

# 複数の意思決定ルールを取り入れた集団離散選択モデルの開発\*

## Development of Group Discrete Choice Model Incorporating Multi Decision roles\*

桑野将司\*\*\*・張峻屹\*\*・藤原章正\*\*\*\*・李百鎮\*\*\*\*\*・高本圭吾\*\*\*\*\*

By Masashi KUWANO\*\*\*・Junyi ZHANG\*\*・Akimasa FUJIWARA\*\*\*\*・Backjin LEE\*\*\*\*\*・Keigo TAKAMOTO

### 1. はじめに

人間行動の多くの場面において、他者からの影響を受けたり他者ととも意思決定を行うといった集団による意思決定がみられることから、様々な集団意思決定ルールを仮定したモデリング手法の開発がなされている。一方で、意思決定の対象や集団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、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、いくつかの代表的な意思決定ルールを用いて、潜在クラスを考慮することにより様々な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開発を行う。実証分析に際して、世帯の居住地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。また、居住地選択行動は意思決定の結果の重大性や複雑性を有し、世帯意思決定の代表的な行動であることから、近年集団意思決定の観点から選択モデルの構造を見直す研究が盛んに行われているものの、まだ発展途上段階であるといえる。

### 2. 複数の意思決定ルールを取り入れた

#### 集団意思決定モデルの開発

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する。この仮定を元に、集団としての離散選択行動をモデリングするには、各世帯構成員の選好を集計し、世帯としての効用関数を定義する必要がある。ここでは最終的

な意思決定者が世帯であり、世帯がその構成員の効用、構成員間の相互作用及び各構成員の相対的な影響力などを反映し、集団としての効用を形成し、最終的な意思決定を行うものと仮定する。集団効用関数の一般形として、以下のように定義することができる

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

$U_{hj}$  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、 $\varepsilon_{hj}$  は集団効用関数の誤差項である。

実際の世帯意思決定においては、世帯属性や構成員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。そこで、意思決定の異質性を取り入れるため世帯を  $k$  個の潜在的なグループに分け、各グループで異なる意思決定ルールを持つものと仮定する。

各世帯がどのような意思決定ルールを持つかは分析者にとっては不明瞭であるため、どのグループに所属するかはロジット型の帰属モデルにより確率的に表現する。

$$C_{hk} = \frac{\exp(\bar{\alpha}_k + \bar{\gamma}_k D_k)}{\sum_k \exp(\bar{\alpha}_k + \bar{\gamma}_k D_k)} \quad (2)$$

ここで、 $C_{hk}$  は世帯  $h$  のグループ  $k$  への帰属確率、 $\bar{\alpha}_k$  は切片、 $\bar{\gamma}_k$  は未知パラメータ、 $D_k$  は世帯属性を表す説明変数である。これにより潜在クラスを考慮した世帯  $h$  の選択肢  $j$  の選択確率  $P_h(j)$  は次式になる。

$$P_h(j) = \sum_k P_h(j|k) C_h(k) \quad (3)$$

次に(1)式における集団効用関数の定義だが、集団効用関数はいくつかの式形を仮定することができる。本研究では特徴的な異なる意思決定ルールを表現する3つの関数を採用する(タイプ1-3)。

・タイプ1：多項線形型効用関数<sup>1)</sup>

$$U_{hj} = \sum_j w_{hi} u_{hij} + \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{i'>i} (w_{hi} w_{hi'} u_{hij} u_{hi'j}) \quad (4)$$

多項線形モデルは重みパラメータ  $w_{hi}$  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

\*キーワード：交通行動分析，集団意思決定

\*\* 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

(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)

\*\*\*\*\* 正会員，博（工）広島大学大学院国際協力研究科

(E-mail: backjin@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: keigo-takamoto@hiroshima-u.ac.jp)

