

第 2 章 従来の研究と本研究の位置付け

本章では、世帯の自動車保有・利用行動に関する従来の研究を概観し、本研究での位置付けを行う。2.1 では、従来の自動車保有・利用行動の分析を時間軸及び分析対象の観点から分類する。2.2 では、各々の分析手法を概観した結果を踏まえて本研究での分析手法の方針を述べ、従来の研究における位置付けを示す。

2.1 従来の研究

自動車保有行動は、交通機関選択行動や経路選択行動等の選択行動とは異なり、1 年や数年といった長い期間の中で行動が生起するという特徴を持つ。よって、自動車保有行動の分析を行うにあたり、行動をどのように観測するかによって異なったモデルの構造が用いられている。すなわち、ある時点で観測時点を固定してその時点での自動車保有状態を観測する静的モデル、一定の時間間隔毎に観測することにより各時点での自動車保有状態を観測する動的状態モデル、一定の時間間隔毎、あるいは連続時間軸上での観測により自動車保有状態の更新行動を観測する更新行動モデルである。

交通行動分析手法全体の発展に伴ない自動車保有分析においても静的モデルから動的モデルへの移行が進んでいる。静的モデルに対する動的モデルの優位性については Kitamura (1987) がまとめているように、個人間の「差異」に基づくモデルが個人の行動「変化」を再現出来る保証はなく、行動変化を予測するためにはどのような状況下で個々人がその行動を変化するのかという縦断面調査に基づく動的モデルを用いた方が理論的な妥当性が高い。実際、Goodwin (1993) は自動車保有台数に対する世帯収入の影響を分析し、同一時点内での世帯間の差異に基づく感度と同一個人内の時点間の差異に基づく感度が異なるという知見を得ている。さらに、交通行動モデルは基本的に世帯や個人の意思決定をモデル化するものであり、更新行動の結果としての自動車保有状態をモデル化するよりも更新行動そのものをモデル化の方が自然であり、本質的に自動車保有行動の再現性が高いものと期待される (Kitamura, 1992)。

一方、自動車保有行動は様々な行動要素を含んでおり、個々の分析目的に応じてそれぞれの行動要素に着目した分析が行われてきた。その際、個々の行動要素は非常に密接に関係しており、相互に影響を及ぼしているものの、得られるデータや分析手法の限界によってその他の行動要素を外生的に捉えていることも多い。もちろん複数の行動要素を同時に考慮した分析も行われており、そのような分析では行動間の相互作用がモデル化されている。ただし、複数の行動要素をモデル化するためにはそれに応じて必要となるデータの質量が増える事が問題となる。

以下では、3 つのモデルの構造毎に、各行動要素および行動要素群の分析手法を示す。

2.1.1 静的モデル

静的モデルは 1 時点における自動車保有状態の観測に基いて、個々の個人や世帯間の差異と

自動車保有行動の差異の関係をモデル化することによって自動車保有行動に及ぼす影響を探る分析手法である。初期の自動車保有分析の多くは静的モデルの枠組みによるものである。静的モデルが対象とする主な行動要素は保有台数の選択、保有車種の選択、自動車利用行動の結果としての年間走行距離やトリップ発生頻度の3要素である。当然の事ながらそれぞれは密接に関連しており全てを同時に考慮したモデルシステムも提案されている。ここでは個々のモデル化について示した後、それらを組み合わせたモデルシステムについて示す。

a) 保有台数選択モデル

自動車保有分析のごく初期の段階から保有台数を予測するモデルは数多く構築されてきた (Lerman and Ben-Akiva, 1976; Mogridge, 1978; Tran, 1980)。我が国でもいくつかの研究が行われている (森地他, 1984; 佐佐木他, 1986; 建設省土木研究所, 1988; 小宮・久保田, 1991) 他、近年でも、モデルの構造等に関していくつかの研究が行われている (Bhat and Koppelman, 1993; Pendyala et al., 1995; Bhat and Pulugurta, 1998)。

保有台数選択モデルは、観測時点の世帯の自動車保有台数を被説明変数とし、同じ時点の世帯属性と自動車属性を説明変数とするモデルである。説明変数には、世帯収入の他、自動車保有の費用として自動車購入費用や自動車維持費用、公共交通機関の利用可能性、世帯の就業者数等が有意な要因として導入されている (Train, 1986)。我が国の研究では、佐佐木他 (1986) は世帯のライフサイクルステージを、小宮・久保田 (1991) は駐車場所制約を導入している。ただし、自動車保有の費用は実際には保有車種によって異なるため注意が必要である。Lerman and Ben-Akiva (1976) のモデルでは平均的な費用としてある一定の費用を用いており、他の値を用いた場合にもパラメータの推定値が影響されなかったことにより妥当性を主張している。しかしながら、現在のような同車種中にもバリエーションやグレードをいくつも設けるといったメーカーによるワイド・バリエーション戦略の下では、平均費用の算出は困難である。また、平均価格が一定で車両価格帯が広がった場合等の影響を考慮することが出来ない。ただし、この問題に対しては、保有台数と車種の同時選択行動をモデル化することにより、車種毎の費用を考慮するという方法が取られており、これについては後で述べる。

