研究である。Walker & Ben-Akivaは一般化確率効用モデル (Generalized random utility model) を提案し、誤差

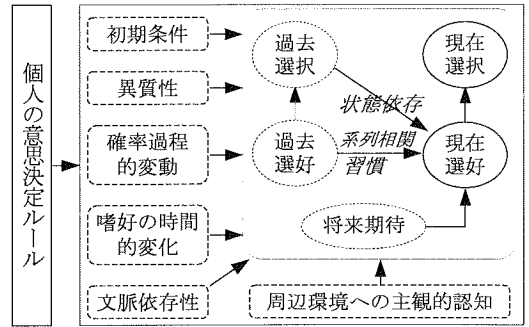


図-1 動的離散選択行動モデルの構造

構造、潜在変数及び潜在クラス、SPとRPデータなどにおける異質性を総括的に表現している。また、最近、確率論とファジー理論の融合を図る視点から、Leeら⁵⁹⁾はドライバーの経路選択モデルとして、潜在クラスモデルを生かして、意思決定における不確実性、あいまい性および異質性を同時に考慮したシーケンシャルモデルを開発した。

以上のレビューを通じて、動的離散選択行動モデルの中で表現すべきものとして、図-1のようにまとめることができる。

つまり、現在の選択行動は、個人の嗜好によって決まる。その嗜好は、また過去の嗜好（習慣）と過去の選択結果（状態依存）、場合によって将来の予想行動（将来期待）に影響される。そして、このような影響構造はさらに、観測データの不完全性に対処するための初期条件、個人反応の異質性、嗜好の時間的変化、文脈依存性⁶⁾、影響要因やモデル構造に起因する確率過程的変動⁴⁾、また、習慣環境への個人の主観的な認知からも影響を受ける。前述のことは、想定される個人の意思決定ルールのもとでモデルの中で結合され、このルールが変われば、その影響度合いや方向なども変わりうる。本研究では、主に嗜好の時間的な変化、初期条件、状態依存及び将来の期待に着目し、実際の交通機関選択行動を対象に、新たな動的交通行動モデルの構築を試みる。

3. 新たな動的交通機関選択モデルの構築

前節のレビューから分かるように、今までの動的交通行動モデルの多くは個人の異質な行動メカニズムを確率分布により表現している。行動現象を表現する重要なモデリング手法として広く研究を重ねてきている。しかし、確率分布を仮定するが故に、その分散や共分散パラメータに関する行

動的解釈が難しい一方、得られた説明変数パラメータ推定値は母集団全体またはセグメントごとの平均値であるため、異質性の表現が不十分である。

そこで、本研究では、交通サービス水準に対する嗜好パラメータを時間軸に沿って分解することにより、横断的異質性と縦断的異質性を観測可能な個人属性により同時に表現した動的交通選択モデルを構築する。なお、ここで提案する方法は、離散選択モデル以外の交通行動モデルにも適用可能であると考えられる。以下では、モデルの構築方法について説明する。

まず、式(2)の第2～4項を無視し、式(1)を以下のように書き換える。

$$\begin{aligned} u_{ijt} &= \beta_{it} x_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \\ &= \beta_{it} (x_{ijt-1} + \Delta x_{ijt}) + \varepsilon_{ijt} \end{aligned} \quad (8)$$

注目したいのは、嗜好パラメータ β_{it} は個人 i 、時間 t によって異なる。なお、選択肢によって β_{it} が異なっても差し支えない。ただし、選択肢別パラメータの概念については今まで実務的にも定着しているため、ここでは議論の対象としない。

式(8)を取り入れた離散選択モデルについては、今まで、マーケティング・リサーチ分野において、個人から収集されてきた複数のSPデータを用いて個人別のパラメータを推定している。個人ごとに多くのSP回答を尋ねることが必要となるため、交通分野では、パラメータ推定に絶えうるデータ数を収集できないのが現状である。しかし、個人の行動変化を捉えることの重要性から、少ない時点にわたって、パネル調査を実施することで、対応していくことは現実的であろう。

本研究では、このような少ない時点数をもつパネルデータを活かしつつ、交通需要予測において中心的な役割を果たす交通サービス水準に関する個人別嗜好パラメータを推定することが可能なモデルの構築を試みる。

考え方は以下のとおりである。将来の交通行動は、現在の行動の繰り返し及び、新たな環境への順応によって生じる変化から構成されると考える。このような変化構造は例えば、通勤のような規則的トリップでは前者の割合が高く、逆に自由目的の不規則的な場合には、状況依存的に変化し、後者の影響度合いがより大きいであろう。この考え方は中・短期的な行動変化に対して適用可能であるが、長期的な行動の変化は交通行動そのものよりも、むしろライフスタイルなどの変化によるところが大きい。ただし、本研究では中・短期的な行動変化をモデリングの対象とする。

上述のことを反映するため、嗜好パラメータ β_{it} の時間的変化構造を以下のように分解する。

$$\beta_{it} = \beta_{it-1} + \Delta\beta_{it} \quad (9)$$

つまり、時点 t のパラメータ β_{it} は時点 $t-1$ のパラメータ値 β_{it-1} と変化量 $\Delta\beta_{it}$ に分解される。よって、式(8)は以下のように書き換えられる。

$$u_{ijt} = \beta_{it-1} x_{ijt-1} + \beta_{it} \Delta x_{ijt} + \Delta\beta_{it} x_{ijt-1} + \varepsilon_{ijt} \quad (10)$$