ことが可能であり、以下の条件式を満たす必要がある。

$$w_{hi} \geq 0 \text{ and } \sum_i w_{hi} = 1 \quad (5)$$

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の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。

$$w_{hi} = \frac{\exp(\sum_l \kappa_l z_{hil})}{\sum_l \exp(\sum_l \kappa_l z_{hil})} \quad (6)$$

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

さらに相互作用パラメータ  $\lambda$  を導入することにより、集団意思決定に際して、構成員間の平等性・公正性を考慮することができる。無論、サンプル数が十分に多い場合、世帯内の相互作用の異質性について、影響要因を説明変数とする  $\lambda_h$  の関数形を仮定することにより前述の重みと一緒にモデルの中に取り入れることが可能である。

次に、多項線形型効用関数では表現することが困難な意思決定ルールを取り入れた以下の Max-Min 型効用関数と Max-Max 型効用関数を紹介する。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、タイプ 2, 3 で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構成員効用のログサム値を用いている。

・タイプ 2 : Max-Min 型効用関数<sup>1)</sup>

$$U_{hj} = \min(u_{hij} | i = 1, \dots, n) = \ln(\sum_i \exp(u_{hij})) \quad (7)$$

・タイプ 3 : Max-Max 型効用関数<sup>1)</sup>

$$U_{hj} = \max(u_{hij} | i = 1, \dots, n) = -\ln(\sum_i \exp(-u_{hij})) \quad (8)$$

### 3. 使用データの概要

本研究は広島市アストラムラインという新交通システムの沿線地域への転居意向に関する SP 調査結果を用いる。調査方法は、近年盛んになっているインターネット調査を利用している。具体的には、あるインターネット調査会社に調査を依頼し、登録モニターから調査参加者を募って、協力者のみに SP 調査を実施した。ウェブ調査票は世帯票、個人票と共同票から構成される。共同票とは夫婦が同時に質問画面を見ながら話し合っ一緒に回答する質問票である。調査では広島都心部から 6km と 12km 離れた 2 つの沿線居住地域での賃貸住宅を想定し、都心への利用可能な通勤手段として自動車とアスト

ラムライン、さらに引越ししないを加えた 5 肢選択の SP 調査を実施した。20 種類の SP カードを作成し、SP カードを 5 グループに分け、グループごとに SP 設問を 4 回ずつ設定した。発信数は 539、ネットアクセス数は 233 があり、結果的に本調査の被験者として広島市、廿日市市と東広島市の賃貸住宅に居住する 173 世帯が調査に参加した。ウェブ調査に興味を示したのは 43% である。ウェブにアクセスした 233 被験者のうち、56 人 (24%) が回答途中で調査への参加を取止めた。回収率は 32% であった。調査回答時間の中央値は 12 分 10 秒であった。173 世帯のうち 17 世帯は夫婦ではないため今回の分析から除外し、最終的に、本研究の分析に際して有効サンプル数は 156 世帯であった。世帯の特徴をみると、約 100 世帯は 30 代の夫婦で、約 130 世帯における夫の職業は会社員である。現住所の居住年数が 2~4 年の世帯が最も多く約 65 世帯がある。そして、今後引越しの予定がない世帯は約 45 しかなく、100 世帯以上も引越しの予定があることが観測された。

### 4. 単独モデル推定結果

ここで前述の 3 つの集団離散選択モデルに基づき構築した世帯居住地選択モデルを、潜在クラスを考慮せずに独立に推定することにより各モデルの有効性の検討を行う。本研究では、モデル簡略化のために誤差項に i.i.d. ガンベル分布を仮定し分析を行った。選択肢は、SP 調査で用いた居住地と交通手段の組み合わせと、引越ししないを加えた 5 肢である。説明変数として、選択肢別固有要因以外に、世帯・個人属性、構成員別日常的行動パターンといった選択肢間共通要因もモデルの中に取り入れた。推定結果を表 1 に示す。効用関数のタイプ 1, 2, 3 において、ほとんどのパラメータは統計的に有意となっており、タイプ間でも全ての符号が一致している。さらに、すべての符合が論理的に妥当である。