保有台数選択モデルの定式化には、オーダード・ロジット・モデル、あるいは多項ロジット・モデルが適用される事がほとんどである。これら2つのモデルの間では世帯が自動車保有することによって得られる効用に対する仮設が異なっている。つまり、前者のモデルの場合には、世帯が自動車保有の必要性を潜在的に感じており、その潜在的な必要性が高いほど多くの自動車を保有する、というものである。一方、後者のモデルの場合には、保有台数とは独立に決定される潜在的な必要性といったものは仮定せず、保有しない場合、1台保有した場合、...というように個々の台数を保有した場合に世帯が得られる効用を比較し、最も高い効用が得られる台数を保有する、というものである。Bhat and Pulugurta (1998) は同一のデータに対して両モデルを適用し比較分析を行った結果、多項ロジット・モデルの方が勝っており、個々の台数を保有した場合の効用を比較するという行動仮説の方が妥当性が高いという結論を得ている。

b) 車種選択モデル

車種選択モデルは、世帯が保有する車種を選択肢とし、世帯属性と自動車属性を説明変数とするモデルである。説明変数としては、世帯収入、世帯構成人数、世帯主の年齢、保有自動車数等が世帯属性として、自動車購入費用、自動車維持費用や燃費、乗車定員や重量、車長といった車両サイズを表す指標、車齢、馬力等が自動車属性としてモデルに導入されている (Train, 1978)。

ただし、既に述べたように非常に多くの車種が市場に存在するため、選択肢集合の設定は容易ではない。すなわち、市場に存在する個々の車種をそれぞれ選択肢とする場合には、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 (Ben-Akiva and Lerman, 1985) が成り立たない。また、選択肢数が膨大となるため各選択肢の属性データの用意、及び、推定計算に要する費用が高くなる。個々の車種を選択肢とした分析としては Manski and Sherman (1980)の研究がある。

選択肢間の独立性を確保し、選択肢数を抑えるために、車種を集約したクラスを選択肢とした場合には、選択肢の属性として複数の車種からなるクラスをどのように表すかが問題となる。このような問題に対しては、ネスティッド・ロジット・モデルの考え方にに基づき、クラスに属する個々の車種の効用のログサム変数をクラスの属性として説明変数に用いることが望ましい。しかしながら、実際に個々の車種の効用値を用いてログサム値を計算するには、個々の車種を選択肢とする場合と同様に計算費用が膨大となる。McFadden (1978)はクラスに属する車種数が大きくなるにつれて、ログサム変数の値が以下の式で近似されることを示している。

$$\ln(r_c) + \frac{1}{2} W_c^2 \quad (2.1)$$

ただし、 r_c はクラスに属する車種数、 W_c^2 はクラスに属する車種の効用の分散を表す。モデルの推定時には個々の車種の効用は既知ではないため、車種の個々の属性値の分散を用いることとなる。式(2.1)で表される近似を車種選択モデルに適用した分析としては、Train (1986)の研究がある。

個々の車種を集約するクラスについては、車両サイズによる分類が一般的である (Lave and Train, 1979; Beggs and Cardell, 1980; 建設省土木研究所, 1988; 青島他, 1991; 石田他, 1994)ものの、ブランドをクラスとして設定している事例 (Lave and Bradley, 1980; Chandrasekharan, et al., 1994)もある。これらは、分析の目的によって決定されるものであり、前者においては燃料価格の変化の影響、ガソリン消費量の予測や電気自動車の潜在需要の予測が分析の目的であるのに対して、後者においてはブランドロイヤリティや国産車と輸入車の競合状態等に焦点を当てたものである。

さらに、世帯が保有する全ての自動車ではなく、世帯が保有する最もサイズの小さい自動車

のみを対象としてサイズを選択肢とする車種選択モデルを構築しているケース(Lave and Train, 1979)もある。これは、小さいサイズの自動車の保有世帯が電気自動車への転換の潜在需要を形成するとの認識に基づき電気自動車の需要予測を念頭においたものである。

電気自動車等の需要予測を行うためには、現在、市場に出回っていない電気自動車の、航続距離や充電時間等といった未知の属性の影響についてもモデルに導入する必要がある。よって電気自動車の需要予測等を目的とした研究(Beggs, et al., 1981)では、SP 調査データに基づく分析が行われている。SP データに基づく分析では、提示する代替選択肢数を制限することにより、選択肢間の独立性を保つことが容易である。しかしながら、従来より SP データ一般の信頼性の低さについては数多くの指摘がなされており、車種選択行動についても例外ではないものと思われる。

車種選択モデルの定式化には主にロジットモデルが用いられてきた。通常のロジットモデルでは線形効用関数が用いられており、複数の属性間の補償可能性が仮定されている。もちろん、車種選択行動が補償型の選択構造に基づく保証はなく、Recker and Golob (1979)、Murtaugh and Gladwin (1980)は非補償型の選択構造を仮定した車種選択モデルの構築を行っている。いずれの分析においても世帯が最初に考慮する要因は車両サイズであるという知見を得ている。

c) 走行距離モデル

世帯の自動車利用状況を表す指標として、1 年間や 1 カ月間の走行距離を被説明変数とする走行距離モデルが主に構築されてきた。もちろん、実際の自動車利用行動は日々行われており、走行距離は一定期間内の交通発生選択、目的地選択行動選択、及び交通機関選択行動結果による自動車利用を集計したものである。よって、走行距離モデルはこれらの行動を簡略的にモデル化したものと捉える事が可能である。走行距離モデルを用いることによって、ガソリン価格の高騰や低燃費車両の市場導入による自動車走行距離の変化、走行距離の変化の結果としての燃料消費量の変化を予測することが可能となる。

走行距離モデルの被説明変数としては、世帯内の各保有自動車の走行距離を個別にモデル化する場合、及び、それらの和を求め、世帯の総走行距離をモデル化する場合がある。保有自動車間の走行距離の相互作用が明示的に取り扱えること、及び、車種属性やメインドライバーの属性を説明変数に導入しやすい等によって、ほとんどの分析(Mannering, 1983; Hensher, 1985; Golob, et al., 1996a, 1996b)では各保有自動車の走行距離をモデル化している。その他の有意な説明変数としては、最寄り駅までの距離や所要時間等の公共交通機関の利便性を表現する要因を含む世帯属性が用いられている。

