保有期間と走行距離の同時決定モデルの開発*

A Simultaneous-Equation Model of Car Ownership Duration and Travel Distance *

桑野将司**・藤原章正***・塚井誠人****・張峻屹*****・岩本真由子******
By Masashi KUWANO**・Akimasa FUJIWARA***・Makoto TSUKAI****
Junyi ZHANG*****・Mayuko IWAMOTO******

1. はじめに

近年，自動車関連税制の見直しや石油の高騰に伴い，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つつある．一方，環境問題が大きな社会的関心事となり，二酸化炭素の大きな排出源となっている自動車に対しても，排出ガス規制の強化等様々な対策が講じられている．このような状況下，石油価格の高騰や自動車関連税制の変更，低公害車普及のためのグリーン税制等の各種政策の実施による保有費用，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について明らかになっているとは言い難い．

世帯の自動車保有・利用行動に関する研究はこれまで活発になされてきた．一般に，世帯の自動車保有・利用行動は「購入段階」，「利用段階（走行段階）」と「保有段階」の 3 段階に分けることができる．この中でも特に，自動車の買い替えや追加購入，台数削減を取り扱う世帯の自動車保有行動は，各種政策の効果を測る上で重要な要素となる [1)]．

世帯の自動車保有行動を記述するために，自動車を購入してから廃棄するまでの保有期間を目的変数とした生存期間モデルが用いられてきた．このようなモデリング手法は，自動車保有行動の変化は保有期間で決まることを仮定することになり，どのように自動車を利用しているかという利用行動，すなわち走行距離はその説明変数にすぎない．一般に，保有期間モデルにおける走行距離の増加は，保有期間を短くするように影響を及ぼすため，石油価格の高騰は保有期間を長くするように作用する [2)]．このように，自動車保有行動を保有期間のみで説明すると石油価格の高騰などによる利用行動の変化が自動車保有行動に及ぼす影響を限定的にしか捉える事が出来ない．

保有費用や走行費用の変化が世帯の自動車保有行動に及ぼす影響を把握するためには，保有期間だけでなく利用行動を考慮した自動車保有行動メカニズムの解明が必要となる．

本研究では自動車の保有期間と利用行動が世帯の自動車保有行動に影響を及ぼすという仮定の下，それらの相互依存性を考慮した自動車保有行動モデルを構築することを目的とする（図 1）．具体的には，保有期間と総走行距離のそれぞれに対して，多様な確率分布の仮定を許容する生存時間モデルを適用し，それら 2 変量間の非線形な相互依存性を考慮した多変量生存時間モデルによる自動車保有行動モデルの開発を行う．

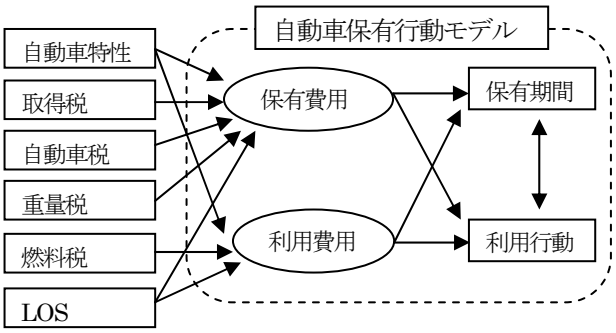

図１　モデルの枠組み

２．　保有期間と走行距離の同時決定モデル

2.1　同時決定モデルの定式化

生存時間モデルでは，対象とする事象が生起するまでの時間の分布を生存関数，およびハザード関数で表す．

生存関数 $\overline{F}$ は対象とする事象がある時間 x においてまだ生起していない確率を表す関数，ハザード関数 $h(x)$ は x までに生起していないという条件下で次の瞬間に事象が生起するという条件付き確率である．

生存関数とハザード関数は，分布関数 F と確率密度関数 f により次のように表される．

---

*キーワーズ : 交通行動分析，自動車保有・利用
** 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: afujiw@hiroshima-u.ac.jp)
**** 正会員，博（工）広島大学大学院工学研究科
(E-mail: mtukai@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: junyi@hiroshima-u.ac.jp)
****** 学生員，広島大学工学部
(E-mail: b055819@hiroshima-u.ac.jp)

$$\begin{aligned}\overline{F}(x) &= \Pr(X \geq x) \\ &= 1 - \Pr(X \leq x) \\ &= 1 - F(x)\end{aligned} \tag{1}$$

$$h(x) = f(x)/\overline{F}(x) \tag{2}$$

本研究では，式(1)，式(2)を拡張し，対象とする事象が保有を終了するまでの保有期間 X と総走行距離 Y の 2 変量(X,Y) となった場合を考える．ある保有期間 x と，ある総走行距離 y において自動車保有が終了していない確率を表す同時生存関数を $\overline{H}$ ， x と y の同時分布関数を H ，単変量生存関数をそれぞれ $\overline{F} = H(x,-\infty)$ ， $\overline{G} = H(-\infty, y)$ とする．

