

保有と利用の相互依存性を考慮した世帯の自動車取り換え更新行動モデルの開発*

Modeling of Household Vehicle Transactions with Interdependency of Car Ownership and Use Behavior*

岩本真由子**・桑野将司***・塚井誠人****・藤原章正*****・張峻屹*****

By Mayuko IWAMOTO**・Masashi KUWANO***・Makoto TSUKAI****

Akimasa FUJIWARA*****・Junyi ZHANG*****

1. はじめに

近年、自動車関連税制の見直しやガソリン価格の変化に伴い、世帯の自動車保有・利用行動を取り巻く状況は大きく変化している。一方、環境問題が大きな社会的関心事となり、自動車に対しても環境負荷削減を目的にグリーン税制の施行やエコ減税等の対策が講じられている。しかし、今日の石油価格の変化や自動車関連税制の変更等による保有費用、走行費用の変化が世帯の自動車保有・利用行動に及ぼす影響は十分に明らかになっていない。自動車保有行動分析に関する既往の研究では、世帯の自動車保有期間を目的変数、走行距離や世帯属性、主な運転手属性を説明変数とした生存時間モデルの適用が多く¹⁾。また、自動車の利用者や車種などの選択に関する統合モデル²⁾においても、走行距離は保有期間の説明変数とされているのみであり、保有行動と利用行動の相互依存関係を明示的に取り扱った研究はなされていない。

しかし、保有行動と利用行動は、互いに密接に関連し合い、一方の行動変化が他方の行動変化を引き起こす可能性がある。各種政策の実施による自動車の保有費用と走行費用の変化を考えると、これら費用の変化は保有期間や走行距離のそれぞれに直接影響を及ぼすと考えられる。さらに、走行費用の影響を受けた走行距離の変化が保有期間に及ぼす影響と、保有費用の影響を受けた保有期間の変化が走行距離に及ぼす影響の双方向の因果関係が存在する。世帯はこのような双方向の因果関係を同時に考慮して自動車の保有・利用に関する意思決定を行うと考えられる。しかし、既往研究では保有行動と利用行動の相互依存性を考慮していないために、政策の効果を過大あるいは過小評価する可能性がある。したがって、保有費用や走行費用の変化が世帯の自動車保有、および利用行動に及ぼす影響を把握するために、それらの相互

*キーワード：交通行動分析，自動車保有・利用

** 学生員，広島大学大学院工学研究科
(広島県東広島市鏡山 1-4-1, TEL/FAX: 082-424-7825
E-mail:m093898@hiroshima-u.ac.jp)

*** 正会員，工修，広島大学大学院工学研究科

**** 正会員，工博，広島大学大学院工学研究科

***** 正会員，工博，広島大学大学院国際協力研究科

***** 正会員，工博，広島大学大学院国際協力研究科

依存性を考慮した，同時決定モデルの開発が必要である。

本研究では、各種税制の実施や石油価格の変化が世帯の自動車保有・利用行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。分析に際しては、自動車保有行動と利用行動の相互依存性をコピュラ関数³⁾によって表現した世帯の自動車取り換え更新行動モデルの開発を行う。図-1にモデルの枠組みを示す。コピュラ関数による多変量生存時間モデルの長所は、線形相関では見落とされがちな保有期間と走行距離の依存関係を決定し、かつ両分布を組み合わせた複雑な分布の記述が可能となる点である。また、多変量分布を仮定する既存モデルでは、変量間の相互依存性を多くの分散・共分散パラメータにより表現する必要があるが、コピュラ関数を用いれば、周辺分布ごとに異なる分布を設定できる上、変量間についても数個のパラメータで多様な相互依存性を表現することが可能となる。また、モデル推定において、最尤推定をシミュレーション方法で行う必要がなく、通常最尤推定法をそのまま適用することができる点も、無視できない特徴である。

なお、本研究で対象とする自動車保有行動は世帯の自動車保有台数の削減・買い替え・追加購入であり、利用行動は世帯が保有する全自動車の年間走行距離の総和(年間総走行距離)1年間での年間総走行距離によって定義する。

