

世帯内での配分を考慮した 自動車の車種選択と利用の分析

山本俊行¹・北村隆一²・河本一郎³

¹正会員 博(工) 京都大学助手 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

²正会員 Ph.D. 京都大学教授 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

³学生員 京都大学大学院 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

本研究では、世帯内での自動車の割り当てと車種選択は密接に関係していること、また、年間走行距離は車種や主な運転者の属性に大きな影響を受けるとの認識のもと、車種・メインドライバー選択モデルと年間走行距離モデルを構築した。事例分析の結果、2台保有世帯においては自動車取り替え更新時に自動車の再配分が行われている事、特定の車種分類に対する嗜好性が存在し、同じ分類に属する自動車を購入する傾向にある事、および、各自動車の利用が相互に負の影響を及ぼす事が示された。一方、1台保有世帯では年間走行距離に車種が影響を及ぼしているものの、2台保有世帯ではそのような傾向が確認されず、主に通勤や自由活動での利用等のメインドライバーによる需要のみが年間走行距離を規定する事が示された。

Key Words : vehicle ownership and use, vehicle type choice, vehicle allocation, mixed logit model

1. はじめに

ITS (Intelligent Transport System) 技術を装備した自動車の普及や、低公害車、低燃費車への転換、高度な安全装備を備えた自動車の普及等を予測するためには、世帯の自動車保有行動、特に自動車取り替え更新時期の意思決定、及び車種選択行動を把握する必要がある¹⁾。近年、時間軸における世帯の自動車取替更新行動を分析するために、生存時間解析手法を用いたモデル化が行われている^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}。これらモデルには、世帯の保有する車種や、各自動車の主な運転者の属性、年間走行距離等で表わされる利用状況が、自動車取り替え更新行動の重要な説明変数として導入されており、将来の自動車保有行動を予測するためには、世帯の車種選択行動や、世帯内での自動車の配分、各自動車の利用状況のモデル化が必要と考えられる。

従来の車種選択行動の分析では主に多項ロジットモデルを適用したモデル化を行っており、市場に存在する個々の車種を選択肢とするモデル⁹⁾と車種を集約したクラスを選択肢とするモデル¹⁰⁾に大別される。前者のモデルでは同様の特性を共有する車種が存在するため、多項ロジットモデルの適用に際して仮定される選択肢間の誤差項の独立性¹¹⁾が成り立たないという問題点が指摘されている。一方、後者のモデルでは車両サイズによって個々の車種を集約した車種分類によって選択肢集合を設定す

る場合が多い。本研究では、選択肢の違いによって世帯内における配分や走行距離が異なる可能性を考慮可能であること、環境に対する影響の違いが考慮可能であること、一方でモデルの推定可能性の観点から、車両サイズ等によって集約した分類を選択肢としたモデル化を行う。しかし、個々の車種を集約した車種分類間においても選択肢間の独立性が保たれているという保証はないため、本研究では、設定した選択肢間の相関を許容したモデルを適用する。複数保有世帯については、全ての保有自動車が同時に購入される事は稀であり、時間軸上での自動車取り替え更新行動モデルのサブモデルとして用いることを念頭に置き、他の保有自動車の車種を与件とした形での購入車種の選択をモデル化することとする。

我が国でも、車種選択行動に関していくつかの分析が行われている。青島ら¹²⁾、石田ら¹³⁾は複数台保有世帯に対して自動車の買い替えのつながりを考えた「保有系列」という概念を用いて主な利用者や車種、利用目的等の分析を行っている。また、石田ら¹⁴⁾は同様の概念を用いて年間走行距離についても分析を行っている。これらの分析結果から、保有系列によって車種や主な運転者、年間走行距離が異なることが確認されている。よって本研究では、世帯内での自動車の配分が世帯の車種選択行動に及ぼす影響を考慮するために、車種選択行動を上位レベル、世帯内での配分 (メインドライバーの選択) を下位レベルとする NL (nested logit) モデルを構築する。

一方、各保有自動車の年間走行距離の分析では、複数台保有世帯が保有する自動車間の誤差項間の相関を考慮するため、SEM (structural equation models)¹⁴⁾が適用されてきた。パラメータの推定に際し、初期の研究^{15),16)}では3SLS (three stage least squares)¹⁷⁾が用いられていたが、近年の研究^{18),19)}ではLISREL¹⁴⁾等のソフトウェアによる最尤推定等が用いられるようになってきている。Golob et al.^{18),19)}は、世帯内での自動車の配分と年間走行距離を同時にモデル化しており、ここでも、世帯内での自動車の配分によって各保有自動車の年間走行距離が異なることが示されている。

さらに、年間走行距離と車種選択行動の相互作用を考慮するために、離散連続モデルを適用したモデル化が行われている^{20),21)}。離散連続モデルでは、車種選択行動と年間走行距離の選択において統一的な効用関数に基づき効用最大化を行うことを仮定しており、車種選択の離散選択モデルと年間走行距離の連続選択モデルの間でいくつかのパラメータを共通とし、理論的整合性を保っている。両モデルを結ぶロワの恒等式では、収入と車両価格（固定費用を表す）、車両の燃費（変動費用を表す）が重要な役割を果たしている。

本研究では、世帯内での自動車の配分を与件とした各保有自動車の年間走行距離モデルを SEM を適用して構築し、最尤推定法によってパラメータの推定を行う。モデルには収入や車両価格、燃費等を導入し、これら変数が車種選択行動や年間走行距離に及ぼす影響について検証するとともに、離散連続モデルへの展開可能性についても検討する。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では本研究で用いるデータの概要を示し、第3章で車種選択・世帯内配分モデル、及び、年間走行距離モデルを構築する。モデルの推定結果を第4章に示し、第5章に結論を示す。