このとき， x と y に関する同時生存関数を $\overline{H}$ はコピュラ C [3]を用いることにより次式により定式化される．

$$\begin{aligned}\overline{H}(x,y) &= \Pr[X > x, Y > y] \\ &= 1 - F(x) - G(y) + H(x,y) \\ &= \overline{F}(x) + \overline{G}(y) - 1 + C(F(x), G(y)) \\ &= \overline{F}(x) + \overline{G}(y) - 1 + C(1-\overline{F}(x), 1-\overline{G}(y))\end{aligned} \tag{3}$$

本研究では式(3)を用いて，保有期間と走行距離の相互依存性を考慮した自動車保有行動モデルの推定を行う．

なお，共変量の導入方法としては，共変量により生存時間の時間軸が伸び縮みする形で生存時間に影響を与えると仮定する加速故障モデルを採用し，生存関数の確率分布には，それぞれワイブル分布を採用することとする．

コピュラはその定義式により様々な変量間の依存構造を表現することが可能である．コピュラの代表例としては，変量間の相関構造を行列で表現する正規コピュラ，変量間の相関構造を 1 種類のパラメータで表現するクレイトン・コピュラ，ガンベル・コピュラ，フランク・コピュラ [4]がある．これら 4 種類のコピュラは，分布の裾での変量間の依存関係が異なる．本研究では，それぞれのコピュラについてモデル推定を行い，最も当てはまりのよりコピュラを実証的に明らかにする．

2.2　モデル推定方法

x, y の 2 個の変量に対し，各変量は N 個の説明変数を持つとする．x, y についての第 j 番目の説明変数を x_j ， y_j として表す．それぞれの周辺分布関数を β_j ， γ_j をパラメータとする $F(x_j;\beta_j)$ ， $G(y_j;\gamma_j)$ とする．さらに，コピュラの密度関数を式(4)に示すように α をパラメータとして $c(F(x),G(y);\alpha)$ とする．

$$\begin{aligned}&c(F(x_j;\beta_j), G(y_j;\gamma_j)) = \\ &\partial^2 C(F(x_j;\beta_j), G(y_j;\gamma_j)) / \partial F(x_j;\beta_j) \cdot \partial G(y_j;\gamma_j)\end{aligned} \tag{4}$$

このとき，対数尤度関数は次式で与えられる．

$$\begin{aligned}l(\beta_j,\gamma_j,\alpha) &= \sum_{j=1}^{N} \ln c(F(x_j;\beta_j), G(y_j;\gamma_j);\alpha) \\ &\quad + \sum_{j=1}^{N} \ln f(x_j;\beta_j) + \sum_{j=1}^{N} \ln g(y_j;\gamma_j)\end{aligned} \tag{5}$$

上式で最尤推定を行うということは，コピュラのパラメータ α の推定と周辺分布関数の確率密度関数のパラメータ β_j ， γ_j を同時に行うことを意味する [5].

３．　使用データの概要

本研究では 2006 年 10 月に実施した世帯アンケート調査のデータを用いる．当該調査は，インターネットを利用した Web 調査方式で行われた．対象世帯は中国地方の 5 県に居住している世帯で，500 世帯から回答を得た．調査では世帯構成員の個人属性，世帯属性，過去 10 年間の世帯属性の変化，過去 10 年間に保有していた保有自動車特性等について質問をした．

ここでは，全サンプル 500 世帯のうち記入ミスと考えられる外れ値を除いた世帯 415 世帯を対象に，保有期間と廃車・売却時の走行距離が観測されている過去 10 年間で保有された 496 台の自動車を対象に提案モデルの実証分析を行う．

４．モデル推定結果

4.1　コピュラの選択

本研究では，変量間の依存構造を表現するため，有用性が高く，異なる依存構造を表す 4 つのコピュラを仮定する：（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）．なお，正規コピュラは，一般的に用いられている多変量正規分布と同じ依存構造を有する．

それぞれのコピュラを仮定した場合の最終対数尤度を表 1 に示す．表 1 より，フランク・コピュラを仮定した場合の最終対数尤度が最も高くなることが分かる．次いで最終対数尤度が高いのは，正規コピュラ，ガンベル・コピュラであり，クレイトン・コピュラの最終対数尤度が最も低い．以上の結果より，フランク・コピュラを仮定した場合，モデル適合度が最も高くなると結論付けることができる．しかし，本研究では小規模アンケート調査結果を用いた分析のため，フランク・コピュラを仮定