式(10)の第1項は過去の選択効用を、第2、3項は行動調整（第2項： t 時点における選択肢属性値の変化量の影響；第3項：過去の行動に対する t 時点での行動調整）をそれぞれ表す。

操作性の高いモデルを開発するため、特に時間的な変化の規則性を見つけることが重要になってくる。このため、式(9)を以下のように変形する。

$$\beta_{it} = \beta_{it-1} + \rho_{it} \Delta\beta_{it}, \quad t=1, \dots, T \quad (11)$$

ここで、 $\Delta\beta_{it}$ は単位時間あたりの嗜好変化量を、 ρ_{it} は時間の経過に伴う $\Delta\beta_{it}$ の影響力を表す。

式(11)に対して、初期時点0を基準に、以下のように変形することができる。

$$\beta_{it} = \beta_{i0} + \Delta\beta_{it} \sum_{s=1}^t \rho_{is} \quad (12)$$

ここで、 β_{i0} は初期時点0の嗜好パラメータである。

嗜好パラメータ β_{i0} 及び単位時間あたりの嗜好変化量 $\Delta\beta_{it}$ の確率的な変動を仮定しない。なお、その確率的な変動を仮定する場合、既存モデル（例えば、混合型ロジットモデル）の中で容易に対応することができる。

ρ_{it} は経過時間の影響を表すものであるが、個人によってその影響度合いは異なると考えられるため、モデルの操作性を考えて、 ρ_{it} を以下のような関数で表すことを提案する。

$$\rho_{it} = \tau^{a_{it}}, \quad a_{it} = \kappa Z_{it} \quad (13)$$

ここで、 τ は初期時点0とした時の経過時間である。 Z_{it} は時間 t における個人 i の属性、 κ はそのパラメータである。

式(13)を式(8)に代入し、誤差項 ε_{ijt} がワイブル分布に従うと仮定すれば、嗜好の個人間変動（横断的異質性）及び時間的な変化（縦断的異質性）を同時に考慮した、操作性の高い離散選択モデルを以下のように得ることができる。

$$P_{ijt} = \prod_{t=1}^T \frac{\exp(\beta_{it} x_{ijt})}{\sum_{j'} \exp(\beta_{it} x_{ijt'})} \quad (14)$$

$$\beta_{it} = \beta_{i0} + \Delta\beta_{it} \sum_{s=1}^t \tau^{\kappa Z_{is}} \quad (15)$$

この動的モデルをDCLHモデルと呼ぶことにする。なお、DCLHはDynamic discrete choice model with Cross-sectional and Longitudinal Heterogeneity (横断的及び縦断的異質性をもつ動的離散選択モデル)の略称である。

式(15)の第2項について、 τ^{kz}_{is} は過去s時点の嗜好が現時点tの嗜好に与える状態依存的な効果を表すと同時に、現時点tまでの τ^{kz}_{is} の総和は累積効果を表す。式(8)に示すように $\beta_{it}x_{ijt}$ で u_{ijt} を近似できることを考えると、式(15)はHeckmanモデル(式(2))の右辺第2、3項と似たような効果を表現できる。

また、単位時間あたりの嗜好変化量 $\Delta\beta$ を通じて規則性のある行動変化過程を明示的に取り入れることにより、DCLHモデルは交通需要予測モデルとしても適用可能であると考えられる。さらに、初期時点における嗜好パラメータ β_{i0} 及び単位時間あたりの嗜好変化量 $\Delta\beta$ の確率的な変動を仮定することにより不規則な行動変化ダイナミクスをも表現することができる。ただし、本研究では規則的な行動変化の表現を研究対象としているため、需要予測モデルとしてのDCLHモデルの適用及び不規則な行動変化過程の導入については、理論的に可能であるが、ここで取り扱わない。

HeckmanモデルとDGEVモデルでは、過去の選択行動結果や選好をもって状態依存効果や行動の惰性などを明示的に取り入れているが、説明変数との相関が生じるという統計的な不都合が生じており、そのためにより複雑な推定方法が必要である。一方、DCLHモデルは嗜好パラメータの分解により行動変化のダイナミクスを表現するため、HeckmanモデルとDGEVモデルのような複雑な推定方法を必要とせず、通常の最尤推定法を用いてパラメータを簡単に推定することができる。また、DCLHモデルの構造をそのままHeckmanモデルとDGEVモデルの中に取り入れることができるため、モデル間の融合が行動変化のダイナミクスに関するより豊富な情報を提供できると考えられる。本研究では、式(15)をDGEVモデルにも取り入れ、将来の期待という概念を通じてパネルデータにより動的モデルを構築する際の課題を検証する。