2. データの概要

本研究では、平成9年に京都市民を対象として行われたアンケート調査「京都市民の交通行動についての調査」の一部、及び、車種分類毎の自動車の属性についての集計データを用いた実証的な分析を行う。この調査はパネル調査の第1回調査にあたり、第2回調査は平成10年に行われている。パネル調査に先立ち、調査費用の削減、サンプル数の確保を目的として、予備調査を実施している。予備調査では属性に関する簡単な質問の他、パネル調査への参加意向、および世帯内の参加可能人数について尋ねている。本調査では、予備調査で調査への参加を表明した3,171世帯に対し、世帯調査票1枚と、参加可能人数分の個人調査票を郵送配布した。第1回調査で得られたサンプル数は1,954世帯(回収率61.6%)、回収個人

表-1 自動車保有台数の分布

台数	0	1	2	3+	不明	合計
世帯数	375	1095	356	97	31	1954
	19.2%	56.0%	18.2%	4.9%	1.6%	

表-2 保有車種の分布

車種	軽自動車	小型乗用車	普通乗用車	ライトバン・ワゴン	その他	計
新車	241	824	329	110	28	1532
	11.9%	40.6%	16.2%	5.4%	1.4%	75.5%
中古車	84	294	85	29	6	498
	4.1%	14.5%	4.2%	1.4%	0.3%	24.5%
計	325	1118	414	139	34	2030
	16.0%	55.1%	20.4%	6.8%	1.7%	100.0%

票総数は3,943枚となった。分析にはアンケート調査から得られたデータのうち、世帯属性・個人属性・世帯保有自動車に関するデータ、及び自動車の属性データを用いた。回収世帯の自動車保有台数分布を表-1に示す。平均保有台数は約1.1台で、複数台保有世帯は約20%存在する。なお、本研究では、サンプル数の制約から、1台保有世帯と2台保有世帯を対象として世帯の自動車保有台数別にモデルを構築した。

サンプル世帯の保有する自動車の車種分布を表-2に示す。新車として購入されている自動車が75%程度となった他、車種としては小型乗用車、普通乗用車、軽自動車の順で保有割合が高い事が示された。本研究では、表-2の「その他」を除く車種と、購入時に新車か、中古車かの組み合わせからなる8選択肢を対象とした車種選択モデルを構築する事とした。車両価格や燃費等の自動車属性は、該当する車種分類の平均を用いる。低公害車や新技術の普及予測のためには、購入車の新車/中古車の区別および車両サイズによる分類が重要となる。今回の分類では小型乗用車の割合が高く、また、同一分類内でも属性の分散が大きいと考えられることから、より細分化した分類が望ましい。今回の調査ではより細分化した分類を設定するだけの情報が得られておらず、最適な分類の検討は今後の課題である。

次に年間走行距離の分布を図-1に示す。大部分の自動車の年間走行距離が15000km以下であり、さらに3000km~6000kmの範囲と9000km~12000kmの範囲の頻度が非常に高くなっている。これは、被験者が保有自動車の年間走行距離を正確に把握していなかったため、5000kmや1000kmといった、非常にきりのいい値で回答する事が多かったためと思われる。より正確なデータを得るためには、現在の走行距離計の読みを調査で記録し、さらに1年後もう一度距離計を調査し、その差を年間走行距離とするといったパネル分析を行うことが必要であると思われる。

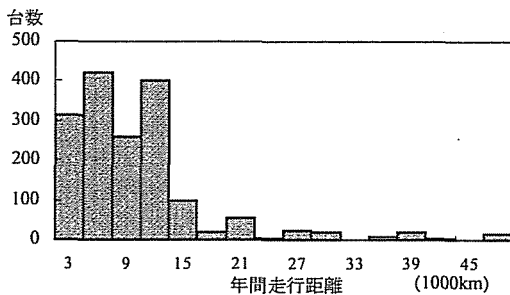


図-1 年間走行距離の分布

3. モデルの概要

本研究では、車種選択行動と世帯内での自動車の配分は密接な関係があること、さらに、各保有自動車の利用状況を表す年間走行距離も、車種やメインドライバーによって大きく異なるとの認識の下、世帯内での配分を考慮した車種選択行動モデルと、車種とメインドライバーの影響を考慮した年間走行距離モデルを構築する。

両モデルを用いた自動車利用状況の予測を行う場合には、車種・メインドライバー選択モデルの出力を年間走行距離モデルの入力として用いる事となる、すなわち、はじめに各世帯構成員の属性、世帯の属性、及び、複数保有世帯の場合には車種選択時に継続して保有される事になる既存の自動車（以下では既存車と呼ぶ）の属性を入力として、新規に購入する自動車（以下では購入車と呼ぶ）の車種分類、及び、購入車と既存車（複数保有世帯のみ）それぞれのメインドライバーを車種・メインドライバー選択モデルにて出力する。次に、車種分類に応じた各自動車属性、メインドライバーの属性、及び世帯属性を入力として、各自動車の年間走行距離を年間走行距離モデルにて算出する。

(1) 車種・メインドライバー選択モデル

1 台保有世帯（ここでの保有台数は車種選択を行い自動車を購入した後の保有台数を示す。）については、車種選択レベルでは、2. で述べた8つの選択肢からなるモデルを構築した。また、メインドライバー選択レベルでは、メインドライバーとなる可能性のある18才以上の世帯構成員の各々を選択肢としたモデルを構築した。

一方、2 台保有世帯については、多くの場合、1 台保有であった世帯が、その自動車はそのまま保有して新たに自動車を追加購入したり、既に2 台保有している世帯が1 台をそのまま保有して、もう1 台を買い替えるといった行動をとることから、車種選択レベルにおいては、既存車の保有を与件とし、購入車の車種（8 選択肢）を

選択肢とするモデルを構築した¹⁴。また、メインドライバー選択レベルでは、自動車取り替え更新時に既存車の再配分が行われる可能性を考慮し、購入車と既存車のメインドライバーの全ての組み合わせを選択肢とした。よってメインドライバーとなる可能性のある18才以上の世帯構成員が n 人の場合、同一の世帯構成員が両方の自動車のメインドライバーとなる選択肢も含め n^2 の選択肢を持つこととなる。なお、両レベルにおいて既存車の属性を説明変数として用いることとなるが、この説明変数はモデルの内生変数であるため、既存車の選択時での選択の誤差項との系列相関が存在する場合には推定にバイアスが生じる。しかしながら、今回の推定では系列相関は存在しないと仮定しバイアスの補正は行っていない。また、その他の説明変数値については自動車購入時点と調査時点で変化しないものと仮定し、調査時点での説明変数値を用いた。

