

複数の意思決定ルールを取り入れた世帯離散選択モデルの開発と車種選択分析への応用*

Development of Household Discrete Choice Model Incorporating Multiple Decision-Marking Rules and Application to Analysis of Car Type Choice*

桑野将司**・張峻屹***・藤原章正****

By Masashi KUWANO**, Junyi ZHANG***, Akimasa FUJIWARA****

1. はじめに

多項ロジット (MNL) モデルとネスティッドロジット (NL) モデルに代表される非集計交通行動モデルは個人の意思決定メカニズムを仮定して開発され、交通分野において幅広く応用されている。しかし、人間行動の多くは1個人が単独ですべてを決めているわけではなく、世帯における他の構成員 (配偶者や子供など)、友人・知人、同僚、または地域コミュニティや他の準拠集団など、各個人を取り巻くソーシャルネットワークの中で、他者の影響を受けて意思決定を行ったり、場合によっては価値観の異なる他者と一緒に意思決定を行ったりする¹⁾。従来の非集計行動モデルに基づく分析手法では、個人あるいは世帯を1つの分析単位と仮定し、政策介入を外生変数の変化という形で表現して、その行動変化を予測し、個人の行動変化を拡大して集計需要量を算出するという手段で行われるのが一般的であった²⁾。つまり、個人あるいは世帯を1つのまとまった意思決定単位として、その独立性または異なる世帯構成員の意思決定の同質性を仮定している。

しかし、多くの交通場面で取り上げられている世帯の行動を分析する際に、各世帯構成員の集団意思決定における役割や影響力、構成員間の相互作用を無視することはできない。事実、これまでに様々な集団意思決定ルールを仮定した世帯モデルの開発¹⁾がなされている。しかし、未解決の課題も多く存在する。特に、異なる選択肢の効用を定義する際に、意思決定における各世帯構成員の相対的影響力や構成員間の相互作用を選択肢間で共通に取り入れた世帯効用関数を採用する³⁾ため、個人の意思決定プロセスを仮定している従来の分析手法よりも選択肢間に強い類似性・相関が生じると考えられる。し

たがって、選択肢間の誤差項の類似性を明示的にモデリングすることが必要である。しかし、MNL タイプの世帯離散選択モデルではこのような誤差項の類似性を表現できない。また、一方で意思決定の対象や世帯の属性により様々な意思決定ルールが存在すると考えられ、複数提案されている意思決定ルール¹⁾の中で、どのような集団意思決定ルールが支配的であるかを断定することは分析者にとって困難である。

そこで、本研究では、選択肢間の誤差項の類似性のみならず、複数の意思決定ルールを同時に取り入れた新たな世帯離散選択モデルの開発を試みる。実証分析に際して、世帯の車種選択行動を取り扱う。世帯は最も身近な集団の1つであり、その構成員、意思決定対象、世帯内での権力構造、各構成員のパーソナリティーや集団意思決定履歴などの文脈によっても意思決定メカニズムは変化する⁴⁾。また、自動車保有についてみると、必ずしも免許保有者全員が自分専用の車を保有しているわけではないので、世帯構成員間で、どのような車を何台保有し、どのように利用するかは世帯意思決定の結果であると考えられる。さらに、自動車環境排出ガスが環境負荷に与える重大性からも自動車の保有に関する世帯意思決定メカニズムを解明することは交通環境政策のより適切な評価に大きく寄与すると考えられる。

本論文は以下のように構成される。第2章は既往研究をレビューした上で本研究の位置づけを明らかにする。第3章は複数の意思決定ルールを同時に取り入れた集団離散選択モデルの導出を行う。第4章は使用データを概説し、開発したモデルの推定・考察を行う。最後に第5章で本研究の結論と今後の研究課題をまとめる。

2. 既往の研究

個人は必ずしも自分の意思のみで行動を決定するわけではなく、場合によって他者の影響を受けたり、他者と一緒に意思決定をしたりする。つまり、人間行動の多くは複数の個人が相互に影響を及ぼしあう集団意思決定の結果である。この意思決定に影響を及ぼす集団相互作用には、社会的相互作用と局所的相互作用の2種類が存

*キーワード: 交通行動分析, 自動車保有・利用

** 正会員, 修 (工) 広島大学大学院工学研究科
(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1, TEL/FAX: 082-424-7825,
E-mail: kuwano@hiroshima-u.ac.jp)

*** 正会員, 博 (工) 広島大学大学院国際協力研究科
(〒739-8529 東広島市鏡山 1-5-1, TEL/FAX: 082-424-6919,
E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp)

**** 正会員, 博 (工) 広島大学大学院国際協力研究科
(E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp)

在する⁵⁾。前者は準拠集団全体から平均的に受ける影響のことであり、近年その作用を取り扱う分析手法が提案されている、一方、後者は特定個人間での相互作用を意味するものであり、後述の通り未解決の問題点が残されている。そこで本研究では、後者の局所的相互作用のみに着目する。