4. モデルパフォーマンスとパネルデータによる動的モデル構築時の課題の検証

(1) 利用データの概要

広島市新交通システム(アストラムライン)開業後における通勤通学者の交通機関選択行動の予

測を目的に、1987年から90、93、94年にかけて計4時点にわたって自家用車(CAR)、バス(BUS)と新交通システム(NTS)を対象にSPパネル調査が実施され、自家用車とバスの利用実態(RP)についても調べられた。結果的に各時点においてそれぞれ226パネルサンプルが得られた。本研究ではDCLHモデルの有効性を検証するため、RPパネルデータのみを対象とする。DCLHモデルは、SPパネルデータにも適用可能であるが、行動の時間的な変化を引き起こす要因(例えばSP回答バイアス)がより複雑であるため、SPパネルデータへの適用及び予測モデルとしての有効性については、今後の研究課題としたい。なお、モデル推定に用いる説明変数は、CARとBUSの所要時間と費用である。

(2) DCLHモデルの推定結果及び考察

DCLHモデル以外に、以下の2種類のモデルを比較モデルとして推定した。そして、1987、90と93年の3時点RPパネルデータを推定に用いた。

【TCP】Temporally Changing Parameter model

これは式(9)に基づく動的モデルで、パラメータの時間的な変化を統計的に検証するために使う。

【Ho-DCLH】Homogeneous DCLH model

これは個人属性を取り入れないDCLHモデルであり、式(13)の a_{it} を a_t に置き換え、時間的な変化のみを考慮し、個人間の変動を考慮しない。

上述のTCP、Ho-DCLH及びDCLHモデルの推定結果をそれぞれ表1~3に示す。

a) TCPモデルについて(表-1)

ここで、TCPモデルにおける各時点のパラメータ変化について以下のように考察を行う。

1993年の費用パラメータ変化量を除き、費用と時間パラメータの変化量 $\Delta\beta$ は統計的に有意であったため、費用と時間パラメータは時間的に変化していることが分かる。

$\Delta\beta$ と β_{it} ははどの時点についても統計的に有意でないため、バスの定数項が変化しているとはいえず、バスへの嗜好性に変化が見られない。

b) Ho-DCLHモデルについて(表-2)

自由度調整済み尤度比が0.3362であり、TCPモデルの0.3439より若干小さい。費用と時間パラメータについて、その変化量 $\Delta\beta$ と経過時間 a_t の影響が有意でないが、多くの β_{it} は統計的に有意であった。 a_t が有意でないことは平均的にみて、時間経過が影響しないことを意味し、個人レベルでもその影響がないことを意味しない。

c) DCLHモデルについて(表-3)

ここで、性別や年齢などの個人属性を式(15)の

表-1 TCPモデルの推定結果

説明変数	パラメータ推定値	t 値
BUS定数項		
1987年パラメータ(β_i)	0.1910	1.0823
1990年変化量($\Delta \beta_i$)	0.1204	0.5056
1993年変化量($\Delta \beta_i$)	-0.3062	-1.1868
1990年パラメータ(β_i)	0.3114	1.9466
1993年パラメータ(β_i)	0.0052	0.0256
費用 (円)		
1987年パラメータ(β_i)	-0.0064	-7.7218
1990年変化量($\Delta \beta_i$)	0.0029	2.8512
1993年変化量($\Delta \beta_i$)	-0.0004	-0.5230
1990年パラメータ(β_i)	-0.0035	-6.2628
1993年パラメータ(β_i)	-0.0040	-6.7348
時間 (分)		
1987年パラメータ(β_i)	0.0281	1.5799
1990年変化量($\Delta \beta_i$)	-0.0484	-2.2315
1993年変化量($\Delta \beta_i$)	-0.0773	-3.5521
1990年パラメータ(β_i)	-0.0203	-1.6363
1993年パラメータ(β_i)	-0.0975	-5.4525
初期対数尤度	-469.95	
最終対数尤度	-304.22	
自由度調整済み尤度比	0.3439	
サンプル数	678	

表-2 Ho-DCLHモデルの推定結果

説明変数	パラメータ推定値	t 値
BUS定数項		
1987年パラメータ(β_i)	0.2593	1.6668
年間変化量($\Delta \beta$)	-0.0511	-0.5534
経過時間の影響(α)	0.2806	0.5555
1990年パラメータ(β_i)	0.1896	1.9763
1993年パラメータ(β_i)	0.1051	0.5810
費用 (円)		
1987年パラメータ(β_i)	-0.0053	-9.5581
年間変化量($\Delta \beta$)	0.0008	1.8089
経過時間の影響(α)	0.0693	0.5632
1990年パラメータ(β_i)	-0.0045	-13.439
1993年パラメータ(β_i)	-0.0036	-7.1910
時間 (分)		
1987年パラメータ(β_i)	0.0332	2.0663
年間変化量($\Delta \beta$)	-0.0477	-1.8304
経過時間の影響(α)	0.1599	0.4441
1990年パラメータ(β_i)	-0.0236	-2.3076
1993年パラメータ(β_i)	-0.0871	-5.5081
初期対数尤度	-469.95	
最終対数尤度	-307.80	
自由度調整済み尤度比	0.3362	
サンプル数	678	

