

活動・交通行動の変動及び変化に関する研究

カ 石 真

広島大学大学院国際協力研究科博士論文

2010年3月

要 旨

本研究では、活動・交通行動の変動・変化の観点から交通計画の実現過程に付随する不確実性について議論を加える。特に、需要予測や施策評価が、活動・交通行動に関する情報の抽出／集約プロセスを辿ってなされる点を踏まえ、変動の観点から見た施策検討プロセス上に発生し得る不確実性、変化の観点から見た時間軸上に発生し得る不確実性を明らかにすることを目的とする。

従来から、現時点のデータを用いて将来時点の状態を予測・評価することを主たる目的とする交通計画の実現過程には、不可避的に不確実性が伴うことは指摘されてきた。また、その対応として、幅を持たせた予測値の提示が有用であることが指摘されてきた。しかしながら、交通計画の実現過程においてどのような不確実性がどの程度内在しているのかに関する理解は極めて限られたものであり、結果として、不確実性はないものと仮定して計画を進めざるを得ない状況にある。本研究は、情報の抽出／集約プロセスにおいて捉えきれなかった変動・変化が不確実性を生む主要な要因の1つであると捉え、その存在を定量的に示すことを通じて、今後の交通計画の実現過程の改善のための基礎的情報の提供を試みるものである。

本論文は8章で構成される。

第1章では、本研究の背景及び動機付けを明確にするとともに、本研究の目的について述べた。併せて、変動・変化の定義付けを行った。

第2章では、まず、変動・変化を捉えるためのデータ取得に関する既往研究及び変動・変化の把握を試みた既往研究を整理するとともに、現在残されている研究課題を明らかにした。また、既往研究を踏まえて、本研究の位置付けを明確にした。

第3章では、本研究で構築する変動・変化を捉えるためのモデルの基本的な定式化と、モデルの同定方法について述べた。具体的には、まず、非観測要因の影響も含めた活動・交通行動の変動特性解析を狙いとして、線形モデル、離散モデル、離散-連続モデルをマルチレベル分析へ拡張した。この際、活動・交通行動の変動を生じさせる変動要因として、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動の5つを設定した。これによって、例えば、ある一日において観測された交通行動を代表的な行動と仮定することにより生じる変動情報の損失、交通行動の個人間の同質性を仮定するゾーン単位の分析により生じる変動情報の損失等を、様々な行動側面を対象として定量的に把握することができるようになった。加えて、個人変動と空間変動の交互作用から生じる共変動は、個人に固有の空間変動の影響を表すことを指摘し、交互作用を表す新たなランダム変数の導入によって共変動の影響を定量的に把握できることを示した。また、マルチレベルモデルにおける縮約推定量の統計的性質及び現象理解としての有用性を指摘し、本研究での応用場面について述べた。その後、以上に見た、ある断面における変動を詳細に把握するためのマルチレベルモデルの手法を、時間軸上の変化を捉えるために拡張する方法を提案した。また、離散的性質を有する場合の行動変化については、その性質上、Entry point 及びExit point とその周辺を含めた期間を連続的に観測して変化を追う必要があることから、ベイズ更新の概念に基づくモニタリング手法を提案した。最後に、以上述べたモデルを同定するための手法として、近年盛んに利用されつつあるマルコフ連鎖モンテカルロ法による推定方法について整理した。

つづく第4章及び5章では変動に関する実証分析を行った。

第4章では、1999年にドイツのカールスルーエ・ハレにおいて調査された6週間の交通日誌データを用いて、複数の行動側面における活動・交通行動の変動特性を明らかにした。具体的には、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の4つの行動側面を対象とし、各交通現象に内在する全変動を、個人間変動、世帯間変動、空間変動、経日変動、個人間変動に分解した。その後、各種変動要因の観測可能性の検証、共変動（複数の変動要因の交互作用により生じる変動）の影響の検証を行った。以上の分析を通じて、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の4つの行動側面において、個人のある断面(1日)において観測された行動を代表的な行動結果と見なせ、かつ、これらの結果を集計した場合に観測される日単位の集計量が代表性を有すると見なせる行動側面は、交通手段選択のみであることが示唆された。また、自由裁量型の活動において特に個人内変動が高いこと、個人内変動の観測可能性が特に低いこと等が示された。

第5章では、2001年の社会生活基本調査から得られたデータを用いて、実証的に活動種類のセグメントを行い、提案分類とアприオリな分類が捉えることのできる変動割合の差異を明らかにした。活動開始時刻を対象とした実証分析では、提案した手法を用いた場合に観測される変動割合とアприオリなセグメントを用いた場合に観測される変動割合は、3倍以上異なることが示された。その後、活動や交通行動の様式が他の集団とは大きく異なると考えられる、高い活動抵抗を有するサブ集団を抽出するという観点から、活動抵抗に基づく新たな母集団のセグメント手法を提案し、1) 過疎地域における買物活動に対する活動抵抗の高い集団（使用データ：2002年の島根県赤来町のアクティビティダイアリーデータ）、2) 途上国における学校参加に対する活動抵抗の高い集団（使用データ：2004年のダッカのパーソントリップデータ）の抽出を試みた。結果、過疎地域における買物活動参加に対する活動抵抗の高いサブ集団は、「自動車の利用可能性」や「高齢者かどうか」だけでは十分に判別できないこと、学校活動参加に対する活動抵抗の高いサブ集団は、「世帯収入」だけでは十分に判別できないことが示唆された。加えて、セグメントごとに変動構造を特定し、比較する有用性を実証した。具体的には、[自宅内介護者・自宅外介護者・非介護者]×[平日・休日]の計6つのセグメントを設定し、その変動構造の差異を明らかにした。その結果、平日に比べて休日の方が非観測変動は大きいこと、自宅内介護者はICTツールの保有による影響を受けやすいこと等が明らかとなった。

以上の4章及び5章の結果を要するに、行動に内在する変動の情報を抽出／集約する施策検討プロセスにおいては、1日の行動データやゾーン単位の集計モデル、アприオリなセグメントを採用することによって、無視できない量の変動情報を失っていることが定量的に示された。

第6章及び7章において変化に関する実証分析を行った。

第6章では、4時点の繰り返し断面データ(1986, 1991, 2001, 2006年の社会生活基本調査データ)を用いて、過去20年間の(連続的性質を有する)時間利用に関する意思決定の構造的変化を明らかにした。特に、第3章で構築した変動特性解析手法を援用して変化をみることにより、非観測個人間変動及び非観測空間変動の変化についても考察を加えた。その結果、非観測変動の占める割合が高くなる方向に変動構造は変化していることが明らかとなった。このことは、使用する説明変数を所与とした場合、たとえモデル構造内のパラメータ及び観測値を最新のデータに更新したとしても、予測精度は経年的に低下することを意味している。この原因の1つとして、行動の

多様化が起因している可能性が高い。この点を踏まえると、ある時点において特定したモデルを将来時点に拡張する際には、“行動とそれを規定する要素の因果関係は安定しておらず、時間軸上に変化し得る”点を考慮するだけでなく、“行動の多様化により、行動とそれを規定する要素の因果関係は経年的に複雑化している可能性が高い”点を踏まえる必要があることが示唆された。

第7章では、Entry point (Exit point) を持つ変化要因の介入の例として、2008年4月の暫定税率の失効(25.1円/リットル)及び2008年5月の復活、2008年8月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落を挙げ、離散的性質を有する変化に関する実証分析を行った。具体的には、高速道路の路線別月間交通量データを用いて、ベイズ更新に基づく価格弾力性の逐次モニタリングを行い、変化の(非)対称性及び反応の遅れ(lag)/先行(lead)について考察を加えた。結果、暫定税率の失効/復活については、その交通行動への影響は大きいものの、一時的な影響を及ぼすに過ぎないことが明らかとなった。ただし、暫定税率の失効前後に遅れ(lag)/先行(lead)と思われる変化が観測されており、“行動変化は変化要因の介入により瞬時に起こるわけではなく、その前後の期間にまで影響を及ぼす”ことが示唆された。また、都市部の路線においては、2008年8月までのガソリン価格の高騰による一時的な価格上昇によって、たとえその後ガソリン価格がもとの水準に戻ったとしても、高速道路交通量は完全にはもとには戻らない可能性があることが示唆された。このことから、“行動変化は非可逆的性質を有する”ことが示唆された。

以上の6章及び7章の結果を要するに、断面データを用いて将来時点の予測・評価を行う際に必要となる仮説、“行動変化は瞬時に起こる”、“行動変化は対称的かつ可逆的性質を有する”、“行動とそれを規定する要素の因果関係は安定しており、時間軸上に変化しない”は、少なくとも上の実証分析で扱ったケースにおいては棄却された。

第8章では、本研究で得られた研究成果及び今後の研究課題を整理するとともに、結果から示唆される従来の交通計画策定プロセスにおける問題点について考察し、今後の交通行動調査及び政策分析の方向性を展望した。

Abstract

The information of changes in and variations of activity-travel behavior are indeed fundamental sources to tackle the question about how we measure and formulate the behavior in the transportation planning process: how much of the detailed observation and formulation are required, how often and how long we should observe behavior, and what aspects and scales of behavior we can and cannot formulate, are the crucial questions which should be revisited, considering the current environment surrounding transportation planning. The debate is likely to be reignited as increasing the importance of goal-based planning process (e.g., for achieving emission reduction targets), in which the first priority should be the goal, and to achieve this, a number of different types of measures and policies would be introduced from microscopic/short-term policies (e.g., psychological measures) to macroscopic/long-term policies (e.g., land use policies). Another important facet of exploring the changes/variations is that it would become crucially realized that individuals' activity-travel patterns associated with changes of transport systems, urban environments, and socioeconomic circumstances are highly non-stationary and uncertain. Quantitative understanding of such behavioral properties is basic and crucial to improve planning process, particularly to support policy decision-making under uncertainty, including the monitoring of current behavioral states in anticipation of behavioral changes which could be occurred at different levels from microscopic level (e.g., "life-shock event" such as changes of jobs, life cycle stage and home location) to macroscopic level (e.g., development of information technology, aging population, and the diminishing number of children).

Considering the above mentioned things, it can be said that the precision, meaning, and value of the results of demand predictions and policy analyses strongly depend on how we extract and consolidate the information of behavioral variations/changes. In line with this standpoint, this study attempts to explore the changes in and variations of activity-travel behavior, through developing a series of methods and conducting a series of empirical analyses to figure out the properties of variations and changes.

This paper consists of 8 chapters.

In Chapter 1, the research background and purpose of this study were described. The definitions of "variations" and "changes" used in this study were also given in this chapter: "variations" are defined as "fluctuations/dispersions of behavior, observed at a certain time period which is short enough to be assumed that causal probability structures of behavior and its determinants are stable", while "changes" are defined as "structural changes in behavioral mechanisms as time passes (i.e., causal probability structures of behavior and its determinants become different states as time passes)".

Chapter 2 gave a comprehensive literature review that is relevant to understanding variations and changes of activity-travel behavior, including relevant existing surveys. Based on the literature review, what we should further accumulate studies on variations/changes of activity-travel behavior were clarified.

Chapter 3 develops a series of models for capturing behavioral variations/changes. In particular, first, to describe the variation properties of several different behavioral aspects with incorporating unobserved variations observed at several different levels, we developed a multilevel linear model, a multilevel logit model, and a multilevel multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model. In the development

of these multilevel models, five major variation components were introduced, including inter-individual, inter-household, temporal, spatial, and intra-individual variations. This allows us to quantitatively assess, for example, how much information of behavioral variations would be lost along with the spatial aggregation of the behavioral data, and along with assuming that individual behavior changes little from day to day. Additionally, it was also pointed out that co-variations caused by interaction effects between inter-individual and spatial variations indicate individual-specific spatial effects which probably reflect the different perceptions for same spaces among individuals, and such co-variation effects are easily captured by a simple extension of multilevel modeling approach. After that, we also extended these multilevel models to capture the long-term changes of variation properties, by structuralizing variance parameters. Furthermore, to capture the behavioral changes occurred associated with discontinuous/discrete changes of their environment (i.e., the changes which have clear entry (exit) point, such as temporal policy interventions, and changes in the system of taxation), a method for sequential monitoring of behavioral changes based on a Bayesian updating approach was proposed. Finally, as one of the promising methods to estimate the above mentioned models, a Markov Chain Monte Carlo method was briefly described.

In Chapter 4 and 5, several empirical analyses were done, regarding behavioral variations.

Chapter 4 explored variation properties of several behavioral aspects, using a continuous six-week travel survey data collected in the cities of Karlsruhe and Halle in Germany in 1999. In particular, focusing on four different behavioral aspects (i.e., departure time, activity generation, travel mode choice, and time use), the total variation in each behavioral aspect was decomposed into five variation components, i.e., inter-individual, inter-household, temporal, spatial, and intra-individual variations. After that, we verified how much of the variations can be captured by a set of explanatory variables, as well as empirically confirming the existence of co-variation effects. The empirical results uncovered that, compared to other behavioral aspects, travel mode choice behavior could relatively be assumed to be that 1) an individual behavior observed on a typical day can be used to represent behaviors on other days, and 2) an average behavior varies little from day to day at the daily aggregate level. It was also confirmed that especially discretionary activities account for substantially high intra-individual variations, and these intra-individual variations are difficult to capture even after introducing a number of explanatory variables.

In Chapter 5, first, activity classification issues were discussed to verify the role of activity classification in the specification of variation properties. For this purpose, first, we proposed a method for activity classification based on behavioral similarity which is defined by the influencing structure of observed variables on a behavioral aspect of interest, and then conducted a comparison analysis with respect to a priori classification. An empirical analysis was carried out focusing on activity start time, using the data from "Survey on Time Use and Leisure Activities" collected by the Ministry of Internal Affairs and Communications in Japan in 2001. Empirical results showed that the component ratio of observed variations based on proposed activity classification is substantially larger than that based on a priori classification (more than tripled), indicating that the ability to capture the behavioral variations are strongly dependent on what types of activity classifications we employ. Next, population segmentation issues were discussed, especially focusing on how to detect sub-groups who have high threshold of activity

participation. For this purpose, we further developed a time allocation model with endogenous threshold of activity participation, which was derived by assuming that the utility function has both increasing and decreasing marginal utilities. A first empirical analysis was carried out, focusing on detecting the sub-groups who are difficult to participate in school activities in Dhaka city of Bangladesh. And, in a second empirical analysis, the threshold of shopping activity participation was treated in the context of Japanese depopulated rural regions. The results indicated that “common beliefs” for these thresholds (e.g., an individual who has a high threshold for school participation would belong to low-income families, and individuals who are difficult to participate in shopping activities would not have their own cars) seem to be not enough to use as a classification criterion from the viewpoint of detecting high threshold sub-groups. Finally, to confirm the differences of variation properties among different population groups, the comparison analysis was conducted, focusing on Japanese time use behavior of three different population groups: in-home caregivers, out-of-home caregivers, and non-caregivers. The analysis was also carried out with respect to the behavior on weekdays and weekends.

In Chapter 6 and 7, several empirical analyses were done, regarding behavioral changes.

Chapter 6 focused on the long-term changes of cross-sectional variations in Japanese time use behavior. In particular, behavioral changes occurred during past 20 years were analyzed, using multilevel MDCEV model developed in Chapter 3. In empirical analysis, a repeated cross-sectional data from the “Survey on Time Use and Leisure Activities” at 4 points in time (1986, 1991, 1996 and 2001) was adopted. The most important finding from the empirical analysis was that the time use behavior has certainly changed toward increasing unobserved variations effects, given the explanatory variables used in this analysis, i.e., unobserved inter-individual variations become dominant as time passes. This implies that random or stochastic nature in behavior becomes more dominant as time passes, and this would make it difficult to predict the states of activity-travel patterns in long-term future.

In Chapter 7, the behavioral changes occurred associated with discontinuous/discrete changes of their environment were discussed. In this chapter, taking substantial fluctuations of gasoline price observed in Japan through the whole year of 2008 as an example, the spatiotemporal changes of traffic demand elasticities with respect to gasoline prices and economic conditions were analyzed (in Japan, Gasoline prices soared to 185 Yen per liter in August 2008, and then plunged to 106 Yen in January 2009; additionally, temporary tariff rate [25.1 Yen per liter] was outdated in April 2008, and it was restored from May 2008). To detect the spatiotemporal changes of the elasticities, hierarchical Bayesian approach mentioned in Chapter 3 was adopted. The results showed that, while the monthly changes in the average elasticities over all routes were mainly observed before August 2008, the different directions of changes across routes were observed after September 2008 when gasoline price began to fall down. The results also indicated that responses to gasoline price changes might be dependent on the causes of price changes. Furthermore, on urban expressway routes, it was found that once a reduction in traffic demand is successfully attained due to a rising gasoline price, the traffic demand could not be fully recovered even after the actual prices fall again to the original level.

The overall conclusions and possibilities for future study were presented in Chapter 8.

活動・交通行動の変動及び変化に関する研究

Changes in and Variations of Activity-Travel Behavior

目次

第1章 序論

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1.1 研究の動機づけ..... | 1 |
| 1.1.1 交通計画に付随する不確実性..... | 2 |
| 1.1.2 需要予測・施策評価における情報の抽出/集約プロセス..... | 3 |
| 1.1.3 情報の抽出/集約プロセスと変動・変化..... | 4 |
| 1.1.4 変動・変化と交通計画に関する今日的課題..... | 7 |
| 1.2 研究の目的..... | 8 |
| 1.3 変動・変化の定義..... | 8 |
| 1.4 論文の構成..... | 9 |
| 第1章関連参考文献..... | 12 |

第2章 変動・変化に関する研究の動向

| | |
|-----------------------------------|----|
| 2.1 変動・変化を捉えるためのデータ..... | 13 |
| 2.1.1 調査対象と調査期間から見たデータの種類の種類..... | 12 |
| 2.1.1.1 連続時間—離散時間パネルデータ..... | 14 |
| 2.1.1.2 連続時間パネルデータ..... | 15 |
| 2.1.1.3 離散時間パネルデータ..... | 16 |
| 2.1.1.4 繰り返し横断データ..... | 19 |
| 2.1.1.5 マクロ時系列データ..... | 20 |
| 2.1.2 調査上の工夫..... | 21 |
| 2.1.2.1 空間変動へのアプローチ..... | 21 |
| 2.1.2.2 同質なサブグループ抽出のための工夫..... | 22 |
| 2.1.2.3 新たな調査項目の導入..... | 24 |
| 2.2 活動・交通行動の変動に関する既往研究..... | 24 |
| 2.2.1 個人内変動と個人間変動の峻別..... | 25 |
| 2.2.2 その他の変動要因..... | 27 |
| 2.2.2.1 世帯間変動..... | 28 |
| 2.2.2.2 空間変動..... | 28 |
| 2.2.2.3 経日変動..... | 29 |
| 2.2.3 活動・交通行動分析におけるセグメント問題..... | 30 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 2.2.3.1 母集団のセグメント..... | 30 |
| 2.2.3.2 その他のセグメント..... | 31 |
| 2.3 活動・交通行動の変化に関する既往研究..... | 32 |
| 2.3.1 変化の区分（変化の連続性・期間・スケール）..... | 32 |
| 2.3.2 離散的性質を有する行動変化..... | 33 |
| 2.3.2.1 政策の介入及び関連分野の意思決定..... | 33 |
| 2.3.2.2 個人・世帯属性の離散的变化..... | 34 |
| 2.3.3 連続的性質を有する行動変化..... | 35 |
| 2.3.3.1 価値観の変化..... | 35 |
| 2.3.3.2 需要構造の長期的変化..... | 36 |
| 2.4 本研究の位置づけ..... | 36 |
| 第2章関連参考文献..... | 39 |

第3章 変動・変化を捉えるための分析手法

| | |
|--|----|
| 3.1 変動特性解析のためのマルチレベルモデル..... | 48 |
| 3.1.1 多水準に渡る影響要因の存在と分析結果からの示唆..... | 49 |
| 3.1.2 変動構造の仮定..... | 51 |
| 3.1.3 実用的観点からみたマルチレベル分析の有用性..... | 52 |
| 3.1.4 マルチレベルモデルの定式化と変動構造の特定方法..... | 53 |
| 3.1.4.1 線形型モデル（マルチレベル線形モデル）..... | 56 |
| 3.1.4.2 離散型モデル（マルチレベルロジットモデル）..... | 59 |
| 3.1.4.3 離散-連続型モデル（マルチレベルMDCEVモデル）..... | 62 |
| 3.1.4.4 他のモデルのマルチレベルモデルへの拡張について..... | 64 |
| 3.1.5 共変動の特定方法とその意義..... | 64 |
| 3.2 マルチレベルモデルにおける縮約推定量..... | 66 |
| 3.3 変動特性解析の変化の把握への応用..... | 68 |
| 3.3.1 離散時間—連続時間パネルデータの場合..... | 68 |
| 3.3.2 離散時間パネルデータの場合..... | 69 |
| 3.3.3 繰り返し横断データの場合..... | 70 |
| 3.4 ベイズ更新：交通行動変化のモニタリング..... | 72 |
| 3.4.1 ベイズ更新の基礎..... | 72 |
| 3.4.2 マルチレベルモデルのベイズ更新..... | 73 |
| 3.5 マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法..... | 75 |
| 第3章関連参考文献..... | 79 |

第4章 活動・交通行動の変動特性

| | |
|------------------------------|----|
| 4.1 はじめに..... | 82 |
| 4.2 使用データ：Mobidrive データ..... | 83 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 4.2.1 | データの概要..... | 83 |
| 4.2.2 | 各行動側面における使用サンプル及び各種変動要因の定義..... | 83 |
| 4.3 | 活動・交通行動の基礎的な変動特性の特定..... | 84 |
| 4.3.1 | 出発時刻..... | 85 |
| 4.3.2 | 活動発生..... | 88 |
| 4.3.3 | 交通手段選択..... | 91 |
| 4.3.4 | 時間利用..... | 94 |
| 4.3.5 | 各行動側面の変動特性の比較..... | 97 |
| 4.4 | 各種変動要因の観測可能性：出発時刻及び時間利用行動を例に..... | 98 |
| 4.4.1 | 出発時刻..... | 98 |
| 4.4.2 | 時間利用..... | 104 |
| 4.4.3 | 3種類の変動構造の特定方法の比較..... | 110 |
| 4.5 | 共変動の特定：交通手段選択を例に..... | 116 |
| 4.5.1 | 共変動の導入有／無の比較（Nullモデル）..... | 116 |
| 4.5.2 | Fullモデル：説明変数セットの逐次導入..... | 118 |
| 4.6 | 本章のまとめと今後の課題..... | 123 |
| | 第4章関連参考文献..... | 125 |

第5章 活動・交通行動の変動とセグメント問題

| | | |
|---------|--------------------------------------|-----|
| 5.1 | はじめに..... | 126 |
| 5.2 | 活動種類のセグメント..... | 127 |
| 5.2.1 | 行動の類似性に基づく活動分類手法の提案..... | 128 |
| 5.2.2 | 実証分析：活動開始時刻を例に..... | 130 |
| 5.2.2.1 | 使用データ：社会生活基本調査データ（調査票B）..... | 130 |
| 5.2.2.2 | 実証分析結果..... | 130 |
| 5.2.3 | 提案手法の精度検証..... | 134 |
| 5.2.4 | 提案手法の有用性と課題..... | 137 |
| 5.3 | 母集団のセグメント..... | 138 |
| 5.3.1 | 活動抵抗に基づく母集団セグメント手法の提案..... | 139 |
| 5.3.1.1 | 既存の時間配分モデルのレビュー（効用関数形）..... | 139 |
| 5.3.1.2 | 限界効用逓増＋逓減を仮定した新たな時間配分モデルの構築..... | 140 |
| 5.3.2 | 実証分析1：過疎地域の買物活動参加..... | 146 |
| 5.3.2.1 | 使用データ：赤来町（現飯南町）のアクティビティダイアリーデータ..... | 146 |
| 5.3.2.2 | パラメータの推定問題への対処..... | 147 |
| 5.3.2.3 | 実証分析結果..... | 147 |
| 5.3.3 | 実証分析2：発展途上国における学校参加..... | 151 |
| 5.3.3.1 | 使用データ：バングラディッシュダッカのパーソントリップデータ..... | 152 |
| 5.3.3.2 | 実証分析結果..... | 153 |

| | | |
|---------|---------------------------|-----|
| 5.3.4 | 提案手法の有用性と課題 | 157 |
| 5.4 | 母集団セグメントとその変動特性 | 157 |
| 5.4.1 | セグメント間の変動特性比較の意義 | 158 |
| 5.4.2 | 実証分析：自宅内／自宅外介護者の時間利用行動を例に | 158 |
| 5.4.2.1 | 背景：介護者の交通行動理解の必要性 | 158 |
| 5.4.2.2 | 使用データ：社会生活基本調査データ（調査票 A） | 159 |
| 5.4.2.3 | セグメント間の行動差異に関する統計的検定 | 161 |
| 5.4.2.4 | モデルの概要（マルチレベル MDCEV モデル） | 165 |
| 5.4.2.5 | 実証分析結果 | 165 |
| 5.5 | 本章のまとめと今後の課題 | 172 |
| | 第 5 章関連参考文献 | 174 |

第 6 章 連続的性質を有する変化：変動構造の長期変化

| | | |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 6.1 | はじめに | 176 |
| 6.2 | 変動構造の変化を特定する意義 | 177 |
| 6.2.1 | 変化を捉える観点からみた有用性 | 177 |
| 6.2.2 | 政策への示唆からみた有用性 | 178 |
| 6.3 | 実証分析：1986 年～2006 年の時間利用行動の長期変化を例に | 178 |
| 6.3.1 | 使用データ：4 時点の社会生活基本調査データ（調査票 A） | 178 |
| 6.3.2 | モデルの概要（マルチレベル MDCEV モデル） | 180 |
| 6.3.3 | 4 時点のマルチレベル MDCEV モデル推定結果 | 182 |
| 6.3.4 | 時間利用行動の変動構造の長期変化 | 187 |
| 6.3.5 | 地域レベルパラメータ（縮約推定量）の長期変化 | 191 |
| 6.4 | 本章のまとめと今後の課題 | 192 |
| | 第 6 章関連参考文献 | 193 |

第 7 章 離散的性質を有する変化：価格弾力性の逐次モニタリング

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.1 | はじめに | 194 |
| 7.2 | 実証分析：2008 年 1 月から 2009 年 1 月までの価格弾力性の逐次モニタリング | 195 |
| 7.2.1 | 既往研究のレビュー：価格弾力性の安定性 | 195 |
| 7.2.2 | 使用データ | 196 |
| 7.2.3 | ベイズ更新に基づく価格弾力性の逐次モニタリング手法 | 198 |
| 7.2.3.1 | モデルの定式化 | 198 |
| 7.2.3.2 | ベイズ更新 | 200 |
| 7.2.4 | 3 種類の景気動向指数の比較 | 200 |
| 7.2.5 | 2009 年 1 月時点までのデータを用いた推定結果 | 201 |
| 7.2.6 | 価格弾力性及び所得弾力性の逐次更新結果 | 201 |
| 7.2.6.1 | 路線平均の弾力性変化 | 201 |

| | |
|---|-----|
| 7.2.6.2 各路線の弾力性変化..... | 207 |
| 7.3 本章のまとめと今後の課題..... | 209 |
| 第7章関連参考文献..... | 210 |
| 第8章 結論 | |
| 8.1 本研究の成果..... | 212 |
| 8.1.1 変動・変化を捉えるための分析フレームの構築..... | 212 |
| 8.1.2 変動の観点から見た施策検討プロセス上に発生し得る不確実性..... | 213 |
| 8.1.3 変化の観点から見た時間軸上に発生し得る不確実性..... | 215 |
| 8.2 政策分析への示唆..... | 216 |
| 8.2.1 政策指向型の分析..... | 216 |
| 8.2.2 頑健性を考慮した交通政策の評価..... | 217 |
| 8.3 調査論への示唆..... | 218 |
| 8.3.1 データの取得期間・間隔..... | 218 |
| 8.3.2 データの保存・公開・統合..... | 219 |
| 8.4 今後の課題..... | 220 |
| 第8章関連参考文献..... | 222 |
| 謝辞 | 223 |
| 付録 | 224 |

図 一 覧

| | | |
|--------|--|-----|
| 図 1.1 | 予測・評価における不確実性の概念図 | 4 |
| 図 1.2 | 施策検討プロセス上の不確実性の概念図 | 5 |
| 図 1.3 | 時間軸上の不確実性の概念図 | 6 |
| 図 1.4 | 本論文の構成 | 11 |
| | | |
| 図 2.1 | 変動・変化を捉えるためのデータの種類の種類 | 14 |
| 図 2.2 | 変動に対する 2 種類のアプローチ | 25 |
| 図 2.3 | 個人内変動と個人間変動 (Pas, 1987; Hanson and Huff, 1988) | 26 |
| 図 2.4 | 時間軸から見た本研究の対象と各章の位置付け | 38 |
| | | |
| 図 3.1 | 本研究において仮定する変動構造 | 52 |
| 図 3.2 | 一般的な交通施策検討プロセスにおいて着目される変動種類 | 53 |
| 図 3.3 | 変動構造の特定方法 1 | 58 |
| 図 3.4 | 変動構造の特定方法 2 | 58 |
| 図 3.5 | 変動構造の特定方法 3 | 58 |
| | | |
| 図 4.1 | 出発時刻の変動特性 (Null モデル) | 87 |
| 図 4.2 | 活動発生の変動特性 (Null モデル) | 90 |
| 図 4.3 | 交通手段選択の変動特性 (Null モデル) | 93 |
| 図 4.4 | 時間利用の変動特性 (Null モデル) | 96 |
| 図 4.5 | 出発時刻の変動特性 (非観測及び観測変動への分解) | 103 |
| 図 4.6 | 時間利用の変動特性 (非観測及び観測変動への分解) | 109 |
| 図 4.7 | 3 種類の変動構造特定方法の比較結果 | 113 |
| 図 4.8 | 共変動の導入有/無の変動特性の比較 (Null モデル) | 117 |
| 図 4.9 | 共変動を考慮した変動特性 (Full モデル: 自転車) | 121 |
| 図 4.10 | 共変動を考慮した変動特性 (Full モデル: 自動車(運転)) | 121 |
| 図 4.11 | 共変動を考慮した変動特性 (Full モデル: 公共交通) | 122 |
| | | |
| 図 5.1 | クラスターごとの活動開始時刻分布 (活動分類数 5) | 134 |
| 図 5.2 | 総平方和の構成比 (式(5.5)に基づく) | 137 |
| 図 5.3 | パラメータの変化に伴う効用関数の挙動 | 142 |
| 図 5.4 | パラメータの変化に伴う効用関数の挙動 | 143 |
| 図 5.5 | 効用関数上の意図 I_{iSA} と活動抵抗 R_{iSA} の関係 | 144 |
| 図 5.6 | パラメータの組み合わせと限界効用の挙動の関係 | 149 |
| 図 5.7 | 活動抵抗 R_{iSA} の度数分布 (過疎地域の買物活動参加) | 150 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 図 5.8 | 決定木分析による活動抵抗に基づく母集団の分類結果（過疎地域の買物活動参加） .. | 151 |
| 図 5.9 | ダッカにおける学校参加に関する基礎集計結果 | 153 |
| 図 5.10 | 活動抵抗 R_{iSA} の度数分布（ダッカ学校参加） | 155 |
| 図 5.11 | 活動抵抗 R_{iSA} の分布（世帯収入・居住地によるセグメント） | 156 |
| 図 5.12 | 活動抵抗 R_{iSA} の分布（世帯収入・交通手段によるセグメント） | 156 |
| 図 5.13 | 変動特性のセグメント間比較 | 171 |
| | | |
| 図 6.1 | 年齢パラメータの経年変化 | 187 |
| 図 6.2 | 変動構造の経年変化（世帯ケア） | 188 |
| 図 6.3 | 変動構造の経年変化（必須活動） | 188 |
| 図 6.4 | 変動構造の経年変化（買物活動） | 189 |
| 図 6.5 | 変動構造の経年変化（自由活動） | 189 |
| 図 6.6 | 変動構造の経年変化（社会活動） | 190 |
| 図 6.7 | 変動構造の経年変化（移動） | 190 |
| 図 6.8 | 地域レベルパラメータの経年変化（常勤労働者の移動） | 192 |
| | | |
| 図 7.1 | ガソリン価格及び景気動向指数の経時変化 | 198 |
| 図 7.2 | 価格弾力性（左）及び所得弾力性（右）の経時変化（路線平均値） | 207 |
| 図 7.3 | 価格弾力性（左）及び所得弾力性（右）の経時変化（路線別） | 208 |

表 一 覧

| | | |
|--------|---|-----|
| 表 2.1 | 連続時間—離散時間パネル調査及び連続時間パネル調査の例 | 17 |
| 表 2.2 | 活動の時空間フレキシビリティ (in Quebec Travel Activity Panel Survey) | 22 |
| 表 3.1 | 錯誤の種類..... | 50 |
| 表 3.2 | 交通分野におけるマルチレベルモデルの適用事例 | 54 |
| 表 3.3 | 変動要因間の交互作用の例..... | 65 |
| 表 4.1 | 各行動側面における使用サンプル及び各種変動要因の定義 | 84 |
| 表 4.2 | 出発時刻の推定結果 (Null モデル) | 87 |
| 表 4.3 | 出発時刻の変動特性 (Null モデル) | 87 |
| 表 4.4 | 活動発生の推定結果 (Null モデル) | 90 |
| 表 4.5 | 活動発生の変動特性 (Null モデル) | 90 |
| 表 4.6 | 交通手段選択の推定結果 (Null モデル) | 93 |
| 表 4.7 | 交通手段選択の変動特性 (Null モデル) | 93 |
| 表 4.8 | 時間利用の推定結果 (Null モデル) | 96 |
| 表 4.9 | 時間利用の変動構造 (Null モデル) | 96 |
| 表 4.10 | 出発時刻の推定結果 (Full モデル) | 100 |
| 表 4.11 | 出発時刻の変動特性 (Null モデルと Full モデルの比較) | 102 |
| 表 4.12 | 時間利用の推定結果 (Full モデル) | 106 |
| 表 4.13 | 時間利用の変動特性 (Null モデルと Full モデルの比較) | 108 |
| 表 4.14 | 共変動の導入有／無の推定結果 (Null モデル) | 117 |
| 表 4.15 | 説明変数の定義 (逐次導入) | 119 |
| 表 4.16 | 共変動の影響を考慮した交通手段選択モデルの推定結果 (Full モデル) | 120 |
| 表 5.1 | 活動種類をランダム変数として持つマルチレベルモデルの推定結果 | 132 |
| 表 5.2 | クラスター分析による活動分類結果..... | 133 |
| 表 5.3 | 回帰分析結果 (提案手法に基づく活動分類) | 135 |
| 表 5.4 | 回帰分析結果 (太田(2006)に基づくアプリアリな活動分類) | 136 |
| 表 5.5 | 買物活動の遂行に関する交通手段別記述統計量..... | 146 |
| 表 5.6 | w_{iOA} , a_{iOA} , b_{iOA} のパラメータ値と最終対数尤度の関係..... | 147 |
| 表 5.7 | モデルの推定結果 (過疎地域の買物活動参加) | 148 |
| 表 5.8 | モデルの推定結果 (ダッカ学校参加) | 154 |
| 表 5.9 | 時間利用 (活動参加の有無及び配分時間長) の基本統計量 | 160 |
| 表 5.10 | 活動参加に関するカイ二乗検定の結果 (性別及び年齢別) | 163 |
| 表 5.11 | 活動時間長に関する t 検定の結果 (性別及び年齢別) | 164 |

| | | |
|--------|----------------------------------|-----|
| 表 5.12 | 説明変数の基本統計量..... | 168 |
| 表 5.13 | セグメント別マルチレベル MDCEV モデルの推定結果..... | 169 |
| 表 6.1 | 各時点における活動参加の記述統計量..... | 179 |
| 表 6.2 | 各時点における活動時間長の記述統計量..... | 179 |
| 表 6.3 | 使用する説明変数の定義..... | 182 |
| 表 6.4 | 各時点のマルチレベル MDCEV モデルの推定結果..... | 184 |
| 表 7.1 | 使用データ一覧..... | 197 |
| 表 7.2 | 3種類の景気動向指数を用いた推定結果の比較..... | 201 |
| 表 7.3 | 推定結果（2009年1月までの全データを使用）..... | 202 |
| 表 7.4 | 価格弾力性の逐次更新結果..... | 203 |
| 表 7.5 | 所得弾力性の逐次更新結果..... | 205 |
| 表 7.6 | 路線別価格弾力性及び所得弾力性の相関行列..... | 208 |

第1章 序論

1.1 研究の動機づけ

交通計画の実現過程においては、科学的な分析手法に基づく交通需要予測や施策評価が、定量的な予測値・評価値の提示や計画案の客観性を確保する上で、重要な役割を果たしている。昨今の厳しい交通需要予測に対する批判の中においてもなお、需要予測や施策検討のプロセスを体系化し、客観性を確保しようとする行為の重要性は失われないものと考えられる。なぜなら、体系化された分析手法は、需要予測や施策評価を直接行う役割だけでなく、少なくとも形式上、望まれない恣意性を排除する機能を併せ持つと期待されるからである。また、理想的な交通計画のあり方に対して持つ個々人の異質な理念を統一する点においても、客観的な予測手法の持つ役割は極めて大きい。

一方、現時点のデータを用いて将来時点の状態を予測・評価することを主たる目的とする交通計画の実現過程には、不可避免的に不確実性が伴うことが広く知られている。昨今の交通需要予測に対するマスメディアや市民からの批判（例えば本州四国連絡道路における交通量の過大予測）の原因は、まさにこの不確実性への態度、すなわち、あたかも完全であるかのように見える計画案の公表や説明にあることが、既に多くの研究者から指摘されているところである（土木学会、2003）。これらの点を踏まえると、交通計画の実現過程に内在する不確実性の存在を理解し、許容し、施策検討プロセスに組み込み、一般に公開していく必要性は極めて高い。事実、モデルの限界や将来予測における不確実性によって生じる誤差に対しては、「幅を持たせた予測値」を提示する必要性が指摘されており（たとえば、兵藤、2002）、こういった対応によって計画案の社会的受容を高める可能性があることが指摘されている（屋井ら、2006）。問題は、計画策定プロセスにおいてどのような不確実性がどの程度内在しているのかに関する理解が極めて限られている点であり、結果として、不確実性は無いものと仮定して計画を進めざるを得ない状況にあると考えられる。

さて、需要予測モデルは、対象とする交通現象の変動・変化を、観測した変数によって説明しようとする行為がその基盤となる。すなわち、対象とする交通現象をデータに落とし、ある特定の行動仮説に基づきモデルを作成した上で、これら設定した枠組みを用いて捉えられた、対象とする交通現象と他の観測変数との安定した（と仮定される）関係式をもとに予測・評価が行われる。一方で、捉え切れなかった変動・変化の情報が、上述の不確実性が生じる原因の1つであることは明らかであろう。これに関して北村（2003）は、

“「安定」した「状態」を対象に平均的な関係を抽出しようとしてきたこれまでのアプローチには限界があるのではないか（中略）、変化を観測し、変動と変化を明示的に対象とした解析が必要とされているのではないか、そして仮に「安定」した関係が抽出されたとしても、実際の現象がそのような関係式のまわりにどれほどばらついているかを解析することなくして、現象の理解は不可能ではないか (p2)”

と指摘している。この関係式のまわりのばらつきこそ、我々の理解し得る、また知識として蓄積し得る（すなわち一過性でない）不確実性であろうし、現象理解の先にある計画策定プロセスの改善に必要な情報であると考ええる。

1.1.1 交通計画に付随する不確実性

交通計画の実現過程において発生する不確実性については、以下の Friend and Jessop (1976) による 3 種類の不確実性の分類が有用であり、これまでも Hall (1982) や新谷ら (1987) によって Friend and Jessop の定義をもとに交通計画に付随する不確実性の整理が試みられている¹。

- 1) UE (Uncertainty about the related planning Environment): 作業環境に関する不確実性
- 2) UR (Uncertainty about Related decisions): 関連分野の意思決定に関する不確実性
- 3) UV (Uncertainty about Value judgments): 価値観に関する不確実性