集団意思決定に関する研究は1930年代後半における社会心理学分野の研究まで遡ることができる⁶⁾。局所的相互作用についてはゲーム理論による定式化^{7,8)}と効用理論に基づく定式化⁹⁻¹⁵⁾の両面から数多くの分析手法が提案されている。交通分野では、離散選択現象における集団意思決定メカニズムを表現するため、個人意思決定プロセスを仮定している従来の離散選択モデルを援用する研究はよく見られる。例えば、Algersら⁹⁾はNLモデルを用いて世帯における車の使い分けと世帯トリップ数の配分を同時に表現した。Wen & Koppelman¹⁰⁾は同様なNLモデルを使い、世帯における活動の発生とツアーの形成メカニズムを分析した。そして、Rich¹¹⁾は共働きの世帯の居住地選択を説明するにあたり、Paired Combinatorial Logit (PCL)モデルを用いた。NLとPCLモデルを利用した研究は統計的な有意性から他者の影響を取り入れることの有効性を主張しているが、集団意思決定メカニズムを反映した厳密な行動理論に基づくものではない。これに対して、Timmermansら¹²⁾とBorgers & Timmermans¹³⁾が集団意思決定メカニズムを取り入れた離散選択モデルの初期研究を行った。彼らは交通施設整備が居住地選択に及ぼす影響を評価するため、階層的情報統合(Hierarchical Information Integration)手法(SP調査手法の1つ)を用いて、世帯主と配偶者の効用を加法型関数により統合し、集団意思決定メカニズムを表現した離散選択モデルを構築した。しかし、MNLタイプの世帯意思決定モデルを適用したため、選択肢間の類似性は無視されている。また、小林ら¹⁴⁾のランダム・マッチングモデルは、同一世帯における送迎・相乗り行動を対象に、個人の効用に他者の効用を取り入れ、合意に基づく意思決定メカニズムも表現した離散選択モデルを定式化した。送迎・相乗りに関わる双方の合意があつてなおかつ実際に送迎・相乗り行動を実現した状況(ケースA)とそうでない状況(ケースB)を取り上げ、実証データを用いてモデルの有効性を確認した。しかし、状況Bには、実際、片方の合意しかない状況と両方とも合意しない状況が混在しており、その区別を理論的に表現できたが、実際のデータでは検証することが難しい。

交通以外の分野においては、集団意思決定の研究は歴史が古いが、いまだに盛んに行われている。例えば、Bohmann & Qualls¹⁵⁾は休日の世帯行動を対象に、構成員間で交渉や情報交換前後により個人の選好が変化することをモデル化することで、集団における個人の意思決定

の形成について分析を行った。Wilsonら¹⁶⁾は集団選択に関する7つの異なる意思決定ルールを仮定したモデルの定式化を行い、現象によってそれらのモデルを使い分けるべきであると主張した。

このように、世帯意思決定ルールの表現に使えるモデルとして多数存在するが、集団としての世帯は、その構成員、意思決定対象、世帯内での権力構造、各構成員のパーソナリティや集団意思決定履歴などの文脈によって意思決定メカニズムは変化する⁴⁾。さらには、各構成員の集団意思決定への関与もその決定対象(車の選択、住居、余暇活動や子供の教育)^{17,18)}や世帯ライフサイクル¹⁹⁾によって異なる。つまり、どのモデル(意思決定ルール)が適切かについては分析者が事前に分かるわけでもないため、データへの適用性と実証的根拠をもってモデルの選定を行う以外の方法はなく²⁰⁾、分析者にとって意思決定ルールを選定することは困難である。そこで本研究ではいくつかの代表的な意思決定ルールを取り上げ、同質な潜在クラスを仮定することにより複数の意思決定ルールを確率的に割り付ける新たな離散選択モデルの開発を行う。

実証分析に際して、世帯の車種選択行動を取り扱う。近年、複数台自動車保有世帯が増加傾向にあるものの、全ての世帯構成員が自分専用の自動車を保有することは稀であり、世帯構成員間で話し合い、交渉や妥協することにより世帯としてどのような自動車を保有するのかの意思決定を行っていると考えられる。

世帯の車種選択行動についても、交通需要予測、自動車販売台数予測など様々な観点からの研究が古くから盛んになされている。分析に際して、市場には多くの車種が存在するため、その分析目的により車種を、例えば車両サイズ²¹⁾、車種タイプ²²⁾、燃料タイプ²³⁾、自動車メーカー²⁴⁾などにより集約した選択肢を設定するのが一般的である。自動車の保有・利用を分析するために使用可能なデータとしてRPデータとSPデータがある^{25,26)}。Brownstoneら²⁶⁾はカリフォルニアで実施されたRP、SP調査データを用いて、RPデータを用いた分析、SPデータを用いた分析、SPとRPの両方を用いた統合モデルによる分析の比較を行っている。また、車種選択行動に離散選択モデルを適用する際には選択肢間の誤差項の独立性が問題視され、誤差項間の相関を考慮したモデル、例えば、PCLモデル²⁷⁾、Mixed Logit (ML)モデル^{26,28,29)}の適用が行われている。誤差項の独立性の妥当性を検討した実証研究として、Brownstoneら²⁶⁾は、MNLモデルとMLモデルによる比較分析を行った結果、MLモデルにおいて、選択肢間の誤差項に相関が見られたことと、MNLモデルとMLモデルによる予測結果に大きな差異が見られることから誤差項の相関を考慮することの必要性を明らかにした。さらに、自動車保有・利用行

動は、世帯の居住地や都市特性³⁰⁾、交通行動特性やライフスタイル²²⁾などに影響されると考えられることから、様々な要素をモデルに取り入れる必要がある。

しかし、車種選択行動に関する研究の蓄積は多いが、そのほとんどは世帯あるいは世帯主やメインユーザーを1つの分析単位として取り扱っており、世帯意思決定を論理的に表現した世帯自動車保有・利用行動を記述する方法論が現時点で確立されているとは言えない。