Z_{it} としてモデルに取り入れる。DCLH モデルは TCP モデルと Ho-DCLH モデルより、自由度調整済み尤度比が高く、精度が約 10%程度改善された。このように TCP, Ho-DCLH モデルと比較した結果、個人の横断的及び縦断的異質性を表現するのに、DCLH モデルが有効であることを確認できた。

費用と時間の変化量パラメータ $\Delta \beta$ は統計的に有意であった。1987 年の費用と時間パラメータも統計的に有意となった。表-1 と表-2 と同様に、時間パラメータがプラスとなってしまった。これは恐らく RP データの使用によるものと考えられるが、DCLH モデルが前述の 2 つのモデルより有効であると結論づけることにはあまり支障がない。

嗜好パラメータ β_{it} の時間的変化量を説明する多くの個人属性が経過時間の影響を有意に説明できている。有職者は無職者と比べて、費用パラメータの時間的な変化が小さいが、時間パラメータのそれが大きい。女性の時間パラメータは男性より時間的に大きく変化する。年齢が高い人は低い人より、費用パラメータの時間的な変化が大きい。

(3) DCLH モデルと DGEV モデルとの統合

本研究で提案した DCLH モデルは嗜好パラメータを時間軸に沿って分解することにより、嗜好パラメータの時間的な変化を捉えることができるが、前述の DGEV モデルのように初期条件や将来の期

表-3 DCLH モデルの推定結果

説明変数	パラメータ推定値	t 値
BUS定数項: 1987年パラメータ(β_{i0})		
年間変化量($\Delta \beta$)	0.0208	0.1902
時間の影響(κ): 定数項	0.0002	0.8677
性別	-1.2056	-1.1321
年齢	-2.5175	-2.6519
職業	0.1275	7.6726
世帯人数	1.3150	1.0520
費用(円): 1987年パラメータ(β_{i0})	-0.7080	-2.3217
年間変化量($\Delta \beta$)	-0.0052	-9.1804
時間の影響(κ): 定数項	0.0010	2.8069
性別	0.7439	1.0599
年齢	0.0132	0.0291
職業	0.0587	3.1550
世帯人数	-3.2265	-3.2284
時間(分): 1987年パラメータ(β_{i0})	-0.5160	-4.1264
年間変化量($\Delta \beta$)	0.0309	2.0323
時間の影響(κ): 定数項	-0.0896	-7.6381
性別	-5.5316	-4.8477
年齢	-0.0468	-0.2205
職業	0.0275	1.5040
世帯人数	3.6288	4.1830
初期対数尤度	0.1910	1.4360
最終対数尤度		
自由度調整済み尤度比	-469.95	
サンプル数	-287.89	
	0.3678	
	678	

待が現在の行動に与える影響を表現できていない。そこで、両者を統合することにより、モデルのパフォーマンスをさらに向上させることが期待される。

これを実証するため、式(6)、(7)と(15)を統合したモデル (DCLH_DGEVモデルと呼ぶ) を、同じRPデータについて推定する。そして、式(7)の α_{ijs} を下式のように定義した。

$$\alpha_{ijs} = \alpha_{js} = (\rho_j)^s \quad (16)$$

今までの動的離散選択モデルでは、パネル調査の初期条件に関する検討が多くなされてきた。しかし、パネルデータに基づき需要予測を行う際に、調査の打ち切りタイミングもモデルの推定結果に影響すると考えられる。ここでは、DCLH_DGEVモデルの有効性を検証すると同時に、DGEVモデルの「将来の期待」パラメータ ϕ_{jt} を活かして、パネル調査の打ち切りタイミングがモデル推定結果に与える影響についても分析する。ただし、 ϕ_{jt} については、個人間の変動を考慮しないことにする。

前述のことを検証するため、本研究の4時点パネルデータを組み合わせて合計6種類のデータセットを作成し、それぞれの推定結果を表-4に示す。

① DCLH_DGEVモデルの精度

表-3のDCLHモデルと同じパネルデータセットを用いたDCLH_DGEVモデルは表-4のモデル②である。ここでは、両者を直接比較することにより、DCLH_DGEVモデルの有効性を検証する。

DCLH_DGEVモデルはDCLHモデルより、自由度調整済み尤度比が0.3678から0.4596に向上し、精度が約25%改善された。

表-4に示される他のモデルについても、自由度調査済み尤度比が高く、DCLH_DGEVモデルによる交通機関選択行動変化のダイナミクスを表現することの有効性を示唆している。

② モデルによる行動ダイナミクスの表現

(i) 初期条件

ここでは選択の初期効用と嗜好パラメータの初期値を初期条件として取り上げる。前者はどの交通機関においても有意ではなかった。後者については、費用、時間及びバスの定数項パラメータのほとんどは有意であった。パネル調査における初期条件の影響を改めて確認することができた。

(ii) 状態依存性 (習慣保持性, 多様性追求)

状態依存性パラメータ ρ_j については、モデル⑤以外にすべて有意で正の値を得ており、人々が交通機関選択に際して多様性追及ではなく、習慣保持性をもつことが分かる。