車種選択レベルでは、新車/中古車のそれぞれに誤差項の相関が存在する場合と軽自動車/小型乗用車/普通乗用車/ライトバン・ワゴンのそれぞれのカテゴリーに誤差項の相関が存在する場合、さらには、そのいずれにも誤差項の相関が存在する場合が考えられる。前2者の場合には、新車/中古車の区別と車種カテゴリーの区別を各々のレベルとするNLモデルを適用することでモデル化が可能である。しかしながら両方に誤差項の相関が存在する場合にはNLモデルの適用は不適切となる。

このような選択肢間の複雑な相関関係をモデル化する際には、プロビットモデルのような誤差項の共分散構造に制限のないモデルの適用が必要である。実際、大都市圏における鉄道経路の選択のように、選択肢間に経路の重複が存在するような場合にプロビットモデルを適用した経路選択行動のモデル化が行われてきた^{23, 24}。しかしながら、プロビットモデルのパラメータ推定に際しては効用値の計算に必要となる積分が解析的に解けないため、計算コストが高くなるという問題がある。

数値積分を回避する方法として、様々なシミュレーション手法による効用値の計算が用いられているものの、依然として、選択肢数が多い場合に収束解を得ることは困難である²⁵。

このような問題に対し、ロジットモデルを拡張したモデルとして、PCL (paired combinatorial logit) モデル²⁶やCNL (cross-nested logit) モデル²⁶、MMNL (mixed multinomial logit) モデル²⁷等が開発されている。PCLモデルやCNLモデルは数値積分を必要としないため実用性が高い。しかしながら、PCLモデルでは選択肢数が n の場合に誤差項の各相関係数値が最大で $1/(n-1)$ までしか許容できないという制限がある²⁸。また、CNLモデルではパラメータ推定に際し全てのパラメータが同時に推定されず、一部の未知パラメータとそれ以外の未知パ

ラメータを交互に繰り返し計算するという手順を必要とするため、推定結果が一意でなく、また、統計的性質の解釈が困難である²⁹⁾。

一方、選択肢間の誤差相関を表す誤差項を多項ロジットモデルに追加的に導入した MMNL モデルでは、プロビットモデルと同様に誤差項の数値積分、あるいはシミュレーションによる効用値の計算を必要とするものの、PCL モデルや CNL モデルのような問題点は存在せず、プロビットモデルのすぐれた近似が可能であることが McFadden and Train²⁷⁾によって示されている。

清水・屋井³⁰⁾は鉄道経路の選択モデルに MMNL モデルを適用し、プロビットモデルを適用した場合との比較を行っている。その結果、計算時間やパラメータの安定性の点でプロビットモデルの方が優れていることを示している。しかしながら、Train³¹⁾は MMNL モデルのパラメータ推定の際にシミュレーション手法として Halton 法³²⁾を用いることにより、これまでのシミュレーションに比べて大幅な計算時間の短縮が可能であることを示している。

本研究で対象としている車種選択モデルの選択肢数は 8 であり、プロビットモデルでは収束解が得られない可能性が高く、一方で MMNL モデルを適用した場合には計算時間の短縮が見こまれるため、後者のモデルを適用した分析を行う。

MMNL モデルを用いた場合の車種選択レベルの効用関数は以下の式で表される。

$$U_i = \beta_i X_i + \eta_1 \delta_1 + \eta_2 \delta_2 + \eta_3 \delta_3 + \eta_4 \delta_4 + \eta_5 \delta_5 + \eta_6 \delta_6 + \varepsilon_i \quad (1)$$

ここで、 U_i は選択肢 i の効用、 β_i は未知パラメータベクトル、 X_i は説明変数ベクトルを表す。また、 η_1 から η_6 は各々平均 0、分散 σ_1 から σ_6 の正規分布に従うパラメータであり、 δ_1 は選択肢が新車の場合に 1、それ以外の場合に 0 をとるダミー変数、 δ_2 から δ_6 は各々、選択肢が中古車の場合、軽自動車の場合、小型乗用車の場合、普通乗用車の場合、ライトバン・ワゴンの場合に 1、それ以外の場合に 0 をとるダミー変数を表す。すなわち、 σ_1 から σ_6 は選択肢間の誤差項の共分散を表す。 ε_i は通常の多項ロジットモデルで用いられる、選択肢間で独立で同一のガンベル分布に従う誤差項を表す。

パラメータの推定に際しては、以下の尤度関数を最大化することになる。

$$L = \int_{\eta_1=-\infty}^{\infty} \cdots \int_{\eta_6=-\infty}^{\infty} \left[P(i|\eta_1, \dots, \eta_6) \prod_{n=1}^6 \left\{ \frac{1}{\sigma_n} \phi \left(\frac{\eta_n}{\sigma_n} \right) \right\} \right] d\eta_1 \cdots d\eta_6$$

$$P(i|\eta_1, \dots, \eta_6) = \frac{\exp \left(\beta_i X_i + \sum_{n=1}^6 \eta_n \delta_n \right)}{\sum_{j=1}^8 \exp \left(\beta_j X_j + \sum_{n=1}^6 \eta_n \delta_n \right)} \quad (2)$$

ただし、 $\phi(\bullet)$ は標準正規確率密度関数を表す。

シミュレーションを用いた推定時には、式(2)の数値積分を回避するため、標準正規確率分布から複数の点をサンプリングし、サンプリングした各点に対応する $P(i|\eta_1, \dots, \eta_6)$ の値を算出、算出値の平均値を関数値とするという方法がとられる。サンプリング法として最も単純な方法はランダムサンプリングであるが、ランダムサンプリングを用いた場合には、サンプリング回数に対する関数値の収束性が低いという問題がある。そのため、多くのサンプリングが必要となり、計算負荷が高くなる。