3. 複数の意思決定ルールを取り入れた

世帯離散選択モデルの開発

(1) 世帯効用の定義と選択肢間類似性の表現

複数構成員がいる場合、各構成員の利害に関わる事象の意思決定においては、それぞれの構成員の存在や意見を無視することができない。また、各構成員は集団意思決定における役割や影響力などが異なるため、その意思決定は同質なものではない。そこで、本研究では、世帯がそれぞれの構成員の選好を総合的に考慮し、世帯全体から見て最も望ましい選択肢を選ぶものと仮定し、確率効用最大化理論の枠組みの中で新たな世帯離散選択モデルの開発を試みる。この仮定のもとで、それぞれの構成員の影響力などの違いを反映し、世帯が各構成員の選好（効用）をどう集計し、構成員間の相互作用をどう考慮に入れるかを特定する必要がある。これらのことを取り入れた世帯効用関数の一般形は以下のように定義する。

$$\begin{aligned} U_{hj} &= f(u_{h1j}, \dots, u_{hij}, \dots, u_{hmj}) = V_{hj} + \varepsilon_{hj} \\ &= f(v_{h1j}, \dots, v_{hij}, \dots, v_{hmj}) + \varepsilon_{hj} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 U_{hj} と V_{hj} は世帯 h の効用関数とその確定項、 u_{hij} と v_{hij} はそれぞれ構成員 i が選択肢 j を選ぶ効用関数とその確定項、 ε_{hj} は U_{hj} の誤差項である。

式(1)の定義から分かるように、それぞれの構成員の選好を表す情報や意思決定における各世帯構成員の相対的影響力、構成員間の相互作用が異なる選択肢の効用関数の中に共通に取り入れられることは十分にあり得る。その結果として、選択肢間に強い誤差項の類似性・相関が生じることが考えられる。式(1)の誤差項 ε_{hj} についてさまざまな仮定を設けることができるが、選択肢間の誤差項の類似性・相関を適切に反映することが重要である。本研究では PCL モデル³¹⁾ の適用を試みる。PCL モデルによる世帯の選択確率は次式により定義される。

$$P_{hj} = \frac{\sum_{j' \neq j} (1 - \sigma_{jj'}) \left\{ \exp\left(\frac{V_{hj}}{1 - \sigma_{jj'}}\right) + \exp\left(\frac{V_{hj'}}{1 - \sigma_{jj'}}\right) \right\}^{-\sigma_{jj'}} \exp\left(\frac{V_{hj}}{1 - \sigma_{jj'}}\right)}{\sum_{q=1}^{n-1} \sum_{r=q+1}^n (1 - \sigma_{qr}) \left\{ \exp\left(\frac{V_{hq}}{1 - \sigma_{qr}}\right) + \exp\left(\frac{V_{hr}}{1 - \sigma_{qr}}\right) \right\}^{1 - \sigma_{qr}}} \quad (2)$$

ここで、 P_{hj} は世帯 h が選択肢 j を選ぶ確率で、 $\sigma_{jj'}$ は選択肢 j と選択肢 j' の類似性パラメータである。類似性パラメータは $0 \leq \sigma_{jj'} < 0$ を満たす必要がある。もし全ての類似性パラメータが 0 であれば、PCL モデルは MNL モデルとなる。

式(1)の世帯効用関数として今まで幾つかの関数形¹⁾が提案された。本研究では、選択肢間の誤差項の類似性を考慮した世帯離散選択モデルの枠組みの中で、複数の意思決定ルールを同時に取り入れることの必要性・有効性を検証するため、代表的な意思決定ルールを表現する加法型、max-min 型と max-max 型世帯効用関数を取り上げる。

・タイプ 1：加法型世帯効用関数

$$V_{hj} = \sum_i w_{hi} v_{hij} \quad (3)$$

加法型効用関数は重みパラメータ w_{hi} を含んでおり、集団意思決定における構成員の相対的影響力を説明することが可能であり、以下の条件式を満たす必要がある。

$$w_{hi} \geq 0 \text{ and } \sum_i w_{hi} = 1 \quad (4)$$

構成員の相対的影響力は構成員の属性によって異なると考えられる。構成員の属性を説明変数とする以下のような重みパラメータ w_{hi} に関するロジット型関数を用いることにより、構成員の相対的影響力の異質性を表現することが可能である。

$$w_{hi} = \frac{\exp\left(\sum_l \kappa_l z_{hil}\right)}{\sum_{i'} \exp\left(\sum_l \kappa_l z_{hi'l}\right)} \quad (5)$$

ここで、 z_{hil} は構成員の l 番目の属性、 κ_l はそのパラメータである。

加法型効用関数では各構成員の効用の集計方法として重みづけ平均法を採用している。これに対して、max-min 型効用関数は選択肢に対する選好が最も低い構成員の効用を最大化する。言い換えると、選好の最も低い構成員の損失が最も低くなるような、集団でリスクを回避するような集団意思決定ルールを仮定する。一方、max-max 型効用関数は max-min 型効用関数と逆のルールを仮定する。つまり、選好の最も高い構成員の利得を最大化する。なお、max-min 型、max-max 型効用関数のパラメータ推定のための工夫として、本研究では近似解として以下のような各構成員の効用のログサム値を用い

ている。

・タイプ2：max-min 型世帯効用関数

$$V_{hj} = \min(v_{hij} | i=1, \dots, n) = -\ln\left(\sum_i \exp(-v_{hij})\right) \quad (6)$$

・タイプ3：max-max 型世帯効用関数

$$V_{hj} = \max(v_{hij} | i=1, \dots, n) = \ln\left(\sum_i \exp(v_{hij})\right) \quad (7)$$