UE は、直接関連する意思決定システムの外側にあるすべての事柄についての不確実性、すなわち、主に情報の欠落に由来する不確実性であり、新たな調査の実施、モデルの改良・開発、モニタリング制度の導入などによって緩和し得る不確実性である。

UR は、対象とする計画主体の領域外で行われる意思決定により生じる当該計画への（予期せぬ）影響のことであり、この緩和のためには、複数機関（同一組織内含む）の間での議論や交渉による調整などが不可欠である。たとえば加藤ら (2005, 2006) は、交通計画に関連する主体間の相互関係の記述を通して UR の構造化を試みている。他にも、政党の掲げる政策綱領によって高速道路の料金体系が大きく変更され、結果として過去に行った交通需要推計値から実測値が大きく外れるといった状況が UR に該当する。

UV は、当該計画に直接又は間接に関係をもつ人々の価値判断に関わる不確実性であり、その中心は計画目標が社会的な価値観と整合しているかどうかであるが、異なる価値観を持つ組織・個人間でのコンフリクトをどのように解消するのか、また、時間軸上に変化する人々の価値観にどのように対応するのかにも関連する。

以上の 3 種類の不確実性は、実際、お互いに強く関連し合っている。先に述べた需要予測不信を例にこれらの関連性についてみると、まず、需要予測不信の直接の原因は、需要予測の誤りにあることは間違いなく、この点において UE に強く関連していることは明らかである。では、予測誤差を低減し得る、より発展的な調査手法やモデリング手法によって需要予測の誤りは防げたのであろうか。この点については、残念ながら、手法の善し悪し以前に、計画主体内部における価値観の差異の問題 (UV) が存在するように思われる。Hatzopoulou and Miller (2009) は、カナダにある 20 の交通計画に関連する行政機関に行ったインタビュー調査の結果から、計画の意思決定におけるモデルの有用性は概して信じられていないことを指摘している。具体的には、“モデル

¹ Knight (1921)は、事象の発生する確率分布が既知である「リスク」と、事象の発生する確率分布そのものが分からない「不確実性」とを区別しているが、ここでは両者を区別せずに合わせて不確実性と呼んでいる。

は役に立つが、モデルが無くとも政策の意思決定は行える”，“モデルは役に立つが、意思決定における補助的道具である”，“モデルの結果から意思決定を行うのではない、意思決定がモデルに先立ってあるべき”等が、意思決定におけるモデルへの依存度からみた、行政機関の平均的な見解である (p333)。また Hatzopoulou and Miller は、発展的なモデルの利用によってより良い予測結果が得られることが立証されているという観点から、モデル開発者と実際の計画主体との間に存在する価値観のずれの解消のためには、(発展的なモデルの利用を促進するための) 財源、スタッフの配属、専門的知識、モデルの標準化、組織構成の見直しが必要だとしている。以上の Hatzopoulou and Miller の指摘は、日本においても概ね当てはまると考えられる。また、計画主体以外の意思決定 (UR) の需要予測への影響に関する代表的な例として、2009 年 3 月から始まった休日の高速道路料金の引き下げ (一律 1000 円: 都市部除く) や、2008 年に起こったガソリン価格の高騰・急落が挙げられる。事実、高速道路料金の引き下げによって本州四国連絡高速道路の休日交通量は前年比約 2 倍と大幅に増加している (本州四国連絡高速道路株式会社, 2009)。このような影響は、需要予測が対象とする守備範囲を大きく超えているように思われる。

以上のことを踏まえたとき、不確実性への完全な対応はほとんど不可能に近いと言わざるを得ず、“計画主体は計画環境と関連する意思決定の不確実性に悩みながら意思決定をしつづけないといけない”という Hall (1982) の指摘は今後も大きくは変わらないものと思われる。一方、どのように“不確実性に悩みながら”意思決定を下せばよいのかについては、不確実性に対する基礎認識が更に問われるべきと考える。この基礎認識のための情報提供こそが本研究の狙いとするところである。この目的のもと、本研究では、以下にみるように、情報の抽出/集約プロセスの観点から不確実性を整理することにより、施策検討プロセス上に発生し得る不確実性及び時間軸上に発生し得る不確実性に区分し、変動・変化の観点からみた不確実性の基礎的理解を試みる。

1.1.2 需要予測・施策評価における情報の抽出/集約プロセス

一般的に需要予測や施策評価は、対象とする交通現象に内在する変動・変化の情報を、ある一連の施策検討プロセスに沿って抽出/集約し、いくつかの仮定のもと将来時点の予測・評価に利用することにより行われる。例えば、実際の交通現象をデータに落とし、そのデータを用いてモデルを構築し、時間価値や価格弾力性等の指標を算出するといったプロセスを経ることにより、実現象が持つ膨大な情報は、直感的に理解でき、かつ、計画の判断に利用できる情報に変換される。そして、多くの場合、一度求めた交通行動を規定するパラメータは時間の経過に伴って変化しないという仮定のもと、将来時点の予測値・評価値が決定される。

以上のような情報の抽出/集約プロセスの観点から不確実性の存在を再考すると、不確実性は、施策検討プロセス上において起こり得る不確実性、及び、時間の経過に伴って起こり得る不確実性に大別できると考えられる (図 1.1)。たとえば、一日の行動調査を行うか複数日の行動調査を行うか、伝統的な四段階推定法を踏襲するか発展的なネットワーク統合モデルを採用するか等の選択の影響が、施策検討プロセス上において起こり得る不確実性にあたり、先述の UE に主に関連する。時間の経過に伴って起こり得る不確実性については、たとえば、長期的には人々の生活様式や価値観の変化等に伴う行動変化 (UV に関連) が、短期的には先述したガソリン価格の高

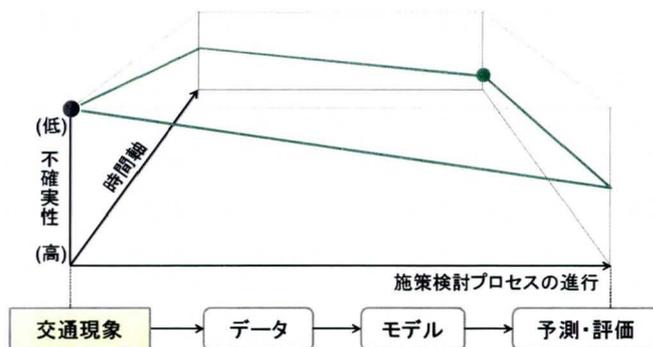


図 1.1 予測・評価における不確実性の概念図

騰・急落等に伴う行動変化（URに関連）が挙げられる。以上の2軸によって不確実性を区分することにより、複雑な不確実性の様相は極めてシンプルなものに変換される（これは、この変換により主に制度面の次元が落ちていることに由来していると考えられる。例えば、上述した、計画主体内部におけるモデルに対する価値観の違いにより生じる不確実性か、そもそもモデル化ができないことに由来する不確実性かという差異はここでは反映されない）。

従来においては、以上の情報の抽出／集約プロセスを経ることによって、予測・評価行為に直接利用できる情報を抽出することに主眼が置かれてきた。言い換えると、新たな調査手法やモデル手法の開発においても、従来手法と比較して「どのような評価軸が新たに加わるのか」や「現況再現性がどの程度改善されるか」に主に興味の対象があり、その対照を成す、用いる手法の限界に焦点を当てた研究の蓄積は非常に限られている。そのため、全体像としての交通行動に内在する不確実性の理解は極めて漠然としており、たとえば、「ゾーン単位の集計によって失われる変動の情報量はどの程度か」、「算出した各種評価指標は経時的にどの程度安定しているのか」等の疑問に対して定量的な回答は十分になされてこなかった。このことが、結果として、不確実性は無いものと仮定して計画を進めざるを得ない状況を生み出しているものと考えられる。

1.1.3 情報の抽出／集約プロセスと変動・変化

上に見た、施策検討プロセス上において起こり得る不確実性、及び、時間の経過に伴って起こり得る不確実性は、前者は、ある断面における変動の情報をどれだけ効率よく集約できるかという問題として、後者は、行動を規定する因果構造が時間軸上にどの程度安定しているか（変化しないか）という問題として捉えることができる。この観点から見ると、上述したように、不確実性は無いものと仮定して計画を進めざるを得ない状況にある一方で、近年、情報の抽出／集約プロセスに内在する問題点に関していくつかの重要な指摘がなされてきている。

1点目として、Pas (1987) による施策検討プロセス上における情報の抽出／集約プロセスにおける問題点の指摘が挙げられる。Pas は、交通現象に内在する非観測要因の影響も含めた全変動を、個人間変動と個人内変動に分解し、パーソントリップ調査に代表されるような1日の交通行動調査によって得られる断面データに基づくモデル同定の脆弱さを指摘している。ここで、非観測要因の影響を考慮することは、情報の抽出／集約プロセスにおいて捉え切れず、従来においては捨

てられてきた変動の情報を一たとえ予測・評価行為に直接利用できないとしても一拾うことを意味する。具体的には、Pas (1987) はトリップ発生頻度の全変動のうちの約 50%が個人内変動であることを示している。また、Pendyala (1999) は移動時間や移動距離、出発・到着時刻においても同様の傾向が観測されることを指摘している。より詳細なレビューは第 2 章において行うが、これらの既往研究から得られる施策検討プロセス上における情報の抽出/集約プロセスへの示唆は主に以下の 2 点である。

- 1) 交通現象を観測する際、1 日の交通行動データを抽出した時点で、(対象とする交通現象に依存するが) 実際の交通現象が持つ変動の約 50%は自動的に除去される (図 1.2 (a))。
- 2) 仮に複数日の行動データを取得したとしても、個人内変動を捉えることのできるモデル構造を採用 (開発) しなければ、結局のところ、個人内変動の影響は予測・評価に反映されない (図 1.2 (b))。

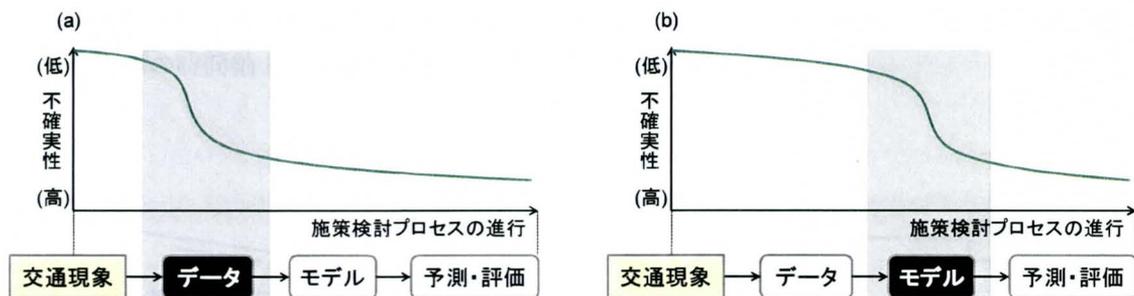


図 1.2 施策検討プロセス上の不確実性の概念図
 ((a) 交通現象 → データ; (b) データ → モデル)

以上の 2 点を踏まえると、施策検討プロセス上における情報の抽出/集約プロセスについては、各段階を個別に議論するよりは、各段階をまたぐ包括的な議論が必要であると考えられる。

2 点目は、時間の経過に伴って生じる変化に関する研究である。頻繁に利用されている断面データは、交通行動の“変化”を捉える情報を何ら有していない。そのため、断面データを用いて構築されるモデルを用いて将来時点の予測・評価を行う場合、以下の 3 つの仮説が成立している必要がある (Kitamura, 1990)。

仮説1 行動変化は瞬時に起こる。

仮説2 行動変化は対称的かつ可逆的性質を有する。

仮説3 行動とそれを規定する要素の因果関係は安定しており、時間軸上に変化しない。

仮に上の 3 つの仮説が正しい場合、図 1.1 に示した時間軸上に発生する不確実性は、ある時点で構築したモデルをそのまま適用することで対応できることを意味する。一方、これら 3 つの仮説が成り立たない可能性が高いことが、既に数多くの研究者によって指摘されている (2 章にて詳述)。具体的には、仮説 1 については、変化の存在が既知の場合には変化に先だつて行動変化を

起こす (lead) こともあれば、その反対に、変化を起こすための金銭的、心理的なコストや行動の惰性等による変化に対する抵抗によって反応の遅れを起こす (lag) ことが指摘されている。例えば、ガソリン価格の高騰によって、瞬時に燃費の良い自動車への買い替えや公共交通への手段転換が行われるわけではない。仮説 2 については、習慣的行動や行動の惰性、累積効果が存在する場合においてより顕著に成り立たなくなる。例えば、高騰したガソリン価格が再び急落したとしても、買い換えた自動車を以前利用していた自動車に買い戻すわけではない。これらのことを踏まえると、例えばガソリン価格の高騰、高速道路料金の引き下げ等、関連分野の意思決定が一時的なものに過ぎないとしても、それが将来に渡って影響を及ぼすような構造的な変化を生じさせる可能性がある。仮説 3 については、先の 2 つの仮説が成り立たない場合、既に成立しないことは明らかであるが、好みや価値観の変化によって生じる因果構造の変化の観点から仮説 3 によって新たに加わる。先の 2 つの仮説は、ある Entry point (Exit point) を持つ施策の実施や環境の変化に対する行動変化に対する仮説であり、離散的な性質を有していたのに対して、仮説 3 は連続的に生じ続けているであろう変化に対する仮説といえる。例えば、土地利用の変化や技術革新等により、行動を規定する因果構造は連続的に変化していると考えられる。以上の連続的及び離散的性質を有する際の時間軸上の不確実性の概念図を図 1.3 に示す。

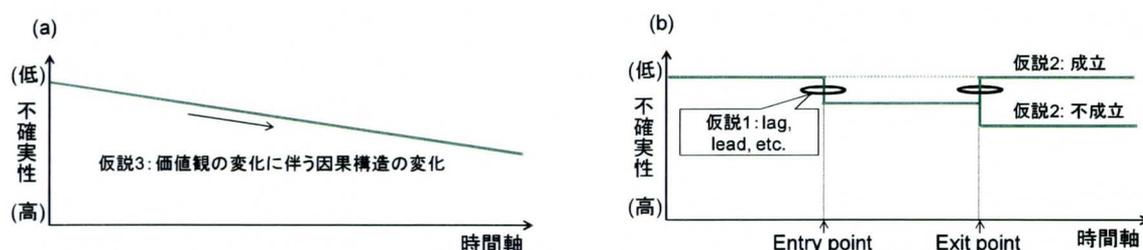


図 1.3 時間軸上の不確実性の概念図

(a) 連続的な性質を有する場合; (b) 離散的な性質を有する場合)

以上を踏まえると、時間軸上の行動変化については、少なくとも Kitamura (1990) が指摘した 3 つの仮説の成立可能性を検証し、仮に成立しない場合、どの程度の不確実性が発生し得るのかを把握しておくことが重要であると考えられる。

以上にみたように、行動の変動・変化の情報は、「どのように“不確実性に悩みながら”意思決定を下せばよいのか」に関する基礎的情報を有すると考えられる。また、社会的不信の解消や幅を持たせた予測値の提示の重要性を踏まえると、採用するフレームによって「何ができるのか」だけでなく、「何ができないのか」を把握し、現状に丁寧に向き合うことが求められる。言い換えると、どういった種類の変動情報を捉えるモデルを利用し、どのような仮定のもとで将来時点の予測に利用しているのか、また、その際に採用したモデル及び将来時点の予測への拡張にどの程度の限界があるのかを明らかにしておく必要がある。

1.1.4 変動・変化と交通計画に関する今日的課題

活動・交通行動の変動及び変化を詳細に理解する重要性は、上述の不確実性の議論のみに留まるものではないと考える。人口減少下での需要予測・施策評価手法の開発、老朽化が予想される各種インフラの維持・管理費用増大を考慮した公的資金の配分方法、温室効果ガス削減に向けた各種政策の立案等、交通計画を取り巻く社会情勢は歴史的な転換期にある。

例えば、少子高齢化に伴う人口減少下の時代においては、需要が増加から減少に転じる変曲点を含む状況下での需要予測・施策評価が必須となるが、このような社会情勢の構造的な変化を取り扱う手法は十分に確立されているとは言い難い（兵藤, 2002）。この原因の一端は、これまでの予測手法において変動と変化を混同して扱う点にあると考えている。すなわち、ある断面における「変動」の情報を用いて記述される関係式をもとに、人口増加を前提としたトレンド型の予測によって「変化」について推論するという従来型の手法は、本質的に社会情勢の構造的な変化を取り扱うものではない。さらに、人口減少下において要請される政策が、インフラ整備に代表される交通容量の確保から、生活の質的側面の向上へと移行することを踏まえるなら、「変動」と「変化」を混同する巨視的なトレンド型の予測ではなく、人口減少下における各地域の社会構造の変化そのものを観測することが求められる。例えば、人口減少が一足早く生じた中山間地域における交通問題の議論は、人口減少そのものよりも、減少によって生じた疎なソーシャルネットワークの中で、どのように移動手段を確保し、生活の質を維持していくかの議論が極めて重要となる。このような構造的な変化そのものの把握が、現在の社会情勢の下では少なからず重要になると考えられる。

加えて、旧来の巨視的な分析では、現在の施策立案に要求される分析スケールに一致しない場合が多々あるものと考えられる。例えば、自転車の利用促進による低炭素型都市の実現においては、自転車道の整備状況を含めた極めてミクロな空間スケールでの個々人の移動実態の把握が必要であるとともに、年齢・自転車の保有状況などの個人属性の影響、更には土地利用の再編による物理的な意味での移動可能性の創出等、異なるスケールを持つ各種要因を同時に扱う必要性が高い。また、これらの異なるスケールの施策を組み合わせた総合的な施策の効果を評価する必要性が高まるものと考えられる。このような状況下においては、実際に生じている交通現象の（異なるスケールを持つ各種要因から構成されるであろう）変動構造を包括的に捉えておくことが極めて重要となる。さらに、政策分析に要請される評価の期間が長期であればあるほど、ある断面において観測された変動構造が時間軸上に変化する状態を把握しておくことが重要になるものと考えられる。例えば、個人内変動の存在が示唆する文脈要因の交通行動への影響を考えたとき、ICT ツールの発展をはじめとする各種技術の発達の影響は極めて大きいものと予想される。このような時間軸上に生じる変化を正確に評価するためには、やはり、ある断面における「変動」の情報を「変化」と読み替える従来手法では大きな困難が伴うと考えられる。さらに、経済状況の急変や石油価格の急激な高騰・急落等、社会情勢の変化は極めて短期間で起こり得るものであることを踏まえるなら、交通行動を規定する各種影響要因が安定しているという仮定は常に崩れる恐れがあることを念頭に置き、変化に備えたモニタリングを実行することが肝要であると考えられる。

1.2 研究の目的

以上の問題認識に基づき、本研究では、活動・交通行動に内在する様々な変動・変化の存在を明示的に示すための枠組みを構築し、いくつかの実証分析を通して、どのような種類の変動・変化がどの程度実際の行動に内在しているのかに関する知見を蓄積することを目的とする。具体的には、大別して以下の3点について検討することを目的とする。

1. 変動・変化を捉えるための分析フレームの構築
2. 変動の観点から見た施策検討プロセス上に発生し得る不確実性の把握
3. 変化の観点から見た時間軸上に発生し得る不確実性の把握

以上の目的を達成するために、まず、連続、離散、離散-連続各々の行動側面における変動を捉えるための分析手法、連続的及び離散的な性質を有する変化を捉えるための分析手法を提案する。また、活動・交通行動に内在する変動は、採用するセグメント（活動種類のセグメントや母集団のセグメント）にも依存することから、セグメント問題を取り扱うための分析手法についても検討する。その後、データの利用可能性を考慮しながら、それぞれの場面において重要であろうと思われる現象を対象とした実証分析を行い、提案手法の有効性を明らかにするとともに、結果から得られる従来の交通計画策定プロセスに対する示唆を整理し議論を加える。

1.3 変動・変化の定義

本研究では、「時間軸上のある断面において観測される行動のばらつき・ゆらぎ」を変動、「時間の経過に伴い、行動とそれを規定する要素の因果構造が異なる状態になること」を変化と定義する。この定義は、2008年に改訂された「交通工学（飯田&北村, 2008）」に定義されている変動・変化の定義²と本質的に同一である。変動は、例えば出勤時刻の平均値は一定であるが、日々の出勤時刻がその平均値の近くで揺らいでいる現象を指す。変化は、例えば職業の変更などによって出勤時刻の平均値そのものが異なる状態になることを指す。

本研究では、変動の定義にある「時間軸上のある断面」を1年程度と仮定し、Entry point (Exit point) を持つ変化要因の介入がない限り、短期的には行動の変化は生じないものと仮定する。すなわち、行動とそれを規定する要素の因果構造が安定していると見なし得る期間のことを「時間軸のある断面」とする。ただし、Entry point (Exit point) を持つ変化要因の存在が明らかな場合については、変化は生じ得ると考える。本研究では、このような Entry point (Exit point) を持つ変化を“離散的性質を有する変化”、明確な Entry point (Exit point) を持たない変化を“連続的性質を有する変化”と呼称し、両者を区別する。

²変動：交通行動のある側面に着目するとき、それが時間の経過に伴いある状態から他の状態へ遷移すること。
変化：交通行動の状態を規定する確率構造が、時間の経過に伴い変化すること。

1.4 論文の構成

本論文は、8章で構成される（図1.4）。

第2章では、まず、変動・変化を捉えるためのデータ取得に関する既往研究及び変動・変化を捉えるための方法論に関する既往研究を整理するとともに、現在残されている研究課題を明らかにし、本研究の位置づけを明確にする。

第3章では、本研究で構築する変動・変化を捉えるためのモデルの基本的な定式化と、モデルの同定方法について述べる。具体的には、まず、非観測要因の影響も含めた活動・交通行動の変動特性解析を狙いとして、線形モデル、離散モデル、離散-連続モデルをマルチレベル分析へ拡張する。また、合わせて他のモデル構造のマルチレベル分析への拡張についても検討を加える。この拡張によって、交通現象に内在する様々な変動要因の分解、および、各種変動の観測可能性の検証が可能となる。次に、マルチレベルモデルにおける縮約推定量の統計的性質及び現象理解としての有用性を指摘し、本研究での応用場面を述べる。その後、上に述べた変動特性解析の、連続的性質を有する行動変化の把握への応用について述べる。また、離散的性質を有する場合の行動変化については、その性質上、Entry point 及び Exit point とその周辺を含めた期間を連続的に観測して変化を追う必要があることから、ベイズ更新の概念に基づくモニタリング手法を提案する。最後に、以上述べたモデルを同定するための手法として、近年盛んに利用されつつあるマルコフ連鎖モンテカルロ法による推定方法について述べる。

続く第4章から第7章までは、実証分析となっている。第4章及び5章において変動に関する実証分析を、第6章及び7章において変化に関する実証分析を行う。

第4章では、1999年にドイツのカールスルーエ・ハレにおいて調査された6週間の交通日誌データを用いて、複数の行動側面における活動・交通行動の変動特性を明らかにする。具体的には、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の4つの行動側面を対象とし、各交通現象に内在する全変動を、個人間変動、世帯間変動、空間変動、経日変動、個人間変動に分解する。その後、各種変動要因の観測可能性の検証、共変動（複数の変動要因の交互作用により生じる変動）の影響の検証を行う。以上の分析を通じて、データ取得段階及びモデル作成段階における既存の交通施策検討プロセスの問題点について議論を加える。

第5章では、2001年の社会生活基本調査から得られたデータ（活動種類が自由記述式で回答）を用いて、実証的に活動種類のセグメントを行い、提案分類とアприオリな分類が捉えることのできる変動割合の差異を明らかにする。次に、活動や交通行動の様式が他の集団とは大きく異なると考えられる、高い活動抵抗を有する集団 (Special population groups) を抽出するという観点から、活動抵抗に基づく新たな母集団のセグメント手法を提案し、1) 過疎地域における買物活動に対する活動抵抗の高い集団（使用データ：2002年の島根県赤来町のアクティビティダイアリーデータ）、2) 途上国における学校参加に対する活動抵抗の高い集団（使用データ：2004年のダッカのパーソントリップデータ）の抽出を試みる。加えて、少子高齢化に伴う介護者の急増を背景として、自宅内/自宅外介護者、介護する必要のない者の3つの母集団セグメントのもと、変動特性の比較分析を行い（使用データ：2006年の社会生活基本調査データ）、セグメントを通じた変動理解の政策的意義について議論する。

第6章では、4時点の繰り返し断面データ(1986, 1991, 2001, 2006年の社会生活基本調査データ)を用いて、過去20年間の(連続的性質を有する)時間利用に関する意思決定の構造的変化を明らかにする。特に、第3章で構築した変動特性解析手法を援用して変化をみることにより、非観測個人間変動及び非観測空間変動の変化についても考察を加える点が特徴である。これによって、時間利用の観点からみた地域間格差の推移や、導入した説明変数群で説明されない確率的な変動の時間軸上の増減を明らかにすることができる。

第7章では、Entry point (Exit point) を持つ変化要因の介入の例として、2008年4月の暫定税率の失効(25.1円/リットル)及び2008年5月の復活、2008年8月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落を挙げ、離散的性質を有する変化に関する実証分析を行う。具体的には、高速道路の路線別月間交通量データを用いて、ベイズ更新に基づく価格弾力性の逐次モニタリングを行い、変化の(非)対称性及び反応の遅れ(lag)/先行(lead)について考察を加える。

第8章では、本研究で得られた研究成果及び今後の研究課題を整理するとともに、結果から示唆される従来の交通計画策定プロセスにおける問題点について考察する。

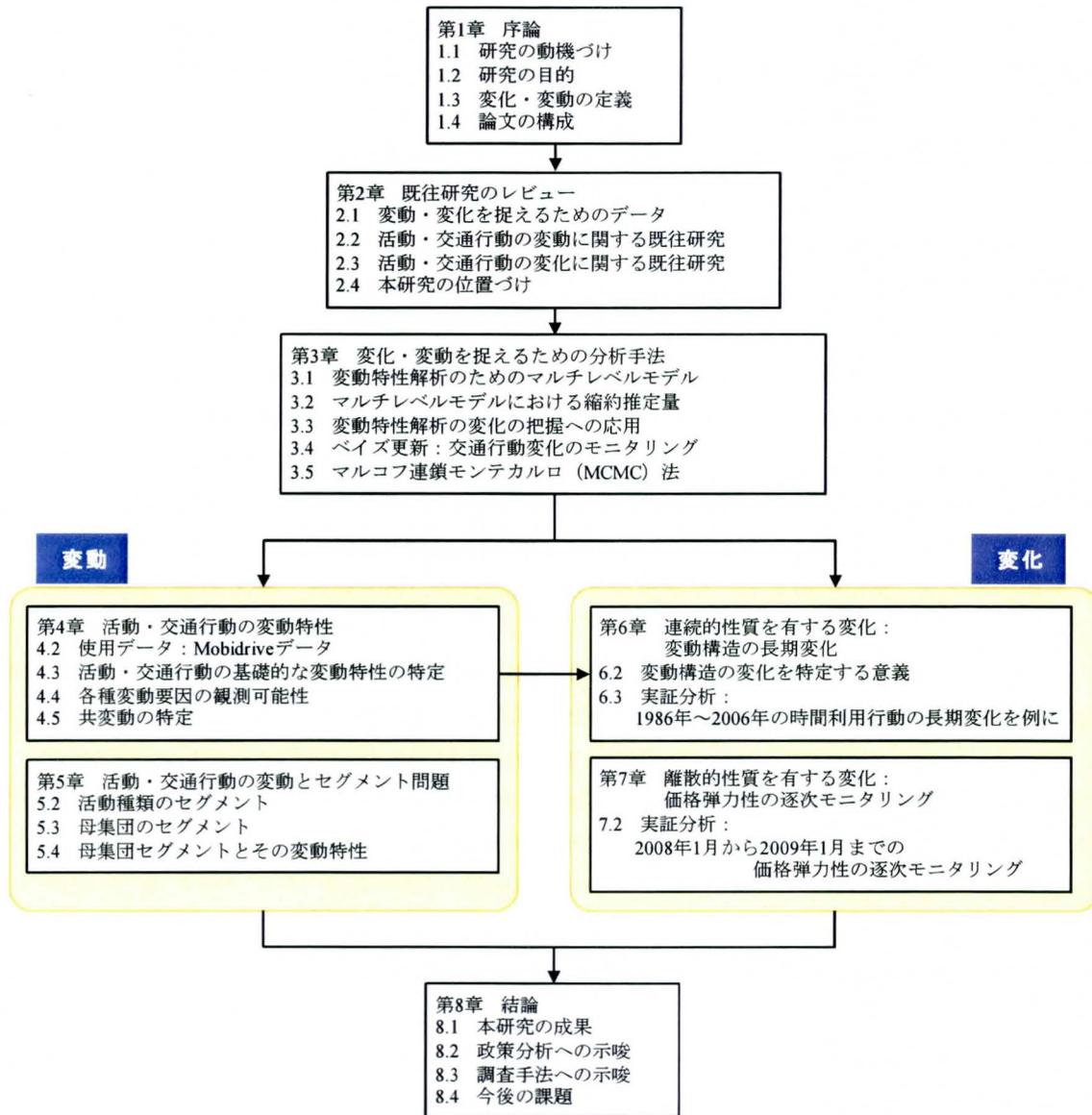


図 1.4 本論文の構成

第1章 関連参考文献

- 1) 飯田恭敬 (監修), 北村隆一 (編著): 交通工学, オーム社, 2008.
- 2) 加藤浩徳, 城山英明, 中川善典: 広域交通政策における問題把握と課題抽出手法 : 関東圏交通政策を事例とした分析, 社会技術研究論文集, Vol. 3, pp. 214-230, 2005.
- 3) 加藤浩徳, 城山英明, 中川善典: 関係主体間の相互関係に着目した広域交通計画におけるシナリオ分析手法の提案, 社会技術研究論文集, Vol. 4, pp. 94-106, 2006.
- 4) 北村隆一: 変動についての試行的考察, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, pp. 1-15, 2003.
- 5) 交通需要予測研究会: 交通計画における予測の事後評価に関する研究, トヨタ財団助成研究報告書 (研究代表者: 新谷洋二), 1987.
- 6) 土木学会: 特集: 交通需要予測, 土木学会誌, Vol. 88, No. 7, pp. 5-40, 2003.
- 7) 兵藤哲朗: 交通需要予測の課題と展望-新しいデータ, 新しいモデル, そして需要不信-, 交通工学, Vol. 37, No. 5, pp. 15-21, 2002.
- 8) 本州四国連絡高速道路株式会社: 高速道路料金引下げ (休日上限 1,000 円) 前後の交通量の状況 (速報 1), 2009 (URL: www.jb-honshi.co.jp/news/pdf/090320news-1.pdf).
- 9) 屋井鉄雄, 福田大輔, 根橋和也: 交通需要予測不信を巡る市民意識の分析, 土木学会論文集, Vol. 62, No. 1, pp. 131-144, 2006.
- 10) Friend, J. K., Jessop, N.: Local Government and Strategic Choice, 2nd edition, 1976.
- 11) Goodwin, P.: The end of equilibrium, in T. Gärling, T. Laitila and K. Westin (eds.) Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling, Elsevier, Amsterdam, pp. 103-132, 1998.
- 12) Hall, P.: Great Planning Disasters, University of California Press, 1982 (抄訳, 太田勝敏, 永井護他: 計画の失敗, 日交研シリーズ A-97, 付録 A-2, 1986).
- 13) Hanson, S., Huff, J. O.: Systematic variability in repetitious travel, Transportation, Vol. 15, pp. 111-135, 1988.
- 14) Kitamura, R.: Panel analysis in transportation planning: An overview, Transportation Research A, Vol. 24, pp. 401-415, 1990.
- 15) Knight, F. H.: Risk, Uncertainty, and Profit, 1921 (reprinted by University of Chicago Press, 1971).
- 16) Pas, E. I.: Intrapersonal variability and model goodness-of-fit, Transportation Research Part A, Vol. 21, pp. 431-438, 1987.
- 17) Pendyala, R. M.: Measuring day-to-day variability in travel behavior using GPS data, Final Report DTFH61-99-P-00266., FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C. , 1999 (URL: <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/gps/index.html>).

第2章 変動・変化に関する研究の動向

本章では、変動・変化に関する既往研究を概観し、本研究の位置付けを明らかにする。具体的には、2.1において変動・変化を捉える際に必要となるデータについて整理する。2.2では変動に関する既往研究について、2.3では変化に関する既往研究について整理する。最後に2.4において概観した既往研究を踏まえて本研究の位置付けを示す。なお、方法論的な観点からの既往研究の整理は3章において適宜行うこととし、ここでは方法論に関するレビューは最小限に留める。

2.1 変動・変化を捉えるためのデータ

これまで、活動・交通行動の状態を把握するためのデータとして、パーソントリップデータに代表されるような横断(断面)データ (cross-sectional (single period) data) が頻繁に用いられてきた。しかしながら、第1章において述べたように、ある時点における交通行動を切り抜いた断面データは、交通行動の“変化”に関する情報を何ら有していないことは明らかである。また、“変動”を捉える観点からも、断面データからは、個人内変動と個人間変動を峻別することができない点が問題となる (Hanson and Huff, 1986)。例えば、仮に断面データから“10%の人々がバスを利用する”という結果が得られたとしても、a) 10%の人々が繰り返しバスを利用するのか、b) 全員が10%の確率でバスを利用するのかについては識別できない (Hanson and Huff, 1988a)。両者の政策への示唆の差異は極めて大きく、例えば公共交通利用の機会平等の観点からは、前者と後者で正反対の示唆を得ることとなる。

以上のような問題点から、複数日及び複数期間の交通行動を対象とする調査が数多く行われてきている。また、調査精度の改善や、Activity-based アプローチに基づく分析をより精緻に行うための調査項目の再検討等、交通行動分析の基盤となるデータの取得方法に関して数多くの議論が重ねられている。本節では、変動・変化を捉えるためのデータに関する既往の事例や研究を整理する。

2.1.1 調査対象と調査期間から見たデータの種類

ここでは、調査対象と調査期間から、データの種類を、1) 連続時間—離散時間パネルデータ (multi-day and multi-period panel data)、2) 連続時間パネルデータ (continuous panel data)、3) 離散時間パネルデータ (discrete panel data)、4) 繰り返し横断データ (repeated cross-sectional data)、5) マクロ時系列データ (macro time series data) に分類し (図 2.1) それぞれのデータの特徴を整理する。ここでパネルデータとは、調査対象者を固定した上で行われる複数日／複数期間の行動調査から得られるデータのことであり、時間軸上に連続して行う (複数日) 調査を連続時間パネル調査、いくつかの時点を抽出して行う (複数期間) 調査を離散時間パネル調査と呼ぶ。

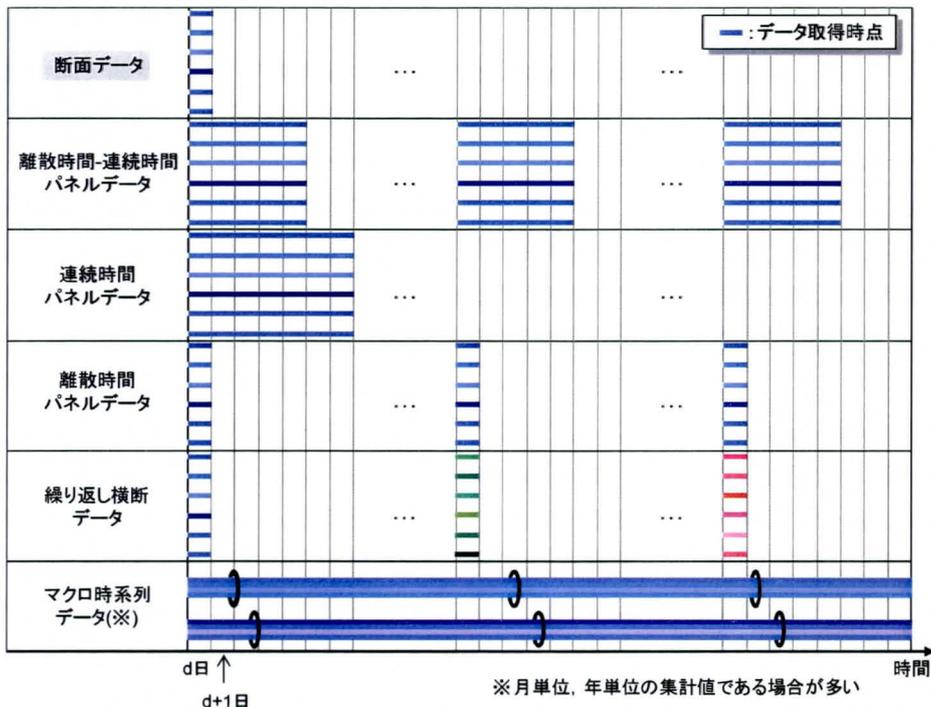


図 2.1 変動・変化を捉えるためのデータの種類

2.1.1.1 連続時間—離散時間パネルデータ

交通行動の変動・変化の両方を同時に捉えることのできるデータとして、連続時間—離散時間パネルデータ (multi-day and multi-period panel data) がある。しかしながら、連続時間—離散時間パネルデータの重要性は広く認識されてはいるものの、予算制約等の理由から実際に実施された例は非常に限られている (Pendyala and Pas, 2000)。オランダにおいて行われた Dutch National Mobility Panel は、数少ない連続時間—離散時間パネル調査の1つとして広く知られており、このデータを用いた変動・変化に関する分析がこれまでに数多く行われている (分析事例は 2.2 及び 2.3 にて記述)。この調査では、各調査において1週間の交通行動 (multi-day) が被験者に尋ねられており、1984年から1989年の間に合計10回の調査 (multi-period) が行われている (van Wissen and Meurs, 1989)。ここで、交通行動が常に変化の過程にある点 (Goodwin, 1998) 及び交通行動は日々大きく変動する点 (Pas, 1987) を考慮すると、現時点においては、連続時間—離散時間パネルデータは、唯一、交通行動の変動の影響を考慮した上で変化に関する分析が可能なデータであると思われる。このような変動と変化の峻別の問題は、北村ら (2001) による、

“離散時間パネルデータは行動過程の離散時点での状態についての情報を提供するものの、状態の遷移そのものについての情報は保有していない (p16)”

という指摘に端的に表れている。反対に、連続時間パネルデータは、状態の細やかな遷移に関する情報は有しているものの交通行動を規定する構造そのものの変化を捉えることが困難な点が問

題となる。

他の連続時間—離散時間パネル調査として、Puget Sound Travel Panel が挙げられる (Goulias, et al. 2003)。この調査では、2 日間の交通行動調査を 1989 年から 2002 年間の 10 時点において調査しており、一回の調査日数は Dutch National Mobility Panel に比べて短いものの、10 年強にわたる比較的長期的な交通行動の変化が観測できる点が特徴である。この調査の目的は、1) 世帯構成、居住地、就業状況の変化のモニタリング、2) 交通環境の変化に対する反応及び交通行動の変化のモニタリング、3) 交通手段選択や交通行動における人々の態度や価値観の変化の影響の特定、にあるとしている (Murakami and Ulberg, 1997)。そのためか、連続時間パネル調査よりは、離散時間パネル調査に重点を置いた調査設計になっている。

