

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*

A Household Vehicle Transactions Model That Accounts for Interactions among Transactions*

木村誠司**・山本俊行***・北村隆一****

By Seiji KIMURA**・Toshiyuki YAMAMOTO***・Ryuichi KITAMURA****

1. はじめに

世帯における自動車保有が世帯構成員の交通行動に与える影響は非常に大きい。したがって、将来の交通需要を推計する上で、世帯の自動車保有構造を明らかにすることが不可欠である。また、近年では、環境問題が大きな社会的関心事となっており、低公害車普及の需要予測を行う際にも、世帯の自動車保有行動についての分析が必要とされている。

本研究は、ある時点における世帯の自動車保有状態は、それまでの世帯の自動車取替更新行動の結果である、との観点から、時間軸上における世帯の自動車取替更新行動の分析を行うことを目的とするものである。取替更新行動を分析することによって、自動車保有を時間軸上における世帯の意思決定行動結果として把握することが可能となり、自動車保有台数や保有車種、個々の自動車の保有期間について、より現実的な予測を行うことが可能となると考えられる¹⁾。

時間軸上において、複数回の自動車取替更新行動を世帯が行う場合、それらの取替更新行動は独立に行われるわけではなく、互いに大きな影響を及ぼしているものと考えられる。また、世帯の状態変化が自動車取替更新行動に与える影響は、その種類、時期によって、非常に大きいものと考えられる。本研究では、直前の取替更新行動や世帯の状態変化が、次の取替更新行動に与える影響を明示的に考慮した分析を行う。

*キーワード：自動車保有・利用

**正員，工修，日本ガイシ株式会社

(大阪市中央区備後町 4-1-3, TEL 06-206-5915, FAX 06-206-5881)

***正員，工修，京都大学工学研究科土木システム工学専攻

****正員，Ph.D., 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
(京都市左京区吉田本町, TEL 075-753-5136, FAX 075-753-5916)

2. 時間軸上における世帯の自動車取替更新行動

世帯における自動車取替更新行動は、買い替え、追加購入、買い替えを伴わない売却（以降では、破棄と呼ぶ）の3種類の行動からなり、それらの行動結果として、自動車保有台数は、それぞれ、現状維持、1台増加、1台減少となる。自動車を保有する世帯には、これら3種類の自動車取替更新行動の可能性が同時に存在する。本研究では、世帯は取替更新行動を行う時期、および、その種類を選択することで、自動車保有状態を変更させていくものと考えられる。世帯が複数の自動車を保有している場合、買い替え、破棄については、どの自動車を手放すかについての選択も含まれる。時間軸上における世帯の自動車取替更新行動は図-1で表わされる。図-1に示されるように、世帯における自動車取替更新行動は、個々の自動車の保有開始時期と保有期間の積み重ねによって表現することが可能である。

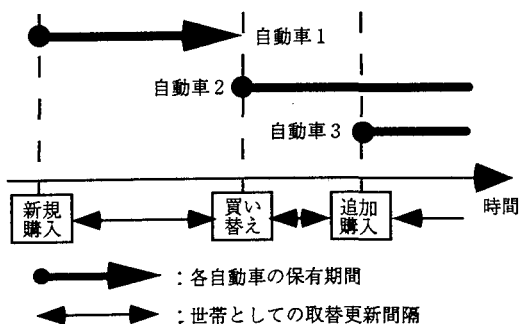


図-1 時間軸上での自動車取替更新行動

本研究では、世帯の取替更新行動間隔を生存時間と捉え、生存時間解析手法を用いた自動車取替更新行動の分析を行う。生存時間解析手法を用いることにより、取替更新行動の種類、及び行動時期を同時

に予測することが可能となる。

3. 自動車取替更新行動モデル

取替更新行動間隔を表わす確率変数を T で表わすと、 T がある一定の経過期間 t 以上である確率を表わす、生存関数 $S(t)$ は以下の式で表わされる。

$$S(t) = \Pr(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (1)$$

ただし、 $F(t)$ は累積分布関数を表わす。

また、時点 t まで事象が発生していないという条件下で時点 t の瞬間に事象が発生するという条件付き確率密度を表わす、ハザード関数 $h(t)$ は、以下の式で表わされる。

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t + \Delta t > T \geq t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (2)$$