(2) 潜在クラスによる複数意思決定ルール統合

実際の世帯意思決定においては、世帯属性や構成員の個人属性などによって、様々な意思決定ルールが存在するものと考えられる。このような意思決定の異質性を表現するため、ここで、世帯を k 個の潜在クラスに分け、各クラスでそれぞれ異なる意思決定ルールを持つものと仮定する。世帯 h の各潜在クラス k への帰属確率 C_{hk} は制約条件として常に $\sum_k C_{hk} = 1$ を満たす必要がある。さらに、分析者はどの世帯がどの潜在クラスに属するかを事前に知ることができないため、以下のロジット型帰属確率モデルを定義する。

$$C_{hk} = \frac{\exp(\bar{\alpha}_k + \bar{\gamma}_k D_k)}{\sum_l \exp(\bar{\alpha}_l + \bar{\gamma}_l D_k)} \quad (8)$$

ここで、 C_{hk} は世帯 h のクラス k への帰属確率、 $\bar{\alpha}_k$ は切片、 $\bar{\gamma}_k$ は未知パラメータ、 D_k は世帯属性などの説明変数である。これにより世帯 h の選択肢 j を選ぶ確率 P_{hj} は次式のように書き換えられる。

$$P_{hj} = \sum_k P_{hjk} C_{hk} \quad (9)$$

上記のモデルのパラメータを推定するために、ある基準となるクラスを任意に選定し、そのクラスへの帰属確率を規定するメンバーシップ関数のパラメータをすべて 0 として設定する必要がある。

潜在クラス k に属する世帯 h の尤度関数は式(10)、すべての世帯に関わる対数尤度関数は式(11)のように表される。なお、 δ_{hj} は世帯 h の選択肢 j を選んだ場合 1、そうでない場合 0 のダミー変数である。

$$L_{hk} = \prod_j (P_{hjk})^{\delta_{hj}} \quad (10)$$

$$\ln L = \sum_h \ln \left\{ \sum_k (C_{hk} L_{hk}) \right\} \quad (11)$$

モデルの推定に際して EM アルゴリズムを適用する。通常、EM アルゴリズムを適用する場合、モデルが収束するまでに時間がかかることや、一般的な非線形モデルにおいて推定結果が初期値に強く依存することなどいくつかの問題点が指摘されているが、EM アルゴリズムを潜在クラス分析に適用する場合においては、比較的容易に推定できると言われている³²⁾。

EM アルゴリズムを用いてモデルを推定する際に、世帯 h が潜在クラス k に属した場合 1、属さない場合 0 の

ダミー変数 R_{hk} を定義する。 R_{hk} を計算できれば、式(11)に代わって以下の対数尤度関数を用いる。

$$\ln L(t) = \sum_h \sum_k R_{hk}(t) \ln C_{hk}(t) + \sum_h \sum_k R_{hk}(t) \ln(L_{hk}(t)) \quad (12)$$

式(12)に示すように、対数尤度関数は 2 つの項に分解され、別々に対数尤度最大化を行う。EM アルゴリズムは E ステップと M ステップの 2 つのステップからなり、E ステップでは非観測データ R_{hk} の現時点での暫定的な期待値の推定を行う。ベイズ定理を用いることで、E ステップでは繰り返し計算 $t-1$ 回目で推定されたパラメータから計算された事後確率 $r_{hk}(t-1)$ を用いて、繰り返し計算 t 回目における R_{hk} を以下の式に示すように更新する。

$$r_{hk}(t-1) = \frac{C_{hk}(t-1) \hat{L}_{hk}(t-1)}{\sum_{k'} \hat{C}_{hk'}(t-1) \hat{L}_{hk'}(t-1)} \quad (13)$$

$$R_{hk}(t) = \begin{cases} 1 & r_{hk}(t-1) \geq \max(r_{hk'}(t-1) | k' \neq k) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

ここで、 $\hat{C}_{hk'}(t-1)$ は潜在クラス k の帰属確率、 $\hat{L}_{hk}(t-1)$ は潜在クラス k の尤度である。一方、M ステップでは、推定した事後確率を用いて計算された暫定的な対数尤度を最大化させる。EM アルゴリズムは前述した E ステップと M ステップを繰り返し、式(12)に示した対数尤度の値に改善が見られなくなった時点で収束したと判断し、計算を打ち切る。

4. モデルの推定と考察

(1) 使用データの概要

前述の複数意思決定ルールを取り入れた世帯離散選択モデルに関する実証分析にあたり、近年、自動車排気ガスによる環境問題はクローズアップされていることを考えて、世帯自動車保有・利用に着目し、平成16年度に広島県東広島市八本松町、白市町、広島市西区井口台で収集した世帯の自動車保有・利用実態に関する調査データを用いる。調査の概要を表1に示す。

次に、世帯人数と自動車保有台数の分布を表2に示す。97%の世帯が自動車を保有し、46%の世帯が複数台自動車を保有していることが分かる。地方都市ならではの車への依存の高さを反映している。一方、世帯構成員数と保有台数との関係をみてみると、両者が一致したのは全体の27%、保有台数がより多いのは全体のわずか6%であるのに対して、保有台数が構成員数より少ないのは67%も占めている。保有台数が少ない世帯では、車利用の競合や相乗りがなされるものと考えられる。