することの一般性については，今後さらに検証を重ねる必要がある．

表 1　最終対数尤度の比較

コピュラ	最終対数尤度
正規コピュラ	-1169.732
クレイトン・コピュラ	-1173.618
ガンベル・コピュラ	-1185.422
フランク・コピュラ	-1151.76

4.2　モデル推定結果

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推定結果を表 2 に示す．なお，パラメータの符号は他のコピュラを仮定したときも全て一致している．パラメータ値の含意は，正で絶対値が大きくなるほど保有期間，あるいは廃車・売却に至るまでの総走行距離は長くなり，負で絶対値が大きくなるほど短くなる傾向を示す．

基準ハザード関数のワイブル分布の形状を表すパラメータ推定結果は，保有期間，総走行距離でともに形状パラメータが 1 以上で有意となっていることから，それぞれについて正の時間依存性を持つことが統計的に示された．これは保有期間および総走行距離が長くなるほど自動車の保有が終了する確率が高くなることを意味する．

車両属性に関するパラメータ推定結果に着目すると，保有期間では購入時の車齢が，総走行距離では購入時の走行距離がそれぞれ有意で負の値となった．これは中古車ほど早い段階で廃車・売却される確率が高くなることを意味しており，論理的に妥当な結果である．

政策変数として，自動車関連税制を取り込んでいる．今回の実証分析に際しては，保有に関する税金として，取得税，自動車税，重量税の合計値を，利用に関する税金として燃料税を含めた燃料費として採用している．ここで，3 つの性質の異なる保有に関する税金を合計値として用いたのは，それらを区別してモデルの説明変数として入力したとき，各々のパラメータが統計的に有意とならず，また，モデルの現況再現性が低かったためである．政策変数に関するパラメータ推定結果に着目すると，保有税が保有期間に関するハザード関数で，燃料費が総走行距離に関するハザード関数でそれぞれ負で有意な値となった．これは保有に関する税金が高くなると短い期間で，燃料税やガソリン価格が高くなると短い走行距離で保有を終了することを意味している．

表 2　モデル推定結果

	保有期間（年）		走行距離（万 km）	
共変量	推定値		推定値	
メインユーザー属性				
年齢（歳）	0.007		0.006	
	(1.1)		(0.8)	
有職者ダミー	0.138		0.166	
	(0.9)		(1.2)	
通勤目的ダミー	-0.451	*	-0.174	
	(-2.5)		(-0.9)	
買い物目的ダミー	-0.622	**	-0.659	**
	(-3.0)		(-3.1)	
世帯属性				
有職者人数	-0.102		-0.171	*
	(-0.12)		(-2.1)	
自動車保有台数	0.613	**	0.225	**
	(6.6)		(2.6)	
自動車属性				
購入時の車齢（年）	-0.165	**		
	(-5.3)			
購入時の走行距離（万 km）			-0.052	*
			(-2.3)	
排気量（1/1000cc）	0.293	**	0.284	+
	(2.6)		(1.9)	
保有・利用費用				
自動車保有税（円/年）	-0.083	**	-0.011	
	(-4.3)		(-0.9)	
燃料費（円/km）	-0.024		-0.028	+
	(-1.4)		(-1.7)	
世帯イベント				
免許取得（t-0）注 1)	0.099			
	(0.2)			
免許取得（t-1）	0.965	+		
	(1.8)			
免許取得（t-2）	-0.255			
	(-0.9)			
免許取得（t-3）	-0.645	*		
	(-2.4)			
尺度パラメータ	0.021	**	0.140	*
	(2.8)		(2.6)	
形状パラメータ	2.436	**	1.440	**
	(24.0)		(22.7)	
コピュラのパラメータ	5.633			
	(12.8)	**		
サンプル数	496			
L(c)注 2)	-1319.55			
L(β)	-1151.76			

**）：1%有意，*）：5%有意，+）：10%有意

カッコ内の数値は t 値を示す．

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

注 2）:形状パラメータと尺度パラメータ以外のパラメータを 0 としたときの対数尤度

4.3　確率密度と生存確率

4.2 節で得られた推定結果より算定される，2 変量確率密度から保有期間軸，総走行距離軸に射影した確率密度をそれぞれ図 2，図 3 に示す．

図 2 より，保有期間と総走行距離の相互依存性を考慮しない単変量生存時間モデルの結果と比して，相互依存性を考慮した場合，保有期間の短いところで確率密度が分布していることがわかる．総走行距離に関しても同様の傾向が見られる（図 3）．これは保有期間，総走行距離ともに小さい値の周辺で確率密度が分布しており，さらに変量間に正の依存関係があるために，相互依存性を考慮した場合，それぞれの確率密度の分布が左によった形になったものと考えられる．

