

個人の異質性による交通機関選択モデルの構造分析 *
Analysis of Mode Choice Models Considering the Heterogeneity of Individuals *

杉恵頼寧**・張 峻屹***・藤原章正****

By Yoriyasu SUGIE **, Junyi ZHANG*** and Akimasa FUJIWARA

1. はじめに

確率効用理論に基づく非集計モデルが、人々の様々な交通選択行動を記述し、予測にも広く用いられてきていることは周知のとおりである。しかし、その効用関数のパラメータは通常対象とする母集団の中で同一であると仮定しているため、母集団から同質な集団（セグメント）が存在する場合に、その集団をいかに抽出するかが問題となる¹⁾。また、省略変数（omitted variable）がモデルのパラメータ推定に有意な影響を与える時に、誤差項の中でそれを明確に取り入れないと誤った結論をもたらす可能性がある。

ここで本題に入る前に、本稿で扱う異質性の概念を定義する。これは個人の特性が変動することにより、説明変数の重要性を表すパラメータ値が変わってしまう現象を指す。この個人特性は観測特性と未観測特性がある。例えば、性別、所得、年齢、家族人数などの個人観測属性を考えると、男性と女性、高所得者と低所得者または高齢者と低齢者では、説明変数に置く重みが違ってくるのが考えられる²⁾。未観測属性は嗜好、態度、性格、動機などのようなもので、この属性が変われば、説明変数に置く重みも変化するであろう。

そこで、本研究では交通行動調査からのパネルデータを用いて、人々の交通行動の意志決定における異質性の存在を検証し、今までの異質性を扱う方法の適用を通じて、その問題点を指摘すると同時に、新たな方法論を試みる。

2. 異質性の扱い方に関するレビュー

本研究では、主に個人の異質性を中心に、交通機関選択モデルの構造分析を行うものである。

まず、調査対象の全サンプルを用いてモデルのパラメータを推定する場合、その母集団は同質であることを前提にしている。未知の母集団からいかに同質なサンプルを抽出するかに対しては厳密な方法がないため、母集団が同質であるかどうか分からない。したがって、調査サンプルを何らかの方法でセグメントせずに、そのままの全サンプルパラメータで分析を進めるには大きな危険性が潜んでいる。ここで、全サンプルに対するセグメンテーションも一種の異質性として考えれば、これは個人の観測特性による異質性問題である。

そして、実際に交通行動モデルを構築するに当たって、モデルの中に取り入れるべき個人の特性には、観測できるものと観測できないものに分けられる。観測できるものの中ではその交通行動における役割を完全に把握していないため、実際に観測されなかったり、または観測されても、モデルの中に取り入れなかったりすることがある。こういった観測されなかったり、モデルの中に取り入れなかったり、または観測できない特性を未観測特性と呼ぶことにして、もし、この未観測特性がモデルのパラメータ推定に何らかの影響を及ぼすなら、それを明確にモデルの中に取り入れなければならない。これは未観測特性による異質性問題である。

個人の観測特性による異質性と個人の未観測特性による異質性はともに確率効用理論の中の同質性問題を修正しようとしている。違うのは前者が観測特性の影響を扱うもので、後者が未観測特性の影響を扱うものである。

確率効用理論では、効用関数を確定項と確率項（誤差項）に分割しているため、その確定項のパラ

* キーワード：交通行動分析、交通手段選択

**正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科
（東広島市鏡山1-4-1、TEL 0824-24-7826、
FAX 0824-24-7826）

***学生員、工修、広島大学大学院工学研究科
（東広島市鏡山1-4-1、TEL 0824-24-7825、
FAX 0824-24-7825）

****正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科
（東広島市鏡山1-4-1、TEL 0824-24-7825、
FAX 0824-24-7825）

メータが異質な (heterogeneous) 場合と、その誤差項が異質な場合が考えられる。前者は観測特性による異質性問題であり、後者は未観測特性による異質性の問題である。