本研究では特に車種の選択に関する分析を行うが、

車種については、排気量、自動車のタイプ、メーカーやモデル等、様々な分類方法が考えられる。ここで環境排出ガスの排出原単位と密接な関係にある排気量をもとに車種を定義する。自動車取得税は軽自動車(660cc以下)、小型自動車(661~2000cc)と中型自動車(2001cc以上)の3区分で異なる税率が設定されていることを参考に、この3車種を取り上げ、実証分析を行う。ここで保有台数と車種の分布との関係(図1)をみても、1台保有している世帯では、660cc以上の排気量を持つ自動車の保有割合が高く、複数台保有している世帯では660cc以下の割合が高い。これはセカンドカー、サードカーでは、維持費用、走行費用が比較的安価な軽自動車を選ばれる傾向を示している。

表1 調査の概要

調査実施期間	配布：平成16年10月23日、24日 回収：平成16年10月30日、31日
調査地域	東広島市八本松町、白市町 広島市西区井口台
調査対象	15歳以上の全ての世帯構成員
サンプル数	東広島市 301世帯(回収率60%) 広島市 294世帯(回収率59%)
調査項目	個人属性(年齢、性別、職業、免許など) 世帯属性(世帯収入、居住地特性など) 保有自動車特性(排気量、乗車人数、購入価格、利用頻度、年間走行距離など)

表2 世帯人数と自動車保有台数の分布

世帯人数	保有台数				
	0	1	2	3	4以上
1人	9 (2%)	53 (9%)	7 (1%)	1 (0%)	1 (0%)
2人	8 (1%)	121 (20%)	55 (9%)	25 (4%)	5 (1%)
3人	0 (0%)	32 (5%)	70 (12%)	14 (2%)	1 (0%)
4人	1 (0%)	68 (11%)	64 (11%)	9 (2%)	1 (0%)
5人	0 (0%)	19 (3%)	16 (3%)	4 (1%)	1 (0%)
6人	0 (0%)	3 (1%)	5 (1%)	2 (0%)	0 (0%)

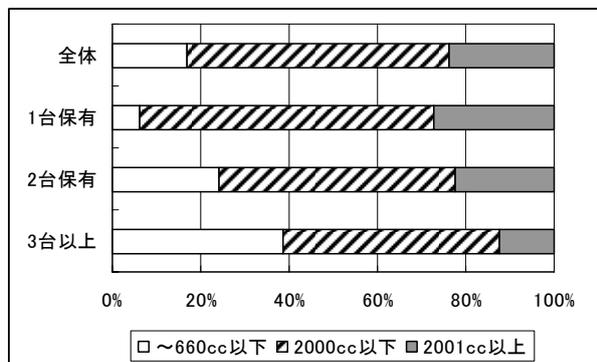


図1 保有台数と車種の関係

本研究では、複数の意思決定ルールを同時に取り入れた世帯離散選択モデルの車種選択行動分析への適用にあたり、すべての自動車を独立として分析を行うこととする。つまり、例えば2台自動車を保有している世帯については、2サンプルとして取り扱う。しかし、実際には複数台自動車保有世帯では、各自動車の車種選択行動は独立ではなく、保有自動車間の相関を考慮することは今後の重要な課題である。

(2) 世帯構成員及び説明変数の選定

世帯離散選択モデルを推定するために、選択肢への選好を説明する変数や、世帯と構成員の属性などが必要となる。選択肢としては、本研究では車種を排気量で分類した軽自動車(660cc以下)、小型自動車(661cc~2000cc)、中型自動車(2001cc以上)の3つを設定する。また、車種選択に関与する意思決定者は世帯主とその配偶者の2名に限定し、世帯内の続柄を基に「夫」と「妻」に分類する。ここで、世帯主とは世帯内で最も所得の高い構成員のことであり、アンケート調査の質問で直接得られた結果を用いている。

選択肢の説明変数には車両属性と世帯構成員の個人属性を用いる。ここで、車両属性として車両価格と世帯収入の合成変数、乗車人数と世帯人数の合成変数を導入するが、選択されていない代替選択肢については、車両価格、乗車人数は同一クラス内の平均車両価格と平均乗車人数により代替させる。また、既往の研究では維持費用や燃費、重量なども取り入れられているが、これらの変数が前述の乗車人数との相関関係が強いことから説明変数から除いた。個人属性として、年齢、免許の有無を導入する。本研究では世帯とその構成員を明確に区別するため、個人ごとの選好を統合した世帯離散選択モデルの適用は、ある構成員の就業や就学、免許の取得などの変化が、世帯の選好、あるいは意思決定の結果に与える影響の分析を可能にする。また、集団選択における構成員の相対的影響力を説明する変数として、前述の個人属性と世帯属性を候補とする。

(3) モデルの推定結果

ここでは、潜在クラスを仮定することで複数の意思決定を取り入れた世帯選択モデルの推定を行う。ただし、本研究では全サンプル数(436世帯)からモデルの推定可能性を検討した上で、2つの潜在的な意思決定ルールが存在するものと仮定して推定を行った。3つ以上の意思決定ルールの組み合わせについては今後の重要な課題として残される。

表3 モデルパフォーマンスの比較

意思決定ルール	最終尤度(Lc)	パラメータ数(p)	サンプル数(N)	BIC ¹⁾	CAIC ²⁾
タイプ1 加法型&max-min	-362.1	35	436	-468.5	971.9
タイプ2 加法型&max-max	-358.8	35	436	-465.2	965.3
タイプ3 max-min& max-max	-375.7	31	436	-469.9	970.7