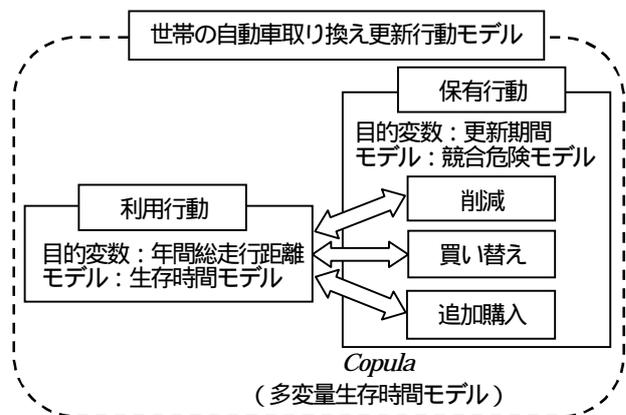


図-1 モデルの枠組み

2. 多変量生存時間モデルによる世帯の自動車取り換え更新行動モデルの開発

(1) 多変量生存時間分析

本研究では、世帯の自動車保有行動と利用行動の相互依存性を考慮する。以下の分析では世帯で保有状態の変化が生じてから、その次の保有状態の変化が生じるまでの期間を更新期間 t 、年間総走行距離 d の2変量 (t, d) を同時決定するモデルを生存時間モデル⁵⁾を拡張した多変量生存時間モデルによって定式化する。なお、更新期間 t 、および年間総走行距離 d の基準ハザード関数 h_0 ともにワイブル分布を仮定する。更新期間において保有状態の変化が生起しておらず、また年間総走行距離 d で自動車利用が終了しない確率を同時生存関数 $S(t, d)$ 、また同時確率密度関数を f とすると、 t と d に関する同時生存関数 S は、式(1)で表される。

$$S(t, d) = P(T \geq t, D \geq d) \\ = \int_d^\infty \int_t^\infty f(\xi, \zeta) d\xi d\zeta \quad (1)$$

(2) コピュラ関数

本研究では、式(1)の多変量生存時間モデルの解法として、同時分布関数を周辺分布と分布間の依存構造に分離して表現することができるコピュラ関数 C を援用する。本研究では、それぞれ異なる依存構造を表す4種類のコピュラ関数；1) 正規コピュラ、2) クレイトン・コピュラ、3) ガンベル・コピュラ、4) フランク・コピュラ、を候補としてモデルを推定して、当てはまりが最も高いコピュラ関数を選択する。

(3) コピュラ関数による同時決定モデルの開発

更新期間 t と年間総走行距離 d に関する同時生存関数 S は、コピュラ関数 C を用いて式(2)のように定式化される。

$$S(t, y) = S^T(t) + S^D(d) - 1 + C(1 - S^T(t), 1 - S^D(d)) \\ = \hat{C}(S^T(t), S^D(d)) \quad (2)$$

ここで、 \hat{C} は生存コピュラである。

(4) 競合危険分析による自動車保有行動モデルの定式化

本研究では、時点 t における世帯の自動車保有状態の変化に着目して世帯の自動車保有行動の分析を行う。世帯の自動車保有状態変化の原因は、保有台数の削減、買い替え、追加購入の3種類である。対象とする事象が生起する原因が複数考えられるとき、それらの原因事象を区別した競合危険分析と呼ばれる分析手法が提案されて