各保有自動車の走行距離をモデル化する場合、当該自動車以外の走行距離を説明変数として用いるため、保有自動車数毎に世帯をセグメント分割し、各セグメント毎にモデルを構築することとなる。例えば、2 台保有世帯は以下の連立方程式で表される。

$$\begin{aligned} VMT_1 &= a_1 VMT_2 + b_1 X_1 + g_1 Y_1 + l_1 Z + e_1 \\ VMT_2 &= a_2 VMT_1 + b_2 X_2 + g_2 Y_2 + l_2 Z + e_2 \end{aligned} \quad (2.2)$$

ただし、 VMT_i は保有自動車 i の走行距離、 X_i は保有自動車 i の属性ベクトル、 Y_i は保有自動車 i のメインドライバー属性ベクトル、 Z は世帯属性ベクトル、 e_i は誤差項を表し、 a_i は未知パラメータ、 b_i, g_i, l_i は未知パラメータベクトルを表す。

e_1, e_2 は独立ではなく互いに相関を持つと考えられるため、誤差相関を考慮可能な推定方法が用いられる。初期の研究 (Mannering, 1983; Hensher, 1985) では 3SLS (three-stage least squares) が用いられていたが、計算技術の発達により、近年の研究 (Golob, et al., 1996a, 1996b) では構造方程式モデル (SEM: Structural Equations Model) が用いられるようになってきている。

また、走行距離が常に正の値を取ることから、走行距離の代わりに走行距離の対数を用いている研究 (Golob, et al., 1996a, 1996b) もある。

さらに、保有自動車が多数の場合には、各自動車を一定の順番に並べる必要がある (保有自動車が 2 台の場合には、どちらの自動車を式(2.2) の $i = 1$ とするかを決定することになる)。順序付けの方法としては車齢等を用いる事も考えられるが、多くの場合、分析者の主観的な基準に頼らざるを得ないため、未知パラメータを全ての保有自動車に対して共通とすることによってこの問題を回避することが多い。

d) 統合モデル

いくつかの研究では、保有台数の選択、保有車種の選択、および走行距離が相互に密接に関連していることを考慮したモデルシステムが提案されている。

保有台数の選択と保有車種の選択を組み合わせたモデルとして、Train (1986) は保有台数の選択を上位レベル、保有車種の選択を下位レベルとするネスティッド・ロジット・モデルを構築している。ネスティッド・ロジット・モデルを適用することにより、保有台数選択モデル構築の際に問題であった平均自動車費用を算出する必要がなくなり、車種選択レベルの効用関数に個々の車種の自動車費用を導入することによって、ログサム変数を通じて保有台数選択に及ぼす自動車費用の影響を考慮可能となる。

一方、保有台数の選択や保有車種の選択と走行距離モデルを統合する際には、前者が離散的選択行動であるのに対して後者が連続的選択行動であることから、離散連続選択モデルを適用した分析 (Train, 1986; de Jong, 1997) が行われている。de Jong (1997) は 0 台、1 台、2 台を選択肢とする保有台数の選択と走行距離の決定を組み合わせた離散・連続選択モデルを構築しており、間接効用関数を以下のように定式化している。

$$\begin{aligned}
U_0 &= \frac{1}{1-a} y^{1-a} \\
U_1 &= \frac{1}{1-a} (y - c_{11})^{1-a} + \frac{1}{b_{11}} \exp(g_{11}Z_{11} + e_{11} - b_{11}v_{11}) \\
U_2 &= \frac{1}{1-a} (y - c_{21} - c_{22})^{1-a} + \frac{1}{b_{21}} \exp(g_{21}Z_{21} + e_{21} - b_{21}v_{21}) + \frac{1}{b_{22}} \exp(g_{22}Z_{22} + e_{22} - b_{22}v_{22})
\end{aligned} \tag{2.3}$$

ただし、 U_i は台数 i の間接効用、 y は世帯収入、 c_{ij} 、 Z_{ij} 、 v_{ij} は i 台保有の場合の自動車 j の自動車費用、メインドライバー属性や世帯属性ベクトル、燃費 (l/km) を表し、 e_{ij} は正規分布に従う誤差項を表す。 a 、 b_{ij} は未知パラメータ、 g_{ij} は未知パラメータベクトルを表す。

ロワの恒等式により、走行距離に関して式(2.3)から以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned}
\ln x_{11} &= a \ln(y - c_{11}) + g_{11}Z_{11} - b_{11}v_{11} + e_{11} \\
\ln x_{21} &= a \ln(y - c_{21} - c_{22}) + g_{21}Z_{21} - b_{21}v_{21} + e_{21} \\
\ln x_{22} &= a \ln(y - c_{21} - c_{22}) + g_{22}Z_{22} - b_{21}v_{22} + e_{21}
\end{aligned} \tag{2.4}$$

ただし、 x_{ij} は i 台保有の場合の自動車 j の走行距離を表す。前述の走行距離モデルと同様に、式(2.3)、(2.4)中のいくつかの未知パラメータは共通と仮定されることも多い。

従来、離散・連続選択モデルは誤差項の相関を考慮した上で、式(2.4)による回帰モデルと式(2.3)による離散選択モデルとして逐次的に推定されて来た。Train (1986) は式(2.3)の効用関数を線形化した上でロジットモデルを用いて逐次的なパラメータ推定を行っている。近年の計算機の計算能力の向上により、de Jong (1997)では効用関数の簡略化なしに、同時推定によって未知パラメータの推定が行われている。

離散連続選択モデルの他、保有台数の選択と走行距離の統合モデルとして SEM を用いたモデル Golob (1998)も構築されている。保有台数は連続変数ではなく離散変数であるため、SEM を用いる際には従属変数の離散性を考慮したパラメータの推定法を用いる必要がある。Golob (1998)は、変数の正規性が成り立たない場合にも有効な ADF-WLS 推定量を用いてパラメータ推定を行っている。