1) : BIC (Bayesian Information Criterion): $\ln(Lc)-0.5*p*\ln(N)$

2) : CAIC (Consistent Akaike Information Criterion) : $-2\ln(Lc)+(1+\ln(N))*p$

表4 「加法型」と「max-max 型」の意思決定ルールを同時に取り入れた世帯の車種選択モデル推定結果

潜在クラス :	潜在クラス 1				潜在クラス 2				
	加法型効用関数				max-max 型効用関数				
意思決定ルール :									
意思決定者 :	夫		妻		夫		妻		
	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値	
構成員の効用関数									
車両価格/世帯収入 (S, M, L) ^{a)}	0.896	0.74	-7.308 **	-3.23	0.631	0.28	-3.980 **	-2.12	
乗車定員/世帯人数 (S, M, L)	-5.395 **	-2.31	9.395 **	2.48	-5.940 **	-2.59	0.495	0.68	
年齢 (M, L)	0.027 **	1.98	7.3E-03	0.26	0.159 *	1.67	-0.066	-1.53	
職業の有無 (M, L)	0.329	0.57	-1.149 *	-1.79	-1.392	-0.44	-1.297	-1.34	
定数項 (M)	0.070	0.08			5.035 **	1.88			
定数項 (L)	4.14E-03	0.00			5.999 **	2.18			
重みパラメータ									
職業の有無	-0.410	-1.49							
免許の有無	1.111 **	2.01							
メインユーザー	0.061	0.66							
世帯人数	-0.459 **	-1.96							
子供の数	1.003 **	2.30							
類似性パラメータ									
軽-小型	0.092	0.68			0.000	0.00			
軽-中型	0.582 **	4.00			0.773 **	2.85			
小型-中型	0.123	0.85			0.647 *	1.79			
帰属確率の対する説明関数									
世帯人数	9.204 **	3.15							
世帯収入	0.011 **	3.19							
夫の職業の有無	8.149 **	2.98							
妻の職業の有無	-7.807 **	-3.32							
妻の免許の有無	-5.903 *	-1.93							
切片	-26.694 **	-3.62							
サンプル数		436							
初期尤度		-478.994							
最終尤度		-358.808							

^{a)} 括弧内の S,M,L は説明変数が入力された選択肢を示す (S : ~660cc, M : 661~2000cc, L : 2001cc~)

*:10% 有意, **:5% 有意

第3章で取り上げられる3つの意思決定ルールから任意のペア組み合わせによるモデルパフォーマンスの比較結果を表3に示す。ここでは、最終対数尤度とパラメータ数、サンプル数から算出される Bayesian Information Criterion (BIC) と Consistent Akaike Information Criterion (CAIC) を用いてモデル間の優劣を比較する³³⁾。表より「加法型」と「max-max 型」の意思決定ルールを組み合わせたときにモデルパフォーマンスが最も高いことが明らかとなった。ここで紙面の都合上、現況再現性が最も高い「加法型&max-max (タイプ2)」の潜在クラスを仮定したときの推定結果

のみを表4に示す。

表4の構成員効用に関する説明変数のパラメータ結果に着目すると、「加法型」と「max-max」型ともに妻の車両価格と世帯収入の合成変数が有意に負の値となった。これは価格が安いほど効用が高くなることを意味している。また乗車定員に関するパラメータは夫で負、妻は正となっており、これは夫が乗車定員の少ないセダンやスポーツカーを好む傾向にあることを示している。年齢に関するパラメータは夫で有意となっており、年齢の高い男性ほど小型や中型の普通自動車を好む傾向にあることが明らかとなった。

次に、「加法型」の重みパラメータに着目すると、免許保有者が世帯意思決定に及ぼす相対的影響力が強いことがわかる。また、世帯人数が多く、子供が少ない世帯では妻の影響力が強くなる傾向にあることが分かった。

選択肢間類似性パラメータの推定結果に着目すると、軽自動車と中型自動車の誤差項に強い類似性があることが分かる。一般に、車両は軽自動車と普通自動車に分類され、さらに普通乗用車が小型自動車と中型自動車に分類される。したがって、軽自動車と中型自動車の誤差項で類似性が大きいという結果は、一般的な考えとは異なるものである。この原因としてデータ加工の問題点が考えられる。つまり、本研究で用いているサンプルでの選択肢のシェアとして軽自動車が17%、小型自動車が60%、中型自動車が23%であり、小型自動車の普及率が高く、選択されなかった車種の属性（車両価格や乗車定員）は平均値で代替している。その結果、シェアの低い軽自動車と中型自動車の属性に平均値が代替されることが多くなり、結果として軽自動車と中型自動車に大きな相関が生じたのだと考えられる。市場には数多くの車種が存在し、わずかな車両属性の違いにより価格が大きく異なることから、今回は平均値により補完を行ったが、代替選択肢に関するデータの取得あるいは補完は、車種選択行動分析において今後の重要な課題であると言える。

最後に帰属確率のパラメータ推定値より、世帯人数、世帯収入が多い世帯では潜在クラス1の「加法型」意思決定ルールを、妻が職業を持ち、免許も持っている世帯は潜在クラス2の「max-max型」意思決定ルールを採用する傾向にあることが読み取れる。このような帰属確率に関する説明変数のパラメータ推定結果より、中高年世帯では「加法型」意思決定ルールを、若年世帯では「max-max型」意思決定ルールを採用する傾向にあると解釈することができる。

以上のように、ここでは3つの意思決定ルールの組み合わせの中で最も現実再現性が高い「加法型&max-max (タイプ2)」についての結果のみを示したが、他の2つの組み合わせについても、選択肢間類似性パラメータの傾向は「加法型&max-max (タイプ2)」と同じであった。一方、帰属確率に関するパラメータ推定結果はルールの組み合わせ（タイプ1～タイプ3）により大きく異なり、ルールの組み合わせ次第で各世帯のルールへの帰属確率が大きく変化することが明らかとなった。今回はサンプル数が少なく2つの意思決定ルールの組み合わせに限定しているが、以上の結果より、今後はより多くの意思決定ルールを組み合わせる必要がある。