(iii) 将来の期待

将来の期待パラメータ ϕ_{jt} を図-2にプロットする。図-2から、初期時点固定してパネル調査の打ち切りタイミングが変化した場合、将来期待パラメ

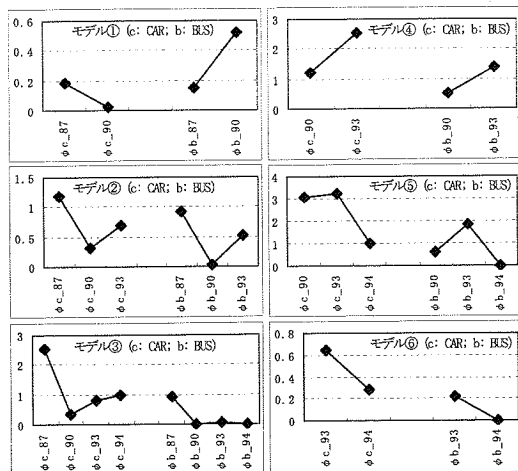


図-2 将来期待パラメータ ϕ_{jt} の分布

ータが異なる変化パターンを示すことが分かる。例えば、初期時点固定して、パネル調査の打ち切りタイミングをそれぞれ1990、93、94年に変更した場合 (モデル①、②、③)、 ϕ_{jt} の変化パターンは安定していない。これについてはおそらく時点数の影響があると考えられる。これを検証するために、同じ時点数をもつモデル①-④-⑥及びモデル②-⑤をそれぞれ比較しても、 ϕ_{jt} の安定的な変化パターンがあるとは言い難い。

また、本研究で採用したパネル調査の最終時点1994年を含めたモデルから得られた ϕ_{jt} の値は、1994年に近づくにつれ極端に小さくなっている。これは将来期待の影響が薄れていくと解釈することができる。しかし、1993年をパネル調査の最終時点とした場合の ϕ_{jt} 値は1994年と逆の変化パターンを示していることを考えると、どの時点でパネル調査を打ち切るかによって、モデルの推定結果が異なることを示唆している。

今までのパネル調査の初期条件について、固定初期条件法と相関初期条件法⁴⁸⁾という2つ代表的な方法^{18), 48)}が提案されているが、パネル調査の打ち切りタイミングの影響についても、適切なモデリング手法を開発することが必要であろう。

5. 結論と今後の課題

今までの動的離散選択モデルでは、個人から得られるデータがフルに活用されず、選択行動の異質性を満足に表現することができていなかった。

そこで、本研究では交通需要予測モデルにおいて中心的役割を果たす交通サービス水準に対する

表-4 パネル調査の異なる打ち切り時点に対するDCLH_DGEVモデルの推定結果

パネルデータ種類	モデル①	モデル②	モデル③	モデル④	モデル⑤	モデル⑥
	1987,1990	1987,1990, 1993	1987,1990, 1993,1994	1990,1993	1990,1993, 1994	1993,1994
説明変数						
BUS 定数項						
初期値	0.8322**	-0.5360	-1.4047**	-2.1571**	-1.3517**	-0.2093
年間変化量(,,)	0.0961**	0.1352**	0.0631**	0.2754	0.5923**	0.0239*
1987年の影響 ^{a)}	-0.6059	0.5276	0.1440	-0.0940	0.6437*	1.5403
経過時間の影響						
定数項	0.8941	3.4670**	-0.5167	-0.3304	0.3487	0.3112
性別	-0.3007	-0.7934**	0.1528	-0.0247	2.0096	-2.1519**
年齢	0.0092	0.0367**	0.0475*	-0.0981**	-1.4367**	0.1002**
職業	-0.1196	-3.6805**	-0.8509	-0.3304	0.3465	3.1998**
世帯人数	0.3142	-0.1509	-0.7779*	1.4731**	-1.0924	-0.3761
費用(円:共通)						
初期値	-0.0068**	-0.0022**	-0.0029**	-0.0002	-0.0011**	-0.0018**
年間変化量(,,)	0.0039**	0.0003	0.0005**	-0.0107**	-0.0006**	-0.0002
1987年の影響 ^{a)}	0.3129*	-0.6321	2.3668**	0.1131	-0.5978**	2.5407**
経過時間の影響						
定数項	0.1120	0.2851	-1.7107*	-1.86485	-2.8787**	3.8521**
性別	3.4227**	-0.1283	-0.8171**	-1.8584**	-2.0790**	4.7297**
年齢	-0.0564**	-0.2156**	0.0325*	0.0986**	0.0907**	-0.2400**
職業	0.2702	0.3032	0.7506	-1.8649*	0.4628	4.0427**
世帯人数	-0.2733*	0.2383	-0.0211	-0.2866	-0.3435**	-0.2031
時間(分:共通)						
初期値	0.0826**	-0.1185**	-0.0114	0.0037	-0.0117**	-0.0599**
年間変化量(,,)	-0.0233**	-0.1361**	-0.0238**	-0.0912**	-0.0366**	0.0147
1987年の影響 ^{a)}	2.8586**	-0.8159**	-0.7580*	0.1283**	-0.2503	-0.3393
経過時間の影響						
定数項	1.8709*	0.3464	-0.8690	-1.3803	0.0159	0.9393
性別	1.5767**	0.2893	0.5206	0.6194	0.7298	3.6318**
年齢	-0.0128*	-0.0029	-0.0194	-0.0123	-0.0184	-0.198261
職業	-1.7179*	1.1586	1.1698	-1.3803	0.0018	-0.3246
世帯人数	-0.4229**	-0.7074**	-0.1452*	-0.9882	0.0704	1.3481*
初期効用(V _n)						
バス	-0.2537	0.3664	1.3298	1.1067	0.2498	-1.5278
自動車	0.0205	-0.5683	-1.3987	-1.6245	-0.5789	-0.4572
習慣保持性の影響(ρ _i)						
バス	0.1603*	0.2222**	0.3340**	0.1514**	1.0500	0.2457*
自動車	0.2560**	0.2441**	0.3466**	0.1156*	1.0924	0.3549**
将来行動の影響(φ _{it})						
バス: 87年への影響	0.1522	0.9153*	1.1687**			
90年への影響	0.5191**	0.0302	0.0252	0.4921**	0.6206*	
93年への影響		0.5306*	0.1705	1.4032*	1.8845**	0.2245**
94年への影響			0.0461*		0.0257*	0.0061
自動車: 87年への影響	0.1884	1.1878*	3.3698**			
90年への影響	0.0224	0.3083	0.6255*	1.2203**	3.0726**	
93年への影響		0.6918	1.2291*	2.5343**	3.2452**	0.6384**
94年への影響			1.3346*		0.9670**	0.2767
初期対数尤度 ^{b)}	-498.67	-544.43	-676.99	-329.82	-488.75	-380.76
最終対数尤度	-180.56	-279.48	-342.729	-170.646	-232.368	-148.507
尤度比	0.6379	0.4867	0.4937	0.4826	0.5246	0.6100
自由度調整済み尤度比	0.6103	0.4596	0.4727	0.4432	0.4995	0.5803
サンプル数	452	678	904	452	678	452