多項線形型効用関数における集団意思決定メカニズムを表す世帯構成員間相互作用パラメータ、構成員の相対的影響力を表す説明変数のパラメータもすべて統計的に有意で妥当な符合を得たため、多項線形型効用関数を取り入れた集団離散選択モデルの有効性を世帯居住に関する意思決定においても改めて確認できた。多項線形型効用関数における世帯の居住行動に見られる集団の意思決定メカニズムを考察すると、年齢が高くなるにつれ、集団意思決定における当該構成員の相対的影響力が大きくなる。また、家計の主な意思決定者は居住についても大きな影響力を及ぼす。さらに、相対的影響力を説明する定数項については夫の方で統計的に有意な正值をとっていることから、今回の事例研究では夫が大きな影響力を示す傾向がある。夫婦間の相互作用は負の値である。これは、夫婦の効用値の符合が同じであれば、集団意思決定が世帯全体の効用を引き下げる効果をもつことを意味する。夫婦の効用値の符合が同じでない場合、集団意思決定の結果、世帯全体の効用を引き上げることになる。

表-1 単独の集団離散選択モデル推定結果

説明変数	タイプ 1 (多項線形)			タイプ 2 (Max-Min)			タイプ 3 (Max-Max)		
	推定値	t 値		推定値	t 値		推定値	t 値	
選択肢間共通変数(世帯属性, 個人属性・日常的行動パターン)									
<世帯属性>									
現在の家賃/世帯収入(万円/百万円)	-4.62E-05	3.30	**	-7.39E-05	3.62	**	-8.34E-05	3.92	**
1, 2年以内に引越しの予定の有無(Yes:1, No:0)	1.018	3.71	**	1.964	5.90	**	2.057	6.34	**
3年以降に引越しの予定の有無(Yes:1, No:0)	1.031	4.11	**	1.712	5.70	**	1.663	5.89	**
<個人属性・日常的行動パターン>									
年齢(才)	-0.056	3.45	**	-0.078	3.85	**	-0.082	4.02	**
通勤先中区ダミー(Yes:1, No:0)	0.616	2.30	*	0.346	0.79		0.803	1.88	+
通勤先南区ダミー(Yes:1, No:0)	1.429	3.78	**	1.483	2.72	**	1.553	3.96	**
通勤先安佐南区ダミー(Yes:1, No:0)	0.960	2.68	**	2.349	1.59		1.486	2.77	**
生活必需活動頻度(週1回以上:1, その他:0)	0.446	2.27	*	0.800	2.53	**	1.223	4.11	**
通勤時交通手段ダミー(公共交通:1, その他:0)	0.312	1.43		0.672	1.47		0.790	2.04	*
通勤時交通手段ダミー(自動車:1, その他:0)	0.576	2.29	*	1.384	2.70	*	1.083	3.33	**
選択肢固有変数(SP)									
スーパーまでの距離(m)の対数値	-0.125	2.62	**	-0.175	2.32	*	-0.192	2.48	*
病院と公立小中学校までの平均距離(m)の対数値	-0.147	2.18	*	-0.259	2.03	*	-0.322	2.43	*
アストラムライン駅までの距離(m)対数値	-0.227	2.62	**	-0.526	3.62	**	-0.538	3.68	**
住宅の購入価格(万円)	-7.79E-04	3.16	**	-1.60E-03	4.32	**	-1.57E-03	4.15	**
都心までの所要時間(分)(自動車, アストラムライン)	-0.040	2.29	*	-0.071	2.38	*	-0.073	2.42	*
<定数項>									
都心から6km離れた地域+自動車通勤	3.631	3.36	**	6.535	4.38	**	6.252	4.20	**
都心から6km離れた地域+アストラムライン通勤	5.052	3.64	**	9.651	5.42	**	9.406	5.28	**
都心から12km離れた地域+自動車通勤	3.351	3.11	**	6.037	3.78	*	5.772	3.60	**
都心から12km離れた地域+アストラムライン通勤	4.894	3.55	**	9.155	4.96	**	8.933	4.84	**
<世帯構成員の相対的影響力(whi)>									
定数項(夫1, 妻0)	2.316	3.45	**						
年齢(才)	0.206	3.34	**						
家計の主な意思決定者ダミー	2.145	4.19	**						
世帯構成員間相互作用パラメータ	-1.845	1.94	+						
初期対数尤度	-785.406			-785.406			-785.406		
最終対数尤度	-559.179			-575.927			-568.125		
尤度比	0.288			0.267			0.277		
自由度調整済み尤度比	0.259			0.242			0.252		
サンプル数	488			488			488		

