

# 交通手段選択における世帯の構成員間の相互依存関係の分析\*

## A Study on Mode Choice Behavior with Inter-agent Interaction in Household\*

溝上 章志\*\*・柿本 竜治\*\*\*

Shoshi MIZOKAMI and Ryuji KAKIMOTO

### 1. はじめに

世帯主が通勤するとき、公共交通機関よりも自動車の効用の方が高い場合には、彼は自動車を利用するであろう。しかし、彼の通勤時間帯に配偶者が車で子供を送迎しているような世帯では、彼女が自動車を利用し、世帯主は公共交通機関を利用せざるを得ないかもしれない。このように、自動車をだれが利用するかは当該個人だけでなく、世帯構成員の事情にも依存する。伝統的な非集計型交通手段選択モデルでは、自らの効用は他者の効用とは独立とし、他の世帯構成員の選択結果が自らの選択行動に及ぼす影響を考慮しないのが一般的であった。

本研究は、高齢化や少子化が進む中で、地方民営鉄道沿線地域における世帯構成の経時的変化に伴う軌道系交通機関の利用需要を予測する手段選択モデルを開発することを目的として、山本<sup>1)</sup>や張ら<sup>2)</sup>の研究成果を参考に、世帯構成員間での競合や相互作用を考慮した交通手段選択モデルを構築する。

### 2. 世帯タイプや家族構成が交通手段選択に与える影響

#### (1) 用いたデータの概要

データは、2004年10月に熊本電鉄沿線の旧西合志町12,000世帯とその他の地域（熊本市や合志町など）2,000世帯の計14,000世帯を対象にした「公共交通の利用実態と意識に関する調査—熊本電鉄の市電乗り入れ・LRT化計画案に対する利用意向」調査データである。前者は町により全戸に、後者はランダムに抽出された世帯へのポスティングによって配布された。調査票は通勤・通学票と買物・習事票が2通ずつと世帯票が1部で構成されている。

世帯票では、自動車、自動二輪・原動機付き自転車の保有台数、家族構成（世帯主との続柄、性別、年齢階層、運転免許の有無、自由になる自動車の有無など）について調査している。通勤・通学票、および買物・習事票では、回答者の属性（性別、年齢、住所、職業など）、トリップの

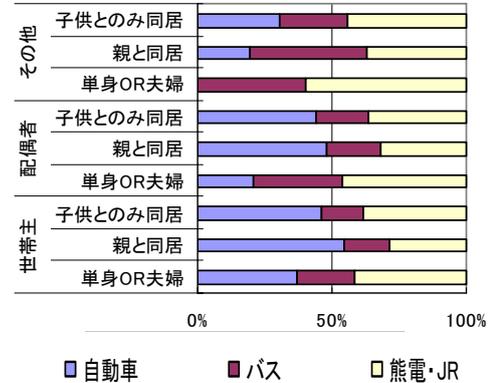


図-1 世帯主との続柄・世帯タイプ別分担率

現況（始業及び終業時間、出発及び帰宅時間、利用交通手段と経路など）、代替交通手段とその経路について調査している。郵送による回収数は、世帯票が3,349通、通勤・通学票は1,392通、買物・習事票は3,395通であった。

図-1は世帯主との続柄別・世帯タイプ別の交通機関分担率を示す。配偶者と世帯主について着目すると、単身or夫婦世帯の配偶者、親と同居世帯のその他の構成員の自動車分担率は他に比べて小さく、約20%である。一方、親と同居世帯、子供のみ同居世帯では世帯主、配偶者の自動車分担率は共に約50%で差がない。このように、同じ続柄であっても世帯タイプによって自動車の利用率に違いがあることが定性的にも分かる。

#### (2) 個人・世帯属性による手段選択構造の違い

世帯属性と個人属性の組み合わせごとに、交通手段選択意識に差があるか否かを以下の方法で検証をする。

1) 所要時間と料金を説明変数とし、個人属性  $j$  と世帯属性  $k$  のカテゴリーがそれぞれ  $l, m$  である個人の交通手段  $i$  に対する効用関数を