Halton 法では分布の範囲をうまく網羅するようにサンプルが取られるため、サンプルした点を用いて計算された選択確率の分散がランダムサンプリングの場合に比べて小さいという特徴を持つ。さらに、サンプリングが直前のサンプリングでは取られなかった範囲からなされるため、連続するケースの選択確率が負の相関を持ち、全体としての尤度関数の分散を低くするという特徴を持つ。これらの特徴により、Halton 法を用いた場合にはランダムサンプリングの 10 分の 1 程度のサンプリング回数で同程度の推定精度を持っている事が確認されている³¹⁾。

(2) 年間走行距離モデル

1 台保有世帯については、年間走行距離の対数を被説明変数とし、自動車属性、メインドライバー属性、世帯属性を説明変数とする重回帰モデルを適用しモデルを構築する。一方、2 台保有世帯については、各自動車の走行距離が相互に影響を与える可能性があること、及び、各々の自動車による走行距離に、共通の非観測要因が影響を与える可能性があることを考慮し、SEM の枠組みを用いて以下のように定式化した。式(3)では、世帯属性がそれぞれの自動車に与える影響は共通であり、自動車属性やメインドライバーの属性が当該自動車の走行距離に与える影響は、購入した順序に依存しない事を仮定している。

表-4 車種選択レベル推定結果(1台保有)

変数	ML		NL1		NL2		MMNL	
	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
自動車の定員×世帯人数5人以上	1.27	7.37	1.20	6.85	1.77	5.45	1.27	7.38
軽自動車×18才以上の子供有	-0.76	-3.80	-0.77	-3.82	-0.15	-0.44	-0.76	-3.77
小型乗用車×5才以下の子供有	1.61	9.51	1.61	9.64	2.70	6.39	1.61	9.52
小型乗用車×世帯主30才未満	0.51	1.38	0.47	1.30	2.25	2.36	0.51	1.38
小型乗用車×高収入世帯	0.89	2.70	0.96	2.87	2.71	2.70	0.89	2.69
普通乗用車×世帯主50才以上	-0.40	-2.50	-0.38	-2.33	0.02	0.05	-0.41	-2.50
車両価格×低収入世帯	-0.03	-2.60	-0.03	-2.42	-0.03	-1.85	-0.03	-2.52
車両価格×中収入世帯	0.02	3.35	0.02	3.11	0.05	4.95	0.02	3.35
新車ダミー	1.26	12.4	0.82	1.14	32.18	1.01	1.51	2.90
メインドライバー選択レベルのログサム変数	0.26	2.57	0.31	3.11	0.56	4.49	0.26	2.57
選択肢間の相関パラメータ*								
新車			0.70	1.50			0.17	0.11
中古車			0.38	0.67			0.97	0.83
軽自動車					0.01	0.89	0.01	0.03
小型乗用車					-0.61	-3.77	0.00	0.01
普通乗用車					0.03	1.06	0.05	0.12
バン・ワゴン					-0.02	-0.22	0.00	0.01
L(β)	-1518		-1517		-1452		-1518	
χ ²	622		624		754		622	

サンプル数 880, L(0)=-1829

ただし、MLは多項ロジットモデル、NL1は新車/中古車の区別を上位レベルとするNLモデル、NL2は軽自動車/小型乗用車/普通乗用車/ライトバン・ワゴンの区別を上位レベルとするNLモデルを表す。

*選択肢間の相関パラメータはNLモデルの場合、ログサム変数の係数を表し、MMNLモデルの場合は式(1)のηの標準偏差を表す。

表-3 メインドライバー選択レベル推定結果(1台保有)

変数	推定値	t値
男性ダミー	1.07	5.29
免許保有年数	0.03	2.47
免許保有年数3年以内	-0.79	-1.93
免許保有年数20年以上	-1.90	-1.83
世帯人数5人以上の世帯主	-0.64	-1.53
軽自動車×無職	1.40	1.79
小型乗用車×主婦	-1.81	-1.34
普通乗用車×50才以上の男性	1.62	1.52
普通乗用車×50才以上の女性	2.08	1.44

サンプル数 880, L(0)=-217, L(β)=-158, χ²=118 (df=9)

ただし、変数中の「×」は交互作用を表す。

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \beta \\ \beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Gamma_1, \dots, \Gamma_m & 0 \\ 0 & \Gamma_1, \dots, \Gamma_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$+ \begin{bmatrix} \Gamma_{m+1}, \dots, \Gamma_{m+n} \\ \Gamma_{m+1}, \dots, \Gamma_{m+n} \end{bmatrix} [Z] + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

ここに、 y_i は自動車*i*の年間走行距離の対数、 X_i は自動車*i*の自動車属性とメインドライバーの属性ベクトル、 Z は世帯属性ベクトル、 ε_i は誤差項を表わす。また、 β , Γ は未知パラメータを表わす。なお、保有台数別にモデルを構築することによって、推定時に選択性バイアスの影響

を受けることが危惧されるものの、今回の推定ではこれに対する修正は行っていない。

4. 推定結果

(1) 車種・メインドライバー選択モデル

車種・メインドライバー選択モデルの推定には、第2章で述べたサンプルのうち、データに不備の無いサンプル、1台保有世帯 880 世帯、2台保有世帯 267 世帯のデータを用いた。車種選択レベルの選択肢数は 8、メインドライバー選択レベルの選択肢数は 18 才以上の世帯構成員の人数、及び保有台数によって異なるものの、両レベルを同時推定する場合の選択肢数は膨大となるため、本稿では段階推定法によって推定した。推定に際し、個人・世帯属性の影響と自動車属性の影響は独立ではなく、相互に密接な関係があることから、これらの交互作用を説明変数に導入した。年間走行距離モデルでも同様の交互作用を説明変数に導入し、その影響を検討している。

