

エージェント間の相互作用を考慮した離散選択モデルの開発 及び世帯自動車保有行動分析への応用 *

Development of Discrete Choice Model with Inter-agency Interaction and its Application to the Analysis of Household Car Ownership Behavior*

張 峻屹**・藤原 章正***・桑野 将司****

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

1. はじめに

従来の離散選択モデルは個人の意思決定プロセスを仮定している。このような仮定に基づき開発されたモデルとしては、MNL, NL, GEV, MNP, Mixed MNL, PCL, NPCL, GenL, GNL, r_MNL , r_NL , r_QNL モデルなどが挙げられる^{1),2)}。一方、人間行動の多くは1人で決めているわけではなく、世帯構成員、友人・知人、同僚または準拠集団などの、各個人に関わる取り巻くソーシャルネットワークの影響を受ける³⁾⁻¹¹⁾。

本研究では、ソーシャル・ネットワークにおける個人の意思決定メカニズムを考慮した離散選択モデルの開発の第一段階として、エージェント間の相互作用 (inter-agency interaction) を明示的に取り入れた新たな離散選択モデルを提案する。モデルの有効性を検証するために、交通分野において多く取り上げられている世帯に着目し、世帯構成員間の相互作用を考慮した世帯車種選択モデルの構築を試みる。世帯の車種選択行動は、世帯人数や年齢構成、主な利用目的、利用頻度等によって構成員間で話し合い、交渉や妥協することで決定されていると考えられる。したがって、個人の意思決定を独立として取り扱うのではなく、構成員間における意思決定の相互作用を考慮した世帯車種選択モデルの構築は、交通行動メカニ

ズムの解明のみならず、実際の交通政策分析にとっても有効な知見を与えるものと期待できる。

2. 本研究の位置づけ

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¹²⁾。交通分野では、主に activity-based アプローチに関する研究の中で、近年それに関するモデリング手法が開発されるようになってきている。例えば、Zhang ら³⁾⁻⁹⁾は集団意思決定理論と時間配分理論を融合させ、世帯構成員間及び活動間の相互作用を考慮した世帯時間配分モデルを開発している。福田ら^{10),11)}は社会的相互作用の影響により、ミクロな個人行動の総和と集計的な行動とが場合によっては合致しないという問題視のもと、自動車駐輪行動をケース・スタディとして社会的相互作用を考慮した離散型の選択モデルの構築を行っている。

本研究では、張ら³⁾⁻⁹⁾が採用した集団効用関数を援用し、エージェント間の相互作用 (inter-agency interaction) を明示的に取り入れた新たな離散選択モデルを開発する。

一方、適用事例である世帯自動車保有行動については、その保有状況によって各世帯構成員の交通機関選択行動、目的地選択行動、外出パターンなどが大きく異なると考えられる。世帯の自動車保有状況を予測することは不可欠であることから国内外で多くの研究が進められている¹³⁾。世帯に着目した自動車保有行動の研究として、例えば山本ら¹³⁾は保有台数を1台のときに限った、世帯内での自動車の配分行動をNLモデルにより説

*キーワード: 自動車保有行動, 世帯内相互作用, 車種選択

** 正会員, 博 (工) 広島大学大学院国際協力研究科
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

**** 学生員, 学 (工) 広島大学大学院国際協力研究科
E-mail: kuwano@hiroshima-u.ac.jp

明している．しかしながら NL モデルでは，同一選択構造における世帯構成員間の相互作用は考慮できていない．さらにはデータ取得の困難さ等の問題により，自動車の購入時または利用時における世帯構成員間の相互作用を明らかに記述することができる分析方法に関する研究事例はまだまだ少ない．

3. エージェント間の相互作用を考慮した 離散選択モデルの定式化

集団意思決定理論では，集団には共通の目標や問題意識などをもつ場合，集団構成員が自分の効用，他人の効用を考えながら，集団としての最終意思決定を行うと仮定する．構成員は自分の効用を実現するためにいろいろな戦略（命令，交渉，妥協など）を駆使し，どのような戦略をどの程度駆使できるかはその構成員の集団意思決定における相対的な影響力を反映する³⁾⁻⁹⁾．