表-1 個人・世帯属性のカテゴリー分類

属性		カテゴリー分類		
		1	2	3
個人	年齢階層	～30歳	30歳～60歳	60歳～
	交通目的	通勤	それ以外	
	性別	男	女	
	世帯主との続柄	本人	配偶者	その他
世帯	自動車保有台数	1台	2台以上	
	世帯タイプ	子供のみ同居の夫婦	親と同居の夫婦	単身または夫婦のみ

\*キーワード：世帯内相互作用、手段選択モデル

\*\*正会員，工博，熊本大学大学院自然科学研究科（〒860-8555

熊本市黒髪2-39-1, tel:096-342-3541, fax:096-342-3507)

\*\*\*正会員，博（工），熊本大学政策創造研究センター

表-2 推定パラメータ値に差のある比率

個人属性	自動車保有台数		世帯タイプ	
	所要時間	料金	所要時間	料金
年齢階層	27% (4/15)	33% (5/15)	0% (0/36)	33% (12/36)
交通目的	83% (5/6)	50% (3/6)	0% (0/15)	27% (4/15)
性別	67% (4/6)	50% (3/6)	0% (0/15)	20% (3/15)
世帯との続柄	33% (5/15)	40% (6/15)	28% (10/36)	28% (10/36)

注) 有意水準 10% で差のある比率 (差のあるケース数/全ケース数)

$$V_{j,k_m} = \beta_0 + \sum_{l=1}^{L_j} \sum_{m=1}^{M_k} (\beta_{j,k_m}^t \delta_{j_l} \delta_{k_m}) \cdot t_i + \sum_{l=1}^{L_j} \sum_{m=1}^{M_k} (\beta_{j,k_m}^c \delta_{j_l} \delta_{k_m}) \cdot c_i \quad (1)$$

ここで、 $\delta_{j_l}, \delta_{k_m}$  は当該個人の個人属性  $j$ ，世帯属性  $k$  のカテゴリが  $l, m$  である場合のみ 1 の値を取るダミー変数である。また、 $\beta_{j,k_m}^t$  と  $\beta_{j,k_m}^c$  は所要時間と料金のパラメータである。2) 世帯，個人のそれぞれから任意に取った属性について，カテゴリの全ての組み合わせから取った 2 つのパラメータ  $\beta_{j,k_m}^x$  と  $\beta_{j',k'_m}^x$  ( $x$  は  $t$  または  $c$ ) とに差があるかどうかを統計的に検定する。

分析する個人属性，および世帯属性のカテゴリの詳細を表-1 に示す。検定は

$$U_{j,k_m} = \frac{\beta_{j,k_m}^x - \beta_{j',k'_m}^x}{\sqrt{\text{var}(\beta_{j,k_m}^x - \beta_{j',k'_m}^x)}}$$

により行った。

パラメータの推定結果の表示は省略する。推定パラメータには統計的有意性は高くない組み合わせのものもあるが，符号条件については全て論理的となっている。  $H_{jk} = J \cdot K \cdot C_2$  の全組み合わせ数に対して推定パラメータに有意な差がある組み合わせ数の比率を表-2 に示す。  $J, K$  は個人属性  $j$ ，世帯属性  $k$  のカテゴリ数である。料金については，全ての世帯属性と個人属性との組み合わせについて，20% 以上で統計的な差がある。特に，世帯属性のうちの自動車保有台数と個人属性の交通目的や性別との組み合わせの間で大きな比率をとっている。一方，所要時間については，自動車保有台数とすべての個人属性との組み合わせ，および世帯タイプと世帯主との続柄の組み合わせについては，約 3 割のケースでパラメータに統計的な差がある。