最後に、近年行われた連続時間—離散時間パネル調査として、Toronto Travel Activity Panel Survey と Quebec Travel Activity Panel Survey を挙げる (Roorda et al., 2005)。両調査とも、Toronto 大学の Miller 教授の研究グループによって行われたものであり、調査形態は類似している。調査期間は、3 時点の行動調査であるが、Wave1 においては連続した 1 週間の行動結果を訪ね、Wave2&3 では 2 日間の行動結果を訪ねるといった形式をとっている。Toronto & Quebec Travel Activity Panel Survey の、Dutch National Mobility Panel 及び Puget Sound Travel Panel との大きな違いは、交通行動調査ではなく、生活行動調査という点である。この調査の目的は、1) 世帯の文脈における人々の活動スケジュール及びその調整における“プロセス”の理解、2) (特に世帯構成の変化があるような状況下において) 活動や移動のスケジュールリングプロセスが時間軸上にどのように変化するのか (または安定しているのか)、3) 異なる 2 都市の意思決定プロセスの比較、4) 活動-移動 (再) スケジュールリングモデルのための実証データの提供、にあるとしている (Roorda et al., 2005)。特に 1 及び 2 の目的については、従来の特定の日を対象とした生活行動調査からは把握できないことから、連続時間—離散時間パネルデータは、従来のトリップ単位の分析であってもアクティビティ分析であっても変動・変化を捉えるためには必要なデータであるといえる。もう一つの Toronto & Quebec Travel Activity Panel Survey の特徴として、様々な調査形態を実験的に取り入れている点が挙げられる。Toronto Travel Activity Panel Survey の Wave1 では、Computerized Household Activity Schedule Elicitor (CHASE: Doherty and Miller, 2000) と呼ばれるコンピュータベースの調査形態が採用されている。一方で、Quebec Travel Activity Panel Survey の Wave1 では、Observed and Perceived Flexibility of Activities in Space and Time (OPFAST: Ramadier et al., 2005) と呼ばれる紙ベースの調査形態が採用されている。OPFAST の調査内容は CHASE と類似しているが、OPFAST では、各活動に対する時空間上のフレキシビリティについてより詳しく尋ねている (2.1.2.1 参照)。他にも、一部の被験者に対して GPS を携帯してもらい、自動的に活動-行動パターンを抽出できるかどうかの検証を行うなど、次世代の調査の在り方について模索することも併せて行われている。

2.1.1.2 連続時間パネルデータ

連続時間パネル調査は、上述の連続時間—離散時間パネルデータよりは比較的多くの事例が存在するが、(曜日変動を捉えることのできる) 1 週間を超える長期連続時間パネル調査の事例は限られている。

中でも広く知られている連続時間パネル調査は、1971年にスウェーデンのウプサラを対象に行われた Uppsala Household Travel Survey (Hanson and Huff, 1988)、1999年にドイツのカールスルーエ・ハレを対象に行われた Mobidrive (Axhausen et al., 2002)、2003年にスイスのトゥールガウを対象に行われた Swiss Longitudinal Travel Survey (Axhausen et al., 2007) である。Uppsala Household Travel Survey は5週間の連続時間パネル調査、Mobidrive 及び Swiss Longitudinal Travel Survey は6週間の連続時間パネル調査であり、これらは他に類を見ない長期観測交通行動データである。このような長期観測データによって、例えば、各週の活動・交通行動の差異の検討 (Habib et al., 2008) や活動発生のリズムの検証 (Bhat et al., 2005) が可能となる。なお、これらのデータを用いて行われてきた既往研究については2.2において整理する。

連続時間パネル調査については、日本においてもいくつか事例が存在する。特に、アクティビティ・ダイアリー調査の有用性を検証する研究が日本においても盛んになりつつある中において、連続時間パネル調査が行われ始めた (例えば、杉恵, 1988; 原田・太田, 1988; 杉恵ら, 1988)。1988年には、初期の連続時間パネル調査として、1週間の行動を捉えた宇都宮生活行動調査が行われている (杉恵ら, 1989)。その後、2003年には松山市を対象としたプローブパーソン調査では連続した5週間の交通行動が観測されるなど (出水・羽藤, 2004)、日本においても連続時間パネルデータの蓄積が進んでいる。特に、プローブパーソン調査は精緻な空間データが入手できることから、新たな側面から交通行動の理解を推し進めることができると期待されている (羽藤, 2003; Hato and Kitamura, 2008)。

表 2.1 に、これまでに行われてきた連続時間—離散時間パネル調査及び連続時間パネル調査の一例を整理しておく。なお、表中にある German Mobility Panel 調査は、German Federal Ministry of Transport からの資金提供で成り立っている、(現時点において) 調査期間に制限がない恐らく唯一の連続時間—離散時間パネル調査であり、5年から10年に一回行われる通常のクロスセクション調査の欠点を補完する形で利用されている (Zumkeller, 2009)。

2.1.1.3 離散時間パネルデータ

離散時間パネル調査は、連続時間パネル調査や連続時間—離散時間パネル調査に比べて膨大な事例が存在する (張, 1996; Raimond and Hensher, 1997)。その特徴は、クロスセクションデータに比べて、個人や世帯の交通行動の時間的な変化に関する情報を有している点にあるが、上述したように、“離散時間パネルデータは行動過程の離散時点での状態についての情報を提供するものの、状態の遷移そのものについての情報は保有していない (北村ら, 2001)” という問題から、状態の遷移が頻繁に起こると考えられる個々人の活動・交通行動の変化を把握するためには、例えば“個人内変動は存在しない”といった強い仮定を置いて分析を行う必要がある。一方で、例えば通勤・通学時における交通手段選択など、“比較的安定した行動パターン”と考えられる交通現象に対しては、離散時間パネル調査の有用性は高いと考えられる (ただし、行動の経日的な安定性については、連続時間パネルデータを用いないと検証できない)。他にも、自動車の保有/処分といった状態の遷移が頻繁に起こらない現象については、離散時間パネル調査が有効である。1981年から

表 2.1 連続時間-離散時間パネル調査及び連続時間パネル調査の例

| 調査名 | 都市/地域 | 国名 | 調査年 | 調査形態 | 調査期間 | サンプル数 | 注記 | 参考文献 |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------|-----------------------------------|--|------------------------------|--|---|
| Toronto Travel Activity Panel Survey | Toronto | Canada | 2002-2004 | Activity scheduling and execution | Wave1: 7days Wave2: 2days Wave3: 2days | Wave1時点で 271世帯; 453個人 | Wave1: CHASE (Computerized Household Activity Schedule Elicitor) に基づく Wave2: Adaptation process)に関する調査内容含む Wave3: Routine weekly scheduleを別途調査 ※ Wave2&3ではサブサンプルに対してCPS調査を併用 Wave1: OPFAST (Observed and Perceived Flexibility of Activities in Space and Time) に基づく Wave2: Adaptation process)に関する調査内容含む Wave3: Routine weekly scheduleを別途調査 ※ Wave3ではサブサンプルに対してCPS調査を併用 | Roorda et al. (2005) |
| Quebec Travel Activity Panel Survey | Quebec | Canada | 2002-2005 | Activity scheduling and execution | Wave1: 7days Wave2: 2days Wave3: 2days | Wave1時点で 250世帯; 381個人 | | Roorda et al. (2005) |
| German Mobility Panel | Germany | Germany | 1994- | Travel diary | 7days/wave (10 waves) | 約1000世帯; 約 2000個人 | 年1回の調査で、各個人は最大連続した3回のWaveに参加、現在も継続。 | German Mobility Panel (http://mobilitaetspanel.ifv.uni-karlsruhe.de/en/index.html) |
| Puget Sound Travel Panel | Puget Sound, Seattle | USA | 1989-2002 | Travel diary | 2days/wave (10waves) | Wave1時点で1,712 世帯; 3,990個人 | 基本的には、1年ごとに2日間の調査を実施 | Goulias et al. (2003) |
| Dutch Mobility Panel | Netherlands | Netherlands | 1984-1989 | Travel diary | 7days/wave (10 waves) | Wave1時点で1,764 世帯; 3,863個人 | 基本的には、6か月ごとに週間の調査を実施 | van Wissen and Meurs (1989) |
| 連続時間パネル調査(1週間未満のものを除く) | | | | | | | | |
| Swiss Longitudinal Travel Survey | Canton Thurgau, City of Fauterfeld | Swiss | 2003 | Travel diary | 6 weeks (42days) | 99世帯; 230個人 | 同居していない家族(4人まで)及び友人・知人(5人までの住所等、新たな調査項目を多数導入 | Axhausen et al. (2007) |
| Two Week Leisure Travel Survey | Basel | Swiss | 2003 | Leisure diary | 2 weeks (14days) | 74個人 | レジャー活動に関する設問に特化 | Stauffacher et al. (2005) |
| 松山プロローブパーション調査 | 松山市 | 日本 | 2004 | プロローブパーション調査+Web上でのTravel diary | 5 weeks (35days) | 317個人 | 他のプロローブパーション調査については、JSTEグループ研究会に事例一覽有り (URL: http://www.probe-data.jp/case/index.html) | 田名部・丹下 (2006) |
| Twelve Week Leisure Travel Survey | Zurich | Swiss | 2002 | Leisure diary | 12 weeks (84days) | 71個人 | レジャー活動に関する設問に特化 | Stauffacher et al. (2005) |
| 掛合町・赤来町生活行動調査 | 島根県掛合町(現雲南市)・赤来町(現飯南町) | 日本 | 2002 | Activity diary | 1 week (7days) | 153世帯; 385個人 | 中山間地域における生活行動調査 本論文第5章にて使用 | 山田 (2003) |
| REACTI Survey | Irvine, CA | USA | 2000 | Activity scheduling and execution | 1 week (7days) | 47世帯; 81個人 | Webを通じて自動インタビュ型調査 | McNally and Lee (2002) |
| Mobidrive | Halle and Karlsruhe | Germany | 1999 | Travel diary | 6 weeks (42days) | 162世帯; 361個人 | 本論文第4章にて使用 | Axhausen et al. (2002) |
| 宇都宮生活行動調査 | 宇都宮市 | 日本 | 1988 | Activity diary | 1 week (7days) | 203世帯; 491個人 | | 杉恵ら (1989) |
| Reading Activity Diary Survey | Reading | UK | 1973 | Activity diary | 1 week (7days) | 145個人 | | Pas (1986) |
| Uppsala Household Travel Survey | Uppsala | Sweden | 1971 | Travel diary | 5 weeks (35days) | 97世帯; 149個人 | | Hanson and Huff (1988) |

※ Buitung et al. (2008) をもとに加筆・修正

1985年にかけて毎年1回の間隔で行われた Sydney Automobile Panel は、自動車の保有・利用の時間的変化を捉えるために行われた調査であり、離散時間パネル調査の成功事例の一つである。また、Honolulu Staggered Work Hours Demonstration Project における離散時間パネル調査のように、特定の交通施策（ここでは時差出勤）の影響を評価するために行われる場合もある（Golob and Golob, 1989）。他にも、スウェーデンにおいては、公共交通利用に関する離散時間パネル調査が1998年から2000年にかけて毎年一回の間隔で行われるなど（Thøgersen, 2006）、ある特定の目的に対象を絞った離散時間パネル調査が増えつつあるように思われる。また、近年日本において盛んに行われているモビリティマネジメントの代表的な手法であるTFP (Travel Feedback Program) においても、事前調査と事後調査の比較により行動変容の計測が行われており、一種の離散時間パネル調査と見なせる（例えば、鈴木ら, 2006; Taniguchi et al., 2007）。なお、経済学や地理学、社会学等の分野で行われてきた離散時間パネル調査を含め、膨大な既存調査の事例が張 (1996) や Raimond and Hensher (1997) によってまとめられている。

以上、3種類のパネルデータについて述べたが、パネル調査においては、解決すべきいくつかの問題・課題が残されている（例えば、Hensher, 1987; Kitamura, 1990; Pendyala and Pas, 2000）。以下、課題を列挙する。

問題点

- 1) 調査の進行に伴いサンプルが減少するパネル消耗 (panel attrition)
- 2) 回答疲れの影響 (panel fatigue)
- 3) panel fatigue に伴うアイテム無回答やユニット無回答 (non-response)
- 4) 過去の回答の影響 (panel conditioning)
- 5) サンプル更新の問題 (panel refreshment)

調査設計の課題

- 6) 最適なサンプルサイズ ⇔ 調査費用
- 7) 最適な調査間隔及び調査日数 ⇔ 調査費用
- 8) パネル調査に適した調査方法（調査媒体やインセンティブの有無等）

以上に挙げた問題点については、調査実施の仕方によって大きく異なる点に注意が必要である。例えば、2.1.1.2 で述べた Mobidrive や Swiss Longitudinal Travel Survey では、6週間の長期観測調査にも関わらず、回答疲れの影響は観測されていない（Axhausen et al., 2002; Axhausen et al., 2007）。これは、調査実施中、1週間ごとにダイアリーを回収し、矛盾するトリップ等については被験者に直接尋ねて修正を加えるといった努力が払われたことに起因している。そのため、上に挙げた問題点については、調査ごとに検証を加え、適切な処置を施す必要がある。

調査設計の課題については、例えば、北村ら (2001) や Kitamura et al. (2003) が行ったパネル調査設計に関する研究がある。Kitamura et al. (2003) は、行動の変化（具体的には、マルコフ過程として定式化された行動の推移確率行列の変化）を捉える際における誤差の観点から、離散時間パネル調査は信頼に足らないと結論付けた上で、連続時間パネル調査の重要性を指摘している。サ

サンプルサイズの議論については、例えば Pas (1986) の研究が挙げられる。Pas は、ランダム効果モデルと通常の回帰モデルのパラメータ推定値の分散の差に着目し、ある一定の調査コストの条件下においては、136 個人の 1 日の交通行動データから得られるパラメータの精度と、75 人の 3 日間の交通行動データから得られるパラメータの精度は同程度あると指摘している（分析対象はトリップ発生）。Pas が採用した手法は、Hansen et al. (1953) の手法と本質的に同じものであり（pp. 172-173）、説明変数にかかるパラメータの推定精度を対象としたサンプルサイズの議論であった。その後、他分野では、ランダム係数の推定精度や、クラス内相関（複数日データの場合、クラス内相関＝個人間変動／（個人内変動＋個人間変動））の観点からもサンプルサイズの最適化の議論が加えられている（例えば、Snijders and Bosker, 1993; Cohen, 1998, 2005; Snijders, 2005）。また、パネル調査に適した調査媒体として Stopher and Greaves (2007) は GPS を挙げ、インセンティブがなくとも、従来のパネル調査に比べてパネル消費を小さく抑えることができることを確認している。なお、インセンティブが回収率に与える影響については、たとえば Tooley (1996) や森尾ら (2007) において議論されている。

2.1.1.4 繰り返し横断データ

同一地域で繰り返し類似した調査を行って得られたデータは、繰り返し横断データ (repeated cross sectional data) と呼ばれ、パネル調査が普及する以前においては、変化を観測するための代表的なデータであった。離散時間パネルデータとの大きな違いは、パネルデータは個々人の変化に関する情報を有する一方で、繰り返し横断データはそのような情報を提供しない点である。一方、ゾーン単位やライフサイクルステージでの集計を行った場合、繰り返し横断データであっても、セグメント内の行動の同質性の仮定のもとにおいては疑似的なパネルデータとして見なすことができ、集計レベルの変化については把握可能である。

繰り返し横断データの事例は膨大にあるため、ここでは初期に行われた研究事例をもとに、繰り返し横断データの特徴について述べる。

モデルが示す現象の因果構造の安定性の仮定は、長期的な将来予測を主眼に置く伝統的な四段階推定法を適用するに当たって先ず検証すべき仮説の 1 つであった。この仮説の検証に関する初期的な研究として Yunker (1976) が挙げられる。Yunker は、1963 年にウィスコンシン州東南部を対象に行われた PT 調査のデータを用いて、トリップ発生、機関分担、分布の各モデルを作成し、次の PT 調査が行われた 1972 年の需要を予測し、実測値と予測値の誤差について検証している。その結果、モデルの時間的な移転可能性は比較的高いと結論付けているものの、集計レベルの分析に基づくモデル推定である上、予測誤差がモデルの再現誤差に由来している可能性については検討されていない。Yunker 同様に、交通現象の経時的安定性を示した既往研究として、Zahavi and Talvitie (1980) や Zahavi and Ryan (1980) の研究がある。Zahavi and Talvitie (1980) は、途上国及び先進国 12 都市から得られる行動データを用いて（いくつかの都市は 2 時点の繰り返し横断データ）、旅行時間及び交通費の支出は、世帯属性や交通システム、都市構造が与えられたもとで時間的にも空間的にも移転可能であるとし、Zahavi and Ryan (1980) は、ワシントンの 2 時点 PT データ (1955, 1968) 及びツインシティの 2 時点 PT データ (1958, 1970) を用いて Zahavi and Talvitie (1980)

と同様の結論を導いている。一方で、以上の安定性の結論は、交通行動を集計した場合に見られる現象であり、Goodwin (1981) は、旅行時間及び交通費の支出が安定していることの意義について以下のような指摘をしている。

“it is not felt that the incorporation of a fixed total or average of time or money expenditure on travel would usefully improve the accuracy of model forecasts; though if that were done, it is also not felt that this would imply as drastic changes in evaluation modelling procedures as has been suggested. In other words, this suggestion is just not very important (p106)”

加えて、たとえ集計レベルで安定していたとしても、個人間変動や個人内変動、経日変動、社会経済属性の差異に由来する変動の理解を試みることが重要であると指摘している。同様に、Supernak (1982) も経時的安定性は集計レベルにおいてのみ観測されることを指摘している。さらに、非集計レベルの分析結果からは、2 時点の繰り返し横断データの比較結果から交通現象は安定していないとの結論付けている研究も数多く存在する(例えば、Cohen and Kocis, 1980; Kostyniuk and Kitamura, 1984)。なお、ゾーンレベルではあるが、日本においても広島都市圏の2 時点PT データを用いて経時的な移転可能性について検証されている(新谷ら, 1987)。

以上のように、繰り返し横断データであっても交通現象のマクロ的な変化に関する議論を行うために広く利用されている。加えて、パネル調査よりも繰り返し横断調査の方が望ましいケースがあることが指摘されている(Yee and Niemeier, 1996)。繰り返し横断調査の利点の1 つ目は、上述したようなパネル特有の問題は生じない点である。2 つ目は、比較的大規模なサンプルを用いて分析が可能な点である。3 つ目は、最新の社会経済構造に合わせたサンプリングが可能な点である。このような理由から、パネル調査と繰り返し横断調査の折衷案である、サンプル更新パネル調査が行われる場合もある。例えば、上述の German Mobility Panel では、各被験者は連続する3 回の調査に参加した後ドロップアウトする仕組みになっており、意図的にサンプルの更新が行われている。

2.1.1.5 マクロ時系列データ

マクロ時系列データは、集計データであるため個人の交通行動に関する情報を何ら保有しない反面、長期にわたって連続的に観測されたデータであるため、交通行動の巨視的な変化を捉える点においては、上述した3 種類のパネルデータ及び繰り返し横断データよりも豊富な情報を有する場合が多い。例えば旅客地域流動調査や貨物地域流動調査は、都市間交通の時系列変化を観測することのできる数少ない貴重なデータである。なお、全国幹線旅客純流動調査や全国貨物純流動調査、全国都市パーソントリップ調査など、約5 年の周期で行われている調査も存在するが、ここでは1 年以下の間隔で連続的に記録されているデータのことをマクロ時系列データと捉え、レビューの対象には含まない。例えば、全国都市パーソントリップ調査は、日本全国を対象とした繰り返し横断調査であると見なす。

我が国において調査されている交通関連のマクロ時系列データは、その多くが国土交通省のホ

ホームページにおいて公開されている (URL: <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/>). 特に、温室効果ガスの算定基礎資料、及び、関連する交通政策や交通計画の基礎資料を得ることを目的とした自動車燃料消費量調査が2006年以降毎月実施されるなど、時代背景に即した調査が積極的に行われ、公表されている (ただし、自動車燃料消費量調査については現在時点において未公表). その他にも、鉄道輸送統計調査、航空輸送統計調査、トラック輸送情報等の調査結果が、月単位で公表されており、更新時期も半年未満の遅れがある程度であるため、比較的最新のデータを用いた分析が可能である.

また、トラフィックカウンターのデータは、時間的にも空間的にも非常に詳細なデータの入手が可能である. 一般道路のデータについては入手できない場合が多いものの、高速道路交通量については、月単位の交通量データが各社のホームページに公表されている場合が多い.

以上の月 (年) 単位の交通関係の交通データと合わせて、統計局 (URL: <http://www.stat.go.jp/>) にて公表されている各種社会経済関連指標や、内閣府 (<http://www.cao.go.jp/index.html>) に公表されている景気動向指数、日本エネルギー経済研究所:石油情報センター (URL: <http://oil-info.ieej.or.jp/>) において公表されている各種燃料価格データ等を用いることで、巨視的ではあるが長期的な変化に関する数多くの知見を得ることができる.

また、近年では、マクロ時系列データだけではなく、ETCデータや公共交通ICカードのデータなど、ミクロレベルの時系列データの入手可能性が飛躍的に高まっており、その利用可能性に関する議論が行われはじめている (例えば、日下部ら, 2009; 足立ら, 2009).

2.1.2 調査上の工夫

調査対象や調査期間の他に、変動・変化を捉えるための工夫がなされている調査がいくつか存在する. 1つ目は、古くから指摘されてきた空間変動を捉える際において問題となる可変単位地区問題 (MAUP: Modifiable Areal Unit Problem) に対する工夫が挙げられる. 2つ目は、交通施策を検討するプロセスにおいて頻繁に行われるセグメント方法についてであり、行動特性の同質性を仮定し得るセグメントの抽出のための工夫が挙げられる. 3つ目として、観測された交通現象の変動・変化を説明するための各種観測変数の取得に関する工夫が挙げられる. 以上のような工夫により、観測された交通現象の変動・変化に意味付けをする際において、従来の調査に比べてより豊富な情報を提供するものと期待される.

2.1.2.1 空間変動へのアプローチ

可変単位地区問題 (MAUP) とは、空間変動を捉える際において、ゾーンサイズの変更に伴ってデータの見え方や分析結果が変わってしまう現象のことを指す (Tobler, 1979; Fotheringham et al., 2002; 杉浦, 2003; Zhang and Kukadia, 2005). 特に、地理学の分野において古くから指摘されてきたものの、交通分野においては、ゾーンを分析単位とする四段階推定法が需要予測の中心となっていたため、詳細な検証は十分に行われてこなかった (Zhang and Kukadia, 2005). MAUPの根本的な解決は困難であるものの、その存在及び影響の程度の検証は行われるべきであり、そのため

には詳細な空間データが必要となる。

近年の情報機器の発達により、1990年代後半から PHS や GPS を用いた交通行動データ収集に関する研究が盛んに行われるようになった(例えば、大森ら, 1999; 朝倉ら, 2000; Wolf et al., 2004)。また、GPS に加えて、加速度センサー、気圧センサー、方位センサー等を組み込んだ BCALs (Behavioral Context Addressable Loggers in the Shell) が開発されるなど、3次元における空間移動の計測が可能になりつつある (Hato and Kitamura, 2008)。これらの情報機器を利用した調査から得られるデータを用いることによって、移動経路を含めた人々の空間上における行動のばらつきを詳細に捉えることができる。

また、PHS や GPS のように経路を含めた詳細な空間情報は有しないものの、上述した Mobidrive や Swiss Longitudinal Travel Survey, Toronto & Quebec Travel Activity Panel Survey においては、出発地や目的地のジオコーディング (地理座標の付加) が行われており、詳細な空間情報を有するデータが蓄積されつつある。特に、Quebec Travel Activity Panel Survey の Wave1 では、表 2.2 に示すような時空間フレキシビリティについても併せて尋ねられており、空間の持つ意味がアクティビティごとに異なることを把握できるデータの収集が試みられている (Lee-Gosselin, 2005; Ramadier et al., 2005)。

表 2.2 活動の時空間フレキシビリティ (in Quebec Travel Activity Panel Survey)

| | | 空間 | | | |
|----|-----------|--|---|--|-----|
| | | 習慣的 | 非習慣的・事前計画 | 衝動的 | 計 |
| 時間 | 習慣的 | 定期的行動 例) 会社に、午前8時から午後4時まで (52%) | 時刻固定・場所事前決定 例) 今週の定期的な金曜のランチ集会は A 店にしよう (1%) | 時刻固定・場所フレキシブル 例) 毎朝コーヒーを飲むため通勤路のどこかのコンビニで買う (<1%) | 53% |
| | 非習慣的・事前計画 | 時刻事前決定・場所固定 例) 明日、テニスクラブで 19:00 に会いましょう (14%) | 事前計画行動 例) 今週金曜日の 18:00 から A 店で映画を見よう (8%) | 時刻事前決定・場所フレキシブル 例) 明日の午前 10 時に予約の電話を入れておかないと (1%) | |
| | 衝動的 | 時刻フレキシブル・場所固定 例) 今週中には義父に芝刈り機を返さないといけない (18%) | 時刻フレキシブル・場所事前決定 例) 次回 A 店に行ったときには、カタログをいただく (2%) | 「ついで」行動 例) 桃が 100 円！ちよっと立ち寄って買って帰るわ (4%) | 24% |
| | 計 | 84% | 11% | 5% | |

※Lee-Gosselin (2005)及びRamadier et al (2005)をもとに作成。数字(%)は Quebec Travel Activity Panel Survey の Wave1 の結果

2.1.2.2 同質なサブグループ抽出のための工夫

従来から、行動特性の差異を表すための様々なセグメンテーション方法が提案・採用されている。代表的なセグメント方法として、Home-based work, Home-based shopping 等の出発地の特性と目的地の特性を組み合わせたセグメント方法や、必須活動、買物活動、自由活動等の活動目的に

よるセグメント方法がある。しかしながら、このようなアプリアリな分類は、どの程度行動特性の差異が反映されているのかが明確ではない点が問題である。言い換えると、これらの分類によって得られたセグメント内の行動特性は同質であるのかが不明である（森川・白水, 1991）。特に、「交通は活動の派生需要である」という考えに基づくアクティビティ・ベースド分析を通して交通施策を検討する場合、分析結果の含意はセグメントに大きく依存すると考えられる。

このような背景から、近年、活動分類の在り方について再考できるよう工夫された調査が行われている。例えば Doherty (2006) は、CHASE (Doherty and Miler, 2000) に基づく調査によって得られた 1) 時空間上のフレキシビリティ、2) 他者との共同活動による制約の項目を利用し、新たな活動分類の抽出をここ見ている。そのセグメントのコンセプトは、Hägerstrand (1970) の研究から示唆されるアクティビティ・ベースド・アプローチの重要な視点—活動/交行動が持つ時空間上の特性 (時空間制約や他者との共同活動等による制約) —に基づくものであり、分析結果から以下の結論を導いている。

“the results in this paper provide strong evidence that like activity types do not share stable levels of flexibility, casting considerable doubt upon the validity of assuming otherwise - such as the popular modeling assumption that “mandatory” activities such as work are “fixed”, and “discretionary” activities such as shopping are “flexible” (p534)”

また、ペンシルバニアで行われたインターネットを介した生活行動調査においては、「誰と活動を行ったか」に加えて、「誰のために活動を行ったか」という調査項目が導入されており、Goulias and Kim (2005) は、このデータを用いて他者との関わり観点から母集団のセグメントの在り方について考察を加えている。Doherty (2006) や Goulias and Kim (2005) のセグメント方法は、活動・交行動を規定する新たな側面 (時空間上の行動特性、誰と行った活動か、誰のために行った活動か、等) を調査項目に加えることによってはじめて可能となるセグメントであり、特定の問題に適した分類や、表現したい行動側面に合わせた分類が可能なのが特徴である。その他にも、ライフサイクルステージによる母集団のセグメントが行われるなど (例えば Goodwin, 1989)、豊富な情報を有する調査が実施されるに伴い、様々なセグメントが採用され、その有用性が検証されている。

他方、調査手法においても事後的な活動分類が行えるよう工夫がなされているものがある。特に、時間利用に関する調査においては、どのような活動分類を採用するかによって現象の見え方・捉え方が異なってくることが広く認識されており、調査段階で工夫がなされている場合が多い。例えば American Time Use Survey では、様々な分析目的への柔軟な対応を可能にするため、3層にわたる活動分類システムを構築している (Shelley, 2005)。日本においても、平成 13 年以降の社会生活基本調査 (総務省-統計局) では、あらかじめ分類されている選択肢から 1 つを選ぶプリコード方式の調査票 (調査票 A) に加えて、活動名を自由記述方式で回答してもらった後に事後的に分類するアフターコード方式の調査票 (調査票 B) が導入されており、より詳細な生活行動を把握できるように工夫がなされている。

2.1.2.3 新たな調査項目の導入

従来のトリップに焦点を当てた交通行動調査が大きく見直されるようになった1つのきっかけとして、イギリスのオックスフォード大学の研究グループに端を発する生活日誌（アクティビティ・ダイアリー）調査が挙げられる（杉恵, 1984）。この調査においては、交通は活動の派生的な需要であるとの考えのもと、人間行動の時間的・空間的制約（Hägerstrand, 1970）を考慮した上で個人及び世帯の交通行動を分析することに主眼が置かれた。

以降、上の生活日誌調査を基盤として、多種多様な調査項目の追加検討がなされている。中でも重点的に焦点を当てられているのが、行動の文脈依存性やプロセスの記述に関する項目である。これらは、言い換えると、交通現象の変動・変化の中でも特に個人間や個人内に存在する異質性の説明を試みるものといえる。例えば、表 2.2 に示した行動の時空間上のフレキシビリティの区分は、同じ時刻・同じ場所であっても個々人によって異なる意味合いを持つことを表現するための方法の1つである。また、意思決定状況に対する知覚(Perceptions)、信念(Beliefs)、態度(Attitudes)の差異に関するデータは、同じ状況にいるにも関わらず個々人で異なる行動をとる理由を説明し得るものである（Axhausen and Gärling, 1992; McFadden, 2001）。活動スケジュールの事前計画とその調整（追加・削除）に関する情報は、ある特定の要因に対する活動-交通行動の変化（反応）を説明し得るものである（Doherty and Miller, 2000; Ramadier et al., 2005）。また、誰と一緒に活動を行ったか、誰のために活動を行ったかに関するデータや、同居していない身内及び友人・知人の居住地の情報は、身内・知人との間に生じるローカルインタラクションの影響や、個々人によって異なる活動空間(Action space)を捉えるための基礎情報を提供する（Goulias and Kim, 2005; Axhausen et al., 2007）。他にも、天気やペット（犬）同伴に関するデータの取得等、交通行動の文脈依存性を捉えるための様々な工夫が行われている（Axhausen et al., 2002）。なお、これらのデータを用いた実証分析のレビューは、次節以降において行う。

2.2 活動・交通行動の変動に関する既往研究

第1章において定義したように、変動とは、時間軸上のある断面において観測される行動のばらつき・ゆらぎであった。一般的には、この行動のばらつきに対して、ある特定の理論、モデル構造、観測変数セットにより意味・解釈を与えることによって行動メカニズムは理解され、また、そこから得られた関係式を用いて需要予測や施策評価が行われる。もちろん、これまでに多種多様な理論やモデル構造が提案されているため、多岐に渡る行動メカニズムの解釈の仕方が存在する。その代表的なものとして、Hägerstrand (1970) の時空間座標上における行動軌跡の概念を軸として発展してきた一連の Activity based 分析が挙げられる。また、Hägerstrand の視点に加えて、経済学的視点（Becker, 1965）や心理学的視点（Axhausen and Gärling, 1992）も加わり、異なる行動解釈に基づく複数のモデルが多数構築されてきた。例えば、効用理論に基づく統合的モデル（例えば Recker et al., 1986a, 1986b; Kitamura and Fujii, 1998; Bowman and Ben-Akiva, 2000; Ben-Akiva et al., 2007）、シミュレーション又はルールベースの統合的モデル（例えば Ettema et al., 1996; Kitamura and Fujii, 1998; Arentze et al., 2000; Arentze and Timmermans, 2004）等のモデル開発が行われている。

前者は経済学的知見が、後者は心理学的知見がより強く反映されていると言える。交通行動が変動する原因として活動が深く関連する点を踏まえると、以上のようなモデルの適用により、交通行動の変動の理由をより詳細に把握することができるものと期待される。

上述したモデルは、スケジューリングプロセスを考慮することで行動の因果関係を精緻化したり、複数の行動側面に対する意思決定を内生・統合したりすることによって、現象の記述能力を高めることを通じて、モデルによって評価可能な対象を広げたり、その精度を高めたりすることに重点が置かれている（図 2.2a）。このことは、交通計画の核であるモデル精度を直接向上させることに他ならず、極めて重要かつ今後も重点的に研究されるべきテーマである。一方、その発展を支えているのが、図 2.2b) の視点であると考えられ、モデルの改善に直接的には貢献しないものの、既存の予測・評価の限界の認識を推し進め、次の改善の方向性を模索するための基礎情報を提供する。特に、b)の視点からの変動理解は、第 1 章において議論した、採用する分析フレームによって、「何ができるのか」だけでなく、「何ができないのか」に関する情報についても提供し得る。本節では、図 2.2b)の視点からみた変動に関する既往研究を中心に整理する。

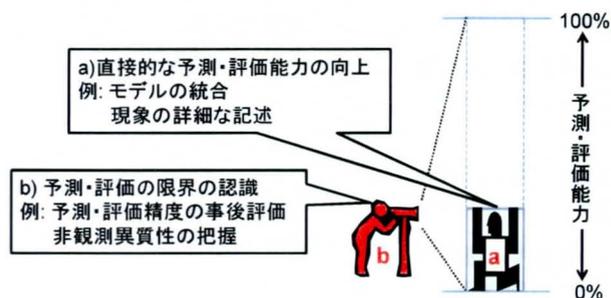


図 2.2 変動に対する 2 種類のアプローチ

2.2.1 個人内変動と個人間変動の峻別

行動の文脈依存性やプロセスの記述のためのデータ収集の必要性が広く認識されていることは、2.1.2.3 において述べた。また個々人の意思決定をプロセスとして見たとき、例えば昨日買物にいったから今日は行かないといったような、当該日以外の行動の影響を受けて当該日の交通行動が決定される状況も存在することから、複数日の行動を記録した連続時間パネルデータとして調査が行われる場合が多い。このような認識が広まった大きな背景の 1 つとして、図 2.2b)の視点から、従来の（非）集計分析の限界の認識が進められた点が挙げられる。Jones and Clarke (1988) は、

“The question of the measurement of variability is really a question about *how we measure behaviour*: what indicators of behaviour are we interested in? and how little or much change constitutes variation? Clearly, the more finely we categorise behaviour, the more variation will become apparent from day to day or person to person. There will be much less variation if we compare total daily trip rates, than if we look at the type of activity undertaken, by hours of day

(p71)”

と指摘し、ロードプライシング等の交通施策の影響の正確な計測（どのような個人がどのような反応を示すのか等の分布としての影響）のためには、交通行動に内在する様々な変動を正確に捉える必要があるとしている。中でも、個人内変動と個人間変動の峻別については、例えば、ロードプライシングの実施によって10%の人々が自動車の利用を控えるのか、全ての個人が10回に1回 (=10%) 自動車の利用を控えるのかの識別が政策上極めて重要であることから、これまでも数多くの研究がなされてきた。

初期の個人内変動及び個人間変動の研究として、Hanson and Huff 及び Pas による一連の研究が挙げられる (Hanson and Huff, 1986, 1988a, 1988b; Pas and Koppelman, 1986; Pas, 1987, 1988). Hanson and Huff (1988)では、図 2.3 に示す変動構造が仮定されている¹ (Pas (1987)においても類似した変動構造が仮定されている)。

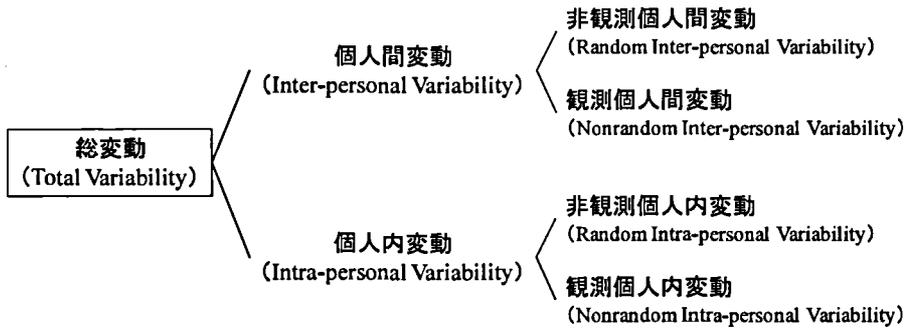


図 2.3 個人内変動と個人間変動 (Pas, 1987; Hanson and Huff, 1988)

ここでは、既存の予測・評価の限界の認識する上において特に重要と思われる Pas (1987) の研究について少し詳しく述べる。Pas は、重回帰モデル (実証分析ではトリップ発生モデル) を評価する場合において頻繁に利用される決定係数の意味は、1 日の行動データ (すなわち個人内変動を含まない) と複数日データ (個人内変動を含む) の利用によって異なることを指摘し、1 日の行動データを用いたモデルの場合、たとえ高い決定係数を示したとしても、それが直接高い予測精度を持つわけではないことを指摘している。以下に示すように、その方法は極めてシンプルであり、分散分析で行われる平方和の分解の考え方を援用したものである。

$$R^2 = \left(\frac{ESS}{TSS} \right) = \left(\frac{ESS}{BPSS} \right) \left(\frac{BPSS}{TSS} \right) = \left(\frac{ESS}{BPSS} \right) \left(1 - \frac{WPSS}{TSS} \right) \quad (2.1)$$

ここで、

R^2 : 決定係数

¹ なお、この変動構造の観点から図 2.2 をみると、a)は、個人間変動及び個人内変動に内在する非観測変動を説明し観測変動へ落とすことを、b)は、非観測変動も含めた全変動の構造の把握することを試みているといえる。

ESS: 回帰による平方和 (図 2.3 観測個人間変動に対応)

TSS: 総平方和 (図 2.3 総変動に対応)

BPSS: 個人間変動 (図 2.3 個人間変動に対応)

WPSS: 個人内変動 (図 2.3 個人内変動に対応. ただし, 全ての個人内変動を非観測変動とする)

Pas は, 通常の 1 日の行動データで構築されたモデルから算出された決定係数は, 式(2.1)の ESS/BPSS の部分を評価しているに過ぎず, 個人内変動を考慮した場合の決定係数は大きく減少することを示した. 具体的には, トリップ発生モデルの場合, 全変動のうち概ね 50%程度が個人内変動に由来することを実証している (すなわち $BPSS/TSS=0.5$). なお, 同様の結論が日本においても実証されている (杉恵ら, 1989). 加えて Pendyala (1999) は, 移動時間や距離, 出発・到着時刻においても同様の傾向が観測されることを確認している. また, Susilo and Kitamura(2005) は個人の活動空間の個人内変動に, Kitamura et al. (2006) は朝の活動開始可能時刻の個人内変動にそれぞれ着目し, 個人内変動を捉える必要性を明らかにするとともに, 1 日の行動データに基づくモデル同定の脆弱さを示している.

個人内変動の把握は, 個人内変動の重要性が認識され始めた初期の段階では, 基本的に回帰モデルとして定式化が可能な交通現象に限られていたが (ただし, 上述の Kitamura et al. (2006)では確率的フロンティアモデルも併用されている), その後, Mixed logit model の発展に伴ってシミュレーションを用いた推定方法が確立されるにつれ, より複雑な行動側面を対象とした個人内変動の把握が試みられるようになった. 例えば, Bhat et al. (2004, 2004, 2005)の一連の研究では, 生存時間モデルを用いて活動が生起する間隔をモデル化し, 活動の生起リズムにおける個人内変動の影響を定量的に評価している. その結果, 非日常的な買物活動の生起リズムは安定的ではないことを指摘している (すなわち, 個人間変動ではなく個人内変動により生起リズムは決定している).

また, 個人内変動を直接的に理解する方法として, 行動パターンの類似性を直接計測し, 行動の再起性の程度を定量化する方法がある. 例えば Hanson and Huff (1988)や Pas (1983), Jones and Clarke (1988), Joh (2002) らによって提案された類似性指標がある. また, Schlich (2001) 及び Schlich and Axhausen (2003) は, これらの異なる類似性指標を比較している. ただし, これらの類似性指標による個人内変動の理解は, 個人内変動の存在を示唆する点では優れているものの, その程度については採用する指標に大きく左右されるため, グループ間の比較といった相対的な個人内変動の大小の議論にとどまる場合が多い.