いる⁶⁾。以下、競合危険モデルを援用した自動車保有行動モデルを定式化する。更新期間 t 、および原因 m に関する生存関数 $S_m(t)$ は式(3)のように表される。なお、自動車利用行動モデルと同様に、パラメトリックアプローチを採用する。

$$S_m(t) = \exp\left(-\int_0^t h_m(\zeta) d\zeta\right) \quad (3)$$

ここで、 m は保有状態変化の原因($m=1$:削減, 2 :買い替え, 3 :追加購入)である。各保有状態変化が互いに独立と仮定すると、更新期間に関する生存関数は、すべて原因 m に関する生存関数 S_m の積で表現できる。また同様に、ハザード関数は、全ての原因 m のハザード関数 $h_m(t)$ の線形和で表現できる。

$$S(t) = \prod_{m=1}^3 S_m(t) \quad (4)$$

$$h(t) = \sum_{m=1}^3 h_m(t) \quad (5)$$

式(2)、式(4)より、保有状態変化の原因を考慮した同時生存関数の対数尤度関数は、式(6)で表される。

$$l(\boldsymbol{\alpha}_m, \boldsymbol{\beta}, \theta_m) \\ = \sum_m^3 \left\{ \sum_{i=1}^N \{ \ln \hat{c}_m(S_m^T(t_i; \boldsymbol{\alpha}_m), S^D(d_i; \boldsymbol{\beta}); \theta_m) \} \right. \\ \left. + \delta_{m,i} \times \ln h_m^T(t_i; \boldsymbol{\alpha}_m) + \ln S_m^T(t_i; \boldsymbol{\alpha}_m) + \ln f^D(d_i; \boldsymbol{\beta}) \right\} \quad (6)$$

ここで、 \hat{c}_m は原因 m に関する生存コピュラの密度関数である。ただし、 θ_m はコピュラ関数のパラメータである。

3. 使用するデータの概要

本研究では、2006年に中国地方5県を対象に実施した世帯の自動車保有・利用実態に関する調査結果を用いて、開発したモデルの実証分析を行う。本調査では、過去10年間(1996年~2006年)の世帯の自動車保有・利用行動について質問している。また、本調査では500世帯から回答を得ており、異常値や欠損値などを除いた有効世帯は389世帯であった。これらの世帯が、期間内に複数回自動車保有状態を変化される場合は、それぞれを1サンプル

ルと定義した。この結果、有効サンプル数は613サンプルとなった。

4. モデルの推定結果

最終対数尤度が最も高いフランク・コピュラを仮定したときのモデルの推定結果を表-1に示す。

形状パラメータの推定結果に着目すると、年間総走行距離、更新期間の両分布とも、形状パラメータが1以上で有意となり、それぞれ摩耗故障型のハザード関数を持つことが明らかとなった。これは年間総走行距離、および更新期間が長くなるほど、1年間の自動車利用を終了する確率、および保有状態が変化する確率が、それぞれ高くなることを意味する。

共変量に関するパラメータ推定結果に着目すると、年間総走行距離、更新期間に関するハザード関数の共変量のパラメータ値は、値が大きくなるほど年間総走行距離、あるいは更新期間が長くなることを意味する。年間総走行距離に関する共変量のパラメータ推定結果に着目すると、世帯属性に関しては、自動車保有台数に関するパラメータが正で有意な値となった。年間総走行距離は世帯が保有している全自動車の年間走行距離の和としたため、保有台数が多いほど年間総走行距離が長くなるという妥当な結果となった。

政策変数に関するパラメータ推定結果に着目すると、走行費用に関するパラメータが負で有意な値となった。したがって、石油価格の高騰などによる走行費用の増加は、年間総走行距離の減少に寄与することが明らかとなった。

更新期間に関する共変量のパラメータ推定結果に着目すると、更新期間中の結婚、引越し、免許取得に関するパラメータが全て負で有意な値となった。この推定結果は、これら3つの世帯イベントのうちいずれかのイベントが発生すると、保有状態が変化しやすくなることを意味している。

本モデルは、政策変数として自動車関連税制に関する共変量を含んでいる。保有に関する税金としては保有費用（取得税、自動車税、重量税の合計値）を採用している。保有費用に関するパラメータ推定結果に着目すると、更新期間について、いずれの原因においても正で有意な値となった。また、その絶対値は追加購入、買い替え、削減の順に大きい。これは保有費用が高くなると、削減が最も起こりやすく、以下、買い替え、追加購入の順となることを表しており、妥当な結果と考えられる。