世帯タイプと世帯主との続柄の間には所要時間と料金のパラメータに統計的な差があるという定量的な分析結果からも，世帯内での自らの続柄は交通手段選択に何らかの影響を与えていると考えられる。そこで，以下では，世帯内でのある個人とその他の構成員との競合や相互依存

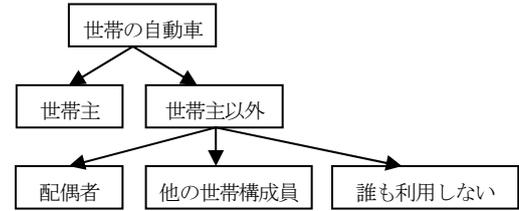


図-2 世帯における自動車の利用者選択構造

関係を考慮した手段選択モデルの構築を目指す。

### 3. 世帯内での自動車利用の競合を考慮した手段選択

世帯の自動車保有台数が 1 台の場合，世帯主が自動車の利用に関して優先権を持つ世帯では，世帯主が自動車利用選択行動を行い，世帯主が利用しない場合のみ他の世帯構成員が当該自動車を利用できるものと考えられる。そこで，世帯主の自動車利用の有無を上位レベル，その他の構成員の利用を下位レベルの選択として，図-2 のような世帯の保有する自動車を利用者を選択する 2 段階の NL 構造でモデル化する。これは McFadden<sup>3)</sup> の定式化に準じている。

世帯  $n$  構成員  $l$  (1: 世帯主, 2: 配偶者, 3: その他構成員, 4: 誰も利用しない) が交通機関  $i$  (1: 自動車, 2: バス, 3: 熊電・JR) を選択する確率を  $P_{i(n)}^l$  とするとき，世帯主が自動車の利用者として選択される確率  $P_{1(n)}^1$  は，

$$P_{1(n)}^1 = \frac{\exp(V_{1(n)}^1)}{\exp(V_{1(n)}^1) + \exp\left[\lambda \ln\left\{\sum_{l=2}^4 \exp(V_{1(n)}^l / \lambda)\right\}\right]} \quad (1)$$

となる。また，世帯主が自動車以外の交通機関  $i$  を利用する確率  $P_{i(n)}^1$  は以下ようになる。

$$P_{i(n)}^1 = (1 - P_{1(n)}^1) \cdot \frac{\exp(V_{i(n)}^1)}{\sum_{i=2}^3 \exp(V_{i(n)}^1)} \quad (2)$$

一方，世帯主以外の構成員  $l$  ( $\neq 1$ ) が自動車利用選択者として選択される確率  $P_{1(n)}^l$ ，および自動車以外の交通機関  $i$  ( $\neq 1$ ) を選択する確率  $P_{i(n)}^l$  は下記ようになる。

$$P_{1(n)}^l = (1 - P_{1(n)}^1) \cdot \frac{\exp(V_1^l / \lambda)}{\sum_{l=2}^4 \exp(V_1^l / \lambda)} \quad (3)$$

$$P_{i(n)}^l = P_{1(n)}^1 \cdot \frac{\exp(V_i^l / \lambda)}{\sum_{i=2}^3 \exp(V_i^l / \lambda)} \quad (4)$$

自動車利用者選択モデルの推定結果を表-3 に示す。パラメータは同時推定法によって推定した。尤度比が 0.25，的中率が 0.73 となり，モデルの適合度は高い。ネステッドパラメータ  $\lambda = 0.782$  となり，ツリーの構造は妥当であるといえ

表-3 自動車利用者選択モデルの推定結果

説明変数	推定値	t 値
マストラ所要時間	0.051	1.04
自動車所要時間	-0.032	0.70
マストラ料金	0.003	0.48
世帯内構成員数	-0.245	0.48
年齢 (30~60 歳) ダミー	-1.894	1.13
通勤・通学ダミー	0.301	0.34
親と同居ダミー	-1.433	0.82
世帯主ダミー	1.653	0.50
配偶者ダミー	2.403	1.14
誰も利用しないダミー	3.669	0.91
$\lambda$	0.782	0.91
サンプル数	52 世帯 156 人分	
尤度比	0.25	
的中率	0.73	