注) +:10% 有意, \*:5% 有意, \*\*:1% 有意

現況再現性についてはタイプ1の自由度調整済み尤度比が0.259と最も高いことが分かった。しかし、タイプ2についても自由度調整済み尤度比が0.242、タイプ3は0.252と充分高く、一概にどの意思決定ルールがより支配的かを断定することは困難である。各モデルの精度の高さより、世帯の居住地選択における複数の世帯意思決定ルールの存在が明らかとなった。しかし、住宅の購入価格に対する感度分析を行った結果、効用関数のタイプにより差異が見られた。つまり、いずれも現況再現性は高いものの、感度が異なることから、効用関数の選定は困難であることが確認された。

### 5. 潜在クラス集団意思決定モデルの推定

本章では、潜在クラスを仮定した集団意思決定モデルの推定を行う。ただし、本研究では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つ以上の異なる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

である。

3つのタイプの効用関数の組み合わせによる最終尤度の比較結果を表-2に示す。表より多項線形型とMax-Min型の意思決定ルールを組み合わせたときが最も現況再現性が高いことが明らかとなった。ここでは紙面の都合上、最も現況再現性が高い“タイプ1(多項線形型)&タイプ2(Max-Min型)”の潜在クラスを仮定したときの推定結果についてのみ表-3に示す。

潜在クラスを考慮した場合(表-3)と単独モデル(表-2)によるパラメータ推定結果を比較すると、個人属性に関する説明変数のパラメータにおいていくつか一致しない結果もあるが、ほとんどのパラメータ符号は一致しており、論理的に妥当な解釈ができる。多項線形型効用関数における相互作用項は、ここでは全体として世帯効

表-2 最終尤度の比較

タイプ1 &タイプ2	タイプ1 &タイプ3	タイプ2 &タイプ3
-368.771	-422.752	-395.827

表-3 潜在クラスを考慮した集団離散選択モデル推定結果(多項線形型モデルと Max-Min モデル)