いずれのモデルにおいても、自動車保有と利用の相互作用を明示的にモデルに導入しており、ガソリン価格の変化による自動車保有への影響や車両価格の変化による自動車利用への影響等が的確に把握することが可能である。

2.1.2 動的状態モデル

静的モデルは、自動車保有状態をその時点の属性値によって説明しようとするものであった。つまり、ある時点の自動車保有状態は、それ以前の過去の自動車保有状態とは独立であり、説

明変数の属性値の変化に即時的に対応し、常に均衡状態にあることを暗黙的に仮定していた。しかしながら、個々の世帯では保有自動車の買い替え等は1年や数年といった長い期間の中でも頻繁に行われるわけではない。ある時点の自動車保有状態は反応遅れや状態依存等を含んでおり、過去の自動車保有状態や自動車保有に影響を与える説明変数の過去の属性値もモデルに導入する必要がある。以下では、離散時間軸上での各時点の自動車保有・利用状態を、過去の状態の影響を考慮した形でモデル化する、動的状態モデルについて概観する。

a) 動的保有台数モデル

動的保有台数モデルは、一定時間間隔毎の自動車保有台数を被説明変数とし、各時点の世帯属性と自動車属性を説明変数とするモデルである。時間間隔としては、1年が用いられることが一般的である。説明変数としては、静的モデルと同様の変数が用いられている。ただし、1時点前の自動車保有台数、あるいは1台保有ダミーや2台保有ダミーを説明変数に加えることにより、自動車保有台数の状態依存性を表す。また、1時点前の世帯属性値等を遅れ効果として説明変数に取り入れることもある。Kitamura (1989) は1時点前の値に加えて1時点前からの属性値の変化を表す変数を説明変数に加えて分析を行っており、世帯内の免許保有者数や世帯収入について、1時点前より増えた場合と減った場合では、その効果が異なることを示している。さらに、各時点の誤差項が互いに相関していると仮定することにより、自動車保有に関する世帯間の非観測異質性を表す。

Kitamura and Bunch (1990) は4時点のパネル調査によって得られたデータを用いて、オーダー・プロビット・モデルを適用した動的保有台数モデルを構築している。1時点前の自動車保有台数を説明変数に用いるために、被説明変数として用いられるのは、2時点目から4時点目までの3時点の自動車保有台数である。パラメータ推定の際には、1番最初の時点の自動車保有台数を静的モデルにより推定し、実際の自動車保有台数を推定値で置きかえることにより、動的モデルで問題となる初期値の設定の問題を解消している。

さらに、誤差項を以下のように定式化し、系列相関が時点に依存せず一定と仮定した場合と時点に依存すると仮定した場合の結果を比較している。

$$e(i, t) = a(t)q(i) + U(i, t) \quad (2.5)$$

ただし、 $e(i, t)$ は世帯 i の時点 t の誤差項、 $q(i)$ は世帯 i の非観測異質性、 $U(i, t)$ は世帯 i 、時点 t に独立な誤差項を表し、 $a(t)$ は未知パラメータを表す。 $a(t)$ を時点に依存せず一定とすることにより系列相関の影響が一定であると仮定することとなる。一方、 $a(t)$ を時点に依存し変化すると仮定する場合には、さらに、 $U(i, t)$ の分散についても時点に依存して変化すると仮定した場合と時点に依存せず一定と仮定した場合の比較を行っている。分析の結果より、自動車保有台数に関する強い状態依存性を確認した他、説明変数のパラメータの推定値はモデル間で

頑健であるものの，単純に 1 時点前の自動車保有台数を説明変数として加えるだけのモデルでは，状態依存や系列相関に関して誤った結論を導く可能性があることを示している．

b) 動的自動車利用モデル

動的自動車利用モデルは，一定時間間隔毎の自動車走行距離やトリップ時間等を被説明変数とするモデルである．説明変数や時間間隔は前述の動的自動車保有台数モデルと同様である．Hensher and Smith (1982)は Anderson and Hsiao (1982)による方法を用いて初期値の設定問題についてより厳密な取り扱いをしている他，系列相関の時刻依存性や時点によって変化しない変数と非観測異質性の相関等について複数のモデルを比較検討している．

c) 動的自動車保有・利用統合モデル

動的統合モデルでは，一定時間間隔毎の自動車保有台数あるいは保有車種の選択と，走行距離やトリップ時間，トリップ数等を被説明変数とし，それらを統一的に説明するモデルである．説明変数はこれまで述べた動的保有台数モデルや動的自動車利用モデル等で用いているものと同様の変数である．モデルの構造としては，静的な統合モデルと同様に，離散・連続選択モデル (Manning, 1985; Hensher, 1986; Hensher, et al., 1989) や誤差項の相関を考慮した限定従属変数を含む連立方程式モデル (Kitamura, 1987; Meurs, 1993)，SEM (Golob and van Wissen, 1989; Golob, 1990; van Wissen and Golob, 1992) 等のモデルが用いられている．いずれのモデルにおいても自動車保有と利用の相互作用や誤差相関をモデルに導入しており，Kitamura (1987) は，時刻 t の内生変数 $Y_1(t)$, $Y_2(t)$ ，および外生変数 $X_1(t)$, $X_2(t)$ ，誤差項 $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$ 構成されるモデルシステムについて，変数間の関係を表 2-1 のように分類している．実際のモデルの推定にあたっては，表中のいくつかの関係の存在を仮定したモデルが推定されており，自動車保有台数の選択とトリップ数は独立であるとの知見を得ている．