表-4 マストラ選択モデルの推定結果

説明変数	推定値	t 値
所要時間	-0.159	9.45
乗換回数	-1.365	3.48
料金	-0.010	3.90
バスダミー	-0.906	3.80
サンプル数	203	
尤度比	0.43	
的中率	0.88	

る。説明変数の符号条件は妥当であるものの、各変数の統計的有意性は高いとは言えない。年齢が 30~60 歳で通勤・通学目的であり、自動車による所要時間が小さく、マストラの所要時間と料金が大きい構成員ほど、自動車利用者として選択され、自動車を利用する。逆に、世帯内構成員数が多く、親と同居し、自動車による所要時間が大きい構成員は自動車利用者になりにくいという結果が得られた。

マストラ選択モデルの推定結果を表-4 に示す。尤度比は 0.43、的中率も 0.88 と適合性は高い。説明変数の符号条件は妥当であり、統計的有意性も高い。所要時間、乗り換え回数、料金が大きければ大きいほど、効用は低下するという論理的に妥当な結果が得られている。

#### 4. 世帯構成員間の相互関係を考慮した交通手段選択

世帯の全構成員にとって自動車が 1 つの選択肢であるとき、各世帯構成員は自らがそれを利用する場合と他者が利用する場合の効用水準を考慮して、最終的に利用交通手段を決定すると考える。そこで、世帯  $n$  の個人  $l$  が自動車 ( $i=1$ ) を選択する場合、他の構成員  $l' (\neq l)$  の自動車に対する効用が相互に影響を及ぼすと仮定し、自動車の効用関数として次の関数を仮定した。

$$U_{1l(n)} = V_{1l(n)} + \alpha \cdot \eta_{l(n)} \cdot V_{1l(n)} \sum_{l' \neq l}^L (\eta_{l'(n)} \cdot V_{1l'(n)}) \quad (5)$$

式(5)の右辺第 1 項が当該個人項、第 2 項が自らと他の世帯構成員との相互作用項である。 $\alpha$  は個人項と相互作用項との相対的ウェイトであり、 $\alpha \geq 0$  の場合は他の構成員との相互作用によって自動車に対する効用が向上し、逆に  $\alpha \leq 0$  の場合は減少することを表す。後者は、例えば配偶者が買い物に自動車を利用するなど、他の世帯構成員の自動車利用の可能性により、自らの自動車に対する効用が減少することを示す。 $\alpha = 0$  ならば、従来の独立した加法型効用関数となる。 $\eta_{l(n)}$  は世帯の中での構成員  $l$  の力関係を示すウェイトであり、

$$\eta_{l(n)} = \frac{\exp(u_{l(n)})}{\sum_{l=1}^L \exp(u_{l(n)})} \quad (6)$$

で定義している。 $u_{l(n)}$  は個人  $l$  の個人属性による線形関数とした。一方、マストラ選択肢はバス ( $i=2$ ) と熊電・JR ( $i=3$ ) であり、これらの選択には構成員間の相互依存関係が少ないと考え、通常線形効用関数を用いた。選択肢の構造は図-2 のような 2 段階の NL 構造とした。自動車、およびマストラの選択確率は

$$P_{1l(n)} = \frac{\exp(U_{1l(n)})}{\exp(U_{1l(n)}) + (\exp(U_{2l(n)})/\lambda) + \exp(U_{3l(n)})/\lambda} \quad (7)$$

$$P_{il(n)} = (1 - P_{1l(n)}) \cdot \frac{\exp(U_{il(n)})}{\exp(U_{2l(n)}) + \exp(U_{3l(n)})} \quad (i=2,3) \quad (8)$$