1台保有世帯に対するモデルの推定結果を表-3,4に示す。表-3より、メインドライバー選択レベルでは、χ²値が118 (df=9)であり、モデルの有意性が示された。個々のパラメータに着目すると、男性がメインドライバ

一になる傾向が高い事、免許保有年数が短い方がメインドライバーになる傾向が低い事が示されている。また、車種によって異なる属性の世帯構成員がメインドライバーになる傾向があり、普通乗用車に対する50才以上の世帯構成員の効用が高い事が示された。ただし、50才以上の世帯構成員は免許保有年数が20年以上である可能性が高いといえよう。免許保有年数20年以上の係数が負であることも考え合わせると、これらの結果は、普通乗用車以外の場合、50才以上の世帯構成員がメインドライバーとなる傾向が低い事を示しているものと考えられる。

次に、車種選択レベルでは、多項ロジットモデル、新車/中古車の区別を上位レベルにおいたNLモデル、軽自動車/小型乗用車/普通乗用車/ライトバン・ワゴンの区別を上位レベルにおいたNLモデル、およびMMNLモデルを推定した。

表-4より最終尤度は軽自動車/小型乗用車/普通乗用車/ライトバン・ワゴンを上位レベルとしたNLモデルが最も高いものの、小型乗用車とライトバン・ワゴンのログサム変数のパラメータ値が負となっており、特に小型乗用車のログサム変数は統計的にも有意であるため、効用理論との整合性を持たない。それ以外のモデルに関しては、最終尤度がほぼ同じであり、モデル間の優劣は見られない。また、選択肢間の相関を表すパラメータも統計的に有意とはなっていない。以上より、今回のサンプルを用いた車種選択行動においては選択肢間の相関の存在は確認されなかった。また、パラメータ値は、軽自動車/小型乗用車/普通乗用車/ライトバン・ワゴンを上位レベルとするNLモデルを除き、モデル間でほぼ安定している。よって以降では、多項ロジットモデルの結果について詳細に述べる。

はじめに、メインドライバー選択レベルのログサム変数のパラメータ推定値が0.26となり、統計的にも有意であることから、メインドライバーの選択による効用が車種選択に影響を与えていることが示された。

新車ダミーのt値が非常に高く、中古車よりも新車が選択される傾向が顕著である事が示されている。車種に共通な変数としては、5人以上の大家族では乗車定員の多い車種が選択される傾向が高い事、年収500万円未満の低収入世帯では車両価格の低い車種が選択される傾向が高い事が示された。一方、世帯年収500万円から1500万円未満の中収入世帯では、車両価格が高い車種が選択される傾向が高い結果となった。これについては、本モデルで考慮していない装備の有無などと価格が相関を持つことによる可能性、あるいは、価格の顕示的効果³³⁾の影響も考えられるものの、更なる分析が必要と考えられる。

車種別の説明変数としては、18才以上の子供のいる世帯では軽自動車を選択される傾向が低く、5才以下の子供のいる世帯では小型乗用車を選択される傾向が高いな

表-5 メインドライバー選択レベル推定結果(2台保有)

変数	推定値	t値
同一運転者ダミー	-1.90	-7.80
購入車		
普通乗用車×世帯主	2.16	5.75
子供が2人以上の主婦	-2.34	-2.23
60歳以上	-1.39	-4.87
既存車		
60歳以上	-0.53	-1.43
年齢	-0.04	-3.95
普通乗用車×世帯主	1.63	3.58
小型乗用車×息子、娘	0.72	2.12
娘	-1.16	-3.92

サンプル数 267, $L(0)=-522, L(\beta)=-400, \chi^2=245$ (df=9)

ただし、変数中の「×」は交互作用を表す。

ど、世帯における子供の存在がその世帯の車種選択に影響を及ぼしている事が示された。世帯主の年齢が30才未満の場合には小型乗用車を選択する傾向が高く、50才以上の場合には普通乗用車を選択する傾向が低いなど、世帯主の年齢と車種選択行動との相関も示されている。

次に、2台保有世帯に対するモデルの推定結果を表-5,6に示す。なお、第3章で述べたように、2台保有世帯に対しては、既存車と購入車を区別し、既存車の属性を説明変数としてモデルに導入し、購入車の車種選択行動をモデル化する。本研究では、第2章で述べた調査で得られた2台保有世帯のデータについて、保有期間の長い方の自動車を既存車とし、保有期間の短い方を購入車と仮定してモデルを推定した。ここで、2台保有世帯のうち、以前は3台保有しており、1台を破棄した世帯については、上述の仮定が成り立たない場合も有り得るが、過去の取替更新行動に関するデータが得られていないため、今回はそれに伴う推定誤差については考慮していない。

表-5より、メインドライバー選択レベルにおいては、購入車、既存車に関わらず、60才以上の世帯構成員がメインドライバーになる傾向が低い事、普通乗用車の場合には世帯主がメインドライバーとなる傾向が高い事が示された。さらに、既存車か、購入車か、ということがメインドライバー選択に影響を与えることが示されている。特に、既存車が小型乗用車の場合には、既存車の配分に関して息子や娘の効用が高く推定されており、統計的にも有意であることから、小型乗用車を保有する世帯が新しく自動車を購入した場合、購入車を世帯主が利用し、既存車を息子や娘に譲るといった、世帯内における自動車の再配分が行われていることを示しているものと考えられる。なお、同一運転者ダミーが有意に負である事からは、世帯が2台の自動車を保有する場合には同一の世帯構成員が両方の自動車のメインドライバーとなる傾向が非常に低い事を示している。

次に、車種選択レベルでは1台保有世帯のモデルと同

表-6 車種選択レベル推定結果(2台保有)