表 2-1 変数間の関係

	同時的效果	慣性的効果	遅れ効果
外生変数と外生変数	$X_1(t) \leftrightarrow X_2(t)$	$X_1(t) \leftrightarrow X_1(t-\delta)$ $X_2(t) \leftrightarrow X_2(t-\delta)$	$X_1(t) \leftrightarrow X_2(t-\delta)$ $X_2(t) \leftrightarrow X_1(t-\delta)$
内生変数と外生変数	$Y_1(t) \leftarrow X_1(t)$ $Y_2(t) \leftarrow X_2(t)$	-	$Y_1(t) \leftarrow X_1(t-\delta)$ $Y_2(t) \leftarrow X_2(t-\delta)$
内生変数と内生変数	$Y_1(t) \leftarrow Y_2(t)$ $Y_2(t) \leftarrow Y_1(t)$	$Y_1(t) \leftarrow Y_1(t-\delta)$ $Y_2(t) \leftarrow Y_2(t-\delta)$	$Y_1(t) \leftarrow Y_2(t-\delta)$ $Y_2(t) \leftarrow Y_1(t-\delta)$
誤差項間	$\varepsilon_1(t) \leftrightarrow \varepsilon_2(t)$	$\varepsilon_1(t) \leftrightarrow \varepsilon_1(t-\delta)$ $\varepsilon_2(t) \leftrightarrow \varepsilon_2(t-\delta)$	$\varepsilon_1(t) \leftrightarrow \varepsilon_2(t-\delta)$ $\varepsilon_2(t) \leftrightarrow \varepsilon_1(t-\delta)$

ただし， $\leftrightarrow$ は相関関係を表し， $\leftarrow$ は因果関係を表している．また， $\delta > 0$ ．

2.1.3 更新行動モデル

静的モデルや動的状態モデルでは，観測時点の世帯の自動車保有状態をモデル化していたのに対して，更新行動モデルは保有状態の変化をもたらす行動をモデル化するものである．Kitamura (1992)は，更新行動モデルが動的状態モデルより優れている点として，以下のように

まとめている。

- ・自動車市場モデルの要素として自動車の購買，中古車市場への供給，スクラップの需要予測モデルとして用いることが出来る。
- ・更新費用（トランザクションコスト）の論理的整合的な取り扱いが可能である。
- ・更新費用の非対称性（自動車を新たに追加する方が自動車を手放すより費用がかかる）を表現可能であり，それらの更新費用を更新を行わない場合の費用（自動車を維持するための費用は更新する費用より大抵低い）と比較可能である。
- ・自動車保有期間を内生変数として取り扱うことで，自動車保有に関する長期的な意思決定をモデル化することが可能である。
- ・自動車利用を自動車更新に関する意思決定に影響を与える要因として論理的整合的に取り扱うことが可能である。

a) 離散時刻モデル

離散時刻上での自動車保有行動を表す離散時刻モデルでは，パネル調査等による各観測時点間の更新行動の有無およびその種類を被説明変数としてモデル化するものである。

Hocherman et al. (1983)は更新行動を行うか否かの選択を上位レベル，更新行動を行う場合の購入車種を下位レベルとするネスティッド・ロジット・モデルを構築している。対象は更新行動前の時点で0台保有の世帯と1台保有世帯に限られており，更新行動の種類としてはそれぞれ0台保有世帯には新規購入，1台保有世帯には買い替えが考慮されているのみであり，複数台保有については考慮されていない。また，推定に用いたデータは断面調査によるものであり，過去1年間を対象期間として更新行動の有無をモデル化している。よって，時点毎に同一の世帯が選択を繰り返すことによる非観測異質性の影響については全く考慮されていない。

非観測異質性を考慮する方法として，ベータロジスティック分布を用いた分析が行われている（Manski and Goldin, 1983; Berkovec, 1985; Smith, et al., 1991）。ベータロジスティック分布を用いた分析では，各離散時点における更新行動の選択を離散選択モデルで表し，更新行動を行うまでの複数の時点での選択（時点1から観測を始めて時点 t で更新行動を行った場合，更新行動を行わなかった $t-1$ 回の選択と更新を行った1回の選択）を観測したものとして，各時点における選択効用に時点間に共通なベータロジスティック分布に従う非観測異質性を仮定するものである。

ただし，Manski and Goldin (1983) ,Berkovec (1985) では自動車の廃棄のみを取り扱っており，世帯の行動を対象としたモデルというよりは，自動車市場モデルの一要素としてのモデルという側面が強く，世帯間の観測異質性等は考慮されていない。一方，Smith et al. (1991) では，1台保有世帯の買い替え行動のみを対象としており，追加購入や購入を伴わない保有自動車の破棄といった保有台数の増減に伴う行動は考慮されていない。

なお，我が国では，安藤他（1997）が居住地の変更に伴う自動車保有台数の変化を記述するために，増車，変化無し，減車を選択肢として引っ越しに伴う自動車取り替え更新行動の

離散選択モデルを構築している。しかしながら、この分析では、通常のパネル調査のように一定間隔毎の観測を行っているわけではなく、居住地の変更を与件としてモデル化が行われており、自動車保有台数の変化の時期を予測することが出来ない。よって、予測モデルとして用いるには新たに居住地の変更行動をモデル化する必要がある。

b) 連続時刻モデル

離散時刻モデルでは、各観測時点間の更新行動の有無をモデル化していたのに対して、いつ更新行動を行うかという視点から、更新行動の時期をモデル化する方法がある。更新行動時期をモデル化する場合には、離散時刻モデルで問題となった同一世帯からの繰り返し観測の問題が解消されるだけでなく、観測時点を外生的に設定する必要が無く、連続的な時間軸上で更新行動を予測可能となる。もちろん、連続変数としての出力結果は予測結果を分析者が一定の期間毎にまとめることが可能であるため、予測が柔軟に行えるという利点がある。また、各世帯が1年毎に自動車取り替え更新行動の実施を検討するといった恣意的な仮定をおく必要もない。