^{a)} 当該変化量への初期時点の影響を表す；
* 95%の水準で有意； ** 99%の水準で有意

^{b)} 習慣持続性パラメータ初期値を推定値として固定する場合の値

個人嗜好の横断的及び縦断的異質性を同時に考慮した動的交通機関選択モデル(DCLH モデル)を提案した。さらに、確率効用最大化原則に基づき、行動変化のダイナミクスを包括的に扱うことのできる Swait らの DGEV モデルと統合することにより、交通機関選択行動の時間的な変化を分析した。研究成果は以下のようにまとめられる。

(1) DCLHモデルは、既存モデルより精度(自由度調整済み尤度比)が10%程度向上した。ただし、嗜好パラメータの分解に伴うサービス水準パラメータの論理的な符号を保証するメカニズムの導入は今後の研究課題として残される。

(2) 交通サービス水準に対する個人の嗜好が個人属性によって異なる。個人の嗜好が時間的に規則性のある変化パターンを示す。

(3) DCLHモデルとDGEVモデルを統合することにより、モデルの精度が25%改善されただけでなく、詳細な行動変化のダイナミクスも表現することができる。

(4) パネル調査の打ち切りタイミングがモデルの推定結果に影響する。

今後の研究課題は以下のように挙げられる。

(1) 本研究では、個人の観測可能な属性でもって横断的及び縦断的異質性を表現した。年齢については時点が変われば変化するもので、縦断的異質性を捉えるために適切な説明要因であるが、他の属性については、変化がなければ時間的な変化を捉えることができない。これについては今後、例えば移動の本源的な需要であるアクティビティに関する情報を導入することが1つの解決方法であろう。

(2) パネル調査の打ち切りタイミングの影響を考慮した動的モデルの開発が必要である。それと同時に、行動の変化を考慮した予測を精度よく実施するために、パネル調査の打ち切りタイミングをどう設定すべきかに関する検討も必要であろう。

(3) 嗜好パラメータの初期値と時間あたりの変化量については、確率的な変動を考慮したモデリング手法の開発が求められる。

参考文献

- 1) 杉恵頼寧, 張 峻屹, 藤原章正: 多時点集計型交通需要予測モデルの開発, 土木学会論文集, No.524/IV-29, pp.93-104, 1995.
- 2) Swait, J., Adamowicz, W. and van Bueren, M.: Choice and temporal welfare impacts: Dynamic GEV discrete models,

Staffpaper 00-03, University of Alberta, 2000.