変数	ML		NL1		NL2		MMNL	
	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
自動車の定員×世帯人数5人以上	0.44	2.86	0.44	2.86	0.39	2.42	0.45	2.83
中古車×世帯主30歳未満	1.25	1.49	0.76	0.63	4.58	0.76	1.47	0.88
小型乗用車×5才以下の子供有	0.67	2.04	0.67	2.03	1.38	1.36	0.69	2.02
小型乗用車×世帯主60歳以上	0.78	2.90	0.77	2.89	1.54	1.76	0.80	2.81
燃料消費(1/km)×中収入世帯	0.23	2.07	0.23	2.03	0.21	1.24	0.24	1.98
車両価格×低収入世帯	-0.35	-1.40	-0.31	-1.01	-0.40	-1.29	-0.38	-1.32
新車ダミー	1.40	8.94	0.94	0.77	4.78	0.98	1.64	1.19
同一車種分類ダミー	0.68	5.10	0.68	5.11	0.82	4.02	0.70	4.75
メインドライバー選択レベルのログサム変数	0.27	2.02	0.27	2.00	0.44	2.20	0.25	1.58
選択肢間の相関パラメータ*								
新車			1.57	0.74			0.88	0.30
中古車			1.59	0.74			0.34	0.11
軽自動車					0.27	1.00	0.01	0.02
小型乗用車					0.25	0.91	0.00	0.01
普通乗用車					0.29	1.01	0.51	0.52
バン・ワゴン					0.29	0.90	0.00	0.00
L(β)	-463		-462		-458		-462	
χ ²	180		182		190		182	

サンプル数 267, L(0) = -553

ただし, ML は多項ロジットモデル, NL1 は新車/中古車の区別を上位レベルとする NL モデル, NL2 は軽自動車/小型乗用車/普通乗用車/ライトバン・ワゴンの区別を上位レベルとする NL モデルを表す。

*選択肢間の相関パラメータは NL モデルの場合, ログサム変数を表し, MMNL モデルの場合は式(1)の η の標準偏差を表す。

様に, 多項ロジットモデル, 新車/中古車の区別を上位レベルにおいた NL モデル, 車種を上位レベルにおいた NL モデル, および MMNL モデルを推定した。

表-6 より最終尤度は, 1台保有世帯のモデルと同様に, 車種を上位レベルとした NL モデルが最も高く, 他の3つのモデル間では有意な差は見られない。車種を上位レベルとした NL モデルでは, ログサム変数のパラメータ値は効用理論との整合性をもつものであるが, いずれのログサム変数も統計的に有意ではない。よって2台保有世帯のモデルについても以降では, 多項ロジットモデルの結果について詳細に述べる。

はじめに, メインドライバー選択レベルのログサム変数のパラメータ推定値は 0.27 となり, 統計的にも有意であることから1台保有世帯についての推定結果と同様に, メインドライバーの選択による効用が車種選択に影響を与えていることが示された。

同一車種分類ダミーの推定値が, 0.68 と正の値を取っており, t 値も非常に高く統計的に有意となっている。この事は, 2台保有世帯においては, 既存の保有車種分類と同じ車種分類を選択する傾向があることを示すものと考えられる。また, 世帯主が30歳未満の場合には中古車を選択する傾向が高く, 60才以上の場合には小型乗用車を選択する傾向が高い事が示された。

中収入世帯では燃料消費 (1/km)の大きい自動車を選択

する傾向が高い事が示されたが。これについては1台保有世帯の推定結果と同様に, 中収入世帯の車種選択行動の特性を示すものであり, 中収入世帯の車種選択行動が経済合理性以外の心理的・社会的な要因の影響を受けている事を示すものと考えられる。その他, 1台保有世帯の推定結果と同様に, 5人以上の大家族では乗車定員の多い車種が選択される傾向が高い事, 5才以下の子供のいる世帯では小型乗用車が選択される傾向が高い事, 低収入世帯では車両価格の低い車種が選択される傾向が高い事, 新車が選択される傾向が高い事が示された。

(2) 年間走行距離モデル

年間走行距離モデルの推定には, (1)で用いたサンプルのうち, メインドライバーの個人調査票が特定可能であり, かつ調査票に不備の無いサンプル, 1台保有世帯 819世帯, 2台保有世帯 213世帯のデータを用いた。

はじめに, 1台保有世帯に対する推定結果を表-7に示す。表-7より, R²値が0.17と小さく, 推定されたモデルによって世帯の自動車年間走行距離が説明される割合が低い事を示している。ただし, Train[®]の推定結果においてもR²値は1台保有世帯で0.114, 2台保有世帯で0.117にとどまっており, 年間走行距離の予測は一般に困難なものと考えられる。

各パラメータの推定結果からは, まず, 加速性能 (出

表7 年間走行距離モデル推定結果(1台保有)

説明変数	推定値	t値
定数項	8.12	39.03
加速性能	5.27	3.15
加速性能×30才未満	2.56	2.52
保有期間	-0.056	-4.63
女性の世帯主	-0.83	-2.36
50才以上の女性	0.347	1.80
6才以下子供2人以上	-0.20	-1.34
低収入世帯	-1.25	-2.13
最小回転半径×運転歴3年以内	-0.075	-3.53
通勤通学非利用	-0.29	-2.82
通勤利用	0.243	2.74
業務利用	0.411	4.58
最寄り駅までの時間	0.0078	1.49
燃料消費(1/km)×低収入世帯	15.56	1.87
燃料消費(1/km)×中収入世帯	0.023	0.01
燃料消費(1/km)×高収入世帯	0.137	0.08

サンプル数819, $R^2=0.17$, $adj R^2=0.15$

表8 年間走行距離モデル推定結果(2台保有)

説明変数	推定値	t値
β	-0.31	-1.82
世帯構成人数	-0.11	-1.37
通勤利用ダミー	0.42	3.41
自由活動利用ダミー	0.45	3.51
女性ダミー	-0.21	-2.20
燃料消費(1/km)×低収入世帯	5.97	1.39
燃料消費(1/km)×中収入世帯	5.26	1.94
燃料消費(1/km)×高収入世帯	6.73	1.89

$var(\epsilon_1)=1.68$ (t値:4.51), $var(\epsilon_2)=1.678$ (t値:4.51),

$cov(\epsilon_1, \epsilon_2)=1.41$ (t値:2.87)