年間総走行距離と更新期間の間の依存構造を表現するコピュラ関数のパラメータ推定結果に着目する。パラメータ値が大きいほど年間総走行距離と更新期間の間の正の依存度合が高く、負で絶対値が大きいほど負の依存度

表-1 モデルの推定結果

年間総走行距離(万km/年)に関する共変量	推定値		
尺度パラメータ	-0.41	**	
形状パラメータ	2.30	**	
世帯属性			
有職者数(人)	-0.11	**	
自動車保有台数(台)	0.86	**	
高齢者数(人)	-0.20	*	
メインユーザー属性			
通勤目的ダミー	0.17	**	
自動車属性			
排気量(cc/1000)	0.33	**	
車両価格(万円)	-0.12	**	
コンパクトカーダミー	0.12	*	
走行費用			
燃料代(円/km)	-0.03	**	
期間(年)に関する共変量	削減 推定値	買い替え 推定値	追加購入 推定値
尺度パラメータ	0.00	**	0.01 **
形状パラメータ	2.47	**	2.36 **
世帯属性			
自動車保有台数(台)	-0.85	**	-0.72 **
メインユーザー属性			
年齢(歳)	-0.01	**	
自動車属性			
排気量(cc/1000)	0.35	**	0.86 **
購入時の車齢(年)			-0.14 **
購入時の走行距離(万km)	-0.09	**	-0.13 **
軽自動車ダミー	0.43	**	0.19 *
コンパクトカーダミー			1.20 **
セダンダミー			0.48 **
セダンダミー			0.32 **
世帯イベント			
結婚(k+0)	-0.51	**	-0.57 **
引越し(k+0)	-0.68	**	-0.46 **
引越し(k+1)	-0.74	**	-0.49 **
引越し(k+2)	-0.83	**	-0.53 **
引越し(k+3)	-0.53	**	-0.59 **
免許取得(k+2)	-0.73	**	-0.78 **
保有費用			
保有税(万円)/世帯収入(百万円)/世帯人数(人)	0.37	**	0.45 **
コピュラのパラメータ	-0.25		-1.00 **
L(β)	-5494.76		-0.37

**): 1%有意, *): 5%有意, +): 10%有意
注1): (t-k)はk年前に世帯イベントが発生したことを表す

合が高い傾向を意味する。削減、買い替え、および追加購入の全ての原因について負の値となっており、その絶対値は買い替え、追加購入、削減の順に大きい。これは、更新期間と年間総走行距離の間に負の依存関係が存在し、両者の負の依存度合は、買い替えが最も高く、以下、追加購入、削減の順となることを表している。

5. 自動車関連税制、石油価格の変化を想定した世帯の自動車取り換え更新行動モデルの感度分析

(1) シナリオの設定

ガソリン価格の変化、自動車関連税制の変更に伴う影響を把握するために、推定したモデルを適用して、調査時点における自動車保有状況から1年後の自動車保有状態に関してシミュレーション分析を行う。シナリオとして以下の3つを設定する。

シナリオ1：自動車の走行費用の増加

石油価格の高騰，あるいはガソリン税の増税などにより，自動車の走行費用が増加した場合を想定する．具体的には，ガソリン価格が平均106円/リットル（サンプル平均値）から5%上昇したと仮定する．なお，保有費用に変化はないものとする．

シナリオ2：自動車の保有費用の増加

自動車保有税の増税により，自動車の保有費用が増加した場合を想定する．具体的には，ガソリン価格が5%上昇した場合に，1年間で支払う燃料費用の増額分と同額とする．なお，走行費用に変化はないものとする．