- 3) 藤井 聡: 土木計画のための社会的行動理論—態度追従型計画から態度変容型計画へ—, 土木学会論文集, No. 688/IV-53, pp.19-35, 2001.
- 4) 北村隆一: 変動についての試行的考察, 土木計画学研究・論文集(招待論文), Vol.20, No.1, pp.1-15, 2003.
- 5) McFadden, D.: Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side: A 30-year Retrospective, In: Hensher D.A. (eds.), *Travel Behaviour Research, The leading Edge*, pp.17-63, 2001.
- 6) Zhang, J., Timmermans, H., Borgers, A. and Wang, D.: Modeling traveler choice behavior using the concepts of relative utility and relative interest, *Transportation Research*, Vol.38B(3), pp.215-234, 2004.
- 7) 張 峻屹, 杉恵頼寧, 藤原章正, 玉置善生: 相対性効用の概念に基づく交通機関 SP パネルデータの分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.3, pp.365-374, 2002.
- 8) Zhang, J., Timmermans, H. and Borgers, A.: A utility-maximizing model of household time use for independent, shared and allocated activities incorporating group decision mechanisms, *Transportation Research Record*, No. 1807, pp.1-8, 2002.
- 9) 張 峻屹, A. Borgers, H. Timmermans: 集団効用関数に基づく世帯時間配分モデルの開発及び実証的分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.3, pp.391-398, 2002.
- 10) 羽藤英二: ゾーンからドットへ—ポストモダン交通工学, 交通工学, 論説, Vol.37, No.5, pp.6-13, 2002.
- 11) Heckman, J.J.: Statistical Models for Discrete Panel Data, In: Manski C.F., McFadden D. (eds.), *The Structural Analysis of Discrete Data*, Cambridge: MIT Press, pp.114-178, 1981a.
- 12) McFadden, D.: Modeling the choice of residential location, *Transportation Research Record*, No.672, pp.72-77, 1978.
- 13) Reader, S.: Unobserved heterogeneity in dynamic discrete choice models, *Environment and Planning A*, Vol.25, pp.495-519, 1993.
- 14) 杉恵頼寧, 張 峻屹, 藤原章正: 個人の異質性による交通機関選択モデルの構造分析, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.425-434, 1995.
- 15) 杉恵頼寧, 張 峻屹, 藤原章正: Mass Point 手法により非観測異質性を考慮した交通機関選択のダイナミックモデル, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.623-632, 1996.
- 16) Zhang, J., Sugie, Y. and Fujiwara, A.: A mode choice

- model separating taste variation and stated preference reporting bias, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.4, No.3, pp.23-38, 2001.
- 17) Swait, J. and Bernardino, A.: Distinguishing taste variation from error structure in discrete choice data, *Transportation Research*, Vol.34B, pp.1-15, 2000.
- 18) Degeratu, A.M.: Estimation bias in choice models with last choice feedback, *International Journal of Research in Marketing*, Vol.16, pp.285-306, 1999.
- 19) Roy, A., Chintagunta, P.K. and Halder, S.: A framework for investigating habits, "The hands of the past", and heterogeneity in dynamic brand choice, *Marketing Science*, Vol.15, pp.280-299, 1996.
- 20) Ailawadi, K.L., Gedenk, K. and Neslin, S.A.: Heterogeneity and purchase event feedback in choice models: An empirical analysis with implications for model building, *International Journal of Research in Marketing*, Vol.16, pp.177-198, 1999.
- 21) Roy, A.: An error components approach to segmentation and modelling brand choice dynamics, *Journal of Economic Psychology*, Vol.19, pp.463-484, 1998.
- 22) 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.
- 23) Frank, R.E.: Brand choice as probability process, *Journal of Business*, Vol.35, pp.43-56, 1962.
- 24) Kitamura, R. and Bunch, D.S.: Heterogeneity and state dependence in household car ownership: A panel analysis using ordered-response probit models with error components, In *Transportation and Traffic Theory* (edited by M. Koshi), Elsevier, New York, pp.477-496, 1990.
- 25) Bhat, C.R.: Quasi-random maximum simulated likelihood estimation of the mixed multinomial logit model, *Transportation Research*, Vol.35B, pp.677-693, 2001.
- 26) Bhat, C.R. and Castelar, S.: A unified mixed logit framework for modeling revealed and stated preferences: formulation and application to congestion pricing analysis in the San Francisco Bay Area, *Transportation Research*, Vol.36B, pp.593-616, 2002.
- 27) Gupta, S., Chintagunta, P.K. and Wittink, D.R.: Household heterogeneity and state dependence in a model of purchase strings: Empirical results and managerial implications, *International Journal of Research in Market*, Vol.14, pp.341-357, 1997.
- 28) 湯沢 昭, 須田 熙, 高田一尚・堺潔: コンジョイント分析の適用性に関する実証的研究, 土木計画学研究・論文集, No.8, pp.257-264, 1990.
- 29) 片平秀貴: マーケティングサイエンス, 東京大学出版会, 1987.
- 30) 岡村敏之, 藤原章正, 神野 優, 杉恵頼寧: 共通プリペイドカードによる都市圏内公共交通乗車記録の特性分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.1, pp.29-36, 2002.
- 31) 森川高行: 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.
- 32) Bock, T. and Uncles, M.: A taxonomy of differences between consumers for market segmentation, *International Journal of Research in Marketing*, Vol.19, pp.215-224, 2002.
- 33) Chamberlain, G.: Analysis of covariance with qualitative data, *Review of Economic Studies*, Vol.XLVII, pp.225-238, 1980.
- 34) Laird, N.: Nonparametric maximum likelihood estimation of a mixing distribution, *Journal of American Statistical Association*, Vol.73, No.364, pp.805-811, 1978.
- 35) Lindsay, B.G.: The geometry of mixture likelihoods -A general theory-, *The Annals of Statistics*, Vol.11, No.1, pp.86-94, 1983a.
- 36) Lindsay, B.G.: The geometry of mixture likelihoods Part II - The exponential family -, *The Annals of Statistics*, Vol.11, No.3, pp.783-792, 1983b.
- 37) Heckman, J.J. and Singer, B.: A method for minimizing the impact of distributional assumptions in econometric models for duration data, *Econometrica*, Vol.52, pp.271-320, 1984.
- 38) Revelt, D. and Train, K.: Mixed logit model with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level, *Review of Economics and Statistics*, Vol.80, No.4, pp.647-657, 1998.
- 39) Brownstone, D. and Train, K.: Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns, *Journal of Econometrics*, Vol.89, pp.109-129, 1999.
- 40) Brownstone, D., Bunch, D.S. and Train, K.: Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles, *Transportation Research*, Vol.34B, pp.315-338, 2000.
- 41) Rossi, P.A. and Allenby, G.M.: A Bayesian approach to estimating household parameter, *Journal of Marketing Research*, Vol.30, pp.171-182, 1993.
- 42) Rossi, P.A., McCulloch, R.E. and Allenby, G.M.: The value of purchase history data in target marketing,