サンプル数213, $GFI=0.97$, $AGFI=0.71$

力重量比)の良い車種では走行距離が長くなる事、メインドライバーが30才未満の場合にはその傾向がより顕著になる事が示された。また、保有期間の長い自動車ほど走行距離が短い事、女性の世帯主がメインドライバーの場合や6才以下の子供が2人以上いる世帯、低収入世帯では走行距離が短くなる事が示された。その他、通勤や通学、業務等の日常的な自動車利用頻度や最寄り駅までの距離といった交通サービス水準が走行距離に及ぼす影響が示された。

最後に、離散連続選択モデルで重要な役割を果たす、燃料消費に関するパラメータの推定結果は低収入世帯では正となり、中収入世帯、高収入世帯では有意とならなかった。これは、燃料費に対するドライバーの対応行動が合理的でないか、それほど敏感ではない事を示すものと考えられる。

2台保有世帯について最尤推定法により未知パラメータを推定した結果を表-8に示す。決定係数を表わすGFIは0.97とまずまずの値をとっているものの、自由度で修正した決定係数を表わすAGFIは0.71となりモデル全体の推定精度はそれほど高くない結果となった。

両自動車間の相互作用を表わす β の推定値は-0.31と負の値をとっており、統計的にもある程度有意であるという結果が得られた。この結果は、一方の自動車の利用が多くなるともう一方の自動車の利用が少なくなることを意味し、複数台保有世帯での自動車利用には、保有自動車の使い分けが存在することを示すものである。

その他、1台保有世帯の推定結果とは異なり、有意な説明変数がそれほど得られなかったものの、1台保有世帯の推定結果と同様に、通勤、業務での利用によって走行距離が長くなる事などが示された。また、燃料消費に関するパラメータはいずれも正の値をとっており、離散連続モデルで仮定されるような燃料費に対する合理的行動は確認されなかった。また、誤差項の共分散が有意に正の値をとっており、世帯内の各自動車の走行距離に共通に影響を与える非観測異質性の存在を示している。今後、サンプル数の拡大やより詳細な世帯属性に関する調査項目の設定等により、年間走行距離に影響を及ぼす要因のさらなる解明が必要と考えられる。

5. おわりに

本研究では、世帯内での自動車の配分と車種選択は密接に関係していること、また、年間走行距離は、車種や主な運転者の属性に大きな影響を受けるとの認識に基づき、車種・メインドライバー同時選択モデル、及び、車種とメインドライバーを与件とした各保有自動車の年間走行距離モデルを構築した。

推定の結果から、メインドライバーの選択による効用が車種の選択に影響を与えていること、自動車の属性やメインドライバーの属性が年間走行距離に影響を与えていることが示された。車種の選択に関しては、本研究で用いたサンプルでは選択肢間の誤差効用の相関は認められなかった。また、2台保有世帯に関しては、車種選択について既存車と同一の車種分類を選択する傾向があることが示された。ただし、この結果は8つの車種分類を用いた結果によるものである。より細分化された車種分類についてはさらに検討する必要がある。

年間走行距離モデルについては、1台保有世帯では車種によって年間走行距離が異なること、およびメインドライバーの属性が年間走行距離に影響を及ぼすことが示された。一方で、2台保有世帯については、メインドライバーの属性による影響は確認できたものの、車種による影響は確認できなかった。さらに、各保有自動車の年間走行距離について共通の世帯間非観測異質性の存在が示された。2台保有世帯については、1台保有世帯に比べてサンプル数が少ないため、今後はより大きな標本を用い、モデルの推定を行う必要があるものと考えられる。

今回のモデル推定結果からは、ロワの恒等式を用いた離散連続モデルで仮定されているような統一的な効用関数に基づく車種と年間走行距離の同時意思決定行動の存在が疑わしく、世帯の車種選択行動や年間走行距離で表される自動車利用は、単純なミクロ経済モデルでは捉えきれないことが示された。Banister³⁴⁾ は日々の交通機関選択行動はそれまでの習慣に強く影響されるものであり、習慣は一旦形成されると交通サービス水準等の変化に対する感度が鈍くなることを示している。今後は、呉らの研究³⁵⁾で考慮されているような、心理的・社会的な要因をモデルに導入することにより、世帯の車種選択行動や利用行動を更に解明していくことが課題であると考えられる。

謝辞：本稿は文部省科学研究費国際学術研究（共同研究）、および佐川交通社会財団交通安全調査研究振興（地域研究助成）の助成を受けた研究成果の一部である。また、調査の実施に際しては、社団法人システム科学研究所にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

注

[1] 取り替え更新行動を行う前に複数台の自動車を保有している世帯については、いずれの保有自動車を継続保有するかという選択が存在する。しかしながら、本研究では山本ら⁸⁾のモデルとの統合を念頭において、継続保有車の選択は山本ら⁸⁾の取り替え更新行動モデル内で取り扱われる。よって、本モデルにおいては継続保有車の選択は与件としている。

参考文献

- 1) Kitamura, R.: A review of dynamic vehicle holdings models and a proposal for a vehicle transactions model, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, No. 440/IV-16, pp.13-29, 1992.
- 2) Mannering, F. and Winston, C.: Brand loyalty and the decline of american automobile firms, *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, pp. 67-114, 1991.
- 3) Gilbert, C.C.S.: A duration model of automobile ownership, *Transportation Research B*, Vol. 26B, No. 2, pp. 97-114, 1992.
- 4) de Jong, G.: A disaggregate model system of vehicle holding duration, type choice and use, *Transportation Research B*, Vol. 30B, No. 4, pp. 263-276, 1996.
- 5) Hensher, D.A.: The timing of change for automobile transactions: competing risk multispell specification, *Travel Behavior Research: Updating the State of Play*, Ortuzar, J.D., Hensher, D. and Jara-Diaz, S. eds., Elsevier, Amsterdam, pp. 487-506, 1998.
- 6) Yamamoto, T. and Kitamura, R.: An analysis of household vehicle holding durations considering intended holding durations, *Transportation Research A*, Vol.34A, No. 5, pp. 339-351, 2000.
- 7) 山本俊行, 木村誠司, 北村隆一: 取替更新行動間の相互影響を考慮した世帯の自動車取替更新行動モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No. 15, pp. 593 - 599, 1998.
- 8) 山本俊行, 北村隆一, 藤井宏明: 車検制度が世帯の自動車取り替え更新行動に及ぼす影響の分析, 土木学会論文集, No. 667/IV-50, pp. 137-146, 2001.
- 9) 例えば, Manski, C.F. and Sherman, L.: An empirical analysis of household choice among motor vehicles, *Transportation Research A*, Vol. 14A, pp. 349-366, 1980.