連続時刻モデルには、主にパラメトリックな生存時間モデル（Hensher and Mannering, 1994）が適用される。自動車取り替え更新行動は買い替え、追加購入、購入を伴わない破棄等、複数の種類からなる行動であり、競合危険モデルの適用が適切であると考えられる。しかしながら、いくつかの分析では競合を仮定せず、単独のハザード関数を用いたモデル化が行われている。

Mannering and Winston (1991)、de Jong (1996)では、世帯を対象とするのではなく個々の保有自動車に着目し、世帯が各々の自動車をどのぐらいの期間保有するかを予測するモデルを構築している。これらのモデルは世帯の全ての自動車取り替え更新行動を表したものではないため、自動車保有に関する基礎的な知見を与えるにとどまっている。実際、Mannering and Winston (1991)はブランドを選択肢とする車種選択モデルと組み合わせることにより、アメリカ市場での国産車と輸入車の競合状態の記述から国内自動車産業の衰退を予測している。

Bunch et al. (1996)は世帯を対象とし、更新行動間の期間を被説明変数とするモデル化を行っている。このモデルは、電気自動車の需要予測のためのモデルシステムの要素として用いられており、更新行動の種類を問わず、更新行動の発生時期のみを予測するものとなっている。よって単独のハザード関数を用いており、更新行動の種類は決定されない。実際、モデルシステムの他の要素として、更新行動の発生を与件とし、買い替えを行うか追加購入を行うかという選択を上位レベル、車種選択を下位レベルとするネステッド・ロジット・モデル（複数保有世帯に対しては買い替え時にいずれの保有自動車を買いかえるかという選択を中位レベルに加えている）を構築しており、更新行動の種類の決定についてはそちらのモデルで考慮する形となっている（Brownstone, et al., 1996）。ただし、このようなモデル化では、買い替えを行う時期と追加購入を行う時期は変わらず、更新行動の種類は更新行動時期に影響を与えないという仮定が置かれている。

一方、競合危険モデルを適用し、更新行動の種類の決定と更新行動時期の決定を同時に取り

扱うモデル化も行われており，Gilbert (1992)は世帯が保有する個々の自動車を対象として，新車との買い替え，中古車との買い替え，購入を伴わない破棄の3つの更新行動の種類を競合危険として取り扱い，更新行動種類の選択とその時期の決定を競合危険モデルによってモデル化している．また，世帯を対象とし競合危険モデルを適用した分析としては，Hensher (1998)の分析がある．Hensher (1998)は，Gilbert (1992)と同様に新車との買い替え，中古車との買い替えを更新行動種類の選択肢とした競合危険モデルを構築している．Gilbert (1992)と異なりいずれの保有自動車を買替えるかという選択を考慮しておらず，世帯の買い替え行動間の期間を予測するものである．そのため，Gilbert (1992)の分析で考慮されていたような個々の自動車属性は説明変数に含まれていない．

2.2 本研究の方針

2.1で概観したように，初期の自動車保有・利用行動分析は主に静的なモデルによって世帯の自動車保有台数，保有車種，年間走行距離等の自動車利用状況を個別に分析するものであった．しかしながら，これらの行動は相互に密接な関係を持っており，1つの行動変化はそれ以外の行動の変化を連鎖的に引き起こすため，他の要素は固定した上で，1つの要素のみを取り出して政策評価を行おうとすることには問題が生じる．このような問題を解決するために各々の行動状態が均衡状態にあるものと仮定した統合モデルが開発されるようになった．統合モデルでは何らかの政策を実施した際に各世帯の自動車保有・利用状態がどのように変化するかを統一的に予測することが可能である．しかし，世帯が常に環境に対して均衡状態にあるとは考えられないこと，さらには時間軸上での「状態」をモデル化するのではなく，「行動」をモデル化の方が様々な要因を論理的整合的に取り扱う事が可能であるとの観点から，動的モデル，さらには自動車取り替え更新行動モデルへと分析手法の発展を遂げている．

本研究では，近年，自動車取り替え更新行動モデルの構築に用いられるようになった生存時間解析手法を適用し，連続時間軸上での取り替え更新行動のモデル化を行う．また，これまでの研究であまり分析されていない自動車利用行動の要素として，世帯内での自動車の配分行動（メインドライバーの決定）を取り上げ，その他の自動車保有・利用行動との相互作用のモデル化を行う．

第3章では世帯内での自動車の配分を与件とした世帯構成員の交通機関選択行動の分析を行い，世帯内の自動車配分行動が直接的な交通需要を引き起こす交通機関選択行動に及ぼす影響を明らかにする．第4章では世帯の車種選択と世帯内での配分行動の同時選択モデルを構築し，自動車配分行動が車種選択行動に及ぼす影響，および車種選択行動が自動車配分行動に及ぼす影響を明らかにする．また，世帯内での配分を考慮した年間走行距離モデルを構築することにより世帯内での自動車の配分が年間走行距離に及ぼす影響を明らかにする．

第5章以降では，生存時間解析手法を用いた世帯の自動車取り替え更新行動モデルの発展を目指した分析を行う．まず，第5章，第6章では世帯の保有する各自動車に着目し，自動車保

有期間のモデル化を行う．第 5 章では自動車保有期間を表す確率分布形について検討を行うとともに，回顧データによる報告漏れを考慮したモデルの推定を行うことにより，断面調査による回顧データの有効な利用方法を提案する．第 6 章ではパネル調査に基づくデータを用いたモデルの推定を行うと共に，将来の自動車保有意向に関するデータを同時に用いることにより，世帯間の非観測異質性をモデルに導入する方法を提案し，どのような世帯に意向と実際の保有行動のずれが存在するかを示す．