次に，2 変量生存確率を図 4 に，走行距離を固定したときの保有期間に関する生存確率を図 5 に示す．図 5 より総走行距離の値が大きいとき，はじめは生存関数の分布は平らで，保有期間が一定の値を超えると減少することがわかる．これは，自動車利用距離が短い世帯は，主に保有期間により，自動車利用距離が長い世帯は，総走行距離（利用行動）で自動車の廃車・売却の意思決定を行っていることを意味する．

5．結論

本研究では，保有期間と総走行距離の相互依存関係をコピュラにより考慮した自動車保有行動モデルの開発を行った．実証分析に際し，中国地方を対象に実施したアンケート調査結果を使用した結果，コピュラ関数にフランク・コピュラを仮定したときのモデル精度が最も高いことが明らかとなった．また，従来法である単変量生存時間モデルの推定結果と比べ，総走行距離を考慮することにより，保有期間の分布は短くなる傾向にあること，利用行動の違いにより保有期間の分布に大きな差が生じることが明らかとなった．今後はモデル推定結果を用いて，各種政策が世帯の自動車保有行動に及ぼす影響を把握するためのシミュレーション分析が必要である．

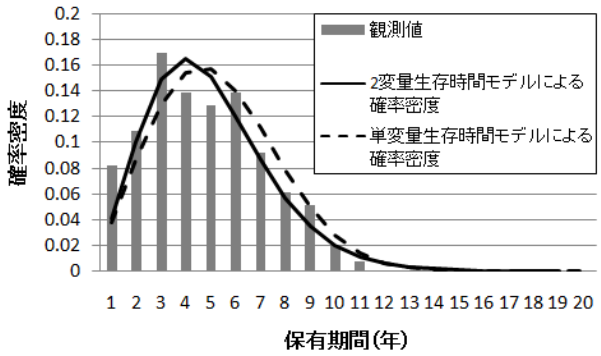

図 2　保有期間に関する確率密度分布

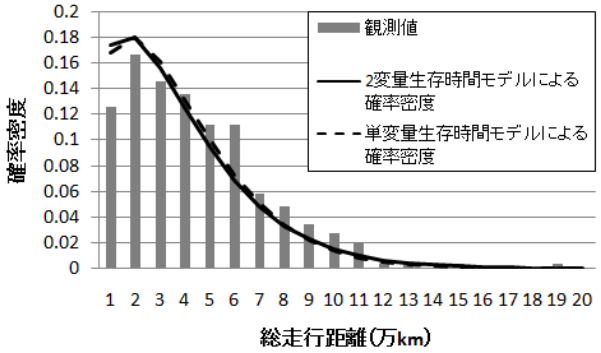

図 3　総走行距離に関する確率密度分布

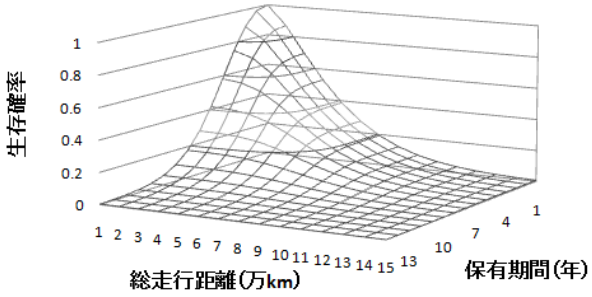

図 4　2 変量生存確率

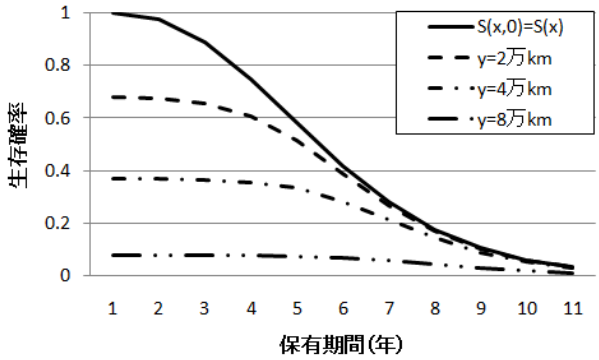

図 5　保有期間に関する生存確率（走行距離は固定）

参考文献

1) 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，2002.

2) 桑野将司，藤原章正，張峻屹，岡英紀：複数ピークをもつ分布形状を取り入れた世帯自動車保有期間モデルの開発と政策分析への応用，日本都市計画学会論文集，pp571-576，2007.

3) Nelsen, R.B: An Introduction to Copulas, 1999.

4) Joe, H.: Multivariate Models and Dependence Concepts, Monographs on Statistics and Applied Probability 73, 1997.

5) Vigna, E.: Modelling Stochastic Bivariate Mortality, Actuarial Research Parper No.170, 2006.