シナリオ3：自動車の走行費用，保有費用の増加

シナリオ3では，シナリオ1，およびシナリオ2で設定した自動車の走行費用の増加と，保有費用の増加が同時に起きた場合を想定する．

（2）シミュレーション分析の結果

表2にシミュレーション分析の結果を示す．表2より，走行費用の増加を想定したシナリオ1では，現況ケースの値よりも，年間総走行距離の期待値が90km減少する結果となった．保有費用の増加を想定したシナリオ2では，いずれの更新期間も長期化しており，自動車保有状態の変化は起こりにくくなることがわかった．サンプル全体で集計した年間総走行距離の変化量は30km/年の減少となり，保有費用の増加が走行距離に及ぼす影響は非常に小さいことが明らかとなった．走行費用，および保有費用の増加が同時に起きた場合を想定したシナリオ3では，全ての保有状態変化の発生確率，および平均年間総走行距離の期待値は減少した．なお，年間総走行距離の期待値と現況ケースを比較した場合の減少は，走行費用の増加を想定したシナリオ1の減少よりも小さい．

以上の感度分析結果より，走行距離削減の観点からは，年間総走行距離に直接影響する走行費用の増加が有効であることが明らかとなった．走行費用と保有費用を同時に増加させた場合，年間総走行距離の期待値の減少は，それぞれの費用を個別に増加させた場合の和よりも，小さくなった．以上より，自動車排出ガス削減に向けた施策としては，走行費用の増加を行うべきであり，保有費用の増加は行うべきではないと考えられる．

6．結論

本研究では，コピュラ関数を用いた多変量生存時間モデルを用いて，保有行動と利用行動の同時決定モデルの開発を試みた．開発したモデルの推定結果より，利用行動と保有行動の間に有意な依存関係が確認された．

表 - 2 シミュレーション分析の結果

	削減	買い替え	追加購入	平均年間総走行距離（万km/年）
現状ケース				
発生確率（%）	12.5	18.6	9.0	
年間総走行距離（万km/年）	1.313	1.313	1.313	1.313
シナリオ1（走行費用の増加）				
発生確率（%）	12.5	18.6	9.0	
現状ケースとの差（points）	(0.0)	(0.0)	(0.0)	
年間総走行距離（万km/年）	1.304	1.304	1.304	1.304
現状ケースとの差（万km/年）	(-0.009)	(-0.009)	(-0.009)	(-0.009)
シナリオ2（保有費用の増加）				
発生確率（%）	12.3	18.2	8.7	
現状ケースとの差（points）	(-0.2)	(-0.4)	(-0.3)	
年間総走行距離（万km/年）	1.313	1.305	1.311	1.310
現状ケースとの差（万km/年）	(0.000)	(-0.008)	(-0.002)	(-0.003)
シナリオ3（走行費用と保有費用の増加）				
発生確率（%）	12.4	18.4	8.8	
現状ケースとの差（points）	(-0.1)	(-0.2)	(-0.2)	
年間総走行距離（万km/年）	1.308	1.300	1.306	1.305
現状ケースとの差（万km/年）	(-0.005)	(-0.013)	(-0.007)	(-0.008)

開発したモデルでは，既往研究では明示的に考慮されていなかった自動車保有行動と利用行動の相互依存性に着目することにより，走行費用の変化が世帯の自動車保有行動に及ぼす影響，および保有費用の変化が自動車利用行動に及ぼす影響を同時に把握することができた．

参考文献

- 1) 山本俊之，松田忠士，北村隆一：保有予定期間との比較に基づく世帯における自動車保有期間の分析，土木学会研究・論文集，No.14，pp.799-808，1997．
- 2) De Jong, G.: Adisaggregate model system of vehicle holding duration, type choice and use, Transportation Research Part B, Vol.30, pp.263-276, 1996.
- 3) Nelsen, B.R.: An Introduction to Copulas, Springer, 1999．
- 4) 戸坂凡展，吉羽要直：コピュラの金融実務での具体的な活用方法の解説，日本銀行金融研究所，金融研究，pp.115-162，2005．
- 5) 北村隆一，佐々木邦明，山本俊行，森川高行，藤井聡：交通行動の分析とモデリング，技報堂出版，pp.190-203，2002．
- 6) 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．