本研究では，このような集団意思決定理論に基づき，エージェント間の相互作用を考慮した新たな離散選択モデルを提案する．

まず，以下の集団意思決定に関する効用関数 U_{hj} を定義する．

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

ここで， h, i, j はそれぞれ集団（例えば世帯），集団構成員及び選択肢を指す． u_{hij} と v_{hij} はそれぞれ構成員の効用関数とその確定項， ε_{hj} は集団 h の選択肢 j に関する誤差項である．

本研究では，前述のような集団意思決定メカニズムを考慮した新たな離散選択モデルを開発する第1歩としては，集団意思決定に関する効用関数 U_{hj} として，以下の線形多項型効用関数を採用する．

$$U_{hj} = \sum_i w_{hij} v_{hij} + \sum_i \sum_{i'} \lambda w_{hij} v_{hij} w_{hi'j} v_{hi'j} + \varepsilon_{hj} \quad (2)$$

$$\sum_i w_{hij} = 1 \quad (3)$$

ここで， w_{hij} は各構成員（エージェント）の重み

（相対的重要性）パラメータを表している．また， λ は各構成員間の相互作用（inter-agency interaction）パラメータである．構成員間の相互作用パラメータ λ について， $\lambda > 0$ の場合，構成員の相互作用によって集団効用が向上するため，集団が各構成員間の存在や影響力を考慮したうえで意思決定したほうが望ましいことになる．一方， $\lambda < 0$ の場合，構成員の相互作用によって集団効用は下がる． $\lambda = 0$ の場合，従来の加法型意思決定パターンを表現することになる．

誤差項 ε_{hj} がワイブル分布に従うと仮定すれば，以下のような新たな離散選択モデル（G_MNL）を得ることができる．

$$p_{hj} = \frac{\exp(\sum_i w_{hij} v_{hij} + \sum_i \sum_{i'} \lambda w_{hij} v_{hij} w_{hi'j} v_{hi'j})}{\sum_k \exp(\sum_i w_{hik} v_{hik} + \sum_i \sum_{i'} \lambda w_{hik} v_{hik} w_{hi'k} v_{hi'k})} \quad (4)$$

式(2)のような効用関数は meta-utility とも呼ばれている．このような meta-utility は，特に選択における文脈依存性の影響を考慮するために，近年その適用事例が増えている．その代表的なモデルとして，McFaddenら(1977)の mother logit モデル¹⁴⁾，Swaitら(2004)の DGEV モデル¹⁵⁾，及び Zhangら(2004)¹⁾の相対性効用モデルが挙げられる．

そして，式(2)をいろいろなタイプの選択モデルに容易に拡張することができる．ここで，ネステッド型ロジットモデル（G_NL）のみを示す．なお，記述の簡略化のため，添字 h を省略する．

$$P_{dm} = P_{d|m} \cdot P_m = \frac{e^{v_d}}{\sum_{d \in D_m} e^{v_d}} \frac{e^{\mu v'_m}}{\sum_{m=1}^M e^{\mu v'_m}} \quad (5)$$

$$v'_m = \ln(\sum_{d \in D_m} e^{v_d}) \text{ and } 0 < \mu \leq 1 \quad (6)$$

$$V_d = \sum_i w_{hid} v_{hid} + \sum_i \sum_{i'} \lambda w_{hid} v_{hid} w_{hi'd} v_{hi'd} + \varepsilon_{hd} \quad (7)$$

$$V_m = \sum_i w_{him} v_{him} + \sum_i \sum_{i'} \lambda w_{him} v_{him} w_{hi'm} v_{hi'm} + \varepsilon_{hm} \quad (8)$$

4. 実証分析

(1) 使用データの概要

集団意思決定理論に基づき構築された車種選択モデルの推定にあたり、広島県の複数の都市を対象に実施された自動車の保有と利用実態に関するアンケート調査データを用いる。この調査は広島市、呉市、東広島市、廿日市市に居住する世帯を対象に訪問配布・訪問回収方式で2003年10月～11月に実施し、219世帯・402人からの回答を得た。調査内容は以下に示すとおりである。