- 10) 例えば, Lave, C. and Train, K.: A disaggregate model of auto type choice behavior, *Transportation Research A*, Vol. 13A, pp. 1-9, 1979.
- 11) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Cambridge, 1985.
- 12) 青島縮次郎, 磯部友彦, 宮崎正樹: 世帯における自動車保有履歴から見た自動車複数保有化の構造分析, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 45-52, 1991.
- 13) 石田東生, 谷口守, 黒川洸: 世帯における利用特性からみた自動車の分類に関する一考察—複数保有時代における利用状況の適切な把握のために—, 第29回日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 97-102, 1994.
- 14) Jöreskog, K.G. and Sörbom D.: *LISREL8: User's Reference Guide*, Scientific Software, Chicago, 1993.
- 15) Mannering, F.L.: An econometric analysis of vehicle use in multivehicle households, *Transportation Research A*, Vol. 17A, pp. 183-189, 1983.
- 16) Hensher, D.A.: An econometric model of vehicle use in the household sector, *Transportation Research B*, Vol. 19B, pp. 303-313, 1985.
- 17) Zellner, A. and Theil, H.: Three stage least squares: simultaneous estimation of simultaneous equations, *Econometrica*, Vol. 30, pp. 63-68, 1962.
- 18) Golob, T.F., Bunch, D.S. and Brownstone, D.: A vehicle use forecasting model based on revealed and stated vehicle type choice and utilisation data, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 31, pp. 69-92, 1996.
- 19) Golob, T. F., Kim, S. and Ren, W.: How households use different types of vehicles: a structural driver allocation and usage model, *Transportation Research A*, Vol. 30A, No. 2, pp. 103-118, 1996.
- 20) Train K.: *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics, and an Application to Automobile Demand*, MIT Press, Cambridge, 1986.
- 21) de Jong, G.C.: A microeconomic model of the joint decision on car ownership and car use, *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Stophor, P. and Lee-Gosselin, M. eds., Elsevier, Oxford, pp. 483-503, 1997.
- 22) 屋井鉄雄, 岩倉成志, 伊藤誠: 鉄道ネットワークの需要と余剰の推計法について, 土木計画学研究・論文集, No. 11, pp. 81-88, 1993.
- 23) 屋井鉄雄, 中川隆広, 石塚順一: シミュレーション法による構造化プロビットモデルの推定特性, 土木学会論文集, No. 604/IV-41, pp. 11-21, 1998.
- 24) Greene, W.H. and Econometric Software, Inc.: *LIMDEP version 7.0 User's Manual Revised Edition*, Econometric Software, Australia, 1998.
- 25) Chu, C.: A paired combinatorial logit model for travel demand analysis, *Proceedings of the Fifth World Conference on Transportation Research*, Vol. 4, Ventura, CA, pp. 295-309, 1989.
- 26) Vovsha, P.: Application of cross-nested logit model to mode choice in Tel Aviv, Israel, metropolitan area, *Transportation Research Record*, No. 1607, pp. 6-15, 1997.
- 27) McFadden, D. and Train, T.: Mixed MNL models for discrete response, *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 15, pp. 447-470, 2000.
- 28) Koppelman, F.S. and Wen, C.-H.: The paired combinatorial logit model: properties, estimation and application, *Transportation Research B*, Vol. 34B, pp. 75-89, 2000.
- 29) Wen, C.-H. and Koppelman, F.S.: A conceptual and methodological framework for the generation of activity-travel patterns, *Transportation*, Vol. 27, pp. 5-23, 2000.
- 30) 清水哲夫, 屋井鉄雄: Mixed Logit Modelとプロビットモデルの推定特性に関する比較分析—鉄道経路選択モデルを例に—, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp.587-590, 1999.
- 31) Train, K.: Halton sequences for mixed logit, Working Paper, University of California, Berkeley, 2000.

- 32) Halton, J. H.: On the efficiency of certain quasi-random sequences of points in evaluating multi-dimensional integrals, *Numerische Mathematik*, Vol. 2, pp. 84-90, 1980.
- 33) Veblen, T.: *The Theory of the Leisure Class: An Economic Study of Institutions*, Macmillan, New York, 1889.
- 34) Banister, D.: The influence of habit formation on modal choice—a heuristic model, *Transportation*, Vol. 7, pp. 19-23, 1978.
- 35) 呉戈, 山本俊行, 北村隆一: 保有意識の因果構造を考慮した非所有者の自動車保有選好モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 553-560, 1999.

(2000.6.15 受付)

AN ANALYSIS OF VEHICLE TYPE CHOICE, ALLOCATION AND USE BY HOUSEHOLDS

Toshiyuki YAMAMOTO, Ryuichi KITAMURA and Ichiro KOHMOTO

Simultaneous vehicle type and main driver choice models and models of vehicle miles traveled are developed for one and two vehicle households separately. The types of vehicles are categorized as eight alternatives, and unobserved correlations among them are examined by adopting mixed multinomial logit models. The empirical results suggest that the vehicles are possibly reallocated in two-vehicle households at the transactions, that there exist inclinations toward specific types of vehicles among two-vehicle households, and that they have the tendency to obtain the same type of vehicles. The results also suggest that the vehicle miles traveled by respective vehicles in two-vehicle households are negatively interacted and that the vehicle types do not affect the vehicle miles traveled in two-vehicle households while they do so in one-vehicle households.