(4) 感度分析

以上の「加法型」と「max-max型」意思決定ルールを取り入れた離散選択モデルのパラメータ推定結果を用い

て、潜在クラスへの帰属確率と、潜在クラス毎の選択肢のシェア、自動車価格1%の変化に対する選択割合の変化を示したのが表5である。表5の帰属確率より「加法型」意思決定ルールが採用される確率が高いことが分かる。さらに、潜在クラス毎の選択割合に着目すると、潜在クラス1の「加法型」意思決定ルールを採用する傾向にある中高年世帯は軽自動車の普及率が高く、一方の潜在クラス2の「max-max型」意思決定ルールを採用する傾向にある若年世帯は中型自動車の選択確率が高いことが分かった。また、価格に対する感度分析の結果、潜在クラス1（加法型）の世帯は価格に対して敏感であり、自動車関連税制など価格に対する施策により車種選択行動をコントロールしやすい傾向にあることが明らかとなった。

表5 潜在クラス間の比較

	潜在クラス1 加法型	潜在クラス2 Max-Max型
帰属確率	0.835	0.165
選択確率		
軽自動車	19.6%	6.3%
小型自動車	59.4%	63.7%
中型自動車	21.0%	30.0%
価格1%の変化に対する選択割合の変化		
軽自動車	0.048%	0.032%
小型自動車	0.134%	0.076%
中型自動車	0.188%	0.092%

5. 研究の成果と今後の課題

本研究では、世帯意思決定における各構成員の相対的影響力の違いと構成員間の相互作用を明示的に考慮し、選択肢間の誤差項の類似性をPCLモデリング手法により表現しつつ、さらに複数の意思決定ルールを潜在クラスモデリング手法により同時に取り入れた新たな世帯離散選択モデルを開発した。

広島地方で収集した世帯自動車保有・利用アンケート調査データを用い、開発した世帯モデルを世帯車種選択の分析に適用した。意思決定ルールとして、加法型、max-min型とmax-max型を取り上げ、各世帯がどの意思決定ルールをどの程度適用しうるかを潜在クラスモデリング手法の帰属確率より表現した。実証分析の結果、加法型とmax-max型の意思決定ルールを組み合わせたモデルは最も精度が高かったことが明らかとなった。そして、世帯の属性やライフステージの違いにより意思決定ルールが異なってくることも明らかにした。

本研究では2つの潜在クラスのみを仮定した分析にとどまっており、世帯の複雑な意思決定メカニズムを十分に表現しきれていない。今後、開発した世帯モデルの、

夫婦世帯以外の世帯形態への適用可能性を検討に加え、モデル構造の更なる精緻化、自動車保有・利用以外の文脈への適用を通じて、交通分野における世帯意思決定メカニズムをどの程度解明できるか、交通政策分析ツールとしての更なる可能性を探ることも重要である。

参考文献

- 1) 張 峻屹：世帯行動の分析手法：概念的考察，都市計画，264号，pp.48-54，2006。
- 2) 福田大輔：社会的相互作用が交通行動に及ぼす影響のミクロ計量分析，交通と統計，No.26，2006。
- 3) 張峻屹・桑野将司・藤原章正：集団離散選択モデルの比較分析：世帯の車種選択を例に，土木計画学研究・論文集，Vol.23，No.2，pp.463-472，2006。
- 4) Arora N, Allenby G. M.: Measuring the Influence of Individual Preference Structures in Group Decision Making, *Journal of Marketing Research*, Vol.37, pp.476-487, 1996.
- 5) Brock W, Durlauf S: Interactions-Based Models, In J. Heckman and E. Leamer (eds.) *Handbook of Econometrics: Vol.5*, Elsevier Science, Amsterdam, pp.3297-3380, 2001.
- 6) Thorndike R.L.: On What Type of Task will a Group Do Well? *Journal of Abnormal and Social Psychology*, Vol.33, pp.409-413, 1938.
- 7) Bulume L: The Statistical Mechanics of Best-Response Strategy Revision, *Games and Economic Behavior*, Vol.11, pp.111-145, 1995.
- 8) Ellison G, Fudenberg D: Word-of Mouth Communication and Social Learning, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.110, pp.92-125, 1995.
- 9) Algiers S., Daly, A., Widlert S.: Modeling Travel Behaviour to Support Policy Making, In Stopher P. and M. Lee-Gosselin (eds.), *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Stockholm, Pergamon, pp.547-569, 1997.
- 10) Wen C.H., Koppelman F.S.: An Integrated Model System of Stop Generation and Tour Formation for the Analysis of Activity and Travel Patterns, Presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., 1999 (CD-ROM).
- 11) Rich J.H.: Modeling Two-worker Households, Presented at the 9th International Association for Travel Behavior Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, 2-7 July, 2001 (CD-ROM).
- 12) Timmermans H., Borgers A., Van Dijk J. and Oppewal H.: Residential Choice Behaviour of Dual-earner Households: A Decompositional Joint Choice Model, *Environment and Planning A*, Vol.24, pp.517-533, 1992.
- 13) Borgers A., Timmermans H.: Transport Facilities and Residential Choice Behavior: A Model of Multi-person Choice Processes, *Papers in Regional Science*, Vol.72, No.1, pp.45-61, 1993.
- 14) 小林潔司，喜多秀行，多々納裕一：送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究，土木学会論文集，No.536/IV-31，pp.49-58，1996。
- 15) Bohlmann J. D., Qualls W. J.: Household Preference Revisions and Decision Making: The Role of Disconfirmation, *International Journal of Research in Marketing*, Vol.18, pp.319-339, 2001.
- 16) Wilson E.J., Lilien G. L., Wilson D. T.: Formal Models of Group Choice in Organizational Buying: Toward a Contingency Paradigm, *Advances in Consumer Research*, Vol. 16, Issue 1, pp.548-554, 1989.
- 17) Spiro R.L.: Persuasion in Family Decision-Making, *Journal of Consumer Research*, Vol.9, pp.393-402, 1983.
- 18) Davis H.L.: Decision Making within the Household, *Journal of Consumer Research*, Vol.2, pp.241-260, 1976.
- 19) Cosenza R.M., Davis D.L.: Family Vacation Decision Making over the Family Life Cycle: A Decision and Influence Structure Analysis, *Journal of Travel Research*, Vol.17, pp.17-23, 1981.
- 20) Curry D.J., Menasco M.B., Ark J.W.: Multiattribute Dyadic Choice: Models and Tests, *Journal of Marketing Research*, Vol.28, pp.259-267, 1991.
- 21) Hayashi Y., Kato H., Teodoro R. V. R.: A Model System for The Assessment of The Effects of Car and Fuel Green Taxes on CO2 Emission, *Transportation Research Part D*, Vol. 6, pp.123-139, 2001.
- 22) Choo, S. Mokhtarian, L.: What Type of Vehicle Do People Drive? - The Role of Attitude and Lifestyle in Influencing Vehicle Type Choice, *Transportation Research Part A*, Vol.38, pp.201-222, 2004.
- 23) Adler T., Wargelin L., Kostyniuk L., Kalavec C., Occiuzzo G.: Incentives for Alternate Fuel Vehicles: A Large-Scale Stated Preference Experiment, Paper presented at the 10th International Conference on Travel Behavior Research, 2003 (CD-ROM).
- 24) Koh W. T. H.: Control of Vehicle Ownership and Market Competition: Theory and Singapore's Experience with the Vehicle Quota System, *Transportation Research Part A*, Vol.37, pp. 749-770, 2003.
- 25) Golob T. F., Bunch D. S., Brownstone D.: A Vehicle Use