2.2.2 その他の変動要因

上に引用した Jones and Clarke (1988) の指摘からわかるように, 個人内変動と個人間変動の峻別は, 交通行動を規定する恐らく最小単位の変動要因である個人内変動に対する理解を求める点において極めて重要である. 一方で, 交通行動の変動は, 世帯で買物に行くといった世帯レベルの影響, 買物施設の分布や公共交通サービス水準の差異といった空間属性の影響, システムティックな経日変動 (例えば曜日の影響) など, よりマクロなレベルの要因からも影響を受ける. 本節では, これらのマクロレベルの要因から生じる変動を分析している既往研究について整理する.

なお、一見マクロなレベルの変動と思われる要因であっても、それが個人によって異なる意味合いを持つ場合、個人内変動や個人間変動になり得る場合も存在する。例えば、表 2.2 に示した時空間分類は、個人によって異なる空間認知の差を反映するものと見なせ、空間というマクロレベルの要因の影響が 1 つ 1 つの活動によって異なり、その結果としてマイクロレベルの要因として捉える必要性が生じる場合がある (3.1.5 においてみる共変動もその一つである)。以下、この点に関する既往研究についてもいくつかレビューを行う。

2.2.2.1 世帯間変動

世帯のライフステージによる影響等、世帯単位で生じる変動のことを世帯間変動と呼ぶ。例えば、レジャー活動や非日常的な買物活動は、世帯単位で発生するケースが多い。

ライフサイクルステージが活動・交通行動に及ぼす影響については、過去に数多くの研究がなされてきたが (例えば杉恵・藤原, 1993), 非観測変動の影響も含めた上で世帯間変動について分析されている事例は極めて限られている。非観測変動を考慮した世帯間変動に関連する既往研究として、Pas and Sundar (1995) の研究が挙げられる。彼らの分析方法は、上述の式(2.1)のストレートな拡張であり、現象に内在する全変動を、個人内変動、個人間変動、世帯間変動に分解する方法である。トリップ発生を対象として行われた実証分析では、個人間変動のうち約 1/3 が世帯間変動に起因することを示している。また、Goulias (2002) は、時間配分行動を対象に活動時間の世帯間変動を捉えており、Pas and Sundar の結果と同様に個人間変動の約 1/3 が世帯間変動であることを示している。これらの結果は世帯レベルでの現象理解の重要性を示唆するものである。

一方で、非観測変動の影響は考慮されていないものの、世帯に着目する現象理解の必要性について、世帯内変動の視点からも指摘・検証されている (Zhang et al., 2005; Zhang and Fujiwara, 2006)。このような分析は、世帯構成員間の交渉 (例えば送迎) や活動の代替 (例えば他の世帯構成員のための買物) を記述する観点から重要であり、個人内変動を説明し得るものである。ただし、世帯構成員間の相互作用を考慮した結果、どの程度の個人内変動が説明できるのかについては十分に検証されていないように思われる。

2.2.2.2 空間変動

空間変動は、四段階推定法をはじめとしてこれまでも広く分析対象とされてきた変動要因である。非集計分析の急速な普及によって、行動主体の属性の違いに起因する変動に焦点が当てられるようになったが、例えば Bhat (2000) は、交通手段選択の場面において時間や料金に反映されない非観測の空間要因が大きな変動を生むことを指摘しており、これらの要因を考慮する場合としない場合とでは、政策評価に大きな差異が生じることを示している。Bhat and Zhao (2002) は買物活動発生の文脈において、居住地によって買物活動の発進行動は大きく変化することを指摘している。また、杉恵ら(1995)や張(1996)は、OD ペアを分析単位とする集計モデルにおいても、各ゾーンにおける非観測な空間異質性を捉える必要があることを実証している。

以上に挙げた研究は、ゾーンレベルの空間変動の影響を、非観測異質性を含めて把握す

るものであった。この場合、採用するゾーンサイズによって結果が異なってしまう可変単位地区問題に遭遇する。一方で、地理学の分野では、空間の影響を連続的に扱う地理的加重回帰モデル (Geographically Weighted Regression: Fotheringham et al., 2002) の開発・適用が進められるなど、一定の発展を遂げている。地理的加重回帰モデルについては、土木計画の分野においてもいくつかの適用事例が存在する (例えば古谷, 2004)。

一方、空間の影響を連続的に扱うモデルであっても、1つのパラメータにその影響が集約される場合、ある空間地点から受ける影響は全個人に対して等しいことを意味する。この点について議論を加えるための視点として、活動空間 (Action space) や認知地図 (Mental map) の概念がある (例えば若林, 2000; Schonfelder and Axhausen, 2003)。これは、空間変動を個人単位で捉えようとするもので、個人内変動の一部を説明するものになり得る。また、個々人の買物等の活動場所に加えてソーシャルネットワークの影響も活動空間に反映されるため、社会的疎外の程度の計測に利用できる可能性が指摘されている (Schonfelder and Axhausen, 2003)。

2.2.2.3 経日変動

経日変動とは、時間軸上に変化する交通行動の中でも、曜日や平日・休日によって大きく行動が異なるような変動成分を指す。なお、平日5日間の曜日変動の影響については、Pas (1987) や杉恵ら (1989) が1日のトリップ発生頻度を対象に分析しており、その変動成分は極めて小さいと結論付けている。その一方で、Kitamura and van der Hoorn (1987) は、社交やレジャー活動、買物活動が月曜日から金曜日にかけて増加する傾向にあることを示している。また、より長期的な経日変動を捉えた研究として、Levinson and Kumar (1995) が挙げられる。彼らは、1990年3月～1991年3月において収集されたアメリカの交通行動データを用いて、時刻変動・曜日変動・月変動についてまとめている。彼らの分析は集計レベルでの分析ではあるものの、9月における買物活動発生頻度は12月のその半分程度であることや、休日における一日の移動時間が平日のそれよりも長いこと等、季節変動や経日変動が存在することを示している。これらの結果は、「代表的な一日」において観測された交通行動を他の日における行動にそのまま当てはめることができないことを示唆するものである。

さらに、長期的な連続時間パネルデータ (または連続時間一離散時間パネルデータ) を用いて、異なる週間の行動パターンの安定性を検証した研究がある。Kitamura and van der Hoorn (1987) は、6カ月間隔で1週間の交通行動を記録した Dutch National Mobility Panel のデータを用いて、 t 時点における1週間の買物活動パターン (参加か非参加か) は、 $t+1$ 時点 (6カ月後) においても高い割合で観測されることを指摘している。また、Habib (2008) は、Mobidriveの6週間の交通行動データを用いて、時間利用を規定する因果構造は各週で安定していることを指摘し、1週間の交通行動データで行動のリズムは十分に計測可能であるとしている。その一方で、自由度の極めて高いレジャー活動に対する時間利用については、1週間の集計値であっても安定していないことが Spissu (2009) によって指摘されている。

また、経日変動を個人単位で見たとき、行動にはリズムが存在することは既に2.2.1において述べた。これに関連して行われてきた研究が、行動の過去従属性に関する研究である (Kitamura, 1983;

Kitamura and Kermanshah, 1983; Kitamura, 1988; Kasturirangan et al., 2002)。これらの研究では、過去の他の時点で行った行動が現時点における行動に大きな影響を与えることが示されている。しかしながら、これらの研究では非観測個人間変動と非観測個人内変動の識別をせずに行動の過去従属性の検証が行われているといった問題がある（この識別を行わない場合、過去従属性として捉えられてきた変動が実際は単に個人間異質性を捉えているに過ぎない可能性がある）。

2.2.3 活動・交通行動分析におけるセグメント問題

上にみたように様々な変動要因の存在が指摘されている一方で、変動の解釈は採用するセグメントによって大きく異なる。例えば、2.2.2.3において示したPas (1987)の結論とKitamura and van der Hoorn (1987)の結論の差異は、部分的には、前者は活動を分類せずにその変動を見ている一方で、後者はある特定の活動に焦点を絞ったために生じたと考えられる。また、空間変動についても、どのような空間セグメントを採用するのかによって結果は大きく異なる。そのため、母集団のセグメントをはじめ、活動のセグメント、空間のセグメント等、様々な観点から議論が積み重ねられている。ここでは、これらのセグメント問題に関する既往研究を整理する。

2.2.3.1 母集団のセグメント

交通の分野に限らず、多様性を有する集団を種々の特徴によってセグメント（分類）することは、対象集団の特性を系統的に把握するための常套手段である。交通分野をはじめとする人間行動を対象とした分野において古くから利用されている代表的なセグメントの方法は、社会経済属性に基づき分類する方法である。その後、2.1.2.2においてみたように、調査によって得られる情報が豊富になるにつれて、様々な母集団のセグメント方法が考案されるようになった。母集団をセグメントする大きな利点として、多様性を有する集団を比較的同質なサブグループに分けることによって、シンプルなモデル構造であってもより良い予測・評価が可能となる点が挙げられる(Recker et al., 1985; Lin et al., 2009)。

母集団セグメントの代表的な方法は、ライフサイクルステージに基づく分類である(Zimmerman, 1982; Goodwin, 1989)。最も基本的な方法は、個人属性や世帯属性を変数としたクラスター分析に基づく分類(Hildebrand, 2003)であるが、その後、個人の行動パターンや土地利用の影響を反映したライフサイクル(ライフスタイル)を抽出する方法が提案されている。例えばKrizek and Waddell (2002)は、個人・世帯属性に加えて、各種活動へのトリップ数や利用交通手段、土地利用を含めてクラスター分析を行うことで、活動—交通行動パターンを反映した9つのライフスタイルを抽出している。Lanzendorf (2002)は、レジャー活動を対象に、ライフスタイルの交通行動への影響を反映したMobility styleの観点から母集団のセグメントを行っている。これらの活動—交通行動パターンを反映したライフスタイルの分類は、そのセグメント内の生活行動・交通行動の類似性(同質性)が考慮されているため、セグメントごとに需要モデルを作成する際に有効であると考えられる。Lin et al. (2009)は、その有用性を認める一方で、行動パターンを反映したラ

ライフスタイルの抽出は、詳細な交通行動データが必要であるため汎用性に欠ける点を指摘し、一度特定したライフサイクルを、サポートベクターマシン (Support Vector Machine) を用いることにより、詳細な行動データを保有しない国勢調査などの大規模データへの拡張を試みている。

一方、マーケティング分野では、潜在クラスモデルによるセグメント (櫻井, 2004; Teichert et al., 2008), Mixed logit モデルによるセグメント (Scarpa and Giudice, 2004) が行われるなど、個人レベルの消費者のニーズや特徴をベースにした市場志向のセグメントの重要性が認識されている。交通分野においても、例えば森川・白水 (1991) が個人ごとの「嗜好」の類似性 (個人ごとのパラメータ値の類似性) に基づくセグメント手法を提案している。これらの分類手法は、セグメント内の行動特性の同質性を確保する視点からは優れている一方で、「個人」を複数のセグメントに分類することを意図しているため、セグメントの定義が曖昧になりやすく、一旦決定されたセグメントを他のデータセットへ適用することが困難であるといった問題を孕んでいる。

以上にみたライフスタイルによる母集団セグメントやマーケティング分野で採用されている母集団セグメントの方法は、個人の行動結果に基づくものであった。一方, Hanson and Huff (1986) は、セグメントを抽出する際において個人内変動の影響が無視できないとし、各個人は複数の典型的な行動パターンを有すると指摘している。この点を踏まえた上で、セグメント結果を考察する必要があると考えられる。

また、母集団セグメントの他の重要な役割として、ある特定のグループを抽出する点が挙げられる。例えば北川・三星 (1998) は、高齢者のモビリティを考える上において、全ての高齢者が交通困難者ではないと指摘し、多様化する高齢者のモビリティグループを考慮する必要があるとしている。例えば、高齢者をアクティブシニアみて分析するか、交通困難者とみて分析するかによって政策的意図は大きく異なる (三星・新田, 1995; 福田ら, 2007)。その他にも、身障者や子供、低所得者等、種々の特定グループに対する分析の必要性が指摘されている (Mohammadian and Bekhor, 2008)。これらの特定グループの行動分析については、対象を事前に明確しておかないと十分なデータの収集がなされない点に注意が必要である。

2.2.3.2 その他のセグメント

他の重要なセグメント問題として、活動分類が挙げられる。特に、アクティビティ・ベースド分析を通して交通施策を検討する場合、どのような活動分類を採用するかによって分析結果の含意は大きく異なるものと考えられる。2.1.2.2 において述べたように、従来頻繁に利用されてきた代表的な活動分類は必須活動、買物活動、自由活動等の活動目的によるものであった。これらの活動目的による分類は、容易にセグメントを作成することができる一方、いくつか注意すべき点がある。1つは、例えば通常のレストランでの食事と水族館へのレジャー活動をまとめて自由活動とする等の集計化により、セグメント内の同質性が確保されていない可能性がある点である。2点目は、たとえ同じレストランでの食事であっても、友人と行くのか仕事の取引先と行くのかによって時間的制約や空間的な自由度が大きく異なることが挙げられる。このように、一見妥当と思われる活動目的に基づく活動分類が適切ではない可能性がある。その一方で、活動分類の在り方を再考するためには、活動種類を詳細に尋ねる等の調査上の配慮が必要であり、既存の研究事

例は極めて限られている。Doherty (2006) の研究は、従来の活動分類の在り方を検証した数少ない貴重な研究事例である。Doherty の活動分類方法は、主成分分析による極めてシンプルなものであるが、分類に用いる変数に工夫がなされている点が大きな特徴である。具体的には、52 種類の詳細な活動種類を有する 1 週間の交通行動データを用いて、1) 各活動種類の活動の頻度、2) 各活動の平均活動時間、3) 一緒に活動を実施した人数、4) 移動時間、5) 活動時間の自由度、6) 活動空間の自由度、7) 他者との活動制約の程度、の 7 つの指標をもとに活動分類を導き、従来の活動目的に基づく活動分類との差異について考察を加えている。ただし、この分類によってセグメント内の行動特性の同質性が保証されるわけではない点に注意が必要である。

また、上述したゾーンサイズの議論についても、セグメント問題に直面することが多い。例えば、行政区分に基づくゾーンが設定されることが頻繁であるが、交通行動の観点から見た確固とした理由は提示されていないように思われる。その他にも、途上国都市において頻繁に見られる交通手段であるパトランジットの分類問題（タクシーか公共交通か）や、配分計算においてどこまで経路を細かく設定するかといった問題は、今後さらに検証されるべき問題であると考えられる。

2.3 活動・交通行動の変化に関する既往研究

2.3.1 変化の区分（変化の連続性・期間・スケール）

第 1 章においてみたように、行動の変化には、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入により起こる変化（離散的变化）と、好みや価値観の変化といった明確な Entry (Exit) point を持たない変化（連続的变化）が存在する。また、頻繁に用いられる他の変化の区分として、短期的変化 (short-term changes) と長期的変化 (Long-term changes) や、個人レベルで起こる微視的变化 (Microscopic level changes) と社会的レベルで起こる巨視的变化 (Microscopic level changes) といった区分が挙げられる。ここで、社会的レベルの変化として、人々の生活空間・移動空間を規定する、土地利用の変化や交通システムの変化が挙げられる。

以上の変化の区分をまとめると、

- 1) 離散的变化—連続的变化（区分の視点: 変化の連続性）
- 2) 短期的変化—長期的変化（区分の視点: 変化の期間）
- 3) 微視的变化—巨視的变化（区分の視点: 変化のスケール）

の少なくとも 3 つの視点が存在すると考えられる。もちろんこのような区分は概念レベルのものであり、特に実証分析においては完全に区分することは困難な場合が多いものの、上の 3 つの視点は、変化の性質を整理する上で有用なものと考えられる。以下では、多くの政策や関連分野の意思決定による影響が Entry (Exit) point を持つことを踏まえ、離散的变化と連続的变化に大きく区分した上で、他の視点については適宜説明を加える形でレビューを進める。

2.3.2 離散的性質を有する行動変化

2.3.2.1 政策の介入及び関連分野の意思決定による行動変化

離散的变化が顕著に起こる例は、Entry (Exit) point を持つ政策の介入及び関連分野の意思決定であろう。そのスケールは、オイルショックのような世界的な影響から道路工事による一時的な道路封鎖まで様々であるが、特定の個人ではなく、ある特定地域全体に影響を及ぼす点において巨視的变化と言える。ただし、その変化の期間は様々である。

はじめに、政策の介入による行動変化の例として、混雑課金による行動変化に関するいくつかの既往研究について見る。なお、第1章において定義したように、「時間の経過に伴い、行動とそれを規定する要素の因果構造が異なる状態になること」を変化とするため、構造的変化を検証していない研究については除く（例えば、課金前の時間価値を利用して課金後の交通行動を予測する場合、構造的変化は存在しないと仮定していることになる）。Schmöcker et al. (2006) は、ロンドンにおける混雑課金政策の結果として起こった、中心商店街 (Oxford Street area) における買物頻度の変化について分析している。結果、約 20%の個人において買物頻度の減少が見られ、特に、課金以前の自動車の利用頻度が高かった個人や混雑課金をよく思っていない個人、パートタイムの男性等の買物頻度の低下が著しいことを指摘している。このことから、混雑課金によって中心市街地の買物需要構造が変化していることが読み取れる。また、Arentze and Timmermans (2007) は、混雑課金による短期的な影響だけでなく長期的な行動変化にも着目した選好意識調査を行っている。その結果、日々の行動パターンは変化するものの、職場の変更や居住地の変更といった長期的な変化はほとんど起こらないとの結論を得ている。混雑課金による行動変化に類似した例として、日本において頻繁に行われている高速道路料金割引社会実験が挙げられる（例えば杉江ら、2006）。ただし、これらの社会実験において交通行動の構造的変化が起こっているかどうか検証されることは稀であり、料金変化と交通量変化の安定した関係を抽出することに主眼が置かれる場合がほとんどである。数少ない例外として、大藤ら (2005) の分析が挙げられる。大藤らは、様々な割引額を設定した6週間の料金割引実証調査(通常料金 [第1週目] → 割引1 [第2&3週目] → 割引2 [第4&5週目] 通常料金 [第6週目])を行い、高速道路料金の変化に対する行動変化を観測するために、6週間にわたる連続時間パネル調査(ただし平日の通勤トリップに焦点を当てた調査)を行っている。その結果、一時的な実験によっても行動の習慣付けが生じる可能性があることを指摘している。また、行動変化が生じるその他の例として、Rose and Marfurt (2007) は、オーストラリアで毎年行われているイベント Ride to Work Day が交通行動の変化を引き起こしたかどうかについて検証している。結果、イベントに参加した個人のうち約 27%が5カ月後にも自転車を利用し続けていることを示しており、ここでも行動の習慣付けによる交通行動の構造的変化が指摘されている。類似した結果は、日本において行われているモビリティマネジメントにおいても報告されているところである。繰り返しとなるが、以上にみてきた行動の習慣化は、従来の予測・評価から得られるアウトプット値としての変化とは大きく異なる点に注意する必要がある。すなわち、前者は構造的な変化を伴う一方で、後者においては構造そのものの変化は起きていないとしている点に注意する必要がある。

以上みた離散的变化は、政策の介入といったような、計画サイドの意思決定によりコントロール可能なものであった。一方で、第1章にみたように、予期せぬ事象の発生により交通行動に変化が生じる場合がある。例えば Currie and Phung (2007) は、テロへの恐怖の増大等の価値観の変化に対する行動変化を検証するために、アメリカで2001年に起きた9.11事件、イラク戦争(2003年～)、2005年8月のハリケーン(カトリーナ)のイベント発生下における公共交通需要のガソリン価格に対する弾力性の変化を検証している。その結果、9.11事件の直後では弾力性は上昇する等、ある一定の行動を規定する構造の変化が観測されることを指摘している。また Dargay and Gately (1997) は、ガソリン価格が一時的に高騰したオイルショックを例に、一時的に上昇したガソリン価格によって生じた需要の減少は、その後のガソリン価格の下降によっても完全には戻らないことを指摘している(すなわち、価格の上昇/下降に対する行動反応には非対称性が存在する)。加えて OECD (2000) は政策的な観点から非対称性について考察しており、環境税に対する行動の反応を計測する場合においては弾力性が一意ではないことに注意する必要があるとしている。また Fujii and Gärling (2003) は、高速道路の封鎖(8日間)に伴う行動変化についてパネル調査を行い、封鎖に伴う短期的な交通手段の変更が、その後の交通手段選択に継続的に影響を及ぼすことを確認している。これらの分析結果を踏まえると、例えば2009年3月から始まった一時的な休日の高速道路料金の引き下げ(2年間)をもとに戻したときにどのような行動変化が起こり得るのか等、実務上においても非対称性の検証は極めて重要であると考えられる。

2.3.2.2 個人・世帯属性の離散的变化

上では、政策の介入及び関連分野の意思決定による巨視的な離散変化について扱ったが、ここでは個人レベルで起こる微視的な離散的变化について整理する。ただし、微視的かつ離散的变化は、集計レベルでみると連続的な変化として捉え得る点に注意が必要である。

交通行動に大きな影響を及ぼす離散的变化として、転職や居住地の変化が挙げられる。通常、居住地の変化に伴う行動変化は、新たな居住地の環境に依存するものと考えられる。その一方で Fujii and Gärling (2003) は、学生の就職による居住地変更に伴い生じる交通手段の変化は、手段選択の習慣の強度にも依存することを指摘している。また、Kitamura and van der Hoorn (1987) は、Dutch Mobility Panelの2時点分のデータを用いて、職業の変更があったとしても行動変化はマルコフ仮説に従わないことを指摘し、反応遅れや習慣、過去従属性の影響が存在することを指摘している。以上の2つの研究が指摘しているような行動の習慣性等の影響が存在することは、前述した Rose and Marfurt (2007) や大藤ら (2005) の研究をはじめ、多くの既往研究によって実証されているところである(他にも Golob and Meurs (1987) や Thøgersen (2006) の研究がある)。

また、個人・世帯属性の離散的变化の中でも多くの研究が積み重ねられてきたのが、自動車保有/破棄に関する研究である。Pendyala et al. (1995) は、Dutch Mobility Panelのデータを用いて自動車保有の経年変化に関する分析を行っている。結果、自動車保有に対する所得弾力性は、世帯構成によってその変化の方向が異なることを示すとともに、収入の増加/減少と自動車の保有/破棄が対称的な反応を示さないことを指摘している(非対称性)。Matas and Raymond (2008) は、1980、1990及び2000年の3時点のデータを用いて、世帯の自動車保有の変化に関する分析を行

っている。結果、自動車保有の増加に伴い所得弾力性は小さくなること、地方都市においては所得弾力性が都市よりも経年的に小さく傾向にあることを示している。Simma and Axhausen (2003) は、German Mobility Panel 及び Dutch Mobility Panel の 3 時点のデータを用いて、自動車保有と定期券保有が自動車トリップ数と公共交通トリップ数に与える影響について共分散構造モデルにより分析している。結果、自動車保有は経時的に安定している一方で、定期券保有は比較的容易に変化し得ることを示している(オランダ (Dutch Mobility Panel) のケースのみ)。Goodwin (1989) は、1984-1986 年に行われた Dutch Mobility Panel のデータを用いて、公共交通利用の経年変化について分析している。結果、自動車保有の変化はそれほど速くはない一方で、公共交通の利用は比較的容易に変化しやすいことを指摘し、公共交通促進のためのマーケティング戦略が重要であると述べている。Beige and Axhausen (2008) は、2005 年に過去 20 年間の遡及(回顧)調査を行い、長期的なモビリティの変化について分析している。結果、自動車保有と定期券保有に代替性が存在することを指摘している。ただし、上述の Goodwin (1989) や Simma and Axhausen (2003) の指摘を踏まえると、自動車が保有できない状況下(主に若年者・高齢者)において一時的に定期券を保有する形でモビリティを確保するケースが多いのが現状であると考えられる。

2.3.3 連続的性質を有する行動変化

2.3.3.1 価値観の変化

価値観の変化の計測は極めて困難であるものの(特に長期的な変化を観測する場合、土地利用やインフラ整備等、他の変化の要因との分離が極めて困難となる)、ある特定の状況に対象を絞った場合、価値観の変化について観測可能なケースがある。ただし、多くの場合、あるイベント前後における価値観の変化が観測されるのみであり、社会全体としての価値観の変化を捉えるものではない。そのため、連続的性質を有する変化ではなく、離散的な性質を有する変化として観測がなされるケースが多い。

高須・藤井(2004)は、自動車免許取得前後における自動車利用に対する様々な価値観の変化を、3 時点のパネルデータを用いて検証している。結果、自動車免許を取得した人々の自動車に関わる信念が、自動車免許を取得していない人々に比べてより肯定的になる可能性があることを指摘している。Gould and Golob (1998) は、人々の環境及び電気自動車に対する認識の変化について 2 時点の意識データを用いて分析している。その結果、電気自動車に関する情報をメディアや友人との会話により入手すればするほど環境配慮の意識は低下することを指摘している。一方で、2 週間電気自動車を実際に運転した後では、環境問題を解決するために電気自動車は重要であると認識するようになる結果を得ている。Kenyon and Lyons (2003) は、マルチモーダル情報の交通手段選択への影響について分析した結果、それらの情報が交通手段選択に与える影響は極めて小さいことを指摘している。この理由として、交通手段の意思決定は基本的に習慣的行動によって決まっており、情報を活用しないケースが多いことを指摘している。

以上の既往研究は、離散的な性質を有する変化として価値観の変化を観測したものであった。一方、コーホート効果の存在は、間接的にはあるが、連続的な性質を有する価値観の変化が生

じていることを示すものとみなせる。例えば Beige and Axhausen (2008) は、2005 年に過去 20 年間の遡及（回顧）調査を行い、長期的なモビリティの変化について分析した結果、自動車保有や定期券保有においてコーホート効果が存在することを指摘している。繰り返しとなるが、この結果は、ある断面において観測されたデータを用いて将来時点の状態を予測する従来手法の妥当性を再検討する必要性を示すものである。

2.3.3.2 需要構造の長期的変化

需要構造の長期的変化に関する研究は、2.1.1.4 においてみたように、需要構造の安定性の検証という形で古くからなされてきた研究テーマである。これらの研究の多くは巨視的な視点からの分析であり、上述した政策の介入及び関連分野の意思決定や、個人・世帯属性、価値観の変化の集積として起こった行動の経年変化を検証する研究が中心である。そのため、何故変化が生じたのかに関する明確な回答は得られない一方で、大まかな需要構造の変化を捉えることができる点の特徴である。

まず、自動車交通需要構造の長期的変化に着目した研究についていくつか挙げる。Hughes et al. (2008) は、アメリカにおけるガソリン需要の価格弾力性の経年変化について分析し、結果、1975-1980 年には-0.21~-0.34 であった弾力性が、2001-2006 年には-0.034~-0.077 に変化していることを実証的に示している。また、この原因として、1) 1975-1980 年と比較して 2001-2006 年時点では自動車への依存度が高くなっており、自動車の利用を控えることができなくなりつつある点、2) 収入の増加に伴いガソリン価格の増加に敏感に反応しなくなりつつある点を指摘している。同様に Tanishita (2005) は、日本におけるガソリン需要の価格弾力性及び所得弾力性は 1980 年代から 1990 年代にかけて小さくなっている一方で、人口密度に対する弾力性が高くなることを指摘し、ガソリン需要の減少のためには、都市形態の変更がより効果的な可能性があると指摘している。

公共交通への影響等を含めたより多様な観点からは、Fujiwara et al. (2005) は、世界 46 都市の 1970、1980 及び 1990 年の 3 時点のマクロデータを用いて、都市レベルの土地利用、インフラ整備、交通需要、エネルギー消費の動的な因果関係について分析している。結果、インフラ整備がエネルギー消費に影響を及ぼす主要な要因であることを明らかにしている。また、土地利用やインフラ整備だけでなく、エネルギー消費についても過去従属性の影響が存在することを指摘している。Susilo and Kitamura (2008) は、京阪神における 3 時点の PT データを用いて、行動パターンを規定するモデルの因果構造（活動時間長、トリップ数、総移動時間等を目的変数とする同時方程式モデル）は経年的に安定していないことを指摘している。

2.4 本研究の位置づけ

以上概観したように、変動・変化に着目した分析は数多く存在する一方で、第 1 章において述べたように「どのように“不確実性に悩みながら”意思決定を下せばよいのか」に答え得るだけの知識の蓄積がなされているわけではない。例えば、幅を持たせた予測値の提示の重要性は広く認識されているものの、どのように幅を持たせて提示するのかに関する確定的な結論は見出せて

いないように思われる。また、土木計画・交通計画に関する政策分析に要請されるものが、道路整備に代表されるような需要の充足から、人口減少下での計画の在り方、情報技術の活用、木目細やかな需要のマネジメントなどに転換している状況下では、交通行動を詳細に把握し、マクロからメゾ、ミクروسケールに渡る各種施策の総合的な評価を行っていくことが求められる。

これらのことを踏まえて、本研究では、研究結果の蓄積が望まれていると考えられる、行動に内在する変動・変化に関する知見を得ることを目的として分析を進める。もちろん、交通行動の変動・変化の理解は、以上のような問題に対する直接的な解決案を提示するものではないものの、需要予測や施策評価が、交通現象の変動・変化の情報を、どのようなスケールで、また、どの程度の解像度で抽出/集約するか大きく依存していることを踏まえると、活動・交通行動の変動・変化に対する丁寧な理解を求める本研究の意義は決して小さくはないものとする。具体的には、本研究では以下の4つのテーマについて検討を加える。

- 1) 活動・交通行動の変動特性の包括的な把握（第4章）
- 2) 活動・交通行動の変動と活動種類及び母集団のセグメント（第5章）
- 3) 変動の影響を明示的に考慮した連続的性質を有する変化の把握（第6章）
- 4) 逐次モニタリングを通じた離散的性質を有する変化の把握（第7章）

以上の4つのテーマの位置付けを図2.4に示している。図から分かるように、1)及び2)はある短期的な断面(期間)における現象を対象としたものであり、変化は生じていないと仮定している。一方で、3)及び4)のテーマは、活動又は交通行動の構造的変化を対象とした分析である。

第3章では、以上に挙げた4つのテーマを扱うための基本的なモデルの枠組み及びその同定方法について述べる。本研究で扱うモデルは、教育分野や地理学、疫学を中心として発展し、近年交通分野においても適用事例が見られつつあるマルチレベル分析と、ベイズ統計が基盤となっている。この2つの応用から成る一連の分析手法を3章において整理し、その範囲を超える分析手法については、その都度対応する章において記述する。

続く第4章から第7章では、上に挙げた4つのテーマに各々対応した実証分析を行う。

第4章では、3章において構築したマルチレベルモデルを用いて、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用における活動・交通行動の変動特性を明らかにする。具体的には、各交通現象に内在する全変動を、個人間変動、世帯間変動、空間変動、経日変動、個人間変動に分解し、現象が変動する理由の大域的な視点からの理解を目指す。その後、各種変動要因の観測可能性、共変動(複数の変動要因の交互作用により生じる変動)の影響について検証を加える。続く第5章では、まず、3章において記述する縮約推定量の概念を応用して活動種類のセグメントを行動の類似性の観点から行う方法について概説し、実証分析を行う。次に、高い活動抵抗を有する集団(Special population groups)を抽出するという観点から、活動抵抗に基づく新たな母集団のセグメント手法を提案し、実証分析によりその有用性を示す。加えて、セグメントごとに変動特性を特定し、セグメントを通じた変動理解の意義について議論する。

第6章では、第3章において記述するマルチレベル分析を援用し、変動の影響を考慮した上で過去20年間の時間利用に関する意思決定の構造的変化を明らかにする。第7章では、Entry point

(Exit point) を持つ変化要因の介入の例として、2008年4月の暫定税率の失効(25.1円/リットル)及び2008年5月の復活、2008年8月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落を挙げ、離散的性質を有する変化に関する実証分析を行う。

第8章では、本研究で得られた研究成果及び今後の研究課題を整理する。また、今後取り組むべき課題について整理する。

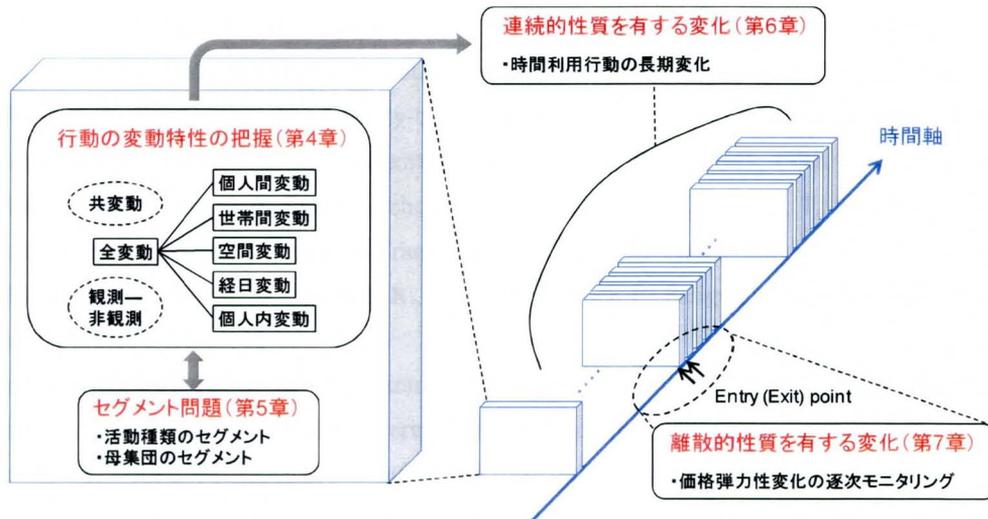


図 2.4 時間軸から見た本研究の対象と各章の位置付け

第 2 章 関連参考文献

- 1) Arentze, T., Hofman, F., van Mourik, H., Timmermans, H. J. P.: ALBATROSS: Multiagent, Rule-Based Model of Activity Pattern Decisions, *Transportation Research Record*, No. 1706, pp. 136-144, 2000.
- 2) Arentze, T., Timmermans, H. J. P.: A learning-based transportation oriented simulation system, *Transportation Research Part B*, Vol. 38, pp. 313-633, 2004.
- 3) Arentze, T., Timmermans, H.: Congestion pricing scenarios and change of job or residential location: Results of a stated adaptation experiment, *Journal of Transport Geography*, Vol. 15, pp. 56-61, 2007.
- 4) Axhausen, K. W., Gärling, T.: Activity-based approaches to travel analysis: conceptual frameworks, models, and research problems, *Transport Reviews*, Vol. 12, pp. 323-341, 1992.
- 5) Axhausen, K. W., Zimmermann, A., Schonfelder, S., Rindsfuser, G., Haupt, T.: Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, *Transportation*, 29, pp. 95-124, 2002.
- 6) Axhausen, K. W., Löchl, M., Schlich, R., Buhl, T., Widmer, P.: Fatigue in long-duration travel diaries, *Transportation*, 34, pp. 143-160, 2007.
- 7) Becker, G. S.: A Theory of the Allocation of Time, *The Economic Journal*, Vol. 75, pp. 493-517, 1965.
- 8) Beige, S., Axhausen, K. W.: Long-term and mid-term mobility decisions during the life course: Experiences with a retrospective survey, *IATSS Research*, Vol. 32, pp. 16-33, 2008.
- 9) Bowman, J. L., Ben-Akiva, M.: Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, *Transportation Research Part A*, Vol. 35, pp. 1-28, 2000.
- 10) Ben-Akiva, M., Bottom, J., Gao, S., Koutsopoulos, H. N., Wen, Y.: Towards Disaggregate Dynamic Travel Forecasting Models, *Tsinghua Science & Technology*, Vol. 12, pp. 115-130, 2007.
- 11) Bhat, C. R.: A multi-level cross-classified model for discrete response variables, *Transportation Research Part B*, Vol. 34, pp. 567-582, 2000.
- 12) Bhat, C. R., Zhao, H.: The spatial analysis of activity stop generation, *Transportation Research Part B*, Vol. 36, pp. 557-575, 2002.
- 13) Bhat, C. R., Sivakumar, A., Axhausen, K. W.: An analysis of the impact of information and communication technologies on non-maintenance shopping activities, *Transportation Research Part B*, Vol. 37, pp. 857-881, 2003.
- 14) Bhat, C. R., Frusti, T., Zhao, H., Schonfelder, S., Axhausen, K. W.: Intershoppping duration: an analysis using multiweek data, *Transportation Research Part B*, Vol. 38, pp. 39-60, 2004.
- 15) Bhat, C. R., Srinivasan, S., Axhausen, K. W.: An analysis of multiple interepisode durations using a unifying multivariate hazard model, *Transportation Research Part B*, Vol. 39, pp. 797-823, 2005.
- 16) Buliung, R. N., Roorda, M. J., Rummel, T. K.: Exploring Spatial Variety in Patterns of Activity-Travel Behaviour: Initial Results from the Toronto Travel-Activity Panel Survey (TTAPS), *Transportation*, Vol. 35, pp. 697-722, 2008.
- 17) Clarke, M., Dix, M., Goodwin, P.: Some issues of dynamics in forecasting travel behaviour - A discussion paper, *Transportation*, Vol. 11, pp. 153-172, 1982.