ただし、 $f(t)$ は確率密度関数を表わす。ハザード関数と生存関数の関係は、以下の式で表わされる。

$$S(t) = \exp\left[-\int_0^t h(t) dt\right] \quad (3)$$

本研究では、世帯の取替更新行動として、買い替え、追加購入、破棄の3種類の行動を考え、それらが生起する確率が同時に存在するものとする。生存時間解析手法では、このような、事象を生起させる複数の要因を競合危険と呼ぶ。それらの競合危険が互いに独立であると仮定することにより、ハザード関数 $h(t)$ は、式(4)のような線形和によって表わすことが出来る。

$$h(t) = \sum_k (h_{rk}(t) + h_{dk}(t)) + h_a(t) \quad (4)$$

ただし、 $h_{rk}(t)$ 、 $h_{dk}(t)$ 、 $h_a(t)$ はそれぞれ、保有自動車 k の買い替え、破棄、および、追加購入を表わすハザード関数である。世帯の自動車取替更新行動の生存関数 $S(t)$ は、式(3)、(4)より、式(5)に示すように、各取替更新行動の生存関数の積で表わすことが出来る。

$$S(t) = \prod_k \{S_{rk}(t) \times S_{dk}(t)\} \times S_a(t) \quad (5)$$

ただし、 $S_{rk}(t)$ 、 $S_{dk}(t)$ 、 $S_a(t)$ はそれぞれ、保有自動車 k の買い替え、破棄、および、追加購入に関する生存関数である。

よって、時点 t に各々の取替更新行動を行う確率密度関数 $f_{rk}(t)$ 、 $f_{dk}(t)$ 、 $f_a(t)$ は、以下の式で表わされる。

$$\begin{aligned} f_{rk}(t) &= h_{rk}(t)S(t) \\ f_{dk}(t) &= h_{dk}(t)S(t) \\ f_a(t) &= h_a(t)S(t) \end{aligned} \quad (6)$$

本研究では、これまでの研究結果²⁾に基づき、各取替更新行動を表わす分布として、ワイブル分布を適用し、ハザード関数を以下のように定式化した。

$$\begin{aligned} h_{rk}(t) &= \gamma_r t^{\gamma_r - 1} \exp(-\beta_r X_k) \\ h_{dk}(t) &= \gamma_d t^{\gamma_d - 1} \exp(-\beta_d X_k) \\ h_a(t) &= \gamma_a t^{\gamma_a - 1} \exp(-\beta_a X) \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 γ_r 、 γ_d 、 γ_a は時間依存性を表わす未知パラメータであり、1 より大きい(小さい)場合、ハザード関数は時間とともに増大(減少)するため、取替更新行動の時間依存性を考慮することが可能である。また、 β_r 、 β_d 、 β_a は未知パラメータベクトルを表わす。式(6)において、 t は各取替更新行動の基準時点からの経過時間を表わしており、買い替え、破棄については当該自動車の購入時点、追加購入については最後に取替更新行動が行われた時点を基準時点とした。観測開始時点 t_0 において、既に各取替更新行動の基準時点から時間が経過していることを考慮し、 t_0 までに、取替更新行動が行われていないという条件付き確率を用いて、観測開始時点からの取替更新行動の生存関数を以下の式で表わす。

$$\begin{aligned} S(t) &= \prod_k \left\{ \frac{S_r(t - t_k | X_k)}{S_r(t_0 - t_k | X_k)} \times \frac{S_d(t - t_k | X_k)}{S_d(t_0 - t_k | X_k)} \right\} \\ &\quad \times \frac{S_a(t - t_a | X)}{S_a(t_0 - t_a | X)} \end{aligned} \quad (7)$$

ただし、 t_k は保有自動車 k の購入時点を表わし、 t_a は t_0 以前に行われた最後の取替更新行動時点を表わす。以上より、尤度関数は以下の式で表わされる。

$$\begin{aligned} L &= \prod_k \left\{ h_r(t - t_k)^{\delta_{rk}} \times \frac{S_r(t - t_k | X_k)}{S_r(t_0 - t_k | X_k)} \right. \\ &\quad \times h_d(t - t_k)^{\delta_{dk}} \times \frac{S_d(t - t_k | X_k)}{S_d(t_0 - t_k | X_k)} \left. \right\} \\ &\quad \times h_a(t - t_a)^{\delta_a} \times \frac{S_a(t - t_a | X)}{S_a(t_0 - t_a | X)} \end{aligned} \quad (8)$$