- ・世帯属性：世帯人数、自動車保有台数、住居等
- ・個人属性：年齢、性別、免許、職業、自動車使用、日常の活動等
- ・現在及びそれ以前に保有していた自動車属性：車種、排気量、年式、走行距離等



図1 調査対象地域

(2) パラメータの推定結果

以上に示した広島県の複数の都市で行った調査データを用いて3章で提案したモデルを適用し、世帯構成員間の相互作用を考慮した世帯車種選択モデルを構築し、モデルの有効性を確認すると同時に、世帯自動車保有行動分析への適用可能性を検証する。

ここでは、世帯構成員を世帯主とその他の構成員の2人の場合限定して推定した結果を示すが、2人以上の世帯にも容易に拡張ができる。ま

た、データの精度等を考慮したうえで、車種選択を排気量が1500cc以上の自動車かどうかの2項選択をモデルの対象とした。無論、多項選択にも容易に拡張できる。

1) G_MNL モデル推定結果

表1にG_MNLモデルのパラメータ推定結果を示す。ここで、 w_{hil} を自動車価格のロジット型関数として定義した。自由度調整済み尤度比が0.2988であることから説明力の高いモデルを得たと言える。重み(相対的重要性)パラメータより自動車価格高くなるほど世帯意思決定において世帯主の影響力が高くなることがわかる。また、年齢が高く、無職の人ほど排気量の小さい自動車への選好が高くなることがわかる。

表1 G_MNLモデルの推定結果

説明変数	推定値	t-値
構成員の効用		
性別(男性=1, 女性=0)	-1.222E+00	-1.083
年齢	-4.057E-02 *	-2.139
職業の有無(有=1, 無=0)	-2.359E+00 **	-4.040
免許の有無(有=1, 無=0)	7.576E-01	1.407
構成員の個別の説明変数		
世帯主: メインユーザー(Yes=1, No=0)	1.125E+00 *	2.142
世帯主との関係(子供=1, その他=0)	-2.184E+00	-1.278
構成員の重みパラメータ		
自動車価格	4.165E-02 **	5.630
相互作用パラメータ		
定数項	7.259E+00	1.935
収入	-1.633E+00	-1.737
世帯主の自動車利用頻度(回/週)	-3.537E-03	-0.045
世帯主以外の自動車利用頻度(回/週)	2.575E-02	0.215
初期対数尤度	-155.96	
最終対数尤度	-109.36	
自由度調整済み尤度比	0.2988	
サンプル数	225	

** : 1%有意 * : 5%有意

2) G_NL モデル推定結果

表2は自動車を2台保有している世帯を対象に1台目と2台目の保有自動車の関係をG_NLモデルにより推定した結果である。

自由度調整済み尤度比が0.4457であることより非常に説明力の高いモデルであることがわかる。各構成員の重みパラメータについてはG_MNLモデルと同様に自動車価格が高くなるほど世帯意思決定において世帯主の影響力が高くなっていることがわかる。また、G_NLモデルの結果では男性の方が、または年齢が高い人ほど排気量の大きい自動車を好むことがわかる。

表 2 G_NL モデルによる推定結果

説明変数	推定値	t-値
構成員の効用		
性別(男性=1, 女性=0)	6.982E-01	1.849
年齢	5.353E-02 *	2.162
職業の有無(有=1, 無=0)	3.317E-01	0.916
免許の有無(有=1, 無=0)	9.461E-02	0.272
収入	-2.855E+00 **	-4.086
構成員の個別の説明変数		
世帯主 : メインユーザー(Yes=1, No=0)	3.791E-01	0.375
世帯主との関係(子供=1, その他=0)	1.830E+00 *	2.302
構成員の重みパラメータ		
自動車価格	8.617E-03 **	5.707
相互作用パラメータ		
1台目	-1.060E+00	-1.900
2台目	-1.318E+00 *	-2.078
スケールパラメータ		
初期対数尤度	-158.04	
最終対数尤度	-87.59	
自由度調整済み尤度比	0.4457	
サンプル数	114	