- 18) Cohen, G. S., Kocis, M. A.: Components of change in urban travel, *Transportation Research Record*, No. 775, pp. 42-47, 1980.
- 19) Cohen, M. P.: Determining sample sizes for surveys with data analyzed by hierarchical linear models, *Journal of Official Statistics*, Vol. 14, pp. 267-275, 1998.
- 20) Cohen, M. P.: Sample size considerations for multilevel surveys, *International Statistical Review*, Vol. 73, pp. 279-287, 2005.
- 21) Currie, G., Phung, J.: Transit Ridership, Auto gas prices, and world events: New drivers of change?, *Transportation Research Board*, No. 1992, pp. 3-10, 2007.
- 22) Dargay, J., Gately, D.: The Demand for Transportation Fuels: Imperfect Price-Reversibility?, *Transportation Research Part B*, Vol. 31, pp. 71-82, 1997.
- 23) Doherty, S., Miller, E. J.: A Computerized Household Activity Scheduling Survey, *Transportation*, Vol. 27, pp. 75-97, 2000.
- 24) Doherty, S. T.: Should we abandon activity type analysis? Redefining activities by their salient attributes, *Transportation*, Vol. 33, pp. 517-536, 2006.
- 25) Ettema, D., Borgers, A., Timmermans, H.: SMASH (Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics): Some simulations, *Transportation Research Record*, No. 1551, pp. 88-94, 1996.
- 26) Fotheringham A. S., Brunson, C., Charlton, M.: *Geographically Weighted Regression: The analysis of spatially varying relationships*, John Wiley & Sons, Ltd., 2002.
- 27) Fujii, S., Gärling, T.: Development of script-based travel mode choice after forced change, *Transportation Research Part F*, Vol. 6, pp. 117-124, 2003.
- 28) Fujiwara, A., Zhang, J., Lee, B., Da Cruz, M. R. M.: Evaluating sustainability of urban development in developing countries incorporating dynamic cause-effect relationships over time, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 4349-4364, 2005.
- 29) German Mobility Panel (URL: <http://mobilitaetspanel.ifv.uni-karlsruhe.de/en/index.html>).
- 30) Golob, T. F., Meurs, H.: A structural model of temporal change in multi-modal travel demand, *Transportation research part A*, Vol. 21, pp. 391-400, 1987.
- 31) Golob, T. F., Golob, J. M.: *Practical Considerations in the Development of a Transit Users Panel*, University of California Transportation Center, Working Paper No. 17, University of California at Berkeley, Berkeley CA, 1989.
- 32) Goodwin, P.: The usefulness of travel budgets, *Transportation Research Part A*, Vol. 15, pp. 96-106, 1981.
- 33) Goodwin, P.: Family changes and public transport use 1984-1987, *Transportation*, Vol. 16, pp. 121-154, 1989.
- 34) Goodwin, P.: The end of equilibrium, in T. Gärling, T. Laitila and K. Westin (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*, Elsevier, Amsterdam, pp. 103-132, 1998.
- 35) Gould, J., Golob, T. F.: Clean air forever? A longitudinal analysis of options about air pollution and electric vehicles, *Transportation Research Part D*, Vol. 3, pp. 157-169, 1998.
- 36) Goulias, K. G.: Multilevel analysis of daily time use and time allocation to activity types accounting

- for complex covariance structures using correlated random effects, *Transportation*, Vol. 29, pp. 31-48, 2002.
- 37) Goulias, K. G., Kilgren, N., Kim, T.: A decade of longitudinal travel behavior observation in the Puget Sound region: sample composition, summary statistics, and a selection of first order findings, Paper Submitted to the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, 10-14 August, 2003.
 - 38) Goulias, K. G., Kim, T-G.: An analysis of activity type classification and issues related to the WITH WHOM and FOR WHOM questions of an activity diary, in H. Timmermans (ed.) *Progress in Activity-Based Analysis*, Elsevier, pp. 309-334, 2005.
 - 39) Habib, K. M. N., Miller, E. J., Axhausen, K. W.: Weekly rhythm in joint time expenditure for all at-home and out-of-home activities: Application of kuhn-tucker demand system model using multiweek travel diary data, *Transportation Research Record*, No. 2054, pp. 64-73, 2008.
 - 40) Hägerstrand, T.: What About People in Regional Science?, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, Vol. 24, pp. 7-21, 1970.
 - 41) Hansen, M. H., Hurwitz, W. N., Madow, W. G.: *Sample Survey Methods and Theory, Volume II (Theory)*, Wiley, New York, 1953.
 - 42) Hanson, S., Huff, J.: Classification issues in the analysis of complex travel behavior, *Transportation*, Vol. 13, pp. 271-293, 1986.
 - 43) Hanson, S., Huff, J. O.: Systematic variability in repetitious travel, *Transportation*, Vol. 15, pp. 111-135, 1988a.
 - 44) Hanson, S., Huff, J.: Repetition and Day-to-Day Variability in Individual Travel Patterns: Implications for Classification, in R.G. Golledge and H. Timmermans (eds.) *Behavioural Modelling in Geography and Planning*, Croom Helm, London, pp. 368-398, 1988b.
 - 45) Hato, E., Kitamura, R.: Data-oriented travel behavior analysis based on Probe Person systems, *TRB conference proceedings 42 -Innovations in Travel Demand Modeling: Summary of a Conference-*, Vol. 2, pp. 187-196, 2008.
 - 46) Hensher, D. A.: Issues in the pre-analysis of panel data, *Transportation Research Part A*, Vol. 21, pp. 265-285, 1987.
 - 47) Hildebrand, E. D.: Dimensions in elderly travel behaviour: A simplified activity-based model using lifestyle clusters, *Transportation*, Vol. 30, pp. 285-306, 2003.
 - 48) Hughes, J., Knittel, C. R., Sperling, D.: Evidence of a shift in the short-run price elasticity of gasoline demand, *Energy Journal*, Vol. 29, pp. 113-134, 2008.
 - 49) Joh, C-H., Arentze, T., Hofman, F., Timmermans, H.: Activity Pattern Similarity: A Multidimensional Sequence Alignment Method, *Transportation Research Part B*, Vol. 36, pp. 385-403, 2002.
 - 50) Jones, P., Clarke, M.: The significance and measurement of variability in travel behaviour, *Transportation*, Vol. 15, pp. 65-87, 1988.
 - 51) Kasturirangan, K., Pendyala, R. M., Koppelman, F. S.: On the role of history in modeling activity type choice and activity duration for commuters, *Transportation Research Record*, No. 1807, pp. 129-136,

2002.

- 52) Kenyon, S., Lyons, G.: The value of integrated multimodal traveller information and its potential contribution to modal change, *Transportation Research Part F*, Vol. 6, pp. 1-21, 2003.
- 53) Kitamura, R.: Sequential, History-Dependent Approach to Trip-Chaining Behavior, *Transportation Research Record*, 944, pp. 13-22, 1983.
- 54) Kitamura, R., Kermanshah, M.: Identifying Time and History Dependencies of Activity Choice, *Transportation Research Record*, 944, pp. 22-30, 1983.
- 55) Kitamura, R., van der Hoorn, T.: Regularity and irreversibility of weekly travel behavior, *Transportation*, 14, pp. 227-251, 1987.
- 56) Kitamura, R.: An Analysis of Weekly Activity Patterns and Travel Expenditure, in R.G. Golledge and H. Timmermans (eds.) *Behavioural Modelling in Geography and Planning*, Croom Helm, London, pp. 399-423, 1988.
- 57) Kitamura, R.: Panel analysis in transportation planning: An overview, *Transportation Research A*, Vol. 24, pp. 401-415, 1990.
- 58) Kitamura, R., Fujii, S.: Two Computational Process Models of Activity-Travel Behavior, in T. Gärling, T. Laitila and K. Westin (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*, , pp. 251-279, 1998.
- 59) Kitamura, R., Yamamoto, T., Fujii, S.: The effectiveness of panels in detecting changes in discrete travel behavior, *Transportation Research Part B*, Vol. 37, pp. 191-206, 2003.
- 60) Kitamura, R., Yamamoto, T., Susilo, Y. O., Axhausen, K. W.: How routine is a routine? An analysis of the day-to-day variability in prism vertex location, *Transportation Research Part A*, Vol. 40, pp. 259-279, 2006.
- 61) Kostyniuk, L. P., Kitamura, R.: Trip chains and activity sequences: Test of temporal stability, *Transportation Research Record*, No. 987, pp. 29-39, 1984.
- 62) Krizek, K. J., Waddell, P.: Analysis of lifestyle choices: Neighborhood type, travel patterns, and activity participation, *Transportation Research Record*, No. 1807, pp. 119-128, 2002.
- 63) Lee-Gosselin, M. E. H.: A data collection strategy for perceived and observed flexibility in the spatio-temporal organization of household activities and associated travel, in H. Timmermans (ed.) *Progress in Activity-Based Analysis*, Elsevier, Oxford, pp. 355-371, 2005.
- 64) Lanzendorf, M.: Mobility Styles and Travel Behavior: Application of a lifestyle approach to leisure travel, *Transportation Research Record*, No. 1807, pp. 163-173, 2002.
- 65) Levinson, D., Kumar, A.: Temporal Variations on the Allocation of Time, *Transportation Research Record*, No. 1493, pp. 118-127, 1995.
- 66) Lin, H.-Z., Lo, H.-P., Chen, X.-J.: Lifestyle classifications with and without activity-travel patterns, *Transportation Research Part A*, Vol. 43, pp. 626-638, 2009.
- 67) Matas, A., Raymond, J. L.: Changes in the structure of car ownership in Spain, *Transportation Research Part A*, Vol. 42, pp. 187-202, 2008.
- 68) McFadden, D.: Disaggregate behavioral travel demands RUM side: A 30-year retrospective. Invited

- paper presented at the 9th International Association for Travel Behaviour Research Conference, Sheraton Mirage Gold Coast, Queensland, Australia, July 2-7, 2001.
- 69) McNally, M. G., Lee, M. S.: Putting behavior in household travel behavior data: An interactive GIS-based survey via the Internet, Center for Activity Systems Analysis. Paper UCI-ITS-AS-WP-02-11(URL: <http://repositories.cdlib.org/itsirvine/casa/UCI-ITS-AS-WP-02-112002>).
 - 70) Mohammadian, A., Bekhor, S.: Travel behavior of special population groups, *Transportation*, Vol. 35, pp. 579-583, 2008.
 - 71) Murakami, E., Ulberg, C.: The Puget Sound Transportation Panel, in T. F. Golob, R. Kitamura, and L. Long (eds.) *Panels for Transportation Planning: Method and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 159-192, 1997.
 - 72) OECD: *Behavioural Responses to Environmentally-Related Taxes*, OECD, Paris, 2000 ([http://www.oilis.oecd.org/olis/1999doc.nsf/LinkTo/NT00002A16/\\$FILE/00074423.PDF](http://www.oilis.oecd.org/olis/1999doc.nsf/LinkTo/NT00002A16/$FILE/00074423.PDF)).
 - 73) Pas, E. I.: A flexible and integrated methodology for analytical classification of daily travel-activity behaviour, *Transportation Science*, Vol. 17, pp. 405-429, 1983.
 - 74) Pas, E. I.: Multiday Samples, Parameter estimation precision, and data collection costs for least squares regression trip-generation models, *Environment and Planning A*, Vol. 18, pp. 73-87, 1986.
 - 75) Pas, E. I.: Intrapersonal variability and model goodness-of-fit, *Transportation Research Part A*, Vol. 21, pp. 431-438, 1987.
 - 76) Pas, E. I., Sundar, S.: Intrapersonal Variability in Daily Urban Travel Behavior: Some Additional Evidence, *Transportation*, Vol. 22, pp. 135-150, 1995.
 - 77) Pas, E. I.: Weekly travel-activity behavior, *Transportation*, 15, pp. 89-109, 1988.
 - 78) Pendyala, R. M., Kostyniuk, L. P., Goulias, K. G.: A repeated cross-sectional evaluation of car ownership, *Transportation*, Vol. 22, pp. 165-184, 1995.
 - 79) Pendyala, R. M.: Measuring day-to-day variability in travel behavior using GPS data, Final Report DTFH61-99-P-00266., FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1999 (<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/gps/index.html>).
 - 80) Pendyala, R. M., Pas, E. I.: Multi-day and multi-period data for travel demand analysis and modeling, TRB Transportation Research Circular E-C008: *Transportation Surveys: Raising the Standard*, 2000.
 - 81) Raimond, T., Hensher, D. A.: A review of empirical studies and applications, in T. F. Golob, R. Kitamura, and L. Long (eds.) *Panels for Transportation Planning: Method and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston , pp. 15-72, 1997.
 - 82) Ramadier, T., Lee-Gosselin, M. E. H., Frenette, F., Joud, F.: Conceptual perspectives for explaining spatio-temporal behaviour in urban areas, in M. E. H. Lee-Gosselin and S. T. Doherty (eds.) *Integrated Land-Use and Transportation Models: Behavioural Foundations*, Elsevier, Oxford, pp. 87-100, 2005.
 - 83) Recker, W. W., McNally, M. G., Root, G. S.: Travel/Activity Analysis: Pattern Recognition, Classification and Interpretation, *Transportation Research Part A*, Vol. 19, pp. 279-296, 1985.
 - 84) Recker, W. W., McNally, M. G., Root, G. S.: A model of complex travel behavior: Part I—Theoretical development, *Transportation Research Part A*, Vol. 20, pp. 307-318, 1986a.

- 85) Recker, W. W., McNally, M. G., Root, G. S.: A model of complex travel behavior: Part II—An operational model, *Transportation Research Part A*, Vol. 20, pp. 319-330, 1986b.
- 86) Roorda, M. J., Lee-Gosselin, M., Doherty, S., Miller, E. J., Rondier, P.: Travel/activity panel surveys in the Toronto and Quebec city regions: Comparison of methods and preliminary results, Paper presented at the 2nd international colloquium on the behavioural foundations of integrated land use and transportation models, Toronto, June 12-15, 2005.
- 87) Rose, G., Marfurt, H.: Travel behaviour change impacts of a major ride to work day event, *Transportation Research Part A*, Vol. 41, pp. 351-364, 2007.
- 88) Scarpa, R., Giudice, T. D.: Market Segmentation via Mixed Logit: Extra-Virgin Olive Oil in Urban Italy, *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, Vol. 2, pp. 1-18, 2004.
- 89) Schlich, R.: Analyzing Intrapersonal Variability of Travel Behavior Using the Sequence Alignment Method, Paper presented at the European Transport Conference, Cambridge, 2001.
- 90) Schlich, R., Axhausen, K. W.: Habitual travel behaviour: Evidence from a six-week travel diary, *Transportation*, Vol. 30, pp. 13-36, 2003.
- 91) Schmöcker, J.-D., Fonzone, A., Quddus, M., Bell, M. G. H.: Changes in the frequency of shopping trips in response to a congestion charge, *Transport Policy*, Vol. 13, pp. 217-228, 2006.
- 92) Schonfelder, S., Axhausen, K. W.: Activity spaces: measures of social exclusion?, *Transport Policy*, Vol. 10, pp. 273-286, 2003.
- 93) Shelley, H. J.: Developing the American Time Use Survey Activity Classification System, *Monthly Labor Review*, Vol. 128, No. 6, pp. 3-15, 2005.
- 94) Simma, A., Axhausen, K. W.: Commitments and modal usage: Analysis of German and Dutch panels, *Transportation Research Record*, No. 1854, pp. 22-31, 2003.
- 95) Snijders, T. A. B., Bosker, R. J.: Standard errors and sample sizes for two-level research, *Journal of Educational Statistics*, Vol. 18, pp. 237-259, 1993.
- 96) Snijders, T. A. B.: Power and sample size in multilevel modeling, In: Everitt, B. S., Howell, D. C. (eds.), *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*, Volume 3, Wiley, pp. 1570-1573, 2005.
- 97) Spissu, E., Pinjari, A. R., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., Axhausen, K. W.: An analysis of weekly out-of-home discretionary activity participation and time-use behavior, *Transportation*, forthcoming, , 2009.
- 98) Stauffacher, M., Schlich, R., Axhausen, K. W., Scholz, R.: The diversity of travel behaviour: motives and social interactions in leisure time activities, Working papers, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, IVT, ETH Zürich, Zürich, 2005.
- 99) Stopher, P. R., Greaves, S. P.: Household travel surveys: Where are we going?, *Transportation Research A*, 41, pp. 367-381, 2007.
- 100) Supernak, J.: Travel-Time Budget: A Critique, *Transportation Research Record*, 879, pp. 15-25, 1982.
- 101) Susilo, Y. O., Kitamura, R.: Analysis of day-to-day variability in an individual's action space: Exploration of 6-Week Mobidrive travel diary data, *Transportation Research Record*, No. 1902, pp. 124-133, 2005.

- 102) Susilo, Y. O., Kitamura, R.: Structural changes in commuters' daily travel: The case of auto and transit commuters in the Osaka metropolitan area of Japan, 1980–2000, *Transportation Research Part A*, Vol. 42, pp. 95-115, 2008.
- 103) Taniguchi, A., Suzuki, H. and Fujii, S. : Mobility Management in Japan: Its development and meta-analysis of travel feedback programs, *Transportation Research Record*, No. 2021, pp.100-117, 2007.
- 104) Tanishita, M.: Change in price and income elasticity of gasoline demand in Japanese cities, 1980's-1990's, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 3250-3263, 2005.
- 105) Teichert, T., Shehu, E., Von Wartburg, I.: Customer segmentation revisited: The case of the airline industry, *Transportation Research Part A*, Vol. 42, pp. 227-242, 2008.
- 106) Teune, H.: Cross-level analysis: A case of social inference, *Quality and Quantity*, Vol. 13, pp. 527-537, 1979.
- 107) Thøgersen, J.: Understanding repetitive travel mode choices in a stable context: A panel study approach, *Transportation Research Part A*, Vol. 40, pp. 621-638, 2006.
- 108) Tobler, W. R.: Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74, pp. 519-536, 1979.
- 109) Tooley, M. S.: Incentives and Rates of Return for Travel Surveys, *Transportation Research Record*, No. 1551, pp. 67-73, 1996.
- 110) van Wissen, L. J. G., Meurs, H.: The Dutch mobility panel: Experiences and evaluation, *Transportation*, Vol. 16, pp. 99-119, 1989.
- 111) Wolf, J., Schönfelder, S., Samaga, U., Oliveira, M., Axhausen, K. W.: Eighty Weeks of Global Positioning System Traces: Approaches to Enriching Trip Information, *Transportation Research Record*, 1870, pp. 46-54, 2004.
- 112) Yee, J. L., Niemeier, D.: Advantages and Disadvantages: Longitudinal vs. Repeated Cross-Section Surveys, Discussion Paper, Project Battelle 94-16, FHWA, HPM-40, Washington, D.C., 1996.
- 113) Yunker, K. R.: Test of the temporal stability of travel simulation models in Southeastern Wisconsin, *Transportation Research Record*, No. 610, pp. 1-5, 1976.
- 114) Zahavi, Y., Talvitie, A.: Regularities in travel time and money expenditures, *Transportation Research Record*, No. 750, pp. 13-19, 1980.
- 115) Zahavi, Y., Ryan, J. M.: Stability of travel components over time, *Transportation Research Record*, No. 750, pp. 19-26, 1980.
- 116) Zhang, M., Kukadia, N.: Metrics of urban form and the modifiable areal unit problem, *Transportation Research Record*, No. 1902, pp. 71-79, 2005.
- 117) Zhang, J., Timmermans, H. J. P., Borgers, A.: A Model of Household Task Allocation and Time Use, *Transportation Research Part B*, Vol. 39, pp. 81-95, 2005.
- 118) Zhang, J., Fujiwara, A.: Representing household time allocation by endogenously incorporating diverse intra-household interactions: A case study in the context of elderly couples, *Transportation*

- Research Part B, Vol. 40, pp. 54-74, 2006.
- 119) Zimmerman, C. A.: The life cycle concept as a tool for travel research, *Transportation*, Vol. 11, pp. 51-69, 1982.
- 120) Zumkeller, D.: The dynamics of change - latest results from the German mobility panel, paper presented at the 12th International Conference on Travel Behaviour Research, Jaipur, December 13-18, 2009.
- 121) 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法, *土木学会論文集*, No. 653/IV-48, pp. 95-104, 2000.
- 122) 足立智之, 藤川謙, 朝倉康夫: 所要時間信頼性の向上に伴う高速道路利用時刻変化の実証分析, *土木計画学研究・講演集*, Vol. 39, 2009 (CD-ROM).
- 123) 大森宣暁, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 高度情報機器を用いた交通行動データ収集の可能性, *日本都市計画学会学術研究論文集*, No. 34, pp. 169-174, 1999.
- 124) 北川博巳, 三星明宏: 高齢者モビリティ潜在化の属性要因と交通需要増加に関する考察, *土木計画学研究・論文集*, No. 15, pp. 747-754, 1998.
- 125) 北村隆一, 藤井聡, 山本俊行: 離散時間パネル調査の調査期間, 調査間隔, 標本数の最適化, *土木学会論文集*, No. 681/IV-52, pp. 13-23, 2001.
- 126) 日下部貴彦, 中島良樹, 朝倉康夫: 可視化技術をもちいた交通系 IC カードデータの分析, *土木計画学研究・講演集*, Vol. 39, 2009 (CD-ROM).
- 127) 交通需要予測研究会: 交通計画における予測の事後評価に関する研究, トヨタ財団助成研究報告書 (研究代表者: 新谷洋二), 1987.
- 128) 櫻井尚子: 潜在クラス分析を用いたマーケット・セグメンテーション—顧客の購買パターンによるマーケットセグメント創出のモデル—, *計算機統計学*, 第 17 巻, 第 1 号, pp. 21-30, 2004.
- 129) 杉江功, 山本昌孝, 神野裕昭: 都市高速道路の料金割引社会実験による効果, *土木計画学研究・講演集*, Vol. 34, 2006 (CD-ROM).
- 130) 杉恵頼寧: アクティビティを基本とした交通研究への新しいアプローチ—TSU 方式—, *交通工学*, Vol. 19, No. 2, pp. 19-27, 1984.
- 131) 杉恵頼寧: 交通行動調査の開発と適用 (その 2)—アクティビティ・ダイアリー調査—, *交通工学*, Vol. 23, pp. 71-79, 1988.
- 132) 杉恵頼寧, 藤原章正, 末永勝久: 活動日誌を用いた交通調査の有効性, *日本都市計画学会学術研究論文集*, No. 23, pp. 409-414, 1988.
- 133) 杉恵頼寧, 芦沢哲蔵, 古藪篤人: 個人の発生トリップの曜日変動と個人変動, *土木計画学研究・講演集*, No. 12, pp. 1-6, 1989.
- 134) 杉恵頼寧, 藤原章正: ライフサイクルからみた個人の日常的交通—活動パターンの分析, in 今野源八郎・大石泰彦 (編著) *我が国道路交通革命期の政策論*, 勁草書房, pp. 103-116, 1993.
- 135) 杉恵頼寧, 張峻屹, 藤原章正: 多時点集計型交通需要予測モデルの開発, *土木学会論文集*, No. 524/IV-29, pp. 93-104, 1995.
- 136) 杉浦芳夫: 地理的空間分析, シリーズ人文地理学 3, 朝倉書店, 2003.

- 137) 鈴木春菜, 谷口綾子, 藤井聡: 国内 TFP 事例の態度・行動変容効果についてのメタ分析, 土木学会論文集D, 土木学会, Vol. 62, pp.574-585, 2006.
- 138) 総務省-統計局: 社会生活基本調査 (<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2006/index.htm>).
- 139) 大藤武彦, 吉田聰, 吉井稔雄, 北村隆一: 阪神高速 13 号東大阪線における料金割引実証実験における通勤トリップの経路変更・利用時刻変更行動の分析, 交通工学, Vol. 40, No. 6, pp. 42-51, 2005.
- 140) 高須豊, 藤井聡: 免許取得による自動車利用に関する信念の変化分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 21, pp. 515-522, 2004.
- 141) 田名部淳, 丹下真啓: プロブパーソン調査の展開と今後の展望, 土木計画学研究・講演集, Vol. 33, 2006 (CD-ROM).
- 142) 張峻屹: 異質性を考慮した交通行動のダイナミックモデル, 広島大学大学院, 博士論文, 1996.
- 143) 塚井誠人: 空間統計モデルのフロンティア, 土木計画学研究・論文集, Vol. 22, pp. II1-II13, 2005.
- 144) 出水浩介, 羽藤英二: プロブパーソンデータを用いた移動・活動パターンのバスケット分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 30, 2004 (CD-ROM).
- 145) 羽藤英二: モデルとデータ: プロブパーソン調査の課題と今後, 土木計画学研究・講演集, No. 27, 2003 (CD-ROM).
- 146) 原田昇, 太田勝敏: 生活活動記録に基づく個人の活動分析に関する研究, 日本都市計画学会 学術研究論文集, No. 23, pp. 415-420, 1988.
- 147) 福田大輔, 松村隆, 屋井鉄雄: 時間・費用制約下におけるシニア夫婦世帯の活動時間配分モデルに関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 24, pp. 557-566, 2007.
- 148) 古谷知之: ベイズ地理的加重回帰モデルの地価モデル推定への適用, 都市計画論文集, No. 39, pp. 787-792, 2004.
- 149) 三星明宏, 新田保次: 交通困難者の概念と交通需要について, 土木学会論文集, No. 518/IV-28, pp. 31-42, 1995.
- 150) 森尾淳, 中野敦, 谷口泰宏: パーソントリップ調査の新たな実態調査手法の導入に関する検討, IBS Annual Report 研究活動報告, pp. 27-30, 2007.
- 151) 森川高行, 白水靖郎: SP データを用いた交通需要予測のためのマーケット・セグメンテーションに関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 14, pp. 589-596, 1991.
- 152) 山田敏久: 世帯構成員間の相互作用を考慮した中山間地域における交通政策の影響分析, 広島大学大学院, 修士論文, 2003.
- 153) 若林芳樹: 認知地図の空間分析, 地人書房, 2000.

第3章 変動・変化を捉えるための分析手法

本章では、本研究において扱う活動・交通行動に内在する変動・変化を捉える分析手法について整理する。3.1では、変動を捉えるための手法として、教育学や地理学、育種学、疫学等の分野で発展し、近年、土木計画や交通の分野でも適用事例が見られるマルチレベルモデル手法について整理する。3.2では、マルチレベルモデルから得られる縮約推定量と呼ばれる推定量の特性及びその活用方法、有用性について述べる。3.3では、マルチレベルモデルを用いて特定した現象の変動構造を時間軸上に拡張し、変動構造の変化を把握する方法を述べる。3.4では、はじめにベイズ更新の概念について整理し、その後、交通行動の変化のモニタリングへ応用する方法について述べる。また、この際、3.2において記述する縮約推定量に対するベイズ更新方法についても整理する。3.5では、以上述べたモデルを推定する手法として、マルコフ連鎖モンテカルロ法について記述する。なお、本章では、本研究の核となる分析手法であるマルチレベルモデル及びベイズ更新についてのみ整理し、その他の分析手法については、以降の章において適宜説明を加えることとする。

上述のように、本研究全般を通して利用する分析手法は、他分野における研究成果を援用し、活動・交通行動の変動・変化の理解に向けて応用するものである。この意味で、全く新しい方法論を提案するものではないが、その応用方法については独自性を有していると考えている。特に、1) 交通行動の主要な変動要因と考えられる5つの変動要因の設定、2) 異なる変動要因間の交互作用により生じる共変動の表現、3) 縮約推定量の行動解析への活用方法の検討、4) 分散の構造化による変動構造の変化の表現、5) マルチレベルモデルのベイズ更新、といった応用は、交通分野における分析事例は筆者の知る限り存在せず、活動・交通行動の変動・変化をできる限り網羅的に捉えられるよう展開している点が特徴であると考えられる。また、交通計画を策定するために行われる行動調査やモデル作成が、変動・変化の情報を抽出/集約しようとする試みであるという観点から見ると、本章で提案する分析手法は、情報の抽出/集約プロセスにおいて捨てられてきた変動・変化を定量的に把握するための手法であると見なせる。

3.1 変動特性解析のためのマルチレベルモデル

2.2において概観したように、活動・交通行動は様々な要因の影響を受けて変動する。従来、様々な変動要因のうち、ある限られた要因に焦点を当てて分析が行われることが頻繁であった。例えば、伝統的な四段階推定法では主に空間的な変動に、非集計分析では主に行動主体の属性の違いに起因する変動に焦点が当てた分析が行われる。これらの分析においては、自動車保有やライフステージなど交通行動に影響を及ぼすと思われる要因を経験的な知識に基づいて仮定することが多い。また、着目する変動要因を一旦決定すると、他の要因による現象の変動は省略されたり誤差として扱われる。例えば四段階推定法では、ゾーン単位の集計を行った上で分析が進められる。そのため、空間的な変動を除く他の全ての変動は、分析結果にはもちろんのこと、モデルの再現性を評価する決定係数等にも明示的に反映されない。言い換えると、四段階推定法における決定

係数が示すのは、「観測変数によって空間的な変動（ゾーン間の差異）がどの程度説明できたか」であって、他の変動は評価の対象に含まれない。そのため、仮に現象の変動が他の要因に大きく依存する場合、たとえ高い決定係数が算出されたとしても、結果的に実現象をうまく捉えることができないのは明らかである。同様の議論が「代表的な一日」を仮定する非集計分析にも当てはまり、2章において見たように、断面データに基づくモデル同定の脆弱さが例えば Pas(1987)によって指摘されている。

以上のような観点から現象を見ると、交通行動は、移動空間の影響（例えば LOS 水準）、個人属性／世帯属性の影響（例えば年齢や子供の有無）、文脈要因の影響（例えば同伴者の有無）等、様々に異なる水準の要因から影響を受けて決定しているといえる。例えば、ある1つのトリップとその実行者である個人に対し、[トリップ]∈[個人]という関係が想定できる。さらにこの関係を拡張すると、[トリップ]∈[個人]∈[世帯]∈[居住都市]∈[居住国]といったように、1つのトリップは、複数の（トリップ単位から見れば）マクロ水準の変数の影響を受けていることが分かる。このような関係を階層的な構造(hierarchical structure)と呼称する。一方、[トリップ]は、[個人]と階層的な関係にある一方で、[時刻（又は日付）]とも階層的な関係にある。例えば、「活動発生確率」は、ミクロ水準である[トリップ]をマクロ水準である[個人]によって集計し、確率化した際に観測される現象である。反面、「ピーク時交通量」は、ミクロ水準である[トリップ]をマクロ水準である[時刻]によって集計した結果観測される現象である。このとき、前者のケースでは[個人]による集計によって[時刻]の次元が、後者のケースでは[時刻]による集計によって[個人]の次元が失われることとなるため、[個人]と[時刻]の間に階層的な関係は存在しない。このような関係を交差分類的な構造(cross-classified structure)と呼称する。階層的及び交差分類的な構造の識別は、3.1.5において述べる共変動の存在について議論する際に重要となる。

マルチレベルモデル (Hox, 1995; Kreft and Leeuw, 1998; Goldstein, 2003) とは、以上に見たような、階層的な構造及び交差分類的な構造の両者を明示的に扱うモデルであり、その特徴は、非観測要因の影響も含め様々な水準の変動要因の影響を同時に扱う点にある。従来においても例えばトリップ単位の分析において個人属性の影響や居住地の影響を説明変数として考慮する分析が多数行われてきたが、導入された変数がマクロ水準の影響を十分に捉えているのかに関する判断はほとんど行われてこなかった。以下、マルチレベル分析の有用性について整理し、その後、具体的なモデルの定式化を行う。

3.1.1 多水準に渡る影響要因の存在と分析結果からの示唆

四段階推定法に代表されるゾーン平均値に基づく集計分析では、生態学的錯誤(相関)(ecological fallacy (correlation); Robinson, 1950)の問題が生じることは広く知られている。生態学的錯誤は、ゾーン単位を用いた分析結果をもとに個人レベルでの関連を考察する際に誤った推論を招く可能性があることを示唆するものである(交通工学研究会, 1993)。交通分野では、これまで生態学的錯誤の問題に対しては広く注意が払われてきたものの、その対を成す原子論的錯誤(atomistic fallacy)等、他の種類の錯誤についてはほとんど配慮がなされてこなかった。なお、原子論的錯誤をはじめとする生態学的錯誤以外の錯誤については、疫学等他の分野で広く議論されている。表 3.1 に、

疫学分野でまとめられている錯誤の種類を示す (Diez-Roux, 1998; 西, 2006)。なお、表 3.1 中の「グループ」は上述のマクロ水準に、「個人」は上述のミクロ水準に該当する (表 3.1 では 2 水準の状況を想定している)。

表 3.1 の各錯誤の種類について、以下、交通分野における例を挙げながら説明する。はじめに、生態学的錯誤及び原子論的錯誤について、自動二輪車の保有と世帯収入の関係を例に考える。この関係を国レベル (グループレベル) で見ると、世帯収入が増加するに伴い、自動二輪車の保有率は高くなるという関係にあるとしよう。このグループレベルの関係をを用いて個人レベルの推論を行う場合に生じ得るのが生態学的錯誤である。例えば、個人レベルで見た場合、世帯収入の高い個人は自動二輪車から自動車に乗り換える等の行動を取り、結果的に世帯収入の低い個人において自動二輪車の保有率が高い可能性がある。その反面、上の例において、個人レベルで得られた知見から国レベルの関係へ推論を拡張しようとする場合に生じ得るのが原子論的錯誤である。すなわち、世帯収入の低い個人において自動二輪車の保有率が高いという個人レベルの関係をを用いて国間の差異を推論することにより生じる錯誤のことを指す。

社会学主義的錯誤及び心理学主義的錯誤は、分析の単位と分析からの推論のレベルを合わせた場合においてでさえ錯誤が起こり得ることを示すものである。まず、社会学主義的錯誤について考える。ここで、地域レベル (グループレベル) の分析の結果、自動車の保有率が低い地域ではモビリティ水準が低いという結果が得られたとしよう。この結果から、自動車の保有率の低下はその地域全体のモビリティ水準を下げると結論付けることが可能である。一方で、個人レベルの影響要因を詳細に見た場合、実際は個人の自動車の保有状況が影響しているのであり、自動車を保有している個人は、どの地域に住んでいようともモビリティ水準は変わらないという結論が導かれる可能性がある。このように、個人レベルの変数の影響を除外したことによって、地域レベルのモビリティ水準を誤って解釈してしまう危険性がある (社会学主義的錯誤)。次に、心理学主義的錯誤について考える。例えば、個人レベルの分析の結果、自動車を保有しない個人は低いモビリティ水準にあるという結果が得られたとしよう。しかしながら、この結論は、個人の住んでいる地域の道路や公共交通のネットワークの程度に大きく依存しており、都市圏に住む個人の場合、「自動車を保有しない個人は低いモビリティ水準にある」という関係が成り立たない可能性がある。このように、地域レベルの変数の影響を除外したことによって、個人レベルのモビリティ水準を誤って解釈してしまう危険性がある (心理学主義的錯誤)。

表 3.1 錯誤の種類

| 分析の単位 | 推論のレベル | 錯誤の種類 |
|--------------------|--------|-------------------------|
| グループ | 個人 | 生態学的 (ecologic) |
| 個人 | グループ | 原子論的 (atomistic) |
| グループ (個人レベルの変数を除外) | グループ | 社会学主義的 (sociologistic) |
| 個人 (グループレベルの変数を除外) | 個人 | 心理学主義的 (psychologistic) |

出典) Diez-Roux (1998); 西 (2006)

さらに、特に交通分野において重要となる錯誤として、ある一日において観測された交通行動を“代表的な（典型的な）”行動と見なすことによって生じる錯誤が存在する（代表的錯誤 (representative fallacy) と呼称する）。この錯誤については、以下の Hanson and Huff (1988) の指摘に端的に表れている。

“Travel-behaviour groups defined on the basis of one-day diaries are likely to be unstable; they are likely to reflect considerable inter-personal heterogeneity that actually comes from intra-personal variation in daily travel (p396)”

すなわち、行動が行われる文脈によって、行動結果は大きく変化し得る（個人内変動）。例えば交通手段選択を想定する場合、時間的な切迫感の高い状況下では、必然的に時間価値が高くなり、その結果として移動費用よりも移動時間を重要視することが予想される。

以上みたように、交通分野において観測される現象の解釈においても、マクロ水準からミクロ水準に及ぶ多様な影響要因を考慮する必要があるといえる。また、上の例では議論の単純化のために観測される変数の除外の影響について見たが、実際の現象においては、どのような要因が活動・交通行動の意思決定に影響を及ぼすのか事前に分からない場合が多い。この場合、観測要因だけでなく、各水準の非観測要因の影響を考慮した上で分析を行うことによって、以上にみた錯誤をでき得る限り回避するよう努めることが望ましいと言える。多水準に渡る影響要因を、非観測要因の影響を含めて包括的に扱うマルチレベルモデルは、以上のような錯誤を回避し得る極めて優れた手法であるといえる。

3.1.2 変動構造の仮定

ここでは、実用的観点からみたマルチレベル分析の有用性について議論を加える前に、本研究において採用する基本的な変動構造について説明する。本研究では、個人（世帯）の意思決定が、時間的・空間的な制約及び意思決定時の文脈に依存することを踏まえ（2.2 を参照）、交通現象の全変動は、個人間変動（例えば性別、年齢、就業形態）、世帯間変動（例えば世帯自動車保有台数、世帯収入）、経日変動（例えば曜日、長期休暇）、空間変動（例えば各ゾーンの公共交通のサービス水準、居住地分布）、及び、個人内変動（例えばトリップ時の同伴者の有無）の5つの変動要因に由来すると考える。なお、既往研究においては、個人内変動と経日変動の両方が個人内変動を表現する用語として使用されることが頻繁にあるが、本研究では、経日変動を「日単位で集計した行動の日にち間の変動成分」と定義し両者を区別する。ここで、例えば個人の認知、心理的要因など、交通行動に影響を及ぼすと考えられる一方で、その観測及びモデルへの反映が困難な要因が存在する。そのため、本研究では上に述べた5つの変動要因を、さらに観測変動と非観測変動に分解する（図 3.1）。以降の分析では、基本的に図 3.1 の変動構造を採用するが、分析の目的やデータの制約によって変動構造及び変動の定義は多少異なる。そのため、具体的な各変動の定義は、各実証分析において定義する。

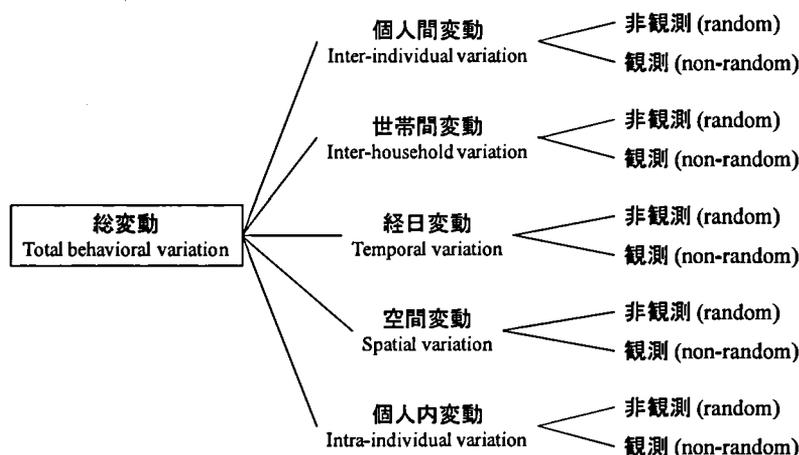


図 3.1 本研究において仮定する変動構造

3.1.3 実用的観点からみたマルチレベル分析の有用性

図 3.1 において示す変動構造を特定することによって、1.1.3 において議論した交通計画の施策検討プロセスに対して数多くの示唆を与えることができる。ここでは例として、代表的な交通計画の施策検討プロセスである 1) PT データに代表される 1 日の行動データを取得し、2) 四段階推定法に代表される集計モデル又は非集計モデルにより予測・評価を試みる場合について考える (図 3.2)。まず、1 日の行動データを抽出し、代表的な一日を仮定した時点において、データは経日変動の情報を保有しないといえる。また、個人内変動については、観測変数として文脈要因を考慮することができるため、その変動成分の幾ばくかは捉えることができる可能性があるが、1 日の行動データからは個人間変動と個人内変動の峻別ができず (北村, 2003)、結果的に個人間変動の一部として個人内変動を考察せざるを得ないケースが多い。このような場合、3.3.1 において述べたように、誤った推論を導く可能性があり (代表的錯誤)、この点において個人内変動は捉えられないと考えるのが妥当であると思われる。このとき、図 3.1 の変動構造が特定されている場合においては (4 章において実証的に特定する)、1 日の行動データのみ抽出することにより失われる変動量を定量的に示すことが可能となる。

以上みた 1 日の行動データを用いて頻繁に作成されるモデルの 1 つは、集計モデルである。この場合、ゾーンが分析単位となるため、空間変動以外の変動成分は考慮しないモデル構造となる。言い換えると、他の変動要因は交通行動を規定する重要な変動要因ではないと暗に仮定するモデル構造となる。また、他の頻繁に利用されるモデルとして非集計モデルがある。この場合、分析単位は個人となるため、説明変数として世帯属性や空間属性といった (個人単位からみればマクロ水準にある) 要因の導入が可能となる。ただし、多くの場合、世帯レベルの非観測要因や空間レベルの非観測要因は考慮されず、3.3.1 において述べたような錯誤が起こり得る可能性を否定できない。

以上、従来の施策検討プロセスを概観したが、利用可能なデータや分析手法の制約上、限られた変動要因に焦点を当てざるを得ない場合が多いことも事実である。このような状況下では、そ

の分析の限界を十分に把握した上で分析を進めることが肝要である。言い換えると、交通行動の全変動のうち、どの程度が着目した変動要因によって捉えることができるのかを事前に把握しておくことが望ましいと考えられる。