で表される。

これらの定式化の方法は張ら<sup>2)</sup> の線形多属性効用関数による集団離散選択モデルに似ている。しかし、彼らが世帯構成員間の相互依存関係を考慮した世帯の車種選択行動を分析するのに用いているのに対して、ここでは自動車に対する自らの効用が他者との相互依存関係に影響を受けることをモデル化している点で異なる。

モデルの推定に用いるサンプルは利用可能な自動車を 1 台、保有している世帯の個人を対象としており、サンプル数は 181 件である。表-5 に推定結果を示す。尤度比や的中率が高いことから、モデルの適合性は高いと考えられる。個人項については、所要時間、料金ともに負となっていることから妥当な符号条件となっている。また、統計的有意性も高い。 $\lambda=0.142$  となり、選択肢ツリーの構造は妥当であり、その統計的有意性も高い。相互作用項については、 $\alpha=-3.768$  となり、他の構成員との相互依存関係は自らの効用を低下させるという結果になった。構成員のウェイトパラメータは、配偶者、世帯主、その他の構成員という順

表-5 相互作用考慮モデルの推定結果

説明変数	相互作用モデル		通常のNLモデル	
	推定値	t値	推定値	t値
当該個人効用項				
所要時間	-0.034	2.58	-0.029	2.21
料金	-0.005	2.48	-0.030	2.10
自動車ダミー	-1.143	1.59	-1.945	2.98
バスダミー	-0.013	0.26	-0.094	1.69
構成員ウェイト				
年齢	-0.073	1.38		
通勤・通学目的ダミー	-0.309	0.84		
世帯主ダミー	2.054	1.11		
配偶者ダミー	3.955	2.30		
$\lambda$ (NLパラメータ)	0.142	2.45	0.150	2.16
$\alpha$ (相互作用ウェイト)	-3.768	0.90		
サンプル数		181		
尤度比	0.42		0.34	
的中率	0.77		0.78	

で重みが大いという結果が得られた。また、交通目的では通勤・通学より日常目的の方が、年齢については年齢が低いほどウェイトが大きくなる。

選択肢ツリー構造の妥当性、尤度比や的中率などの高さ、説明変数の符号論理性と統計的信頼性の高さから言うと、表-5の右側に示した一般的なNL型モデルも十分に利用可能なモデルとなっている。しかし、相互作用を考慮した本モデルは世帯内での構成員間ウェイトと相互依存関係を考慮できる点で有用であると考えられる。

## 5. おわりに

本研究で得られた主な結果について以下に記す。

- 1) 集計分析により、個人属性や世帯属性が異なると、交通機関別利用特性が異なる。また、同じ個人属性（世帯属性）であっても、世帯属性（個人属性）が異なると、交通機関別利用特性は異なることが明らかになった。
- 2) 個人属性や世帯属性の各カテゴリー、あるいは両者の組み合わせによるカテゴリーの組み合わせごとに、非集計型ロジットモデルの所要時間や料金にかかるパラメータ推定値に統計的に有意な差があるケースがあることが明らかになった。以上より、世帯内でのある個人とその他の構成員との競合や相互依存を考慮した交通手段選択モデルの開発が望まれる。
- 3) 世帯における構成員間の自動車利用に対する競合を考慮した手段選択モデルより、自動車利用者の優先権は世帯主か他の構成員か、他の構成員の中では配偶者かそれ例外かといった構造をとる。
- 4) 世帯構成員間の相互作用を考慮した交通手段選択モデルより、他の世帯構成員との相互作用項は自らの自動車に対する効用を低下させる。また、自動車の効用に対する構成員間のウェイトは配偶者、世帯主、その他構成員という順で高い。また、通勤・通学より日常目的の方が、年齢は低いほど構成員ウェイトは大きくなる。

## 参考文献

- 1) 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，pp.24-34，2000.
- 2) 張峻屹 他：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，土木計画学研究・講演集，vol.30，2004.
- 3) McFadden, D: Modeling the choice of residential location, Transp. Res. Rec., No.672, pp.72-77, 1978.