ただし、 δ_{rk} 、 δ_{dk} 、 δ_a はそれぞれ、自動車 k の買い替

え、破棄、および、追加購入が行われた場合 1、それ以外の場合 0 をとるダミー変数を表わす。観測終了時点においても、いずれの取替更新行動も行われていない場合、3つのダミー変数を全て 0 とすることで表現することが可能である。

尤度関数が各取替更新行動のハザード関数、および、生存関数の積によって表現されていることから、未知パラメータの推定に際しては、各取替更新行動毎に、別々に最尤推定を行うことが可能である。

本研究では、観測期間中に世帯の状態が変化した場合、状態変化によって取替更新行動を行う確率が変化するものと考え、生存関数 $S(t)$ を以下の式で表わす。

$$S(t|X) = S(t_c|X_1) \times \frac{S(t|X_2)}{S(t_c|X_2)} \quad (9)$$

ただし、 t_c は説明変数値が変化した時点を表わし、 X_1 、 X_2 はそれぞれ、変化する以前、変化した以降の説明変数値をもつ説明変数ベクトルを表わす。式(9)では、説明変数値が変化した以降において、取替更新行動が行われる条件付き確率は、その時点での説明変数値にのみ影響を受け、状態の変化があった事そのものは、取替更新行動に直接影響を与えない。そこで、世帯に関する説明変数として、状態を表わす説明変数に加えて、その状態に変化が生じたことを表わす(状態が変化する以前は 0、状態が変化した以降は 1 をとる)ダミー変数をモデルに導入することによって、世帯の状態の変化がそれ以降の自動車取替更新行動に与える影響を明示的にモデルに導入する。また、ある時点での取替更新行動がそれ以降の取替更新行動に与える影響を考慮するために、各取替更新行動が行われたことを表わすダミー変数を、世帯の状態変化を表わすダミー変数と同様に、説明変数としてモデルに導入する。ここでは、最後に行われた取替更新行動のみが次の取替更新行動に影響を与えるものと考え説明変数として用いることとした。

4. 分析に用いるデータの概要

本研究で用いるデータは、低公害自動車の需要予測を目的として、1993 年(Wave1)および 1994 年(Wave2)に米国カリフォルニア州で実施されたパネ

ル調査で得られたものである。Wave1, Wave2 ともに回答した世帯は 2,857 世帯であった。

Wave1 では、その時点での世帯属性と、世帯で現在保有している自動車と過去に保有していた自動車それぞれ 6 台までについて、車種、購入時期、購入時新車か中古車か等について回答を求めている。Wave2 では、Wave1 時点以降の世帯の自動車取替更新行動について、その種類、および時期等について詳細な質問が行われた。また、世帯属性、世帯構成員の属性の変化についても、その時期を含め、回答を求めている。本研究では、Wave1 と Wave2 の間の期間の自動車取替更新行動と、それに影響を与える属性の時間軸上における変化に関するデータを用いて分析を行う。

5. 推定結果の考察

4. で述べた調査で得られたデータのうち、データに不備のない 1,882 世帯についての調査時点間の取替更新行動のデータを用いて推定を行った。推定結果を表-1 に示す。表-1 より、 γ の推定結果から、買い替え、追加購入については正の時間依存性を持つことが統計的に示された。これは、当該自動車の保有期間が長くなるほど買い替えを行う確率が高くなること、および、最後の取替更新行動時点からの経過期間が長くなるほど追加購入を行う確率が高くなることを示している。一方、破棄については $\gamma=1$ に対する t 値が統計的に有意ではなく、時間依存性の存在が確認されなかった。このことは、破棄については、保有自動車の保有期間といった時間依存性を持つ要因よりも、世帯属性や自動車属性等の時間依存性を持たない要因や、事故や故障等の確率的要因が大きな影響を与えていることを示しているものと推測される。

説明変数の推定結果について、表中では、説明変数の推定値が正(負)である場合、取替更新行動間隔が長く(短く)なることを表わし、競合危険の考え方からは、当該取替更新行動が行われる確率が他の取替更新行動に比べて低く(高く)なることを意味している。大人の人数については、大人の人数が多いほど、買い替え行動までの期間が長く、追加購入と破棄までの期間が短くなるという結果が示された。こ