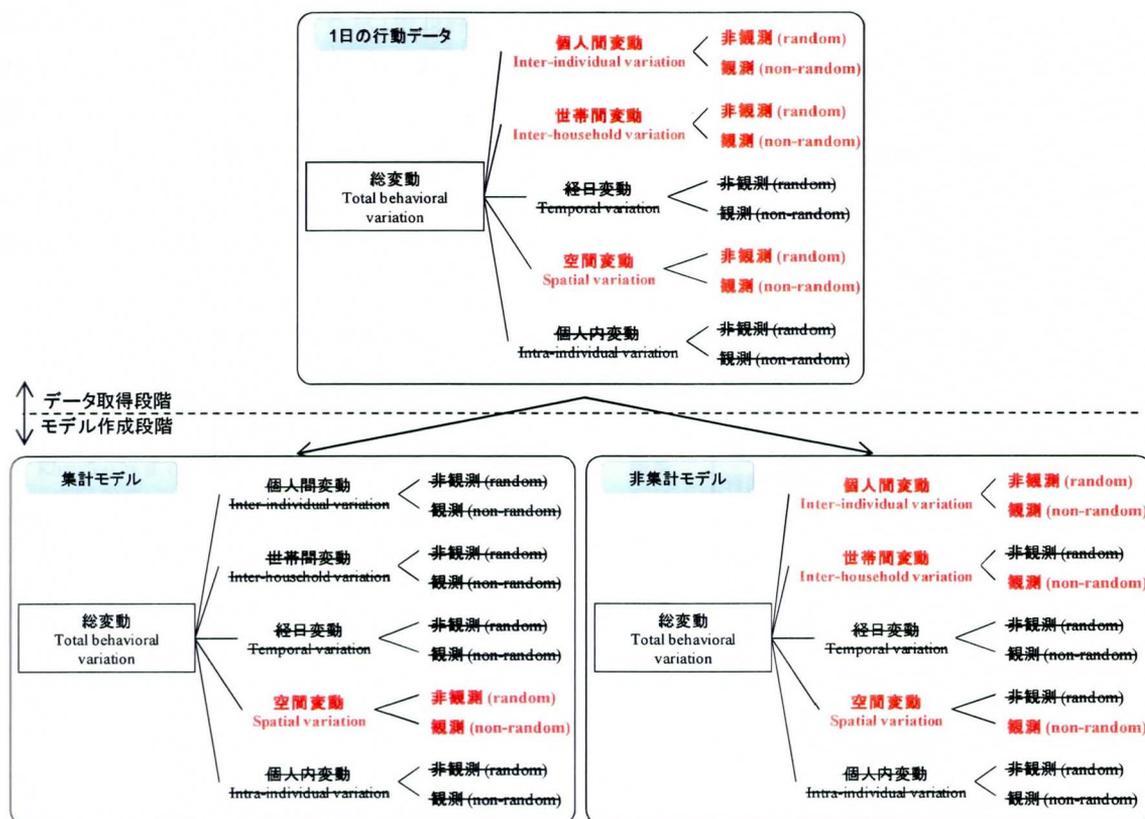


図 3.2 一般的な交通施策検討プロセスにおいて着目される変動種類

3.1.4 マルチレベルモデルの定式化と変動構造の特定方法

マルチレベルモデルは、階層(hierarchical)モデル、混合(mixed)モデル、ランダム効果(random effects)モデル、分散要因(covariance components)モデル、ランダム係数回帰(random coefficient regression)モデルとも呼ばれ、そのルーツは、異なる分野で発展してきたいくつかの分析手法に見ることができる。特にその初期の発展においては、育種学・疫学を中心に発展してきた BLUP 法と呼ばれる分析手法が大きく貢献している (Henderson, 1950, 1953, 1959; 佐々木, 2007)。また、経済学を中心に発展してきたパネルデータのモデリング手法 (ランダム効果モデル) や、Mixed logit モデルを中心とするランダム変数を扱うモデリング手法は、その統計的な性質からは、マルチレベルモデルの 1 種であると言える (実際、3.1.4.1 から 3.1.4.4 で定式化するモデル群は、ランダム効果を持つパネルデータ分析の拡張であり、3.1.4.2 で定式化する離散モデルは、パネルデータを用いた Mixed logit モデルの拡張である)。データの階層的 (または交差分類的) な関係性に特に焦点を当てる場合にマルチレベルモデルと呼ばれる傾向がある。

上述した育種学・疫学的観点からのマルチレベルモデルと、経済学的観点からのマルチレベルモデルに厳密な境界はないが、前者は複数水準の変動を推定した後に算出されるマクロ水準の各要素の予測値（縮約推定量または最良線形不偏予測量(BLUP: Best Linear Unbiased Prediction)と呼ばれる（線形モデルの場合））に、後者は複数水準の変動を考慮することによって他のパラメータにかかるバイアスを除去する点（最良線形不偏推定量(BLUE: Best Linear Unbiased Estimator)と呼ばれる（線形モデルの場合））に主な興味の対象があると思われる。言い換えると、経済学では、後述の式(3.1)により定義される式の β の推定量に、育種学・疫学では、 γ の推定量に主に興味の対象がある傾向にあるように思われる（分散 σ の推定値については両者とも興味の対象に含まれる）。マルチレベルモデルの交通分野における適用事例を表 3.2 にまとめる（ただし、通常のパネル分析と見なせる既存研究は除いている）。表から分かるように、これまで図 3.1 に示すような、包括

表 3.2 交通分野におけるマルチレベルモデルの適用事例

| 著者(年) | 分析対象 | モデル構造 | 変動構造 | 変動の種類 | 着目パラメータ | | |
|---------------------------|-----------------------|------------|------|---|----------|---------|----------|
| | | | | | γ | β | σ |
| Khandker et al. (2006a) | 活動時間長 | 線形型 | 階層 | 個人内変動;個人間変動;世帯間変動 | | | ○ |
| Yavuz et al. (2007) | 公共交通に対する安全の認知度 | 線形型 | 階層 | 個人間変動;空間変動(zip-code) | | | ○ |
| Kwcon (2007) | 交通事故による致死率 | 線形型 | 階層 | [州・年]変動;空間変動(州間変動) | ○ | | |
| Khandker et al. (2006b) | 買物頻度 | 順序付けロジット | 階層 | 個人間変動;世帯間変動 | | | ○ |
| Kim et al. (2004) | 活動-交通行動パターン | 構造方程式(SEM) | 階層 | 個人間変動;世帯間変動 | | | ○ |
| Chung et al. (2004) | 活動-交通行動パターン | 構造方程式(SEM) | 階層 | 個人間変動;世帯間変動 | | | ○ |
| Bhat (2000) | 交通手段選択 | 多項ロジット | 交差分類 | 個人間変動;空間変動(居住地・就業地) | ○ | ○ | |
| Goulias (2002) | 時間利用 | 線形型 | 階層 | 個人内変動;個人間変動;世帯間変動 | | | ○ |
| Carrasco et al. (2008) | Social networkの広さ(距離) | 線形型 | 階層 | ネットワークメンバー間変動;ネットワーク間変動 | ○ | ○ | |
| Habib and Miller (2008) | 住宅価格 | Box-cox回帰 | 階層 | Pattern1:空間変動(地点・年);空間変動(地域) Pattern2:空間変動(地点・年);時空間変動(地域・年) | ○ | ○ | |
| Bhat and Zhao (2002) | トリップ発生 | 順序付けロジット | 階層 | 個人間変動;空間変動(ゾーン間変動) | ○ | ○ | |
| Weber and Kwan (2003) | アクセシビリティ | 線形型 | 階層 | 個人間変動;空間変動(地域) | ○ | ○ | |
| Schwanen and Dijst (2002) | Travel-time ratio | 線形型 | 階層 | 個人内変動;個人間変動;世帯間変動;空間変動(居住地) | | | ○ |
| Susilo and Dijst (2009) | Travel-time ratio | 線形型 | 階層 | 個人内変動;個人間変動;世帯間変動;空間変動(居住地) | | | ○ |

的な変動構造を特定した既存研究は、著者の知る限り存在しない。なお、縮約推定量の詳細については3.2で述べることにし、以下では、図3.1において仮定した変動構造に基づいたマルチレベルモデルの定式化を行う。

本研究で定式化するモデルは全て一般化線形モデル(GLM: Generalized Linear Model)ファミリーであり、以下の式で定義される。

$$F(E[y_{ihtds}]) = \beta x_{ihtds} + \gamma_{ih} + \gamma_h + \gamma_d + \gamma_s + \varepsilon_{ihtds} \quad (3.1)$$

ここで、

$F(\bullet)$: リンク関数

y_{ihtds} : 目的変数 (行動結果)

t : t 番目のトリップ ([トリップ]が分析単位の場合のみ)

i : 個人 i

h : 世帯 h

d : 日付 d

s : 空間 s

β : 未知パラメータ

x_{ihtds} : 説明変数

γ_{ih} : ランダム変数 (非観測個人間変動) ※基本的に $\gamma_{ih} \sim N(0, \sigma_{ih}^2)$ を仮定

γ_h : ランダム変数 (非観測世帯間変動) ※基本的に $\gamma_h \sim N(0, \sigma_h^2)$ を仮定

γ_d : ランダム変数 (非観測経日変動) ※基本的に $\gamma_d \sim N(0, \sigma_d^2)$ を仮定

γ_s : ランダム変数 (非観測空間変動) ※基本的に $\gamma_s \sim N(0, \sigma_s^2)$ を仮定

ε_{ihtds} : ランダム変数 (非観測個人内変動) ※基本的に $\varepsilon_{ihtds} \sim N(0, \sigma_0^2)$ を仮定

以上の表記を以下のモデルの定式化においても使用する (従わない場合は適宜説明を加える)。以下、線形型モデル、離散型モデル、離散-連続型モデルについて順に定式化を行い、その後、他のモデルのマルチレベルモデルへの拡張について述べる。なお、以上に示した5種類の変動要因を同時に扱うためには、個人間変動と個人内変動の識別が可能である連続時間パネルデータ (又は連続時間-離散時間パネルデータ) が必要である。

以下、マルチレベル線形モデル、マルチレベルロジットモデル、マルチレベルMDCEVモデルの定式化及びその変動構造の特定を行う。なお、以下では定数項にのみランダム変数を考慮したランダム切片モデルとして定式化するが、ランダム係数モデルへの拡張も容易に行うことができる。

3.1.4.1 線形型モデル（マルチレベル線形モデル）

以下に示すように、線形型の場合、式(3.1)の $F(E[y_{ihds}])$ は直接観測された目的変数 y_{ihds} となる。

$$y_{ihds} = \beta x_{ihds} + \gamma_{ih} + \gamma_h + \gamma_d + \gamma_s + \varepsilon_{ihds} \quad (3.2)$$

各ランダム変数が独立であると仮定すると、式(3.2)から得られるサンプル間の分散・共分散は、

説明変数を含まない場合（Null モデルと呼称）：

$$\text{Var}(y_{ihds}) = \tilde{\sigma}_{ih}^2 + \tilde{\sigma}_h^2 + \tilde{\sigma}_d^2 + \tilde{\sigma}_s^2 + \tilde{\sigma}_0^2 \quad (3.3)$$

$$\text{Cov}(y_{ihds}, y_{i'h'd's'}) = \delta_i \delta_h \tilde{\sigma}_{ih}^2 + \delta_h \tilde{\sigma}_h^2 + \delta_d \tilde{\sigma}_d^2 + \delta_s \tilde{\sigma}_s^2 \quad (3.4)$$

説明変数を含む場合（Full モデルと呼称）：

$$\text{Var}(y_{ihds}) = \text{Var}(\beta x_{ihds}) + \hat{\sigma}_{ih}^2 + \hat{\sigma}_h^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_0^2 \quad (3.5)$$

$$\text{Cov}(y_{ihds}, y_{i'h'd's'} | \beta, x_{ihds}) = \delta_i \delta_h \hat{\sigma}_{ih}^2 + \delta_h \hat{\sigma}_h^2 + \delta_d \hat{\sigma}_d^2 + \delta_s \hat{\sigma}_s^2 \quad (3.6)$$

ここで、

- δ_i : $i=i'$ の場合 1, その他の場合 0 をとるダミー変数
- δ_h : $h=h'$ の場合 1, その他の場合 0 をとるダミー変数
- δ_d : $d=d'$ の場合 1, その他の場合 0 をとるダミー変数
- δ_s : $s=s'$ の場合 1, その他の場合 0 をとるダミー変数

式(3.3)-(3.6)は、行動結果 y_{ihds} の変動特性、及び、導入した説明変数が行動結果 y_{ihds} の変動をどの程度捉えているのかに関する豊富な情報を有する。まず、Null モデルの分散・共分散構造から、以下に示す級内相関(Inter-class correlation)が算出できる（交通行動の文脈では、あるクラス（カテゴリー）内の行動の類似性と見なすことができる）。

$$\text{級内相関（個人内の行動の類似性）： } \rho_{ih} = \frac{\tilde{\sigma}_{ih}^2}{\tilde{\sigma}_{ih}^2 + \tilde{\sigma}_h^2 + \tilde{\sigma}_d^2 + \tilde{\sigma}_s^2 + \tilde{\sigma}_0^2} \quad (3.7)$$

$$\text{級内相関（世帯内の行動の類似性）： } \rho_i = \frac{\tilde{\sigma}_i^2}{\tilde{\sigma}_{ih}^2 + \tilde{\sigma}_h^2 + \tilde{\sigma}_d^2 + \tilde{\sigma}_s^2 + \tilde{\sigma}_0^2} \quad (3.8)$$

$$\text{級内相関（日付内の行動の類似性）： } \rho_d = \frac{\tilde{\sigma}_d^2}{\tilde{\sigma}_{ih}^2 + \tilde{\sigma}_h^2 + \tilde{\sigma}_d^2 + \tilde{\sigma}_s^2 + \tilde{\sigma}_0^2} \quad (3.9)$$

$$\text{級内相関（空間内の行動の類似性）： } \rho_s = \frac{\tilde{\sigma}_s^2}{\tilde{\sigma}_{ih}^2 + \tilde{\sigma}_h^2 + \tilde{\sigma}_d^2 + \tilde{\sigma}_s^2 + \tilde{\sigma}_0^2} \quad (3.10)$$

以上に定義した 4 種類の相関のいずれかが存在する場合、通常の OLS による回帰分析は適切で

はないことを意味する。すなわち、級内相関が存在するという事は、OLS で仮定されるサンプル間の独立性が保たれていない状態にあることを示唆する。特に、級内相関 ρ_d は交通行動調査を行う際のサンプルの代表性を議論する上で極めて重要な指標である。具体的には、級内相関 ρ_d の存在は、個々人の行動結果を 1 日単位で集計した場合においても、その集計値は日付間で異なることを示す。この相関が極めて大きい場合、ある一日において観測された交通行動を“代表的な(典型的な)”行動と仮定する調査手法の妥当性を疑う必要があると考えられる。

次に、式(3.3)-(3.6)を用いて具体的に図 3.1 の変動構造を特定する方法について述べる(すなわち、観測変動と非観測変動を識別する)。ただし、複数の特定方法が考えられ、それぞれ利点・欠点を有する。以下、3 種類の変動構造の特定方法及びその利点・欠点を整理する。

変動構造の特定方法 1 (図 3.3)

1 つ目の方法は、例えば個人属性の変数ならば個人間変動を捉えるといったように、事前に各説明変数が捉える変動種類を決定しておくものであり、1) Full モデルの推定のみで図 3.1 を特定することができる、2) どの説明変数がどの変動を捉えているのかが明確である、といった利点を有する。一方、1) 分析者の恣意的な説明変数の分類に分析結果が依存する、2) 多重共線性の影響を受けやすいという欠点がある。なお、予測値の寄与構造から観測変動を分解する方法の場合(例えば Kitamura et al., 2006)、上のような欠点は生じないが、全てのランダム変数が階層的な構造を持つ場合においてのみ適用可能であり、交差分類的な構造を持つ場合は適用できない。具体的な特定方法は図 3.3 に示す通りである。

変動構造の特定方法 2 (図 3.4)

2 つ目の方法は、Null モデルの各変動成分の推定値と Full モデルの各変動成分の推定値から各変動成分の観測変動を計算する方法であり、1) 多重共線性の影響を受けにくい、2) 分析者による説明変数の分類を必要としない、といった利点を有する。一方、1) Null モデルと Full モデルの両方を推定する必要がある、2) 各説明変数の変動への寄与構造が明確でないという欠点がある。ただし、2 番目の欠点については、逐次説明変数を加え、その都度モデルを特定することによって解決し得るものである(4.5.2 参照)。具体的な特定方法は図 3.4 に示す通りである。

変動構造の特定方法 3 (図 3.5)

3 つ目の方法は、2 つ目の方法と基本的には同じ利点・欠点を持つ。両者の違いは、2 つ目の方法は分散に単位が存在する場合にのみ有用である一方で、3 つ目の方法は、例えばロジット型のモデルの効用関数等、目的変数が単位を持たない場合においても適用可能な点にある(詳細は、3.1.4.2 において記述する)。

以上みた 3 種類の変動構造の特定方法は、いずれも「対象とする現象が持つ全変動を 10 種類の要因(5 つの変動要因×2[観測, 非観測])に分解し、変動構造を特定する」という目的を持つ。ただし、以上の 3 つの変動構造の特定方法は、それぞれ異なる利点・欠点を持っており、どの方

法が最も望ましいかに関する判断は困難である。以上の3つの方法の比較分析を4章において行い、それ以降は、分析目的に応じていずれかの特定方法を採用する。また、いずれの方法も共変動（異なる変動要因の交互作用）は存在しないと仮定している。共変動の扱いについては3.1.5において議論する。

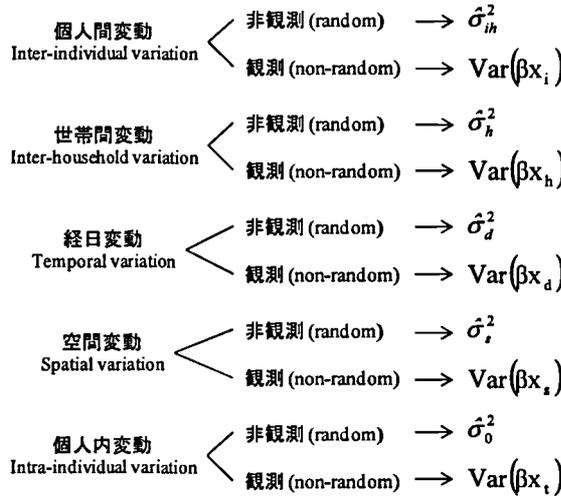


図 3.3 変動構造の特定方法 1

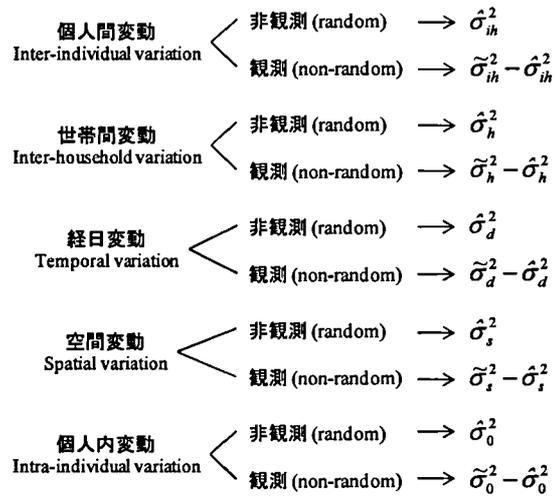


図 3.4 変動構造の特定方法 2

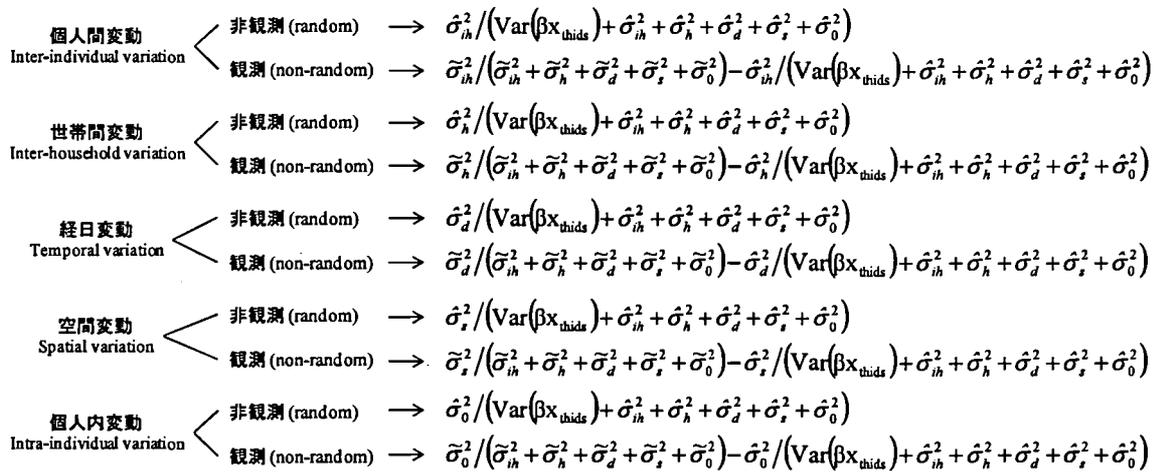


図 3.5 変動構造の特定方法 3

3.1.4.2 離散型モデル（マルチレベルロジットモデル）

ここでは、ロジットモデルをマルチレベルモデルに拡張する。はじめに2項ロジットモデルの拡張を行い、その後、多項ロジットモデルの拡張を行う。ここではロジットモデルを経済学的観点から効用最大化問題として定式化する。以下の説明では、交通手段選択を想定する。

2項ロジットモデルの場合、日付 d において世帯 h に属する個人 i が i 番目のトリップにおいて空間 s を移動するとき、選択肢 j がもたらす効用 U_{ihds}^j を以下のように定義する。

$$U_{ihds}^j = \beta x_{ihds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \varepsilon_{ihds}^j \quad (3.11)$$

ここで、先述した線形型のモデルとは異なり、 ε_{ihds}^j は分散 $\sigma^2\pi^2/6$ のガンベル分布に従うとする（ただし、ガンベル分布のスケールパラメータ σ は1に固定）。選択集合が2つ（2項ロジットモデル）の場合、選択肢1が選ばれる確率を $P(y_{ihds}=1)$ とすると、効用が最大の選択肢が選ばれるという仮定から、以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} P(y_{ihds} = 1) &= Pr[U_{ihds}^1 > U_{ihds}^2] \\ &= Pr[\varepsilon_{ihds}^2 - \varepsilon_{ihds}^1 < \beta x_{ihds}^1 + \gamma_{ih}^1 + \gamma_h^1 + \gamma_d^1 + \gamma_s^1] \end{aligned} \quad (3.12)$$

ここで、選択肢2の全てのパラメータは、パラメータの識別問題を回避するために0に固定している。ここで、誤差項 ε_{ihds}^1 及び ε_{ihds}^2 がガンベル分布に従い、両者が独立と仮定するとき、以下の2項ロジットモデルが導出される。

$$P(y_{ihds} = 1) = \frac{\exp\left(\left(\beta x_{ihds}^1 + \gamma_{ih}^1 + \gamma_h^1 + \gamma_d^1 + \gamma_s^1\right)/\sigma\right)}{1 + \exp\left(\left(\beta x_{ihds}^1 + \gamma_{ih}^1 + \gamma_h^1 + \gamma_d^1 + \gamma_s^1\right)/\sigma\right)} \quad (3.13)$$

なお、選択肢2の全てのパラメータ及び個人内変動に対応する ε_{ihds}^j のスケールを固定し、推定の対象としていないが、これは、効用がその絶対値に意味を持たず（従って選択肢2のパラメータは推定できない）、かつ、効用のスケールが相対的なものである（従って個人内変動のスケールを固定することにより効用のスケールを基準化する）ためである。このようなモデルの特定は、着目する変動構造を限定するものではない。

以上定義した2項ロジットモデルの効用の変動構造は、以下の式により定義される（ただし、上述したように、離散選択モデルでは、効用間の相対値にのみ意味を持つため、効用の差分の変動構造を特定する）。

説明変数を含まない場合 (Null モデル) :

$$\text{Var}(\tilde{U}_{tshds}^1 - \tilde{U}_{tshds}^2) = \tilde{\sigma}_{ihl}^2 + \tilde{\sigma}_{hll}^2 + \tilde{\sigma}_{dll}^2 + \tilde{\sigma}_{sll}^2 + \tilde{\sigma}_{0ll}^2 \quad (3.14)$$

説明変数を含む場合 (Full モデル) :

$$\text{Var}(\hat{U}_{tshds}^1 - \hat{U}_{tshds}^2) = \text{Var}(\beta x_{tshds}) + \hat{\sigma}_{ihl}^2 + \hat{\sigma}_{hll}^2 + \hat{\sigma}_{dll}^2 + \hat{\sigma}_{sll}^2 + \hat{\sigma}_{0ll}^2 \quad (3.15)$$

ただし, $\tilde{\sigma}_{0ll}^2 = \hat{\sigma}_{0ll}^2 = \pi^2/3$ (固定)

なお, 式(3.4)及び式(3.6)に示した共分散, 式(3.7)-(3.10)に示した級内相関についても, 線形型のモデルと同様の方法によって示すことができる. ここで, $\text{Var}(\tilde{U}_{tshds}^1 - \tilde{U}_{tshds}^2)$ の分散推定値と $\text{Var}(\hat{U}_{tshds}^1 - \hat{U}_{tshds}^2)$ の分散推定値のスケールが異なるため, 両者の推定値を直接比較できない点に注意する必要がある. これは, 分散のスケールが非観測個人内変動 $\pi^2/3$ により決定しているためであり, 非観測個人内変動の幾ばくかが $\text{Var}(\beta x_{tshds})$ によって観測された場合, $\text{Var}(\hat{U}_{tshds}^1 - \hat{U}_{tshds}^2)$ のスケールは $\text{Var}(\tilde{U}_{tshds}^1 - \tilde{U}_{tshds}^2)$ とは異なる (すなわち $\text{Var}(\hat{U}_{tshds}^1 - \hat{U}_{tshds}^2) > \text{Var}(\tilde{U}_{tshds}^1 - \tilde{U}_{tshds}^2)$ となる). そのため, 変動構造の特定には, 変動構造の特定方法 3 (図 3.5) を用いる必要がある.

次に, 多項ロジットモデルのマルチレベルモデルへの拡張を行う. 多項ロジットモデルの場合, 選択肢間の誤差相関 (又は異分散) について考慮する必要があるため, 変動構造は 2 項ロジットモデルと比較して複雑な形をとる. また, 上述したように, 離散選択モデルでは効用の差分にのみ関心があるため, 全ての選択肢ペアの数 (すなわち J_2) だけ変動構造が存在する.

ここで, 日付 d において世帯 h に属する個人 i が t 番目のトリップにおいて空間 s を移動するとき, 選択肢 j がもたらす効用 U_{tshds} を以下のように定義する.

$$U_{tshds}^j = \beta x_{tshds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{tshds}^j + \varepsilon_{tshds}^j \quad (3.16)$$

2 項ロジットモデルの効用関数 (式(3.11)) との違いは, 個人内変動を捉える項として η_{tshds}^j が新たに加わっている点である. この項は, 選択肢間の誤差相関 (又は異分散) を表現するための項である. ここで, η_{tshds}^j は平均 0, 分散 σ_{00lj}^2 の正規分布に従うとする. ε_{tshds}^j も個人内変動を捉える項であるが, ε_{tshds}^j の分散は固定し, 推定の対象としない (すなわち σ は定数である. mixed logit モデルの定式化と同様).

選択肢 j が選ばれる確率を $P(y_{tshds}=j)$ とすると, 効用が最大の選択肢が選ばれるという仮定から, 以下の式が得られる.

$$\begin{aligned} P(y_{tshds} = j) &= \Pr[U_{tshds}^j > \max(U_{tshds}^1, U_{tshds}^2, \dots, U_{tshds}^{j-1}, U_{tshds}^{j+1}, \dots, U_{tshds}^J)] \\ &= \Pr[\varepsilon_{tshds}^j - \varepsilon_{tshds}^k < \beta x_{tshds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{tshds}^j - V^*] \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\text{※ } V^* = \ln \left[\sum_{k=1}^J \exp(\beta x_{tshds}^k + \gamma_{ih}^k + \gamma_h^k + \gamma_d^k + \gamma_s^k + \eta_{tshds}^k) \right] \quad k \neq j$$

以上の式展開の詳細は、例えば土木学会(1995)を参照されたい。ここで、誤差項 ε_{ihds}^j がガンベル分布に従い、互いに独立である仮定すると、以下の多項ロジットモデルが導出される。

$$P(y_{ihds} = j) = \frac{\exp\left(\frac{(\beta x_{ihds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{ihds}^j)/\sigma}{\sum_{k=1}^J \exp\left(\frac{(\beta x_{ihds}^k + \gamma_{ih}^k + \gamma_h^k + \gamma_d^k + \gamma_s^k + \eta_{ihds}^k)/\sigma}{\sigma}\right)}\right)}{\sum_{k=1}^J \exp\left(\frac{(\beta x_{ihds}^k + \gamma_{ih}^k + \gamma_h^k + \gamma_d^k + \gamma_s^k + \eta_{ihds}^k)/\sigma}{\sigma}\right)} \quad (3.18)$$

ここで、2項ロジットモデルのケースと同様に、1) 効用が絶対値に意味を持たない点、2) 効用のスケールが相対的な点を考慮すると、理論的に推定できるパラメータの数は、個人内変動については $[(J-1)J/2]-1$ 、その他の変動要因については $(J-1)J/2$ である点に注意する必要がある。この点に注意しながら、ガンベル分布のスケールパラメータ σ を十分に小さく設定し、 $[(J-1)J/2]-1$ 個の個人内変動のパラメータ、 $(J-1)J/2$ のその他の変動要因のパラメータを特定した場合、全ての全ての選択肢ペア（すなわち $J C_2$ ）の変動構造の特定が可能である（付録 A 参照）。以下、付録 A と同様に、選択肢 1 の全てのランダム変数の分散パラメータ、及び、選択肢 2 の個人内変動 η_{ihds}^j を 1 に固定した場合における、選択肢 1 とその他の選択肢との効用の差分の変動構造を示す（その他の選択肢ペアの変動構造については付録 A を参照）。

説明変数を含まない場合 (Null モデル) :

$$\text{Var}(\tilde{U}_{ihds}^j - \tilde{U}_{ihds}^1) = \tilde{\sigma}_{ihj}^2 + \tilde{\sigma}_{hj}^2 + \tilde{\sigma}_{dj}^2 + \tilde{\sigma}_{sj}^2 + (\tilde{\sigma}_{00j}^2 + \sigma^2 \pi^2 / 3) \quad (3.19)$$

説明変数を含む場合 (Full モデル) :

$$\text{Var}(\hat{U}_{ihds}^j - \hat{U}_{ihds}^1) = \text{Var}(\beta x_{ihds}) + \hat{\sigma}_{ihj}^2 + \hat{\sigma}_{hj}^2 + \hat{\sigma}_{dj}^2 + \hat{\sigma}_{sj}^2 + (\hat{\sigma}_{00j}^2 + \sigma^2 \pi^2 / 3) \quad (3.20)$$

なお、実際のモデル推定においては、全てのランダム変数のパラメータの推定が困難な場合が多く、本研究においても 4 章で示す実証分析では、推定するランダム変数のパラメータ数を限定している。この場合、基準化のために用いた選択肢（式(3.19)の場合選択肢 1）と他の選択肢との効用の差分の変動構造は特定できるものの（Grilli and Rampichini, 2007）、その他の選択肢ペアの変動構造の特定にはバイアスがかかる恐れがある点に注意する必要がある（付録 A 式(A.11)及び式(A.12)参照）。なお、2項ロジットモデルと同様、変動構造の特定には、変動構造の特定方法 3（図 3.5）を用いる必要がある。

3.1.4.3 離散-連続型モデル (マルチレベル MDCEV モデル)

既往の研究において複数の離散-連続モデルが提案されてきたが、中でも Bhat (2005, 2008)が提案した MDCEV(Multiple Discrete-Continuous Extreme Value)モデルは、選択肢集合の中からいくつかの選択肢を選択し、それらへ資源を配分する構造を持っており、一般性・拡張性の高いモデルである。以下では、このような特徴を有する MDCEV モデルのマルチレベルモデルへの拡張を行う。なお、以下の説明では、時間利用行動を想定する。

J 個の活動種類の内の M_{ihds} 個の活動を、世帯 h に属する個人 i が日付 d に行動空間 s において実行するとする。個人は、これらの活動遂行によって得られる総効用 U_{ihds} を期間内 (1 日 24 時間を想定) で最大化するように時間を配分すると仮定する。具体的には、以下の効用最大化問題を設定する。

$$\begin{aligned} \text{maximize } U_{ihds} &= \sum_{j=1}^J u_{ihds}^j(t_{ihds}^j) \\ \text{subject to } \sum_{j=1}^J t_{ihds}^j &= T, t_{ihds}^j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, J) \end{aligned} \quad (3.21)$$

ここで、 $u_{ihds}^j(t_{ihds}^j)$ は活動 j に時間 t_{ihds}^j を配分することによって得られる効用、 T は 1 日 (24 時間) である。ここでは、配分時間の増加に伴い単位時間から得られる効用が低減する、限界効用逓減の法則に従う形でモデルを定式化する。具体的には、Kitamura (1984) や Yamamoto and Kitamura (1999) をはじめ、多数の既往研究で用いられている以下の対数型の効用関数 $u_{ihds}^j(t_{ihds}^j)$ を定義する。

$$u_{ihds}^j(t_{ihds}^j) = \psi_{ihds}^j \ln(t_{ihds}^j + 1) \quad (3.22)$$

$$\psi_{ihds}^j = \exp(\beta^j x_{ihds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{ihds}^j + \varepsilon_{ihds}^j) \quad (3.23)$$

ここで、 ψ_{ihds}^j は活動 j に対する選好の程度を表す基準選好関数であり、配分時間が 0 分のときの限界効用に一致する。これは、以下に示す効用 $u_{ihds}^j(t_{ihds}^j)$ の一階微分の結果から明らかである。

$$\frac{\partial u_{ihds}^j(t_{ihds}^j)}{\partial t_{ihds}^j} = \frac{\psi_{ihds}^j}{t_{ihds}^j + 1} \quad (3.24)$$

本研究では、この基準選好関数 ψ_{ihds}^j に対数を取った、 $\ln(\psi_{ihds}^j)$ の変動構造に着目する。実際、 $\ln(\psi_{ihds}^j)$ は、以下に示すようにマルチレベル多項ロジットモデルの効用関数 (式(3.16)) と全く同様の式となる (また、後述するように、式(3.21)はマルチレベル多項ロジットモデルを包括する定式化であり、この場合、 $\ln(\psi_{ihds}^j)$ と式(3.16)に示す U_{ihds}^j は一致する)。

$$\ln(\psi_{ihds}^j) = \beta^j x_{ihds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{ihds}^j + \varepsilon_{ihds}^j \quad (3.25)$$

式(3.21)の最大化問題に Kuhn-Tucker 条件を適用すると、以下の式が得られる。

$$\begin{cases} V_{ihds}^j + \varepsilon_{ihds}^j = V_{ihds}^1 + \varepsilon_{ihds}^1 & \text{if } t_{ihds}^{j*} > 0 \\ V_{ihds}^j + \varepsilon_{ihds}^j < V_{ihds}^1 + \varepsilon_{ihds}^1 & \text{if } t_{ihds}^{j*} = 0 \end{cases} \quad j = 2, 3, \dots, J \quad (3.26)$$

$$\ast \quad V_{ihds}^j = \beta^j x_{ihds}^j + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{ihds}^j - \ln(t_{ihds}^{j*} + 1)$$

式(3.26)から分かるように、Kuhn-Tucker 条件の適用によって、端点解として活動が発生しなかった状況が記述されていることが分かる。ここで、上述の離散選択モデルのケースと同様に、 ε_{ihds}^j が分散 $\sigma^2 \pi^2 / 6$ のガンベル分布に従うとすると、 J 個の活動の活動参加の有無、及び、参加する場合の M_{ihds} 個の活動への時間配分の確率は以下ようになる(式展開の詳細は Bhat (2005, 2008) 参照)。

$$P(t_{ihds}^*) = \frac{(M_{ihds} - 1)!}{\sigma^{M_{ihds} - 1}} \left[\prod_{m_{ihds}=1}^{M_{ihds}} \frac{1}{(t_{ihds}^{m_{ihds}*} + 1)} \right] \left[\sum_{m_{ihds}=1}^{M_{ihds}} (t_{ihds}^{m_{ihds}*} + 1) \right] \left[\frac{\prod_{m_{ihds}=1}^{M_{ihds}} \exp(V_{ihds}^{m_{ihds}} / \sigma)}{(\sum_{j=1}^J \exp(V_{ihds}^j / \sigma))^{M_{ihds}}} \right] \quad (3.27)$$

ここで、 $t_{ihds}^* = \{t_{ihds}^{1*}, t_{ihds}^{2*}, \dots, t_{ihds}^{M_{ihds}*}, 0, 0, \dots, 0\}$ 、 m_{ihds} ($m_{ihds} = 1, 2, \dots, M_{ihds} \mid M_{ihds} \in J$) である。式(3.27)を見ると、MDCEV モデルの確率構造は、多項ロジットモデルに非常に類似したモデル構造をとることが分かる(式(3.18)参照)。実際、上の定式化において、 T を 1[トリップ]とし、 J 個のうちいずれかの交通手段 t_{ihds}^j にこのトリップを配分する問題として式(3.21)を見なした場合、式(3.27)は以下の式となる。

$$P(t_{ihds}^{m_{ihds}}) = \left[\frac{\exp(V_{ihds}^{m_{ihds}} / \sigma)}{\sum_{j=1}^J \exp(V_{ihds}^j / \sigma)} \right] \quad (3.28)$$

式(3.28)は、式(3.18)で定義した多項ロジットモデルの選択確率に他ならない。またこのとき、式(3.25)の $\ln(\psi_{ihds}^j)$ と式(3.16)の U_{ihds}^j は一致する。同様に、 T を一日のトリップ数と見なした場合、(人・日)を分析単位として持つ集計型のロジットモデルとなる。このことから、離散型モデルのマルチレベルの拡張と同様に、マルチレベル MDCEV モデルにおいてもパラメータの推定問題について考慮する必要がある。ただし、上にみた時間配分問題としての定式化の場合、 $\ln(\psi_{ihds}^j)$ のスケールは時間 t (の対数) によって決定されるため、変動構造の特定においては、変動構造の特定方法 3 (図 3.5) である必要はない。以下、活動種類 1 とその他の活動種類との $\ln(\psi_{ihds}^j)$ の差分

(ロジットモデルの効用の差分に該当) の変動構造を示す。

説明変数を含まない場合 (Null モデル) :

$$\text{Var} \left[\ln \left(\frac{\tilde{\psi}_{ihds}^j}{\tilde{\psi}_{ihds}^1} \right) \right] = \tilde{\sigma}_{ihj}^2 + \tilde{\sigma}_{hj}^2 + \tilde{\sigma}_{dj}^2 + \tilde{\sigma}_{sj}^2 + \left(\tilde{\sigma}_{00j}^2 + \frac{\sigma^2 \pi^2}{3} \right) \quad (3.29)$$

説明変数を含む場合 (Full モデル) :

$$\text{Var} \left[\ln \left(\frac{\hat{\psi}_{ihds}^j}{\hat{\psi}_{ihds}^1} \right) \right] = \text{Var}(\beta^j x_{ihds}^j) + \hat{\sigma}_{ihj}^2 + \hat{\sigma}_{hj}^2 + \hat{\sigma}_{dj}^2 + \hat{\sigma}_{sj}^2 + \left(\hat{\sigma}_{00j}^2 + \frac{\sigma^2 \pi^2}{3} \right) \quad (3.30)$$

3.1.4.4 他のモデルのマルチレベルモデルへの拡張について

他のモデルのマルチレベルモデルへの拡張は、例えば、生存時間モデル、オーダードロジット (プロビット) モデル、ポワソン回帰モデル、トビットモデル等、一般化線形モデルと見なせるモデル構造であれば、容易に拡張できる (例えば Goldstein, 2003; Collins and Sayer, 2001)。そのため、広範囲に及ぶ活動・交通行動の変動構造を特定することが可能であり、マルチレベルモデルを用いて変動構造を特定するという分析手法の一般性は極めて高いものと思われる。

3.1.5 共変動の特定方法とその意義

3.1.4 において構築した各種マルチレベルモデルは、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動の 5 つの変動要因に非観測要因の影響を含めてモデル化したものであった。変動要因のいくつかは階層的な関係にあり (例えば個人間変動と世帯間変動)、いくつかは交差分類的な関係にある (例えば空間変動と個人間変動 (ただし空間変動の定義に依存する))。共変動の影響は、後者の場合にのみ生じ得る。これは、階層的な関係にある変動要因と交差分類的な関係にある変動要因の交互作用について考えると分かりやすい。表 3.3 に変動要因間の交互作用の例を示す。交互作用 1 は階層的な関係にある変動要因間の交互作用、交互作用 2 は交差分類的な関係にある変動要因間の交互作用である。表から、交互作用 1 は、完全に個人間変動と同一の変動を捉えようとするものであり、分析上考慮する必要はないことが確認できる。一方、交互作用 2 は、個人間変動でも空間変動でも捉えられない変動を捉えようとするものであることが確認できる。このような 2 種類以上の変動要因の交互作用から生じる変動が共変動であり、交差分類的な関係にある変動要因間において生じ得るものである。