説明変数	タイプ1 (多項線形)			タイプ2 (Max-Min)		
	推定値	t 値		推定値	t 値	
<u>選択肢間共通変数 (世帯属性, 個人属性・日常的行動パターン)</u>						
<世帯属性>						
現在の家賃/世帯収入 (万円/百万円)	-1.44E-04	2.46	*	-1.83E-04	1.67	+
1, 2年以内に引越しの予定の有無 (Yes:1, No:0)	-3.397	1.92	*	7.803	6.66	**
3年以降に引越しの予定の有無 (Yes:1, No:0)	2.434	1.50		4.435	5.05	**
<個人属性・日常的行動パターン>						
年齢 (才)	-0.308	2.47	*	-0.205	1.69	+
通勤先中区ダミー (Yes:1, No:0)	16.888	5.28	**	-5.611	5.01	**
通勤先南区ダミー (Yes:1, No:0)	32.756	2.34	*	-5.352	4.39	**
通勤先安佐南区ダミー (Yes:1, No:0)	6.014	0.72		-1.292	1.12	
生活必需活動頻度 (週1回以上:1, その他:0)	2.781	3.17	**	0.547	0.60	
通勤時交通手段ダミー (公共交通:1, その他:0)	-8.540	4.15	**	6.429	2.65	**
通勤時交通手段ダミー (自動車:1, その他:0)	15.160	3.97	**	-1.755	3.46	**
<u>選択肢固有変数 (SP)</u>						
スーパーまでの距離 (m) の対数値	-0.996	3.74	**	-0.064	0.33	
病院と公立小中学校までの平均距離 (m) の対数値	-0.108	0.27		-0.203	0.49	
アストラムライン駅までの距離 (m) 対数値	-0.181	0.74		-1.133	4.11	**
住宅の購入価格 (万円)	-9.03E-04	1.20		-2.09E-03	3.00	**
都心までの所要時間 (分) (自動車, アストラムライン)	-0.162	1.99	*	-0.040	0.86	
<定数項>						
都心から 6km 離れた地域+自動車通勤	6.876	1.09		13.797	2.66	**
都心から 6km 離れた地域+アストラムライン通勤	14.670	2.30	*	19.127	3.29	**
都心から 12km 離れた地域+自動車通勤	7.394	1.14		12.563	2.38	*
都心から 12km 離れた地域+アストラムライン通勤	15.148	2.33	*	18.082	3.13	**
<世帯構成員の相対的影響力 ( $w_{in}$ ) >						
定数項 (夫1, 妻0)	0.250	1.75	+			
年齢 (才)	0.093	2.35	*			
家計の主な意思決定者ダミー	0.238	2.11	*			
世帯構成員間相互作用パラメータ	0.111	3.06	**			
<u>帰属確率に関するメンバーシップ関数</u>						
夫の職業(有=1,無=0)	0.25	0.91				
妻の職業(有=1,無=0)	0.72	2.90	**			
夫の免許(有=1,無=0)	-0.54	1.37				
妻の免許(有=1,無=0)	0.37	1.98	*			
世帯収入	0.03	0.75				
定数項	-0.01	0.02				
潜在クラスのサンプル割合	0.488			0.512		
初期対数尤度	-785.406					
最終対数尤度	-368.771					
尤度比	0.530					
サンプル数	488					

注) +:10% 有意, \*:5% 有意, \*\*:1% 有意

用を向上させるように作用している。相互作用項は各構成員の効用の積をとっていることから、世帯構成員間の平等性や公平性が高いほうが望ましいことを示している。つぎに帰属確率に関するメンバーシップ関数のパラメータ推定結果に着目すると、妻の職業と免許の有無に関する説明変数が有意で、妻の属性が世帯意思決定ルールを決定する重要な要因であることがわかった。また、職業を持つ、あるいは免許を持つ妻がいる世帯では平等性や公平性が高いほうが望ましい多項線形型の意味決定を採用する傾向にあり、免許も職業も持たない妻がいる世帯では、世帯としてリスクを回避するような Max-Min の意思決定がなされていることが明らかとなった。

## 6. 結論

本研究では、3つの異なる意思決定ルールを表現する

集団効用関数を用いた集団離散選択モデルを居住地選択行動に適用した結果、効用関数間の精度に顕著な差がないことから、複数の世帯意思決定ルールが存在を明らかにした。しかし、用いた意思決定ルールにより感度分析に違いがあることから、複数の意思決定ルールを取り入れた潜在クラス集団離散選択モデルの開発および実証分析を行った。しかし、本研究では2つの潜在クラスの仮定にとどまっており、複雑な世帯の意思決定ルールを十分に表現できたとはいえ切れず、モデルの精緻化と多様なケースの基で分析を行うことでモデルの信頼性を高めることが今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 張峻屹・桑野将司・藤原章正・李百鎮: 集団離散選択モデルによる世帯の車種選択行動分析, 土木計画学研究講演集, Vol.32 (CD-ROM), 2005.