第 7 章では，第 5 章，第 6 章の結果を踏まえて世帯の自動車取り替え更新行動をモデル化する．従来の研究では自動車保有期間のモデル化と自動車取り替え更新行動のモデル化は個別に行われており，相互に整合性が取れていなかった．本研究では各自動車の保有期間モデルを内包する形で取り替え更新行動モデルを構築することにより，自動車保有期間の決定と取り替え更新行動の意思決定を統一的に捉えることとなる．さらに，動的状態モデルではその存在が確認されていたものの，生存時間解析手法を自動車保有に適用したこれまでの研究では考慮されてこなかった，自動車取り替え更新行動に影響を与える要因の遅れ効果や変化の非対称性をモデルに導入し，その影響を明らかにする．

第 8 章では，第 4 章で構築した車種・メインドライバー同時選択モデルを第 7 章で構築した自動車取り替え更新行動モデルに組み合わせると共に，我が国の自動車取り替え更新行動に特徴的な車検制度が自動車取り替え更新行動に及ぼす影響を取り入れるためのモデルの拡張を行う．構築したモデルを用いて車検制度の変更に伴う自動車取り替え更新行動変化のシミュレーション分析を行い，モデルの政策評価への適用可能性を検討する．

なお，第 9 章では，これらの分析の結果得られた知見をまとめるとともに今後の自動車保有・利用分析において必要とされる発展の方向について述べる．

第 2 章 参考文献

- Anderson, T. W. and Hsiao, G. (1982) Formulation and estimation of dynamic models using panel data, *Journal of Econometrics*, Vol. 18, pp. 47-82.
- Banister, D. (1978) The influence of habit formation on modal choice – a heuristic model, *Transportation*, Vol. 7, pp. 19-23.
- Bhat, C. R. and Koppelman, F. S. (1993) An endogenous switching simultaneous equation system of employment, income, and car ownership, *Transportation Research A*, Vol. 27A, pp. 447-459.
- Bhat, C. R. and Pulugurta, V. (1998) A comparison of two alternative behavioral choice mechanisms for household auto ownership decisions, *Transportation Research B*, Vol. 32B, pp. 61-75.
- Beggs, S. D. and Cardell, N. S. (1980) Choice of smallest car by multi-vehicle households and the demand for electric vehicles, *Transportation Research A*, Vol. 14A, pp. 389-404.
- Beggs, S., Cardell, S. and Hausman, J. (1981) Assessing the potential demand for electric cars, *Journal of Econometrics*, Vol. 17, pp. 1-19.
- Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Cambridge.
- Berkovec, J. (1985) Forecasting automobile demand using disaggregate choice models, *Transportation Research B*, Vol. 19B, No. 4, pp. 315-329.
- Brownstone, D., Bunch, D. S., Golob, T. F. and Ren, W. (1996) A transactions choice model for forecasting demand for alternative-fuel vehicles, *Research in Transportation Economics*, Vol. 4, pp. 87-129.
- Bunch, D., Brownstone, D. and Golob, T. F. (1996) A dynamic forecasting system for vehicle markets with clean-fuel vehicles. Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol 1, Travel Behavior, Elsevier Science, Oxford.
- Chandrasekharan, R., McCarthy, P. S. and Wright, G. P. (1994) Structural models of brand loyalty with an application to the automobile market, *Transportation Research B*, Vol. 28B, No. 6, pp. 445-462.
- de Jong, G. (1996) A disaggregate model system of vehicle holding duration, type choice and use. *Transportation Research*, Vol. 30B, No. 4, pp. 263-276.
- de Jong, G. C. (1997) A microeconomic model of the joint decision on car ownership and car use, In Stopher, P. and Lee-Gosselin, M. (eds.) *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Elsevier, Oxford, pp. 483-503.
- Gilbert, C. C. S. (1992) A duration model of automobile ownership, *Transportation Research*, Vol. 26B, No. 2, pp. 97-114.
- Golob, T. F. (1990) The dynamic of household travel time expenditures and car ownership decisions, *Transportation Research A*, Vol. 24A, pp. 443-463,.

- Golob, T. F. (1998) A model of household choice of activity participation and mobility, In Gärling, T., Laitila, T. and Westin, K. (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*, Elsevier, Oxford, pp. 365-398.
- Golob, T. F. and van Wissen, L. (1989) A joint household travel distance generation and car ownership model, *Transportation Research B*, Vol. 23B, No. 6, pp. 471-491.
- Golob, T. F., Bunch, D. S. and Brownstone, D. (1996a): 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.
- Golob, T. F., Kim, S. and Ren, W. (1996b) How households use different types of vehicles: a structural driver allocation and usage model, *Transportation Research A*, Vol. 30, No. 2, pp. 103-118.
- Goodwin, P. B. (1993) Car ownership and public transport use: revisiting the interaction, *Transportation*, Vol. 27, pp. 21-33, 1993.
- Hensher, D. A. (1985) An econometric model of vehicle use in the household sector, *Transportation Research B*, Vol. 19B, pp. 303-313.
- Hensher, D. A. (1986) Dimensions of automobile demand: an overview of an Australian research project, *Environment and Planning A*, Vol. 18, pp. 1339-1374.
- Hensher, D. (1998) The timing of change for automobile transactions: competing risk multispell specification, In Ortuzar, J. D., Hensher, D., Jara-Diaz, S. (eds.) *Travel Behaviour Research: Updating the State of Play*, Elsevier, Amsterdam, pp. 487-506.
- Hensher, D. A. and Smith, N. C. (1990) Estimating automobile utilisation with panel data: an investigation of alternative assumptions for the initial conditions and error covariances, *Transportation Research*, Vol. 24A, pp. 417-426.
- Hensher, D. A. and Mannering, F. L. (1994) Hazard-based duration models and their application to transport analysis, *Transport Review*, Vol. 14, pp. 63-82,.
- Hensher, D. A., Barnard, P. O., Smith, N. C. and Milthorpe, F. W. (1989) Modelling the dynamics of car ownership and use: a methodological and empirical synthesis, In the International Association for Travel Behaviour (ed.) *Travel Behaviour Research*, Avebury, Aldershot, England, pp. 141-173.
- Hocherman, I, Prashker, J. N. and Ben-Akiva, M. (1983) Estimation and use of dynamic transaction models of automobile ownership, *Transportation Research Record*, No. 944, pp. 134-141.
- Kitamura, R. (1987) A panel analysis of household car ownership and mobility, 土木学会論文集 , No. 383/IV-7, pp. 13-27.
- Kitamura, R. (1989) The asymmetry of the change in household car ownership and utilization: a panel analysis, In the International Association for Travel Behaviour (ed.) *Travel Behaviour Research*, Avebury, Aldershot, England, pp. 186-196.
- Kitamura, R. (1992) A review of dynamic vehicle holdings models and a proposal for a vehicle