表 3.3 変動要因間の交互作用の例

| 個人内変動 (トリップ) | 個人間変動 (個人) | 世帯間変動 (世帯) | 空間変動 (OD ペア) | 経日変動 (日) | 交互作用 1 (個人×世帯) | 交互作用 2 (個人×空間) |
|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1-1 | 1-1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1-1 | 1-2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1-1 | 1-1 |
| 4 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1-1 | 1-2 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1-1 | 1-1 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1-2 | 2-2 |
| 7 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1-2 | 2-1 |
| 8 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1-2 | 2-2 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1-2 | 2-1 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 5 | 1-2 | 2-2 |
| 11 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3-2 | 3-1 |
| 12 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3-2 | 3-2 |
| 13 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3-2 | 3-1 |
| 14 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3-2 | 3-2 |
| 15 | 3 | 2 | 1 | 5 | 3-2 | 3-1 |

| | | |
|---------|--------------------|-------------------------------------|
| 個人内変動: | 観測トリップ数=15 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 |
| 個人間変動: | 観測個人数=3 | 1,2,3 |
| 世帯間変動: | 観測世帯数=2 | 1,2 |
| 空間変動: | 観測 OD ペア=2 | 1,2 |
| 経日変動: | 観測日数=5 | 1,2,3,4,5 |
| 交互作用 1: | 観測組み合わせ数=3 (個人と同一) | 1-1,1-2,3-2 |
| 交互作用 2: | 観測組み合わせ数=6 | 1-1,1-2,2-1,2-2,3-1,3-2 |

共変動の影響は、交互作用を表す新たなランダム変数を導入することによって容易に捉えることができる。共変動の影響を考慮しない場合は、式(3.1)を再掲すると

$$F(E[y_{ihds}]) = \beta x_{ihds} + \gamma_{ih} + \gamma_h + \gamma_d + \gamma_s + \varepsilon_{ihds}$$

であり、上の交互作用 2 から生じる共変動を考慮する場合は、

$$F(E[y_{ihds}]) = \beta x_{ihds} + \gamma_{ih} + \gamma_h + \gamma_d + \gamma_s + \varepsilon_{ihds} + (\gamma_{ihs}) \quad (3.31)$$

となる。ここで、 γ_{ihs} が新たに導入した共変動を捉えるためのランダム変数であり、その扱いは他のランダム変数と同様である。概念としては、通常の説明変数間の交互作用を捉える方法（すなわち、 $y=b_1x_1+b_2x_2+b_{12}x_1x_2$ といった定式化）と同一であり、ランダム変数により記述される非観測要因の影響を含めた交互作用項として見ることができる。

このような共変動を捉える意義は、特に、上述した個人変動と空間変動から生じる共変動に見出すことができる。以下、個人変動と空間変動から生じる共変動が示唆する意味について考える（以下ではこの共変動のことを単に共変動と呼ぶ）。

共変動の存在は、その定義から、個人ごとに空間の認知が異なることを示唆するものである。例えば、買物活動発生頻度の文脈において共変動が存在する場合、同じ都心に買物へ行く場合においても、個人によって都心の認知（魅力度）は大きく異なることを示唆する。より具体的には、高齢者は都心の商業地へ買物に、若者は郊外のショッピングセンターに買物に行くような傾向にある場合、買物活動の発生頻度は年齢と各買物施設までの距離の交互作用項に大きく影響を受けることが想定される。こういった影響に加えて、観測されない非観測要因の影響を考慮したものが共変動である。このような個人に固有の空間変動の存在は、個々人の社会的疎外の程度や行動

空間(Action space)を把握する文脈において、近年盛んに議論されてきている（例えば Kenyon et al. 2002; Schonfelder and Axhausen, 2003）。例えば個々人のソーシャルネットワークの違いやライフサイクルの違いは、同一空間であっても個々人で異なる影響を生じさせる要因の 1 つであり、その結果として行動空間は個々人で大きく異なることが予想される。以上のことを踏まえると、共変動の把握は、従来頻繁に行われてきた「空間の影響は個々人で変わらない」と仮定する分析手法の妥当性を検証する上でも極めて重要であると考えられる。

3.2 マルチレベルモデルにおける縮約推定量

ランダム変数を用いて分析を行う場合、例えば個人間変動であれば、個人 i 固有の影響を特定したいというよりは、個人間での異質性の程度を全体的な傾向として捉えることを目的とすることが多い。上述した変動構造の特定についても、個々人固有の影響を表すパラメータ γ ではなく、その集積としての分散パラメータ σ に焦点を当ててきた。一方で、パラメータ γ を求めることにより得られる示唆も少なくない。例えば空間 s 固有のパラメータ γ を求めることにより、各々の空間の特性をより詳細に把握することができる。このパラメータ γ は縮約推定量と呼ばれる。縮約推定量は、個人を分析単位とした離散選択モデルの文脈では Individual-Level Parameters と呼ばれる場合がある (Train, 2003)。また、線形型のモデルの場合、パラメータ γ は BLUP(Best Linear Unbiased Prediction)とも呼ばれ、予測に偏りが生じない等、予測量としても好ましい性質を持つことが知られている (佐々木, 2007)。

一般的に縮約推定量は、分散パラメータ σ を推定した後、分散の推定値を用いて事後的に求めることがなされる (ただし、後述するマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いる場合、同時に求めることができる)。その方法の 1 つとして、ベイズの定理を用いてシミュレーションにより求める方法がある (Train, 2003)。もう 1 つの方法は、線形型モデルのケースに限られるが、混合モデル方程式を用いて計算する方法がある (Henderson, 1950, 1953, 1959)。前者の方法は、縮約推定量が解析的に求められない場合に有効であるが、その推定量の特性が式として記述できないため、ここでは線形型モデルに焦点を絞り、後者の方法により縮約推定量を算出する (なお、前者の方法の基本的な概念は、3.5 に述べるマルコフ連鎖モンテカルロ法のシミュレーションから直接得られる縮約推定量の算出と同様である)。

ここで、議論を簡単にするために、変動要因が 2 つの場合の線形モデルについて考える。以下では、個人内変動と個人間変動を想定する。ただし、後述する活動種類のセグメント問題への応用を考慮して、全ての説明変数にランダム変数を付加する (すなわち、ランダム切片モデルではなく、ランダム係数モデルとして定式化する)。

$$y_{ii} = \sum_{k=1}^K (\beta_k + \gamma_{ik}) x_{ik} + \varepsilon_{ii} \quad (3.32)$$

ここで、 y_{ii} は目的変数 (観測変数)、 x_{ik} は k 番目の説明変数、 β_k は個人間で共通のパラメータ、 γ_{ik} は個人ごとに説明変数 x_{ik} の影響が異なることを表すランダム変数である。 γ_{ik} は $\gamma_{ik} \sim MVN(0, \Sigma_k)$

に従うとする。なお、また、 ε_{ii} は $\varepsilon_{ii} \sim N(0, \sigma_0^2)$ に従う誤差項である（個人内変動）。

一つ一つの行動結果をスカラーで定式化している式(3.32)を、個人ごとにまとめて行列表示すると、以下ようになる。

$$y_i = (\beta + \gamma_i) x_i + \varepsilon_i \quad (3.33)$$

ここで、

$$y_i = \begin{bmatrix} y_{1i} \\ y_{2i} \\ \vdots \\ y_{ii} \\ \vdots \\ y_{n_i i} \end{bmatrix}, \quad x_i = \begin{bmatrix} x_{1i1} & x_{1i2} & \cdots & x_{1iK} \\ x_{2i1} & x_{2i2} & \cdots & x_{2iK} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{ii1} & x_{ii2} & \cdots & x_{iiK} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n_i 1} & x_{n_i 2} & \cdots & x_{n_i K} \end{bmatrix}, \quad \varepsilon_i = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1i} \\ \varepsilon_{2i} \\ \vdots \\ \varepsilon_{ii} \\ \vdots \\ \varepsilon_{n_i i} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_K \end{bmatrix}, \quad \gamma_i = \begin{bmatrix} \gamma_{i1} \\ \gamma_{i2} \\ \vdots \\ \gamma_{iK} \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

ここで、 n_i は個人 i から観測されたサンプル数である。分散成分 Σ_k および σ_0 の推定値 $\hat{\Sigma}_k, \hat{\sigma}_0^2$ が得られている場合、混合モデル方程式を用いることによって、以下のように縮約推定量 $\hat{\gamma}_i$ を算出できる（詳細は佐々木(2007)を参照されたい）。

$$\hat{\gamma}_i = \hat{\Sigma}_k x_i^T (\hat{\sigma}_0^2 I_i + x_i \hat{\Sigma}_k x_i^T)^{-1} (y_i - x_i \hat{\beta}) \quad (3.35)$$

この推定量は、個人ごとにモデルを作成することと、全ての個人を通常の回帰モデルを用いてモデル化することとの間の妥協の産物であると言われている（Kreft and de Leeuw, 1998）。この直観的な解釈については、以下の定数項のみランダム変数を持つモデル（すなわちランダム切片モデル）の縮約推定量から明らかである。

$$\hat{\gamma}_{const,i} = \frac{n_i \hat{\sigma}_{const}^2}{n_i \hat{\sigma}_{const}^2 + \hat{\sigma}_0^2} \times \left(\frac{1}{n_i} \sum_{l \in n_i} (y_{li} - x_{li} \hat{\beta}) \right) \quad (3.36)$$

式(3.6)を見ると、右辺第2項は、個人間で共通のパラメータのみを用いた場合の予測値と実測値の差分を、観測されたサンプル内で平均をとったものであり、個人レベルの誤差である。一方、右辺第1項は、その定義から0より大きく1より小さい値をとることが分かる。また、その値は、個人内変動に対する個人間変動の大きさ、及び、各個人ごとのサンプル数に依存していることが分かる。これより、観測されたサンプル数や個人間変動が有意に推定されなかった状況下では、たとえ個人レベルの誤差が大きく算出されたとしても、 $\hat{\gamma}_{const,i}$ は、もとの個人レベルの誤差から大きく縮約されることとなる。上述したように、この推定量は、BLUP(Best Linear Unbiased Prediction)とも呼ばれ、予測に偏りが生じない等、予測量としても好ましい性質を持つことが知られている

(佐々木, 2007).

以上のような性質は, 個人ごとにモデルを特定した場合に比べて, 安定的に個人レベルのパラメータ $\hat{\gamma}_i$ を推定できることが知られている (Maddala et al., 1997). また, 縮約推定量 $\hat{\gamma}_i$ は, 3.5 に見るように, マルコフ連鎖モンテカルロ法から直接得ることができる.

以上のような特徴を持つ縮約推定量を用いて, 5章では活動種類のセグメントへの応用を試み, 6章及び7章では空間変動の詳細な把握を試みる.

3.3 変動特性解析の変化の把握への応用

長期的な変化を捉える場合, 短期的な変動の影響と長期的な変化どのように識別して分析を進めていくかが極めて重要である. ここでは, 3.1において述べた変動特性解析の手法を長期変化の要素を取り入れた手法に拡張する. 以下, はじめに離散時間—連続時間パネルデータが利用可能な場合を想定した拡張を行い, その後, 離散時間パネルデータ, 繰り返し横断データを想定した拡張について述べる. なお, 本研究の実証分析においては, データの制約上, 繰り返し横断データを用いた変動特性の長期変化の把握を試みる (6章).

3.3.1 離散時間—連続時間パネルデータの場合

3.1章において述べた変動特性解析の手法は, 一般的には以下のように記述できた.

$$F(E[y_{ihtds}]) = \beta x_{ihtds} + \gamma_{ih} + \gamma_h + \gamma_d + \gamma_s + \varepsilon_{ihtds} \quad (3.37) \text{ (式(3.1)再掲)}$$

ここで,

$$\begin{aligned} \gamma_{ih} &\sim N(0, \sigma_{ih}^2), \gamma_h \sim N(0, \sigma_h^2), \gamma_d \sim N(0, \sigma_d^2) \\ \gamma_s &\sim N(0, \sigma_s^2), \varepsilon_{ihtds} \sim N(0, \sigma_0^2) \end{aligned} \quad (3.38)$$

上の変動特性を特定するためには, 連続時間パネルデータが必要であったが, 離散時間—連続時間パネルデータが利用可能な場合, データは変動の情報に加えて, 変化の情報を利用できる. この場合, 離散時点間の時間軸を表す T を新たに導入することにより, 式(3.37)及び式(3.38)を以下のように拡張することができる (なお, ある離散時点内での行動のばらつきは, 変化の要素を含まないと仮定する).

$$F(E[y_{ihtds}^T]) = \beta(T) x_{ihtds}^T + \gamma_{ih}^T + \gamma_h^T + \gamma_d^T + \gamma_s^T + \varepsilon_{ihtds}^T \quad (3.39)$$

ここで,

$$\begin{aligned} \gamma_{ih}^T &\sim N(0, \sigma_{ih}^2(T)), \gamma_h^T \sim N(0, \sigma_h^2(T)), \gamma_d^T \sim N(0, \sigma_d^2(T)) \\ \gamma_s^T &\sim N(0, \sigma_s^2(T)), \varepsilon_{ihtds}^T \sim N(0, \sigma_0^2(T)) \end{aligned} \quad (3.40)$$

式(3.39)及び式(3.40)の特徴は, 非観測変動要因の時間軸上の変化を捉えることができる点にある. 例えば, 式(3.40)の各非観測変動要因の分散を,

$$\begin{aligned}
\sigma_{ih}^2(T) &= \exp(a_{ih} + b_{ih}T), \sigma_h^2(T) = \exp(a_h + b_hT), \\
\sigma_d^2(T) &= \exp(a_d + b_dT), \sigma_s^2(T) = \exp(a_s + b_sT), \\
\sigma_0^2(T) &= \exp(a_0 + b_0T)
\end{aligned} \tag{3.41}$$

と仮定すると (a, b は未知パラメータ), 式(3.39)の変動構造は, 以下のように記述できる.

説明変数を含まない場合 (Null モデル):

$$\begin{aligned}
\text{Var}(F(E[y_{ihts}^T])) &= \exp(\tilde{a}_{ih} + \tilde{b}_{ih}T) + \exp(\tilde{a}_h + \tilde{b}_hT) \\
&\quad + \exp(\tilde{a}_d + \tilde{b}_dT) + \exp(\tilde{a}_s + \tilde{b}_sT) + \exp(\tilde{a}_0 + \tilde{b}_0T)
\end{aligned} \tag{3.42}$$

説明変数を含む場合 (Full モデル):

$$\begin{aligned}
\text{Var}(F(E[y_{ihts}^T])) &= \text{Var}(\beta(T)x_{ihts}^T) + \exp(\hat{a}_{ih} + \hat{b}_{ih}T) + \exp(\hat{a}_h + \hat{b}_hT) \\
&\quad + \exp(\hat{a}_d + \hat{b}_dT) + \exp(\hat{a}_s + \hat{b}_sT) + \exp(\hat{a}_0 + \hat{b}_0T)
\end{aligned} \tag{3.43}$$

式(3.42)及び式(3.43)は, 図 3.1 に示した変動構造の時間軸上における変化を把握することができ, かつ, 単一モデル内で変化と変動の識別が自動的になされる点に大きな特徴がある. なお, ここは式(3.41)の分散の定義を例に変動構造を示したが, 非負条件を満たす限り, GDP や自動車保有台数等の他の説明変数によって分散を構造化することも可能である. ただし, 2 章において述べたように, 離散時間—連続時間パネルデータが利用可能なケースは極めて限られている. 現実的には, 以下にみる離散時間パネルデータや繰り返し横断データを用いた変動構造の変化の特定方法を採用する必要がある状況がほとんどであると考えられる.

3.3.2 離散時間パネルデータの場合

前述したように, 離散時間パネルデータは離散時点間の変化の情報を有する一方で, 経日変動に関する情報を有さず, また, 変化が生じていることを前提とする場合, 個人内変動と個人間変動 (世帯間変動) を識別できないという問題がある (離散時点間の行動結果を用いれば個人内変動と個人間変動 (世帯間変動) の識別は形式上可能であるが, このような分析は非観測変動要因が個々人の行動に及ぼす影響は時点間で変化しないことを前提としている). そのため, 式(3.39)及び式(3.40)で示した離散時間—連続時間パネルデータで特定可能な変動要因は, 離散時間パネルデータでは以下のように制約される.

$$F(E[y_{ihts}^T]) = \beta(T)x_{ihts}^T + \gamma_s^T + \varepsilon_{ihts}^T \tag{3.44}$$

ここで,

$$\gamma_s^T \sim N(0, \sigma_s^2(T)), \varepsilon_{ihts}^T \sim N(0, \sigma_0^2(T)) \tag{3.45}$$

式(3.44)及び式(3.45)は、個人内変動と個人間変動（世帯間変動）を識別できない（両者を合わせた非観測変動要因を ε_{ihs}^T と表記している）という問題を有するが、例えば自動車の保有形態の変化等、観測変数の個々人の変化を $\beta(T)x_{ihs}^T$ により表現することが可能である。離散時間—連続時間パネルデータの場合と同様に、式(3.45)の各非観測変動要因の分散を、

$$\sigma_s^2(T) = \exp(a_s + b_s T), \sigma_0^2(T) = \exp(a_0 + b_0 T) \quad (3.46)$$

と仮定すると（ a, b は未知パラメータ）、式(3.44)の変動構造は、以下のように記述できる。

説明変数を含まない場合（Null モデル）：

$$\text{Var}(F(E[y_{ihs}^T])) = \exp(\tilde{a}_s + \tilde{b}_s T) + \exp(\tilde{a}_0 + \tilde{b}_0 T) \quad (3.47)$$

説明変数を含む場合（Full モデル）：

$$\text{Var}(F(E[y_{ihs}^T])) = \text{Var}(\beta(T)x_{ihs}^T) + \exp(\hat{a}_s + \hat{b}_s T) + \exp(\hat{a}_0 + \hat{b}_0 T) \quad (3.48)$$

式(3.47)から分かるように、図 3.1 に示した変動構造を前提とすると、離散時間パネルデータでは空間変動を他の変動要因から識別することができるのみであり、詳細な変動構造の特定に適したデータではない。ただし、非観測要因と観測要因を識別した上でその構成比の変化を観測することが可能であり、需要予測や施策評価の時間軸上の安定性を議論する上において、極めて重要な情報を有する。また、離散時間—連続時間パネルデータと同様に、式(3.46)に示す分散の構造を他の説明変数によって構造化することができる。

3.3.3 繰り返し横断データの場合

繰り返し断面データの場合、離散時間パネルデータの変動構造に更に制約が加わる。まず、異なる時点間で取得したサンプルが同一母集団からランダムに抽出されていると仮定する必要がある。また、時点間で異なる個人の行動結果を観測したデータであるため、観測変数についても時間軸上の変化に関する情報を保有しない。このような点から、離散時間パネルデータのように各時点のデータをプールしてモデルを同定する積極的な理由はない。繰り返し断面データを用いて変動構造の変化を特定する場合においては、同一母集団からランダムにサンプリングされているとの仮定のもと、時点ごとに変動構造を特定し、時点間の変動構造を比較する方法が考えられる。具体的には、まず、各時点 T において以下のモデルを特定する。

$$F(E[y_{ihs}^T]) = \beta^T x_{ihs}^T + \gamma_s^T + \varepsilon_{ihs}^T \quad (3.49)$$

ここで、

$$\gamma_s^T \sim N(0, \sigma_{sT}^2), \varepsilon_{ihs}^T \sim N(0, \sigma_{0T}^2) \quad (3.50)$$

次に、以下の式をもとに各時点の変動構造を特定する。

説明変数を含まない場合 (Null モデル) :

$$\text{Var}(F(E[y_{ihs}^T])) = \tilde{\sigma}_{sT}^2 + \tilde{\sigma}_{oT}^2 \quad (3.51)$$

説明変数を含む場合 (Full モデル) :

$$\text{Var}(F(E[y_{ihs}^T])) = \text{Var}(\beta^T x_{ihs}^T) + \hat{\sigma}_{sT}^2 + \hat{\sigma}_{oT}^2 \quad (3.52)$$

その後、各時点において特定された変動構造を比較することにより、変動特性の時間軸上の変化を把握する方法が考えられる。なお、式(3.51)及び式(3.52)は、着目する行動結果 y_{ihs}^T の変動を各変動要因に分解するものであるため、各時点間で非観測要因と観測要因の構成比を比較することが可能である。ただし、離散時間パネルデータと比べて、1) 各時点のデータが同一母集団からランダムにサンプリングされていると仮定する必要がある点、2) 自動車の保有状況等、観測変数の個人ごとの変化を表現できない点、3) 時間軸を伴った変数による分散の構造化ができない点が新たに制約として加わる。ただし、このような制約が存在してもなお、従来頻繁に行われてきた観測変数の変化のみに着目する場合に比べて、非観測要因の変化を分析対象に含む点において価値あるものと思われる。

3.4 ベイズ更新：交通行動変化のモニタリング

3.4.1 ベイズ更新の基礎

3.3 において、変動構造の変化を捉える手法について整理した。この際、個々人の交通行動を、例えば数年に渡るような、十分な期間に渡って観測し続けることは不可能であるため、異なる離散時点のデータを用いて行動変化を捉えることを目指した。一方で、マクロ時系列のデータは、詳細な変動構造を捉えることはできないものの、長期間の連続した観測がなされている場合が多い。この場合、離散時点間の変化ではなく、時間軸上に連続した変化を観測することが可能である。以下では、このような時間軸上に連続した変化を捉える手法として、ベイズ更新に基づく交通行動変化のモニタリング手法について記述する。特に、暫定税率の失効／復活等、計画主体の領域外で行われる意思決定により生じる行動変化を観測するためには、時間軸上に連続した変化を観測する必要がある。

ベイズ更新は、新たなデータを入手する度にパラメータを更新する手法であり、ベイズの定理に基づく手法である (Pole et al., 1994)。ベイズの定理は、以下の式で表される。

$$\pi(\theta|y) = \frac{f(y|\theta)\pi(\theta)}{f(y)} \quad (3.53)$$

ここで、 y は観測データ、 θ は未知パラメータである。これより、左辺の $\pi(\theta|y)$ は、観測データが与えられたもとでの未知パラメータ θ の値の分布と見ることができる。この分布を事後分布と呼び、観測データを与えることにより未知パラメータ θ の事後分布を得ることがここでの目的である (後述するように、新たな観測データの入手に伴い未知パラメータ θ を更新することをベイズ更新と呼ぶ)。通常の統計モデルとの違いは、未知パラメータ θ をある確定的な値と見なさず、確率分布として扱う点にある。この特徴により、未知パラメータ θ の更新が可能となる。右辺の $f(y|\theta)$ は、未知パラメータ θ が与えられたもとである確率分布 $f(\cdot)$ から y が観測される確率であり、尤度と呼ばれる。尤度は、統計モデルのメカニズムそのものを表しており、その確率分布 $f(\cdot)$ は通常の統計モデルの尤度関数と同じく、分析者が与えた行動メカニズムを反映するものである。 $\pi(\theta)$ は事前分布と呼ばれ、事前情報に基づき分析者が与える必要がある (事前情報がない場合、無情報事前分布を与える)。 $f(y)$ は、観測データそのものの分布を表したものであり、未知パラメータ θ に依存しないため、基準化定数と呼ばれる。そのため、基準化定数を無視して式(3.53)を以下のように表すことができる。

$$\underbrace{\pi(\theta|y)}_{\text{事後分布}} \propto \underbrace{f(y|\theta)}_{\text{尤度}} \times \underbrace{\pi(\theta)}_{\text{事前分布}} \quad (3.54)$$

ベイズ更新は、式(3.54)を用いて、新たなデータ y を入手する度に未知パラメータ θ を更新する方法である。具体的には、まず、 $\pi(\theta)$ に無情報事前分布を与えて、ある時点 t までの観測データ y_t

が得られた状況における未知パラメータ θ の事後分布は以下のようになる。

$$\pi(\theta | y_t) \propto f(y_t | \theta) \times \pi(\theta) \quad (3.55)$$

このとき、事後分布 $\pi(\theta | y_t)$ は、 t 時点までのデータを用いて得られた未知パラメータ θ に対する確信度と見なせる。その後、 $t+1$ 時点における観測データ y_{t+1} を入手した状況を考える。このとき、 t 時点までのデータによって得られた未知パラメータ θ に対する確信度である $\pi(\theta | y_t)$ は、 $t+1$ 時点においては事前情報となる。よって、 $\pi(\theta | y_t)$ を事前分布とし、新たに得られた観測データ y_{t+1} から構成される尤度 $f(y_{t+1} | \theta)$ との積から、 $t+1$ 時点における事後分布は以下のように定義できる。

$$\pi(\theta | y_t, y_{t+1}) \propto f(y_{t+1} | \theta) \times \pi(\theta | y_t) \quad (3.56)$$

このように、ベイズ更新では、新たなデータを入手する度に未知パラメータ θ を逐次更新していくことが可能であり、マクロ時系列データのように継続的に観測が行われている場合、未知パラメータ θ の変化をモニタリングすることが可能である。ベイズの定理に基づくシンプルな手法であるが、変化を連続的に観測することができるため、その有用性は高いと考えられる。ただし、ベイズ更新は、繰り返し更新することによってある値に収束する（すなわち、新たなデータを入手する度に未知パラメータに対する確信度を高めていく）性質を持っているため、長期間の行動変化をベイズ更新により観測する場合においては、時間の経過に伴い過去のデータが有する情報の価値は低下する点を考慮する必要がある（7.3 参照）。

3.4.2 マルチレベルモデルのベイズ更新

上に見たベイズ更新は、解析的に求める場合においては事前分布と事後分布の間に共役性が成立している必要がある。共役性とは、事前分布と事後分布が同一の分布族になることを指す（この条件を満たす事前分布を共役事前分布と呼ぶ）。共役事前分布については、和合(2005)や豊田(2008)にまとめられている。一方、近年では次節で述べるマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法の発展により、共役事前分布が存在しない場合においてもベイズ更新が可能になりつつある（貝戸&小林, 2007）。ここでは、上に述べたマルチレベルモデルを尤度として持つ場合におけるベイズ更新について議論する。以下、3.2において示したマルチレベル線形モデルを再掲する。

$$y_{it} = \sum_{k=1}^K (\beta_k + \gamma_{ik}) x_{itk} + \varepsilon_{it} \quad (3.57)(\text{式}(3.32)\text{再掲})$$

ここで、 γ_{ik} は $\gamma_{ik} \sim MVN(0, \Sigma_k)$ に従うランダム変数である。式(3.57)に示したモデルの未知パラメータ、すなわち式(3.54)の θ に該当する変数は、 $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K\}$ 、 Σ_k 及び ε_{it} の分散 σ_0^2 である。また、線形モデルであるので尤度は以下のように定義される。

$$f(x, y | \beta, \Sigma_k, \sigma_0) = \prod_{i \in I} \prod_{t \in T} N(y_{it} - \sum_{k=1}^K (\beta_k + \gamma_{ik}) x_{itk}, \sigma_0^2) \quad (3.58)$$

ここで、 I は観測した個人の数、 T は各個人の観測日数である。未知パラメータ β , Σ_k , σ_0 の事前分布を、それぞれ $\pi(\beta)$, $\pi(\Sigma_k)$, $\pi(\sigma_0)$ とする。なお、共役事前分布として $\pi(\beta)$ には正規分布を、 $\pi(\Sigma_k)$ には逆ウィシャート分布を、 $\pi(\sigma_0)$ には逆ガンマ分布を仮定する（詳細は次節にて述べ、ここではベイズ更新に焦点を絞る）。以上の設定のもと、以下の事後分布が定義できる。

$$\pi(\beta, \Sigma_k, \sigma_0 | x, y) \propto f(x, y | \beta, \Sigma_k, \sigma_0) \pi(\beta) \pi(\Sigma_k) \pi(\sigma_0) \quad (3.59)$$

さらに、 γ_{ik} が $MVN(0, \Sigma_k)$ の分布から得られるパラメータであったので、これを式(3.59)に組み込むと以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} & \underbrace{\pi(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \beta, \Sigma_k, \sigma_0 | x, y)}_{\text{事前分布}} \\ & \propto \underbrace{f(x, y | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0)}_{\text{尤度}} \underbrace{p(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I | \Sigma_k) \pi(\beta) \pi(\Sigma_k) \pi(\sigma_0)}_{\text{事前分布}} \end{aligned} \quad (3.60)$$

ここで $p(\cdot)$ は $MVN(0, \Sigma_k)$ に対応する多変量正規分布であり、 $\gamma_i = \{\gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \dots, \gamma_{iK}\}$ である。式(3.60)は、多少複雑な式形ではあるが式(3.54)と同一の構造を持つことが分かる。式(3.60)は、事前分布 $\pi(\Sigma_k)$, $p(\gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \dots, \gamma_{iK} | \Sigma_k)$ 及び $f(x, y | \beta, \Sigma_k, \sigma_0)$ が階層的な構造を持っているため、階層ベイズモデルと呼ばれる場合がある。

さて、3.4.1と同様に、新たに $t+1$ 時点におけるデータ x_{t+1}, y_{t+1} が利用可能になった状況を考える。このとき、式(3.60)の事後分布は、

$$\begin{aligned} & \pi(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \beta, \Sigma_k, \sigma_0 | x, y, x_{t+1}, y_{t+1}) \\ & \propto f(x, y, x_{t+1}, y_{t+1} | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0) p(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I | \Sigma_k) \pi(\beta) \pi(\Sigma_k) \pi(\sigma_0) \\ & \propto f(x_{t+1}, y_{t+1} | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0) f(x, y | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0) p(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I | \Sigma_k) \pi(\beta) \pi(\Sigma_k) \pi(\sigma_0) \\ & \propto f(x_{t+1}, y_{t+1} | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0) \pi(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \beta, \Sigma_k, \sigma_0 | x, y, x_{t+1}, y_{t+1}) \end{aligned} \quad (3.61)$$

となる。これは、式(3.56)と同様に、 t 時点における事後分布を $t+1$ 時点においては事前分布と見なし、新たに入手したデータで構成される尤度 $f(x_{t+1}, y_{t+1} | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0)$ により未知パラメータを更新することを示している。ただし、階層ベイズモデルの場合、パラメータ γ_i に対する事前分布は定義されないため、更新を実行するためには、過去時点の全データを使用する必要がある。

以上述べたベイズ更新を用いた分析を7章において行う。

3.5 マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法

以上見てきたマルチレベルモデルを推定する方法として、ここではマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法について記述する。MCMC 法は、エルゴード的な (すなわち、既約で非周期的、正再帰的な) マルコフ連鎖に基づくモンテカルロシミュレーションであり、ペイズの定理により導かれた事後分布から未知パラメータの確率標本 (サンプル) を発生する手法である。MCMC 法では、不変分布が事後分布 (目標分布) になるようにマルコフ連鎖を構成し、マルコフ連鎖を繰り返して得られる確率標本を、事後分布からの確率標本であると見なす。この際、得られる確率標本は互いに独立ではないが、ある条件のもとでマルコフ連鎖はエルゴード的となり、大数の法則により、得られた標本から構成される事後分布に基づき未知パラメータの平均値及びその分布を得ることができる。不変分布が事後分布となるようなマルコフ連鎖を構成する代表的な方法として、ギブスサンプラー (Gibbs sampler) とメトロポリスヘイスティング (Metropolis-Hastings) アルゴリズムがある。以下、ギブスサンプラーを用いて上述した式(3.54)の事後分布から確率標本の発生する場合について記述する。

ここで未知パラメータが3つ (すなわち $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$) のケースについて考えると、式(3.54)の事後分布は $\pi(\theta_1, \theta_2, \theta_3 | y)$ と記述できる。ギブスサンプラーは、事後分布 $\pi(\theta_1, \theta_2, \theta_3 | y)$ の各パラメータの条件付き確率分布 (全条件付事後分布とも呼ばれる) から標本 (サンプル) の発生を繰り返す方法であり、具体的には、以下のようなアルゴリズムとなる (和合, 2005)。

- (1) 初期値 $\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)}, \theta_3^{(0)}$ を決める。
- (2) $q=1, 2, \dots$ に対して次の標本の発生を繰り返す。
 - $\theta_1^{(q)}$ を $\pi(\theta_1 | \theta_2^{(q-1)}, \theta_3^{(q-1)}, y)$ から発生する。
 - $\theta_2^{(q)}$ を $\pi(\theta_2 | \theta_1^{(q)}, \theta_3^{(q-1)}, y)$ から発生する。
 - $\theta_3^{(q)}$ を $\pi(\theta_3 | \theta_1^{(q)}, \theta_2^{(q)}, y)$ から発生する。
- (3) 十分大きな N に対して $\theta_1^{(q)}, \theta_2^{(q)}, \theta_3^{(q)}$ ($q=N, N+1, \dots$) を記録する。

ここで、初期値は、通常の前尤推定法と同様に分析者が与えるものである。また、(3)では $1, 2, \dots, N-1$ までの確率標本を捨て、残りを記録することを行っているが、これは、事後分布が不変分布に収束するまでの初期値に依存するサンプルを捨てることを意味しており、 $1, 2, \dots, N-1$ は稼働検査期間 (burn-in period) と呼ばれる。

さらに具体的にみるために、以下、式(3.32)において定義したマルチレベル線形モデルを例に具体的な事後分布の特性について見る。上述したように、MCMC 法では縮約推定量をサンプリング手順から直接得ることができる点にその特徴があり、MCMC 法の事後分布から式(3.35)において示した縮約推定量を得ることができる点を示す。式(3.32)から定義される事後分布である式(3.60)を再掲する。

$$\begin{aligned} & \pi(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \beta, \Sigma_k, \sigma_0 | x, y) \\ & \propto f(x, y | \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I, \sigma_0) p(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_I | \Sigma_k) \pi(\beta) \pi(\Sigma_k) \pi(\sigma_0) \end{aligned} \quad (3.62) \text{式(3.60)再掲}$$

ここで、未知パラメータ β , Σ_k , σ_0 の事前分布を、それぞれ $\pi(\beta)$, $\pi(\Sigma_k)$, $\pi(\sigma_0)$ と表記している。また、共役事前分布として $\pi(\beta)$ には正規分布を、 $\pi(\Sigma_k)$ には逆ウィシャート分布を、 $\pi(\sigma_0)$ には逆ガンマ分布を仮定している。具体的には、

$$\begin{aligned} \pi(\beta) & \sim N(\beta_0, V_\beta) \\ \pi(\Sigma_k) & \sim \text{Inverse Wishart}(c, \Sigma_0) \\ \pi(\sigma_0) & \sim \text{Inverse Gamma}(a, b) \end{aligned} \quad (3.63)$$

を仮定する。ここで、 $\beta_0, V_\beta, c, \Sigma_0, a, b$ は分析者が与える既知のパラメータであり、このパラメータの設定によって事前情報を与える。ここでは無情報事前分布を仮定する。このような設定のもと、マルチレベルモデルの標本生成アルゴリズムは以下ようになる (Goldstein, 2003)。

(1) 初期値 $\beta^{(0)}, \Sigma^{(0)}, \sigma_0^{(0)}$ を決める。

(2) $q=1, 2, \dots$ に対して次の標本の発生を繰り返す。

$\beta^{(q)}$ を $\pi(\beta | \gamma_1^{(q-1)}, \dots, \gamma_I^{(q-1)}, \Sigma_k^{(q-1)}, \sigma_0^{(q-1)}, x, y)$ から発生する。

$\gamma_i^{(q)}$ を $\pi(\gamma_i | \beta^{(q)}, \gamma_1^{(q-1)}, \dots, \gamma_{i-1}^{(q-1)}, \gamma_{i+1}^{(q-1)}, \dots, \gamma_I^{(q-1)}, \Sigma_k^{(q-1)}, \sigma_0^{(q-1)}, x, y)$ から発生する (for all i)。

$\Sigma_k^{(q)}$ を $\pi(\Sigma_k | \beta^{(q)}, \gamma_1^{(q)}, \dots, \gamma_I^{(q)}, \sigma_0^{(q-1)}, x, y)$ から発生する。

$\sigma_0^{(q)}$ を $\pi(\sigma_0 | \beta^{(q)}, \gamma_1^{(q)}, \dots, \gamma_I^{(q)}, \Sigma_k^{(q)}, x, y)$ から発生する。

(3) 十分大きな N に対して $\beta^{(q)}, \gamma_i^{(q)}, \Sigma_k^{(q)}, \sigma_0^{(q)}$ ($q=N, N+1, \dots$) を記録する。

ここで、

$$\pi(\beta | \gamma_1, \dots, \gamma_I, \Sigma_k, \sigma_0, x, y) \sim N(A^{-1} \{ \sum_{i \in I} x_i^T (y_i - x_i \gamma_i) + \sigma_0^2 V_\beta^{-1} \beta_0 \}, \sigma_0^2 A^{-1})$$

$$\pi(\gamma_i | \beta, \Sigma_k, \sigma_0, x, y) \sim N(B^{-1} \{ x_i^T (y_i - x_i \beta) \}, \sigma_0^2 B^{-1})$$

$$\pi(\Sigma_k | \beta, \gamma_1, \dots, \gamma_I, \sigma_0, x, y) \sim \text{Inverse Wishart}(I + c, \sum_{i \in I} \gamma_i^T \gamma_i + \Sigma_0)$$

$$\pi(\sigma_0 | \beta, \gamma_1, \dots, \gamma_I, \Sigma_k, x, y) \sim \text{Inverse Gamma}(N/2 + a, \sum_{i \in I} S_i / 2 + b)$$

$$\ast S_i = (y_i - x_i \beta - x_i \gamma_i)^T (y_i - x_i \beta - x_i \gamma_i), \quad A = \sum_{i \in I} x_i^T x_i + \sigma_0^2 V_\beta^{-1}; \quad B = x_i^T x_i + \sigma_0^2 \Sigma_k^{-1}$$

であり、 N はサンプル数 (通常のパネルデータの場合、 $N = \text{個人数} \times \text{時点数} T$) である。事後分布の分布形から、式(3.63)によって与えた事前分布が共役事前分布であることが確認できる。また、縮約推定量 γ_i に着目すると、その期待値 $\hat{\gamma}_i$ は、 $(x_i^T x_i + \sigma_0^2 \Sigma_k^{-1})^{-1} x_i^T (y_i - x_i \beta)$ となり、これは式(3.35)において示した縮約推定量 (または BLUP: Best Linear Unbiased Prediction) に他ならない (佐々木, 2007)。また無情報事前分布を仮定する場合、上の推定量 β は BLUE (Best Linear Unbiased Estimator)

に対応する。

以上の見たように、マルチレベル線形モデルの場合、縮約推定量を含め、パラメータ推定値の特性が解析的に求まるものの、いくつかのモデル構造については縮約推定量が解析的に求まらない場合がある。この場合、シミュレーションにより求める方法 (Train, 2003), 又は、上述した MCMC 法により直接求める方法が考えられる。

なお、線形モデルではない他のモデル構造の場合においてもサンプリング手順は同様の形式をとる。例えば式(3.18)に示した5つの変動要因を考慮したマルチレベル多項ロジットモデルの場合、事後分布は以下のような階層ベイズモデルとして定義される。

$$\begin{aligned} \pi(\beta, \sigma_{ih}, \sigma_h, \sigma_d, \sigma_s, \sigma_0 | y, x) \\ \propto \prod_{N_{hhdr}} P(y, x | \beta, \gamma_{ih}, \gamma_h, \gamma_d, \gamma_s, \eta_{ihds}) \\ \times f(\gamma_{ih} | \sigma_{ih}) f(\gamma_h | \sigma_h) f(\gamma_d | \sigma_d) f(\gamma_s | \sigma_s) f(\eta_{ihds} | \sigma_0) \\ \times \phi(\sigma_{ih}) \phi(\sigma_h) \phi(\sigma_d) \phi(\sigma_s) \phi(\sigma_0) \phi(\beta) \end{aligned} \quad (3.64)$$