** : 1%有意 * : 5%有意

5. まとめ

本研究では、従来の各種の非集計選択行動モデルは、個人の意思決定プロセスを仮定している点を問題視し、ソーシャル・ネットワークにおける個人の意思決定メカニズムを考慮した離散選択モデルの開発の第一段階として、エージェント間の相互作用(inter-agency interaction)を明示的に取り入れた新たな離散選択モデルを提案する。集団の効用関数として、線形多項型関数を採用し、同時選択構造をもつ G_MNL モデルと、ネステッド構造をもつ G_NL モデルをそれぞれ提案した。世帯自動車保有行動の分析に適用した結果、G_MNL モデルと G_NL モデルの有効性を確認することができた。

本研究では対象を世帯主と他の構成員の関係に着目し研究を進めてきたが、今後は全ての構成員間の相互作用や異なる種類の世帯を表現できるモデルを開発する予定である。

また、今回は車種選択行動にのみを取り扱っていたが、自動車の取得から利用、そして破棄といった一連の自動車保有・利用行動を考慮したモデルシステムの構築を目指している。さらには地域のカーシェアリング等、世帯より大きな集団における社会的相互作用にも対応できるモデルへの拡張を検討中である。

参考文献

- 1) Zhang, J., Timmermans, H., Borgers, A. and Wang D.: Modeling traveler choice behavior using the concepts of relative utility and relative interest, *Transportation Research Part B*, Vol.38, pp.215- 234, 2004.
- 2) Zhang, J. and Fujiwara, A.: Evaluating the effects of multi-modal travel information based on a discrete choice model with unequal and asymmetric structure, Paper accepted by the 11th World Congress on Intelligent Transport Systems, Nagoya, Japan, Oct. 18-24, 2004 (forthcoming).
- 3) Zhang, J. and Fujiwara, A.: Representing heterogeneous intra-household interaction in the context of time allocation, Papers presented at the 83th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., 2004.
- 4) Zhang, J., Fujiwara, A., Timmermans, H. and Borgers, A.: Methodology for Modeling Household Time Allocation Behavior, Paper presented at the EIRASS Conference on Progress in Activity-based Analysis, Maastricht, the Netherlands, May 28-31, 2004.
- 5) 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.807, pp.1-8, 2002.
- 6) Zhang, J., Timmermans, H. and Borgers, A.: A model of household task allocation and time use, *Transportation Research Part B*, 2004 (forthcoming).
- 7) Zhang, J., Timmermans, H. and Borgers, A.: Model structure kernel for household task and time allocation incorporating household interaction and inter-activity dependency, Papers presented at the 83th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., 2004.
- 8) 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.
- 9) 張峻屹・藤原章正・杉恵頼寧・山田敏久 : 世帯内相互作用の異質性を考慮した時間配分モデルの高齢者交通政策分析への適用可能性, *土木学会論文集*, 2004 (掲載予定).
- 10) 福田大輔, 上野博義, 森地茂: 選択行動モデルへの社会的相互作用の導入可能性, *土木計画学研究・講演集*, No.25, 2002 (CD-ROM).
- 11) 福田大輔, 上野博義, 森地茂: 社会的相互作用の影響に関するマイクロ計量分析: 自転車駐輪行動をケース・スタディとして, *土木計画学研究・講演集*, No.26, 2002 (CD-ROM)
- 12) Rose, J. and Hensher, D.A.: Modeling agent interdependency in group decision making. *Transportation Research Part E*, Vol.40, pp.63-79, 2004.
- 13) 山本俊行; 連続時間軸上における世帯の自動車保有更新行動及び世帯内での配分・利用行動に関する研究, *京都大学博士学位論文*, 2000.
- 14) McFadden D., Train K. and Tye W.B.: An application of diagnostics tests for the independence from irrelevant alternatives property of the multinomial logit model, *Transportation Research Record*, No.637, pp.39-46, 1977.
- 15) Swait, J., Adamowicz W. and van Bueren, M.: Choice and temporal welfare impacts: Incorporating history into discrete choice models. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.47, pp.94-116, 2004.