そこで、本研究の位置づけとその必要性を明らかにするために、今まで交通行動分析における異質性の扱い方について簡単なレビューを行う。

(1) 確定項のパラメータの異質性

このような異質性を今まで、a)マーケットセグメンテーション方法；b)コンジョイント分析；c)潜在セグメント分析といった方法で対応してきた¹⁾³⁾⁴⁾。a)はセグメントの判定基準により、さらに個人の社会経済属性を基準とするアプリオリ・セグメンテーション法と多次元的変数を基準とするクラスタリング・セグメンテーション法に分けられる。b)はSPデータを用いるモデリング手法で、個人パラメータを推定できるのは大きなメリットである。個人の社会経済属性によるセグメントより有効であると指摘されている⁹⁾。c)は個人がどのマーケットセグメントに属するかと、そのセグメントのパラメータ値を選択データだけから同時に推定するモデルである。かなり高度な推定法が要求される。

(2) 誤差項の異質性

今まで、誤差項にi.i.d.分布を仮定してきた。しかし、個人交通行動現象をまだ完全に把握できていない今日、モデルの中で未観測要素の影響を分析することは極めて重要でありながら、現在まで十分に注目されていない。日本における交通行動分野でこういった未観測の個人間の差異をモデルの中で明示的に取り入れようとするのは西井ら⁶⁾のSPデータを用いた研究があるが、それ以外、あまり検討されていない。

普通、効用関数は以下のような式で表される。

$$U_{ijk} = V_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

ただし、 i, j, t はそれぞれ個人、選択肢と時間を表す。 U_{ijk} は効用、 V_{ijk} はその確定項、 ε_{ijk} はi.i.d.分布に従う誤差項である。

もし、個人の未観測要素がモデルの中の観測変数と何らかの関係をもつ場合、それをモデルの中に取

り入れないならば、誤った結論をもたらす危険性がある⁷⁾。そこで、以下のような式で効用関数の再定式化を行う。

$$U_{ik} = V_{ik} + \delta_i + \varepsilon_{ik} \quad (2)$$

ただし、 δ_i は個人 i の異質性パラメータである。

そこで、 δ_i に関する仮説により、二つのモデルが考えられる。まず、 δ_i を固定効果パラメータとして扱う場合、これは異質性パラメータをもつ多時点固定効果選択モデルとなる。この場合、同時最尤推定法では一致性のある説明変数パラメータを推定できないため、条件付き最尤推定法または限界最尤推定法で構造パラメータを推定する⁸⁾。そして、 δ_i を確率効果パラメータとして扱う場合、これは δ_i の分布に依存するパラメトリック手法と δ_i の分布に依存しないノンパラメトリック手法に分けられる⁹⁾¹⁰⁾。特にMass Point推定法として知られているノンパラメトリック手法は δ_i の分布形とその近似化を必要としない。そして、Lairs条件を満たせば、少ないmass points数でモデルが構築できる⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾ため、実用性の高い手法として期待されている。

本研究の目的は効用関数の同質性を修正するアプローチの有効性を検討することである。そこで、確定項のパラメータの異質性によるアプローチと誤差項の異質性によるアプローチを比較しながら、議論を進める。前者に対して、主にマーケットセグメンテーション法を用いる。後者に関しては、モデルを再定式化する必要があるため、その具体的な内容を次節で説明する。

3. 誤差項の異質性によるアプローチ

具体的に、式(2)の誤差項をもつ二項ロジットモデルを例に、未観測の異質性を考慮したモデル推定方法を検討する。

しかし、固定効果モデルに幾つか固有の問題点が存在する⁸⁾ため、本研究では主にランダム効果アプローチのMass Point手法を適用することにする。この手法の定式化は以下のようなものである。

まず、個人 i の多時点にわたる選択結果の系列は以下のように定義する。

$$S_i = \{z_{it}\}, t = 1, \dots, T_i, z_{it} = \{0, 1\} \quad (3)$$

すると、個人の未観測異質性パラメータを取り入れた二項ロジットモデルを以下のように定式化できる。

$$\text{Prob}(z_{it} = 1 | \beta, \delta_i; \{x_{it}\}) = \{1 + \exp(\delta_i + \beta'x_{it})\}^{-1} \quad (4)$$

ただし、 δ_i は個人の異質性パラメータで、時間的に不変で独立な密度関数 $f(\delta)$ をもつ確率変数である。 x_{it} は説明変数、 β はそのパラメータである。