- Forecasting Model Based on Revealed and Stated Vehicle Type Choice and Utilization Data, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 30, pp.69-92, 1996.
- 26) Brownstone D., Bunch D. S., Train K.: Joint Mixed Logit Models of Stated and Revealed Preferences for Alternative-fuel Vehicles, Transportation Research Part B, Vol. 34, pp.315-338, 2000.
- 27) Chandrasekharan R., McCarthy R. S., Wright G. P.: Structural Models of Brand Loyalty with an Application to the Automobile Market, Transportation Research Part B, Vol.28, No. 6, pp.445-462, 1994.
- 28) Bhat C. R.: A Multiple Discrete-Continuous Extreme Value Model: Formulation and Application to Discretionary Time-Use Decisions, Transportation Research Part B, Vol.39, pp. 679-707, 2004.
- 29) Bhat C.R., Sen, S.; Household Vehicle Type Holdings and Usage: An Application of the Multiple Discrete-Continuous Extreme Value (MDCEV) Model. Transportation Research Part B, Vol.40(1), 35-53, 2006.
- 30) Cao X., Mokhtarian P. L., Handy S. L.; Neighborhood design and vehicle type choice: Evidence from Northern California, Transportation Research Part D, Vol.11, pp.133-145, 2006.
- 31) Koppelman, F.S., Wen, C.-H.: The Paired Combinatorial Logit Model: Properties, Estimation and Application, Transportation Research Part B, Vol.34, pp.75-89, 2000.
- 32) Green, W.: Fixed and Random Effects in Nonlinear Models, Working paper EC-01-01, Stern School of Business, Department of Economics, 2001.
- 33) Lee B., Timmermans H.J.P.: A Latent Class Accelerated Hazard Model of Activity Episode Duration, Transportation Research Part B, Vol.41, pp.426-447, 2007.

複数の意思決定ルールを取り入れた世帯離散選択モデルの開発と車種選択分析への応用*

桑野将司**・張峻屹***・藤原章正****

本研究では、世帯意思決定における各構成員の相対的な影響力の違いと構成員間の相互作用を明示的に考慮し、選択肢間の誤差項の類似性をPCLモデリング手法により表現しつつ、さらに複数の意思決定ルールを潜在クラスモデリング手法により同時に取り入れた新たな世帯離散選択モデルを開発した。実証分析に際しては、「加法型」「max-min型」「max-max型」の3つのルールを仮定し、世帯の車種選択行動への適用を試みた。結果、「加法型」と「max-max型」の意思決定ルールを組み合わせたモデルが最も精度が高いことが明らかとなった。そして、世帯の属性やライフステージの違いにより意思決定ルールが異なってくることも明らかにした。

Development of Household Discrete Choice Model Incorporating Multiple Decision-Marking Rules and Application to Analysis of Car Type Choice *

By Masashi KUWANO**, Junyi ZHANG***, Akimasa FUJIWARA****

This paper developed a household choice model incorporating heterogeneous group decision-making rules using latent class modeling approach. In addition, the model can consider correlation between alternatives by paired combinatorial logit modeling approach. This paper deals with the following three types of household choice rules: *additive*, *max-min* and *max-max* rules, and applies the model to household car type choice behavior analysis. As a result, the model with *additive* and *max-max* rules has the highest model performance, and household characteristics and life stage are important factors explaining household decision-marking rules.