- Marketing Science*, Vol.15, pp.321-340, 1996.
- 43) Papatla, P.: A multiplicative random-effects choice model of consumer choice, *Marketing Science*, Vol.15, pp.243-261, 1996.
- 44) Hensher, D.A. and Greene, W.H.: The mixed logit model: The state of practice, *Transportation*, Vol.30, No.2, pp.133-176, 2003.
- 45) Bhat, C.R. and Guo, J.: A mixed spatially correlated logit model: formulation and application to residential choice modeling, *Transportation Research*, Vol.38B(2), pp.1467-168, 2004.
- 46) Morikawa, T.: Correcting state-dependence and serial correlation in the RP/SP combined estimation method, *Transportation*, Vol.21, pp.153-165, 1994.
- 47) Bhat, C.R.: Covariance heterogeneity in nested logit models: econometric structure and application to intercity travel, *Transportation Research*, Vol.31B(1), pp.11-21, 1997.
- 48) Heckman, J.J.: An incidental parameters problem and the problem of initial conditions in estimating a discrete time-discrete data stochastic process, In: Manski C.F., McFadden D. (eds.), *The Structural Analysis of Discrete Data*, Cambridge: MIT Press, pp.179-195, 1981b.
- 49) Chiang, J., Chib, S. and Narasimhan, C.: Markov chain Monte Carlo and models of consideration set and parameter heterogeneity, *Journal of Econometrics*, Vol.89, pp.223-248, 1999.
- 50) Swait, J.: Choice set generation within the generalized extreme value family of discrete choice models, *Transportation Research*, Vol.35B, pp.643-666, 2001.
- 51) Kurauchi, S. and Morikawa, T.: An exploratory analysis with discrete choice model with latent classes considering heterogeneity of decision making rules, In: Hensher D.A. (eds.), *Travel Behaviour Research, The Leading Edge*, pp.409-438, 2001.
- 52) Kamakura, W.A. and Russell, G.J.: A probabilistic choice model for market segmentation and elasticity structure, *Journal of Marketing Research*, Vol.26, pp.379-390, 1989.
- 53) Wadel, M. and Kamakura, W.A.: *Market Segmentation: Conceptual and Methodological Foundation*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA., 1998.
- 54) 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.43-46, 1995.
- 55) Sasaki, K., Morikawa, T. and Kawakami, S.: A discrete choice model with taste heterogeneity using SP, RP and attribute importance ratings, In *Selected Proceedings of the 8th World Conference on Transport Research*, Vol.3, Elsevier, pp.39-49, 1999.
- 56) Walker, J. and Ben-Akiva, M.: Generalized random utility model, *Mathematical Social Sciences*, Vol.43, pp.303-343, 2002.
- 57) Boxall, P.C. and Adamowicz, W.L.: Understanding heterogeneous preferences in random utility models: The use of latent class analysis, *Staff paper 99-02, University of Alberta*, 1999.
- 58) Natter, M. and Feurstein, M.: Real world performance of choice-based conjoint models, *European Journal of Operation Research*, Vol.137, pp.448-458, 2002.
- 59) Lee, B., Fujiwara, A., Sugie, Y. and Namgung, M.: A sequential method for combining random utility model and fuzzy inference model, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Informatics*, Vol.7. No.2, pp.200-206, 2003.

(2003.6.6 受付)

REPRESENTING TRAVEL CHOICE BEHAVIOR DYNAMICS BASED ON CROSS-SECTIONAL AND LONGITUDINAL HETEROGENEITY

Junyi ZHANG, Yoriyasu SUGIE and Akimasa FUJIWARA

Conventional dynamic discrete choice models have not satisfactorily represented individual heterogeneity due to the insufficient utilization of individual attributes and behavior data. This paper therefore attempts to establish a new dynamic travel mode choice model simultaneously incorporating cross-sectional and longitudinal heterogeneity by decomposing taste parameter of travel level-of-service over time. Throughout an empirical analysis using revealed preference panel data, it is confirmed that the established model can flexibly describe choice behavior dynamics with a higher accuracy. By introducing the above-defined taste structure into dynamic GEV model, it is shown that the closing timing of panel survey affects the model estimation results as well as initial condition of panel survey.