のことは、大人の人数が多い世帯では、買い替えに比べて追加購入や破棄を行う可能性が高くなることを意味している。また、大人の人数が増えた場合には、追加購入の期間が短く、破棄の期間が長くなることが示された。このことは、大人の人数が増えた場合には、新たに加わった大人のために自動車の追加購入を行う可能性が高く、反対に破棄を行う可能性が低くなることを意味しているものと考えられる。反対に、大人の人数が減った場合には、追加購入の期間が長くなることが示されており、大人の人数が減った場合には、追加購入を行う可能性が低くなることを意味しているものと考えられる。

また、他の取替更新行動の影響を表わすダミー変数の推定結果より、他の保有自動車の買い替えが行われた場合には、買い替えおよび破棄の期間が長くなることが示されている。このことから、保有自動車の買い替えが行われた場合には、他の保有自動車の買い替えや破棄を連続して行うことはせず、時期を延期することを意味するものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、時間軸上における世帯の自動車取替更新行動を分析することにより、世帯における自動車保有構造の把握を目指した。その際、生存時間解析手法を適用することによって、取替更新行動の種類および時期について、連続時間軸上で同時に予測することを可能とした。

世帯の自動車取替更新行動を、買い替え、追加購入、破棄からなる競合危険ととらえ、競合危険モデルを用いて自動車取替更新行動の分析を行った結果、複数の取替更新行動間での相互影響を定量的に捉えることが出来た。また、説明変数として、世帯の状態を表わす変数に加えて、世帯の状態に変化が生じ

表一1 推定結果

説明変数	買い替え		破棄		新規購入	
	Coef.	t値	Coef.	t値	Coef.	t値
γ	1.36	5.09 *	0.94	-0.89 *	1.10	2.02 *
定数項	6.15		6.53		5.37	
世帯属性	大人数	0.40	2.23	-0.26	-3.01	-0.23 -2.52
	子供数					-0.13 -2.36
	運転者数	-0.45	-2.40			
	常勤者数	-0.21	-2.51			-0.33 -3.55
	パート勤務者数					-0.31 -2.35
	賃貸住宅ダミー	0.39	2.52	-0.45	-2.64	
世帯属性変化	大人増			0.52	1.59	-0.34 -1.70
	大人減					0.48 2.08
	子供増					0.50 1.72
	賃貸住宅引越	-0.65	-2.26			
自動車属性	バン			0.73	1.88	
	トラック	0.25	1.31	0.26	1.19	
	スポーツカー			0.38	1.33	
	ワゴン車			0.61	1.36	
	中古車	-0.37	-2.97	-0.61	-3.96	
	リース	-1.01	-4.14			
	社有車	-1.30	-4.21	-0.55	-1.30	
取替更新行動	保有自動車数	0.37	3.98	-0.23	-3.16	0.33 3.76
	買替ダミー	0.58	3.11	0.25	1.30	
	破棄ダミー	0.38	2.64			-0.51 -3.90
	新規購入ダミー			0.89	2.33	
$L(C)^{**}$	-1709		-1221		-1511	
$L(\hat{\beta})$	-1671		-1187		-1477	
$-2[L(C) - L(\hat{\beta})](df)$	74.52(12)		67.96(12)		68.74(9)	
世帯数	1882		1882		1882	

* $\gamma=1$ に対する t 値

** γ , および定数項以外の全てのパラメータを 0 とした時の尤度

たことを表わす変数を導入することによって、世帯の状態の変化が自動車取替更新行動に与える影響についても把握することが出来た。

今後の課題としては、説明変数として、内生変数である取替更新行動ダミーを用いていることに関して検討する必要があること、および、低公害自動車の普及台数予測といった政策面での応用を可能とするために、マクロレベルでの社会経済指標等をモデルの説明変数として導入する必要があるものと考えられる。

最後に、本稿は文部省科学研究費国際学術研究(共同研究)の助成を受けた研究成果の一部である。ここに記して感謝の意を表します。

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) 山本俊行・松田忠士・北村隆一：世帯における自動車保有に及ぼす予定要因と予定外要因の影響について，土木計画学研究・論文集，No.14，1997，-投稿中-。