そして、個人 i の選択系列 S_i の確率は以下の式で表される。

$$\text{Prob}(S_i | \beta, \alpha; \{x_{it}\}) = \int_{\delta} h(\delta) f(\delta) d\delta \quad (5)$$

$$h(\delta) = \prod_{i=1}^{T_i} \left\{ \frac{[\exp(\delta_i + \beta'x_{it})]^{1-z_{it}}}{1 + \exp(\delta_i + \beta'x_{it})} \right\}$$

ただし、 α は $f(\delta)$ のパラメータベクトルである。

もし、 $h(\delta)$ がLaird条件を満たせば、Mass Point手法でパラメータを推定できる^{10),11)}。

そのため、以下の p_i で δ_i を置き換える必要がある。

$$p_i = [1 + \exp(\delta_i)]^{-1} \quad (6)$$

$\delta_i \in (-\infty, \infty)$ が $p_i \in [0, 1]$ となり、式(5)は以下のように変形される。

$$\text{Prob}(S_i | \beta, \alpha; \{x_{it}\}) = \int_0^1 h(p) f(p) dp \quad (7)$$

$$h(p) = \prod_{i=1}^{T_i} \left\{ \frac{(1-p)^{1-z_{it}} [\exp(-\beta'x_{it})p]^{z_{it}}}{1 + p [\exp(-\beta'x_{it}) - 1]} \right\}$$

式(7)はLaird条件を満たしているため、式(6)を式(5)に代入すれば、Mass Point手法の最終的なモデル構造式は以下の通りである¹¹⁾。

$$\text{Prob}(S_i | \xi, \rho, \beta; \{x_{it}\}) = \sum_{k=1}^m \prod_{i=1}^{T_i} \left\{ \frac{(1-\xi_k)^{1-z_{it}} [\xi_k \exp(-\beta'x_{it})]^{z_{it}} \rho_k}{1 + \xi_k [\exp(-\beta'x_{it}) - 1]} \right\} \quad (8)$$

ただし、ベクトル ξ, ρ はそれぞれ各mass pointの位置とその重みである。

多項ロジットモデルに関しては、同様な方法で選択確率式を再定式化できる。パラメータ推定は最尤推定法で行うことができる。

4. おわりに

本研究では、確率効用理論に基づくロジットモデルを中心に、その効用関数に異質性を導入する方法論を概説した。実際データを用いた分析は今回報告

できなかったが、交通行動分野において異質性に関する研究はまだ少ないため、こういった議論を深める必要性が充分にあると思われる。具体的な検討例は発表当日紹介する予定である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 佐野紳也：質的選択分析—理論と応用、財団法人三菱経済研究所、1990.
- 3) 森川高行：交通計画分野におけるマーケティングサイエンス技法、土木計画学ワンデイセミナーテキスト、土木学会土木計画学委員会、1993.
- 4) 片平秀貴：離散型選択モデルと選好の異質性、経済学論文集、Vol.3, No.50, pp.31-45, 1987.
- 5) 湯沢昭・須田照・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.
- 6) 西井和夫・北村隆一・弦間重彦：SPデータに内在するバイアスを考慮したパラメータ推計、土木学会第48回年次学術講演会、pp.726-727, 1993.
- 7) Davis, R.B. and Crouchley, R.: Control for omitted variables in the analysis of panel and other longitudinal data, *Geographical Analysis*, 17, No.1, pp.1-15, 1985.
- 8) Chamberlain, G.: Analysis of covariance with qualitative data, *Review of Economic Studies*, XLVII, pp.225-238, 1980.
- 9) Reader, S.: Unobserved heterogeneity in dynamic discrete choice models, *Environment and Planning A*, Vol.25, pp.495-519, 1993.
- 10) Laird, N.: Nonparametric maximum likelihood estimation of a mixing distribution, *Journal of American Statistical Association*, Vol.73, No.364, pp.805-811, 1978.
- 11) Davis, R.B. and Crouchley, R.: Calibrating longitudinal models of residential mobility and migration: An assessment of a non-parametric marginal likelihood approach, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.14, pp.231-247, 1984.