- transactions model, 土木学会論文集, No. 440/IV-16, pp. 13-29.
- Kitamura, R. and Bunch, D. S. (1990) Heterogeneity and state dependence in household car ownership: a panel analysis using ordered-response probit models with error components, In Koshi, M. (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, pp. 477-496.
- Lave, C. A. and Bradley, J. (1980) Market share of imported cars: a model of geographic and demographic determinants, *Transportation Research A*, Vol. 14A, pp. 379-387.
- Lave, C. and Train, K. (1979) A disaggregate model of auto type choice behavior, *Transportation Research A*, Vol. 13A, pp. 1-9.
- Lerman, S. R. and Ben-Akiva, M. (1976) Disaggregate behavioral model of automobile ownership, *Transportation Research Record* 569, pp. 34-51.
- Mannering, F. L. (1983) An econometric analysis of vehicle use in multivehicle households, *Transportation Research A*, Vol. 17A, pp. 183-189.
- Mannering, F. and Winston, C. (1985) A dynamic empirical analysis of household vehicle ownership and utilization, *Rand Journal of Economics*, Vol. 16, No. 2, pp. 215-236.
- Mannering, F. and Winston, C. (1991) Brand loyalty and the decline of american automobile firms, *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, pp. 67-114.
- Manski, C. F. and Goldin, E. (1983) An econometric analysis of automobile scrappage, *Transportation Science*, Vol. 17, No. 4, pp. 365-375.
- Manski, C. F. and Sherman, L. (1980) An empirical analysis of household choice among motor vehicles, *Transportation Research A*, Vol. 14A, pp. 349-366.
- McFadden, D. (1978) Modelling the choice of residential location, In Karlquist, A., Lundqvist, L., Snickars, F. and Weibull, J. (eds.) *Spatial Interaction Theory and Planning Models*, North Holland, Amsterdam, pp. 75-96.
- Meurs, H. (1993) A panel data switching regression model of mobility and car ownership, *Transportation Research A*, Vol. 27A, pp. 461-476.
- Mogridge, M. J. H. (1978) The effect of the oil crisis on the growth in the ownership and use of cars, *Transportation*, Vol. 7, pp. 45-67.
- Murtaugh, M. and Gladwin, H. (1980) A hierarchical decision-process model for forecasting automobile type-choice, *Transportation Research A*, Vol. 14A, pp. 337-348.
- Pendyala, R. M., Kostyniuk, L. P. and Goulias, K. G. (1995) A repeated cross-sectional evaluation of car ownership, *Transportation*, Vol. 22, pp. 165-184.
- Recker, W. W. and Golob, T. F. (1979) A non-compensatory model of transportation behavior based on sequential consideration of attributes, *Transportation Research B*, Vol. 13B, pp. 269-280.
- Smith, N. C., Hensher, D. A. and Wrigle, N. (1991) A discrete choice sequence model: method and an illustrative application to automobile transactions, *International Journal of Transport Economics*,

- Vol. XVIII, No. 2, pp. 123-150.
- Train, K. (1980) A structured logit model of auto ownership and mode choice, *Review of Economic Studies*, Vol. XLVII, pp. 357-370.
- Train, K. (1986) *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics, and an Application to Automobile Demand*, The MIT Press, Cambridge.
- van Wissen, L. and Golob, T. F. (1992) A dynamic model of car fuel-type choice and mobility, *Transportation Research B*, Vol. 26B, No. 1, pp. 77-96.
- 青島縮次郎，磯部友彦，宮崎正樹（1991）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.
- 安藤良嗣，青島縮次郎，伊藤正経（1997）地方都市圏における住宅立地特性が自動車保有に及ぼす影響に関する分析，交通工学，Vol. 32, No. 2, pp. 27-36.
- 石田東生，谷口守，黒川洸（1994）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 - ，日本都市計画学会学術研究論文集，No. 29, pp. 97-102.
- 建設省土木研究所(1988)乗用車の保有構造と車種選択に関する研究，土木研究所報告，Vol. 177.
- 小宮英彦，久保田尚（1991）世帯の自動車保有選択に及ぼす保管場所制約の影響，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 第4部，pp. 68-69.
- 佐佐木綱，朝倉康夫，木村宏紀，和田明（1986）世帯のライフサイクルステージと車保有・利用の関連分析，日本都市計画学会学術研究論文集，No. 21, pp. 439-444.
- 林良嗣，加藤博和，上野洋一（1998）自動車関連税の課税段階の違いによるCO₂の排出量変化のコーホートモデルを用いたライフサイクル的評価，環境システム研究，Vol. 26, pp. 329-338.
- 森地茂，田村亨，屋井鉄雄，金利昭（1984）乗用車の保有及び利用構造分析，都市計画学会学術研究論文集，Vol. 19, pp. 49-54.