ここで、 $P(y, x | \beta, \gamma_{ih}, \gamma_h, \gamma_d, \gamma_s, \eta_{ihds})$ は、式(3.18)の選択確率から定義される尤度関数、 $f(\bullet)$ は各ランダム変数の分布を表す関数であり、上に見たように正規分布に従う。 $\phi(\bullet)$ は事前分布であり、式(3.62)と同様に逆ウィシャート分布 (1変量の正規分布を仮定する場合には逆ガンマ関数)を仮定する。サンプリング手順は上に述べた方法と同様であり、詳細については、例えば Train(2003)に掲載されているため割愛する。

MCMC 法を用いてモデルを同定する際においては、初期値が不変分布である事後分布からの標本でない限り、標本 (サンプル) が事後分布に収束するまでにある程度の時間を要する。そのため、上のサンプリング手順では、(3)番目において、標本が不変分布に収束するまでの初期値に依存する標本を稼働検査期間として捨てる。この際、どの程度の期間を稼働検査機関として設定すればよいのか、また、どのように標本が事後分布に収束していると判断するのかが問題となる。この判断を行うために数多くの収束判定の方法が提案されているが (Cowles and Carlin, 1996), 最も望ましい方法は確立されておらず、いくつかの既存の手法を用いて複眼的に収束を確認することが望ましいと言われている (和合, 2005)。本研究では、標本の時系列プロット、標本自己相関関数のプロット、Geweke (1992)の収束判定方法を用いるとともに、異なる初期値、異なる標本系列の長さのもとにおいても同一の結果が得られるかどうかを確認することにより収束問題に対応する。

付録 B に、最尤推定法と MCMC 法の比較及び本研究で用いた収束判定方法について、具体例を挙げて示しておく。MCMC 法を用いて推定した本論文の全てのモデルは、付録 B と同様の手順によって収束状況の確認を行っているが、付録 B から分かるように、モデルが有するパラメータ数の増加に伴い、詳細な結果の表示は煩雑となるため、本文中では表示しないこととした。なお、MCMC 法を用いたモデル推定には、ソフトウェア WinBUGS (Bayesian inference Using Gibbs Sampling (Lunn et al., 2000))を用いている。

また、モデル比較のために、通常の統計モデルにおいては尤度比や AIC(Akaike Information Criterion)等が頻繁に用いられるが、同様に、MCMC 法においても DIC(Deviance Information Criterion)と呼ばれる統計量が提案されている。DIC は、Spiegelhalter et al. (2002)によって提案された統計量で、特に階層ベイズモデルを用いて縮約推定量を扱う場合において有用であるとされている。これは、上にみたように、階層ベイズモデルの場合、縮約推定量を未知パラメータの 1 つと見なすことができる一方で、実際に事前分布を仮定した未知パラメータとして扱っているわけではないため、AIC 等の統計量を用いる場合に必要となる未知パラメータの数が明確でないためである。具体的には、DIC は以下のように定義される。

$$DIC = -2(\log[\pi(y | \text{mean}(\theta))] - pD) \quad (3.65)$$

ただし、

$$pD = 2(\log[\text{mean}(\pi(y | \theta))] - \log[\pi(y | \text{mean}(\theta))]) \quad (3.66)$$

である。ここで、 $\log[\text{mean}(\pi(y | \theta))]$ は、上に述べた標本の発生 $q, q+1, \dots (q \geq N)$ の各回において得られた対数尤度の事後平均であり、 $\log[\pi(y | \text{mean}(\theta))]$ は、上に述べた標本の発生 $q, q+1, \dots (q \geq N)$ の各回において得られた未知パラメータの事後平均を用いて算出した対数尤度である。なお階層構造を持たない通常のモデルの場合、 pD は漸近的にパラメータの数に等しくなり、結果、AIC と等価な情報量基準となる (付録 B 参照)。

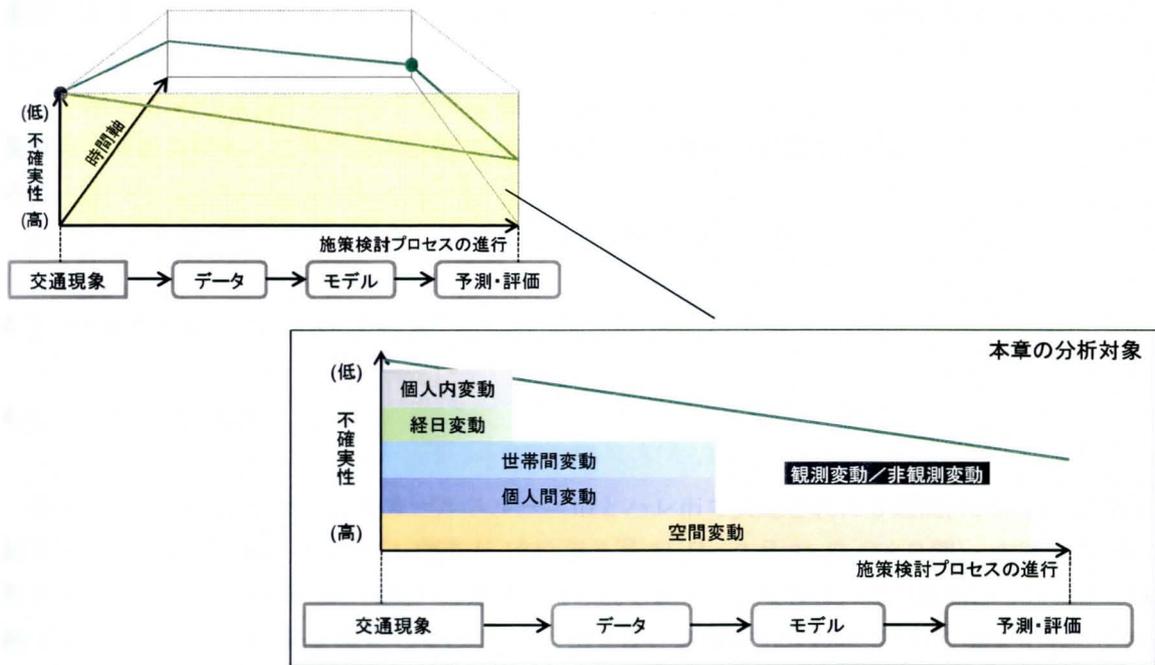
第3章 関連参考文献

- 1) Bhat, C. R.: A multi-level cross-classified model for discrete response variables, *Transportation Research B*, Vol. 34, pp. 567-582, 2000.
- 2) Bhat, C. R., Zhao, H.: The spatial analysis of activity stop generation, *Transportation Research Part B*, Vol. 36, pp. 557-575, 2002.
- 3) Bhat, C. R.: A multiple discrete-continuous extreme value model: formulation and application to discretionary time-use decisions, *Transportation Research Part B*, 39, pp. 679-707, 2005.
- 4) Bhat, C. R.: The multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model: Role of utility function parameters, identification considerations, and model extensions, *Transportation Research Part B*, Vol. 42, pp. 274-303, 2008.
- 5) Carrasco, J-A., Miller, E. J., Wellman, B.: How far and with whom do people socialize? Empirical evidence about the distance between social network members, Presented at the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2008 (CD-ROM).
- 6) Chung, J-H, Kim, S., Lee, Y-K., Choi, Y-S.: Multilevel Structural Equation Model for Activity Participation and Travel Behavior-Data from the Puget Sound Transportation Panel-, *Transportation Research Record*, Vol. 1898, pp. 52-60, 2004.
- 7) Collins, L. M., Sayer, A. G.: *New Methods for the Analysis of Change*, American Psychological Association, 2001.
- 8) Cowles, M. K., Carlin, B.: Markov Chain Monte Carlo Convergence Diagnostics: A Comparative Review, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 91, pp. 883-904, 1996.
- 9) Diez-Roux, A. V.: Bringing context back into epidemiology: Variables and fallacies in multilevel analysis, *American Journal of Public Health*, Vol. 88, pp. 216-222, 1998.
- 10) Geweke, J.: Evaluating the Accuracy of Sampling-Based Approaches to the Calculation of Posterior Moments, in J.M. Bernardo, J.O. Berger, A.P. Dawid and A.F.M. Smith (eds.), *Bayesian Statistics 4*, Oxford: Oxford University Press, pp. 169-193, 1992.
- 11) Goldstein, H.: *Multilevel Statistical Models*, Third Edition, Edward Arnold, London, 2003.
- 12) Goulias., K. G.: Multilevel analysis of daily time use and time allocation to activity types accounting for complex covariance structures using correlated random effects, *Transportation*, 29, pp. 31-48, 2002.
- 13) Grilli, L., Rampichini: A Multilevel Multinomial Logit Model for the Analysis of Graduates' Skills, *Statistical Methods and Applications*, Vol. 16, pp. 381-393, 2007.
- 14) Habib, M. A., Miller, E. J.: Influence of transportation access and market dynamics on property values: multilevel spatio-temporal models of housing price, Presented at the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2008 (CD-ROM).
- 15) Hägerstrand, T.: What about people in regional science?, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, Vol. 24, pp. 7-21, 1970.
- 16) Hanson, S., Huff, J.: Repetition and day-to-day variability in individual travel patterns: Implications

- for classification, in R.G. Golledge and H. Timmermans (eds.) *Behavioural Modelling in Geography and Planning*, Croom Helm, London, pp. 368-398, 1988.
- 17) Henderson, C. R.: Estimation of genetic parameters (Abstract), *Annals of mathematical statistics*, Vol. 21, pp. 309-310, 1950.
 - 18) Henderson, C. R.: Estimation of variance and covariance components, *Biometrics*, Vol. 9, pp. 226-252, 1953.
 - 19) Henderson, C. R., Kempthorne, O., Searle, S. R., von Krosigk, C. M.: The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling, *Biometrics*, Vol. 15, pp. 192-218, 1959.
 - 20) Hox, J. J: *Applied Multilevel Analysis*, TT-Publikaties, Amsterdam, 1995.
 - 21) Kenyon, S., Lyons, G., Rafferty, J.: Transport and social exclusion: investigating the possibility of promoting inclusion through virtual mobility, *Journal of Transport Geography*, Vol. 10, pp. 207-219, 2002.
 - 22) Khandker, M., Habib, N. M., Miller, E. J.: Modeling skeletal components of workers' daily activity schedules, *Transportation Research Record*, No. 1985, pp. 88-97, 2006a.
 - 23) Khandker, M., Habib, N. M., Miller, E. J.: Modeling Individuals' Frequency and Time Allocation Behavior for Shopping Activities Considering Household-Level Random Effects, *Transportation Research Record*, No. 1985, pp. 78-87, 2006b.
 - 24) Kim, H. J., Kim, D. H., Chung, J-H.: Weekend activity and travel behavior in a developing country: Empirical Study using multilevel structural equation models, *Transportation Research Record*, Vol. 1894, pp. 99-108, 2004.
 - 25) Kitamura, R.: A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-Home Activities and Trips, *Transportation Research Part B*, Vol. 18, pp. 255-266, 1984.
 - 26) Kitamura, R., Yamamoto, T., Susilo, Y. O., Axhausen, K. W.: How routine is a routine? An analysis of the day-to-day variability in prism vertex location, *Transportation Research Part A*, Vol. 40, pp. 259-279, 2006.
 - 27) Kreft, I., de Leeuw, J.: *Introducing Multilevel Modeling*, Sage Publications Ltd., 1998.
 - 28) Kweon, Y-J.: Prediction of fatality rates for comparison between states, *Transportation Research Record*, No. 2019, pp. 127-135, 2007.
 - 29) Lunn, D.J., Thomas, A., Best, N., Spiegelhalter, D.: WinBUGS - a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility, *Statistics and Computing*, Vol. 10, 325-337, 2000.
 - 30) Maddala, G. S., Trost, R. P., Li, H., Joutz, F.: Estimation of short-run and long-run elasticities of energy demand from panel data using shrinkage estimators, *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 15, pp. 90-100, 1997.
 - 31) Miranda-Moreno, L. F., Lee-Gosselin, M.: A week in the life of baby boomers: how do they see the spatial-temporal organization of their activities and travel?, Presented at the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2008 (CD-ROM).
 - 32) Pas, E. I.: Intrapersonal variability and model goodness-of-fit, *Transportation Research Part A*, Vol. 21,

- pp. 431-438, 1987.
- 33) Pole, A., West, M., Harrison, J.: Applied Bayesian Forecasting and Time Series Analysis, Chapman&Hall, 1994.
 - 34) Robinson, W. S.: Ecological correlations and the behavior of individuals, American Sociological Review, Vol. 15, pp. 351-357, 1950.
 - 35) Schonfelder, S., Axhausen, K. W.: Activity spaces: measures of social exclusion?, Transport Policy, Vol. 10, pp. 273-286, 2003.
 - 36) Schwanen, T., Dijst, M.: Travel-time ratios for visits to the workplace: the relationship between commuting time and work duration, Transportation Research Part A, Vol. 36, pp. 573-592, 2002.
 - 37) Susilo, Y. O., Dijst, M.: How far is too far? Travel time ratios for activity participations in the Netherlands, Presented at the 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2009 (CD-ROM).
 - 38) Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., van der Linde, A.: Bayesian measures of model complexity and fit, The Journals of the Royal Statistical Society B, Vol. 64, pp. 583-639, 2002.
 - 39) Train, K. E.: Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, 2003.
 - 40) Weber, J., Kwan, M-P.: Evaluating the effects of geographic contexts on individual accessibility, Urban Geography, Vol. 24, pp. 647-671, 2003.
 - 41) Yamamoto, T., Kitamura, R.: An analysis of time allocation to in-home and out-of-home discretionary activities across working days and non-working days, Transportation, 26, pp. 211-230, 1999.
 - 42) Yavuz, N., Welch, E. W., Sriraj, P. S.: Individual and neighborhood determinants of perceptions of bus and train safety in Chicago, Illinois: Application of hierarchical linear modeling, Transportation Research Record, No. 2034, pp. 19-26, 2007.
 - 43) 貝清之, 小林潔司: マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集A, Vol. 63, pp. 336-355, 2007.
 - 44) 北村隆一: 変動についての試行的考察, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, pp. 1-15, 2003.
 - 45) 交通工学研究会(編): やさしい非集計分析, 丸善株式会社, 1993.
 - 46) 佐々木義之: 変量効果の推定と BLUP 法, 京都大学学術出版会, 2007.
 - 47) 土木学会: 非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 1995.
 - 48) 豊田秀樹: マルコフ連鎖モンテカルロ法, 朝倉書店, 2008.
 - 49) 西信雄: 社会経済要因の多重レベル分析, 橋本英樹, 小林廉毅, 川上憲人(編), 社会格差と健康, 東京大学出版会, pp. 189-213, 2006.
 - 50) 和合肇: ベイズ計量経済分析-マルコフ連鎖モンテカルロ法とその応用-, 東洋経済新報社, 2005.

第4章 活動・交通行動の変動特性



4.1 はじめに

本章では、1999年にドイツのカールスルーエ市及びハレ市で行われた6週間の交通日誌データ（連続時間パネルデータ）を用いて、3章において構築した種々のマルチレベルモデルによりいくつかの行動側面（出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用）における変動構造を実証的に特定する。

4.2では、本章の分析に使用するデータ（Mobidriveデータ）の概要をまとめる。2章においてみたように、6週間という長期に渡る交通行動が観測されたデータは極めて限られており、Mobidriveデータは詳細な変動解析を許容する貴重なデータの1つである。

4.3では、全ての変動要因を非観測要因として扱い、活動・交通行動が持つ全変動を、非観測個人間変動、非観測世帯間変動、非観測経日変動、非観測空間変動、非観測個人内変動の5つに分解することにより、分析のフレームワーク（例えば個人単位で分析すべきか、空間単位で分析すべきか）を選択する上での基礎的情報の提供を試みる。また、実務的な観点からは、利用可能なデータや分析手法の制約上、限られた変動要因に焦点を当てざるを得ない場合が多い。このような状況下においては、本章で説明を試みる変動特性の情報を用いて、限られた変動要因に焦点を

当てて分析することにより失われる変動情報の量的把握が可能となる。

4.4 では、各変動要因のどの程度の変動が観測変数の導入によって捉えることができるのかについて実証的に把握する。言い換えると、どの程度の非観測変動を観測変動に落とし込むことができるかについて評価する。また、仮に非観測変動が支配的な場合、どの種類の変動種類の非観測変動の影響が支配的かを確認することにより、今後収集すべきデータの種類に関する示唆を得ることが可能である。

4.5 では、交通手段選択に内在する共変動の影響を特定する。実証分析では、個人内変動と空間変動の共変動を捉えることにより、個人毎に異なる空間変動の影響を定量的に把握することを試みる。

4.6 では、本章で行う分析から得られた知見及び課題をまとめる。

4.2 使用データ：Mobidrive データ

4.2.1 データの概要

本章では、1999年にドイツのカールスルーエ市とハレ市で実施された6週間(42日間)の交通日誌データを用いる。本調査は、プレ調査が1999年5月31日～7月25日(56日間)、本調査が1999年9月13日～11月14日(63日間)の期間で行われており、被験者は、この期間のうち特定の連続する42日間の行動結果を報告している。プレ調査及び本調査を合わせて、合計361人(162世帯)が調査に参加している。本調査は1週間の行動結果を記述するブックレットが被験者に渡され、週ごとに行動結果を報告する形を取り、行動結果が理論的に一致しない場合(例えば*t*番目のトリップの目的地と*t+1*番目のトリップの出発地が一致しないなど)においては、被験者にその旨を伝えることにより、データの補完が行われている。そのため、6週間の長期に渡る調査であっても、被験者が回答に疲労し、その結果データにバイアスが生じるという問題(Panel Fatigue)は生じていないことが報告されている(Axhausen et al., 2002, 2007)。なお、調査の詳細は、Axhausen et al. (2002)に詳しい。

4.2.2 各行動側面における使用サンプル及び各種変動要因の定義

本章では、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の4つの行動側面を扱う。ただし、出発時刻と交通手段選択はトリップごとに観測されるのに対し、活動発生と時間利用はある特定の1日に当該活動を遂行したかどうかという人・日ごとに観測される行動側面である。よって、使用するデータの構造及び、各種変動要因の定義は行動側面により多少異なる(ただし、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動の5つの変動要因を扱う点は共通である)。表4.1に各行動側面における使用サンプル及び各種変動要因の定義をまとめておく。以下の分析では、表4.1に従って分析を進める。

表 4.1 各行動側面における使用サンプル及び各種変動要因の定義

| 行動側面 | 出発時刻 | 活動発生 | 交通手段選択 | 時間利用 |
|------------------|---|---|--|--|
| 分析単位 | トリップ | 人・日 | トリップ | 人・日 |
| 使用データ | プレ調査+本調査 | プレ調査+本調査 | 本調査 ¹⁾ | プレ調査+本調査 |
| 個人間変動 | 114~361人 | 294人 | 309人 | 294人 |
| 世帯間変動 | 65~162世帯 | 141世帯 | 138世帯 | 141世帯 |
| 経日変動 | 95~119日 | 119日 | 63日 | 119日 |
| 空間変動 | 47~97空間 ²⁾ 出発ゾーン[4]×到着ゾーン[4]×居住ゾーン[4]×都市[2] | 57空間 ²⁾ 滞在ゾーン集合 ⁴⁾ [15]×居住ゾーン[4]×都市[2] | 53空間 ³⁾ 出発ゾーン[3]×到着ゾーン[3]×居住ゾーン[3]×都市[2] | 30空間 ²⁾ 滞在ゾーン集合 ⁴⁾ [15]×都市[2] |
| 個人内変動 (サンプル数) | 1,440 ~ 22,261 | 12,348 | 18,326 | 12,348 |
| 活動分類 | 学校・仕事・業務・私用・送迎・日常買物・非日常買物・レジャー・帰宅 | 学校・仕事・業務・私用・送迎・日常買物・非日常買物・レジャー | 活動分類なし(自転車, 自動車(運転), 自動車(同乗), 公共交通の4肢選択) | 必須(学校, 仕事, 業務)・私用・送迎・日常買物・非日常買物・レジャー・自宅 |
| 推定 | 活動種類ごとに推定 | 活動種類ごとに推定 | まとめて推定 | まとめて推定 |

1) プレ調査のデータは、代替交通手段の交通サービス水準の変数が整備されていないため。

2) ゾーン単位は CBD, 都心部, 郊外, その他の4つ。

3) ゾーン単位は CBD, 都心部, その他(郊外+その他)の3つ。これは、都市の外の地域における交通サービス水準の変数に欠損が多いため。

4) 滞在ゾーン集合とは、まず、空間を CBD, 都心部, 郊外, その他の4つのゾーンに分類し、その後、当該日に実際に滞在したゾーンの組み合わせを特定した行動空間(15=2⁴-1)。

4.3 活動・交通行動の基礎的な変動特性の特定

本節では、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の各々の行動側面を対象に、これらの交通現象を規定する変動構造の特定を試みる。ここでは、各行動側面の基礎的な変動特性を明らかにするために、観測変数を導入せずに、全変動を非観測個人間変動、非観測世帯間変動、非観測経日変動、空間変動、個人内変動の5つの変動要因に分解する(Nullモデルと呼称)。交通計画に利用されるほとんど全てのモデルが、ある断面において観測された変動の情報に基づき作成されている点を踏まえると、このような変動特性を明らかにすることの意義は少なくはないと考える。

4.3.1 出発時刻

出発時刻の意思決定を、マルチレベル線形モデル（3章参照）を用いて定式化する。具体的には、出発時刻 y_{ihds}^j を、世帯 h に属する個人 i が、日付 d に属する t 番目のトリップにおいて、空間 s の移動を伴い活動 j を行う出発時刻として以下のように定式化する。

$$y_{ihds}^j = \beta_0 + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \varepsilon_{ihds}^j \quad (4.1)$$

ここで、

- β_0 : 定数項（未知パラメータ）
- γ_{ih}^j : $\gamma_{ih}^j \sim N(0, \sigma_{ih|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測個人間変動に対応）
- γ_h^j : $\gamma_h^j \sim N(0, \sigma_{h|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測世帯間変動に対応）
- γ_d^j : $\gamma_d^j \sim N(0, \sigma_{d|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測経日変動に対応）
- γ_s^j : $\gamma_s^j \sim N(0, \sigma_{s|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測空間変動に対応）
- ε_{ihds}^j : $\varepsilon_{ihds}^j \sim N(0, \sigma_{0|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測個人内変動に対応）

式(4.1)の推定は適応型求積法(Adaptive Quadrature Methods)を用いる。ただし推定結果の信頼性を確認するためにMCMC法による推定を別途実行し、推定値に有意な差が無いことを確認している（付録B参照）。なお、モデルの推定は活動種類ごとに行っている。推定結果を表4.2に示す。ここでは、全てのランダム変数に対し、該当するランダム変数を除いた場合の最終対数尤度と含んだ場合の最終対数尤度に対して χ^2 検定を行い、有意でないランダム変数を除外した推定結果を記載している。結果、学校、仕事、業務に対する世帯間変動、経日変動、及び、送迎に対する経日変動は有意に観測されない結果となった。表4.3及び図4.1に、式(3.3)を用いて特定した、全変動を非観測変動と見なした場合の出発時刻の変動特性を示す。以下、結果から得られた知見をまとめると。

- (i). 個人間変動については、非日常買物を除く全ての活動に対して有意であることが分かる。これより、同一の活動目的であっても個人によって時間の選好は異なり、出発時刻に関する意思決定を解明する上では、個人属性等を用いた選好の異質性を表現する必要があると考えられる（非日常買物を除く）。中でも、学校や仕事といった必須活動において個人間変動が高い傾向にある（それぞれ、全変動の28.8%及び36.0%が個人間変動に由来している）。
- (ii). 世帯間変動については、学校、仕事、業務といった必須活動に対しては有意に影響しない結果となった。これは、世帯との結合制約(coupling constraints) (Hägerstrand, 1970) 等によって必須活動の出発時刻が変更される可能性は低いことを示唆するものである。反面、送迎、日常買物、非日常買物、レジャーにおいては、出発時刻の全変動のうちの12.3%~22.2%が世帯間変動から生じていることが分かる。中でも非日常買物に対する出発時刻選択は、個時間変動が有意に観測されないことから、世帯レベルの意思決定問題に属する可能性がある。
- (iii). 経日変動については、学校、仕事、業務、送迎に対して有意に影響しない結果となった。すなわち、日付によってこれらの活動に対する時刻の選好がばらつく可能性は低く、ある1日

において観測された出発時刻を用いて、他の日付に対して推論の拡張を行ったとしても日単位の集計レベルにおいては安定しているものと見なせる。一方で、他の活動種類においては経日変動は有意に観測された。特に日常買物、非日常買物においては、全変動のうちの11.6%及び11.0%が経日変動から生じており、これらの出発時刻に関する意思決定メカニズムを明らかにするためには、複数日の行動を分析の対象にする必要があると考えられる。

- (iv). 空間変動については、すべての活動に対して有意となった。特に、学校や仕事、業務といった必須活動において高い空間変動が観測された(12.4%~36.2%)。これは、これらの必須活動では基本的にODペアが固定されているためであり(自宅から会社(学校)への移動)、このODペアから外れた行動を取る場合において出発時刻は大きく異なる可能性があることを示唆するものである。一方で、その他の活動において観測された空間変動は全変動の2.1%~5.5%であり、必須活動と比較して空間変動の影響は、有意に存在するものの、大きくはないといえる。
- (v). 個人内変動については、すべての活動において全変動に対して大きな割合を占める変動要因であり、全変動のうち35.0%~85.9%を占めることが分かる。特に、自由裁量型の活動においてその割合は高く、これらの活動目的に対する出発時刻は本質的に文脈に依存してばらつくものと考えられる。この結果は、ある1日において観測された行動結果が、代表的(典型的)な行動結果であると仮定することの妥当性を疑う必要があることを示唆するものである。

表 4.2 出発時刻の推定結果 (Null モデル)

| 変数 | | 学校 | 仕事 | 業務 | 私用 | 送迎 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー | 帰宅 |
|---------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 定数項 | β_0 | 608.4 | 612.1 | 723.8 | 791.7 | 888.0 | 781.5 | 798.6 | 901.9 | 918.5 |
| | (t 値) | (28.7)* | (34.9)* | (47.6)* | (48.6)* | (55.1)* | (29.0)* | (65.2)* | (41.4)* | (63.1)* |
| 個人間変動 | $\sigma^2_{ih j}$ | 10022 | 17738 | 7486 | 4382 | 8410 | 4372 | 0 | 3199 | 3748 |
| | (χ^2) | (287)* | (1462)* | (90)* | (75)* | (29)* | (137)* | (2)* | (139)* | (452)* |
| 世帯間変動 | $\sigma^2_{h j}$ | 0 | 0 | 0 | 3980 | 6941 | 6939 | 7237 | 6650 | 3288 |
| | (χ^2) | (2.3) | (0.5) | (0.0) | (21)* | (8)* | (43)* | (230)* | (54)* | (28)* |
| 経日変動 | $\sigma^2_{d j}$ | 0 | 0 | 0 | 808 | 0 | 4607 | 3576 | 2965 | 659 |
| | (χ^2) | (0.0) | (0.0) | (1.1) | (18)* | (0.9) | (567)* | (141)* | (435)* | (120)* |
| 空間変動 | $\sigma^2_{s j}$ | 12600 | 9814 | 5473 | 1516 | 3504 | 1053 | 1173 | 2974 | 1352 |
| | (χ^2) | (271)* | (427)* | (103)* | (26)* | (20)* | (29)* | (21)* | (190)* | (141)* |
| 個人内変動 | $\sigma^2_{0 j}$ | 12160 | 21674 | 31027 | 33193 | 55464 | 22759 | 20657 | 38391 | 54977 |
| LL(C) | | -16,401 | -31,943 | -9,714 | -26,981 | -12,281 | -31,113 | -12,177 | -59,783 | -154,528 |
| LL(β) | | -15,967 | -30,846 | -9,585 | -26,731 | -12,154 | -30,345 | -11,978 | -58,820 | -153,517 |
| サンプル数 | | 2,576 | 4,761 | 1,440 | 3,998 | 1,749 | 4,653 | 1,846 | 8,720 | 22,261 |

※ χ^2 は該当するランダム変数を除いた場合の最終対数尤度 LL(β')と含んだ場合の最終対数尤度 LL(β)に対する検定
 ** 1%有意, *5%有意, +10%有意

表 4.3 出発時刻の変動特性 (Null モデル)

| 変動要因 | | 学校 | 仕事 | 業務 | 私用 | 送迎 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー | 帰宅 |
|-------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 個人間変動 | $\sigma^2_{ih j}$ | 28.8% | 36.0% | 17.0% | 10.0% | 11.3% | 11.0% | 0.0% | 5.9% | 5.9% |
| 世帯間変動 | $\sigma^2_{h j}$ | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 9.1% | 9.3% | 17.5% | 22.2% | 12.3% | 5.1% |
| 経日変動 | $\sigma^2_{d j}$ | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 1.8% | 0.0% | 11.6% | 11.0% | 5.5% | 1.0% |
| 空間変動 | $\sigma^2_{s j}$ | 36.2% | 19.9% | 12.4% | 3.5% | 4.7% | 2.6% | 3.6% | 5.5% | 2.1% |
| 個人内変動 | $\sigma^2_{0 j}$ | 35.0% | 44.0% | 70.5% | 75.6% | 74.6% | 57.3% | 63.3% | 70.9% | 85.9% |
| 全分散 | Var(y'_{nhds}) | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

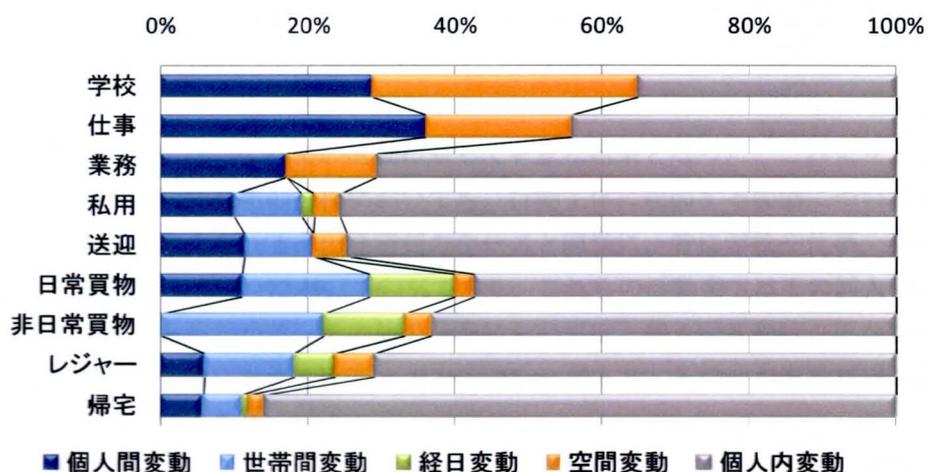


図 4.1 出発時刻の変動特性 (Null モデル)

4.3.2 活動発生

活動発生の意思決定を、マルチレベル 2 項ロジットモデル (3 章参照) を用いて定式化する。具体的には、日付 d において、世帯 h に属する個人 i が、行動空間 s において活動 j を行うかどうかを以下のように定式化する。

$$P(y_{ihds}^j = 1) = \frac{\exp(V_{ihds}^j)}{1 + \exp(V_{ihds}^j)} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} U_{ihds}^j &= V_{ihds}^j + \varepsilon_{ihds}^j \\ &= \beta_0 + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \varepsilon_{ihds}^j \end{aligned} \quad (4.3)$$

ここで、

- β_0 : 定数項 (未知パラメータ)
- γ_{ih}^j : $\gamma_{ih}^j \sim N(0, \sigma_{ih|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測個人間変動に対応)
- γ_h^j : $\gamma_h^j \sim N(0, \sigma_{h|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測世帯間変動に対応)
- γ_d^j : $\gamma_d^j \sim N(0, \sigma_{d|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測経日変動に対応)
- γ_s^j : $\gamma_s^j \sim N(0, \sigma_{s|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測空間変動に対応)
- ε_{ihds}^j : 分散 $\pi^2/3$ に従うランダム変数 [固定: $(\pi^2/3 = \pi^2/6 + \pi^2/6)$] (非観測個人内変動に対応)

式(4.2)の推定は、出発時刻のケースと同様に、適応型求積法(Adaptive Quadrature Methods)を用いる。なお、モデルの推定は活動種類ごとに行っている。推定結果を表 4.4 に示す。全てのランダム変数に対し、該当するランダム変数を除いた場合の最終対数尤度と含んだ場合の最終対数尤度に対して χ^2 検定を行った結果、学校、仕事、業務、日常買物に対する世帯間変動、送迎に対する経日変動は有意に観測されない結果となった。表 4.5 及び図 4.2 に、式(3.14)を用いて特定した、全変動を非観測変動と見なした場合の出発時刻の変動特性を示す。以下、結果から得られた知見をまとめる。

- (i). 個人間変動については、すべての活動に対して有意な結果となった。これより、どのような活動目的に対する活動発生の分析においても、行動主体に起因する変動については常に考慮する必要があると考えられる。出発時刻のケースと同様に、特に学校や仕事、業務の個人間変動は、それぞれ 91.6%, 72.4%, 56.1%であり、これらの活動発生はその個人の属性に大きく依存していることがわかる。その他の活動においては、個人間変動は主要な変動要因の 1 つである一方、全変動に対する比率は 8.2%~27.4%であり、その他の変動要因の影響も極めて大きいことが確認できる。
- (ii). 世帯間変動については、学校、仕事、業務、日常買物に対して有意な影響は観測されなかった一方で、私用、送迎、非日常買物、レジャーでは有意に観測された。特に送迎の発生については、全変動の 11.5%が世帯間変動によるものであり、世帯レベルの分析が必要なものと

思われる。なお、個人間変動と世帯間変動を合わせてみても私用や非日常買物、レジャーといった活動においては全変動の20%前後を占めるに過ぎず、従って、ある1日において観測された行動データは、その個人の代表的な行動パターンであると思なすことの妥当性は低いと思われる。反面、学校や仕事といった必須活動については、ある1日に観測された行動がその個人の典型的な行動であると思なせる可能性が高い。

- (iii). 経日変動については、送迎に対して有意に影響しない結果となった。これより、日単位の集計レベルにおいては、送迎は、曜日や祝日等に依存せずに行われる活動であることが分かる。一方、他の活動については経日変動の影響は有意に観測された。この結果は、日単位の集計レベルにおいてもその発生量は日々変動していることを示唆している。
- (iv). 空間変動については、すべての活動に対して有意な結果となった。これより、どのような活動に対する発生分析に対しても、空間的な要因を考慮する必要があると言える。また空間変動の全変動に占める比率をみると、非日常買物で14.8%、レジャーで17.2%となっており、他の活動目的と比較して高い割合を占めることが分かる。これは、これら非日常的な活動は日常的な活動と空間的に異なる場所における活動発生が多いためであると考えられる。
- (v). 個人内変動については、必須活動（学校、仕事、業務）で低く、その他の活動で高くなる傾向にある結果となった。特に、必須活動以外の活動については個人内変動が全変動の50%以上を占めており、これらの活動を行うか否かは、意思決定時の文脈の違いに大きく依存することが示唆された。

表 4.4 活動発生の推定結果 (Null モデル)

| 変数 | | 学校 | 仕事 | 業務 | 私用 | 送迎 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー |
|---------------|-------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|
| 定数項 | β_0 | -14.4 | -3.79 | -4.95 | -1.24 | -2.82 | -1.27 | -2.26 | 0.30 |
| | (t 値) | -(11.2)* | -(9.8)* | -(17.6)* | -(7.6)* | -(14.3)* | -(8.8)* | -(12.9)* | (1.5) |
| 個人間変動 | $\sigma^2_{ih j}$ | 163.73 | 20.62 | 6.62 | 0.66 | 1.50 | 1.59 | 0.43 | 0.77 |
| | (χ^2) | (6616)* | (6734)* | (1500)* | (269)* | (378)* | (1668)* | (71)* | (520)* |
| 世帯間変動 | $\sigma^2_{h j}$ | 0 | 0 | 0 | 0.30 | 0.74 | 0 | 0.29 | 0.55 |
| | (χ^2) | (0.0) | (0.0) | (0.6) | (12)* | (14)* | (0.5) | (11)* | (25)* |
| 経日変動 | $\sigma^2_{d j}$ | 10.02 | 3.98 | 0.80 | 0.36 | 0 | 0.72 | 0.44 | 0.46 |
| | (χ^2) | (1984)* | (2462)* | (133)* | (252)* | (0.7) | (604)* | (154)* | (478)* |
| 空間変動 | $\sigma^2_{s j}$ | 1.74 | 0.59 | 1.09 | 0.62 | 0.88 | 0.18 | 0.77 | 1.05 |
| | (χ^2) | (112)* | (153)* | (233)* | (452)* | (330)* | (57)* | (405)* | (958)* |
| LL(C) | | -5,421 | -7,471 | -2,789 | -6,383 | -3,795 | -7,157 | -4,243 | -8,477 |
| LL(β) | | -1,481 | -3,157 | -1,749 | -5,503 | -3,013 | -5,989 | -3,793 | -6,895 |
| サンプル数 | | 12,348 | 12,348 | 12,348 | 12,348 | 12,348 | 12,348 | 12,348 | 12,348 |

※ χ^2 は該当するランダム変数を除いた場合の最終対数尤度 LL(β')と含んだ場合の最終対数尤度 LL(β)に対する検定
 ** 1%有意, *5%有意, +10%有意

表 4.5 活動発生の変動特性 (Null モデル)

| 変動要因 | | 学校 | 仕事 | 業務 | 私用 | 送迎 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー |
|-------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 個人間変動 | $\sigma^2_{ih j}$ | 91.6% | 72.4% | 56.1% | 12.6% | 23.3% | 27.4% | 8.2% | 12.6% |
| 世帯間変動 | $\sigma^2_{h j}$ | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 5.8% | 11.5% | 0.0% | 5.6% | 9.0% |
| 経日変動 | $\sigma^2_{d j}$ | 5.6% | 14.0% | 6.7% | 6.9% | 0.0% | 12.5% | 8.5% | 7.5% |
| 空間変動 | $\sigma^2_{s j}$ | 1.0% | 2.1% | 9.2% | 11.8% | 13.8% | 3.2% | 14.8% | 17.2% |
| 個人内変動 | $\pi^2/3$ | 1.8% | 11.6% | 27.9% | 62.9% | 51.3% | 56.9% | 62.9% | 53.7% |
| 全分散 | $\text{Var}(u'_{itdx})$ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

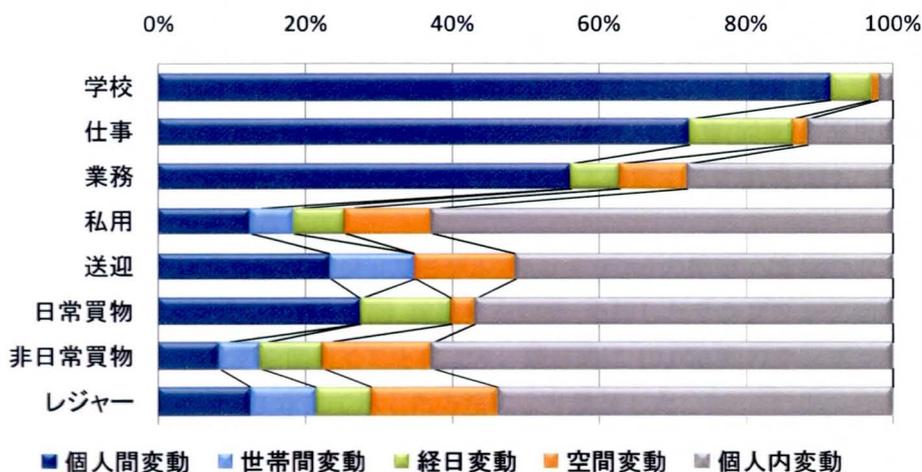


図 4.2 活動発生の変動特性 (Null モデル)

4.3.3 交通手段選択

交通手段選択の意思決定を，マルチレベル多項ロジットモデル（3章参照）を用いて定式化する．具体的には，日付 d において，世帯 h に属する個人 i が，空間 s の移動を伴う t 番目のトリップにおいて利用する交通手段（自転車，自動車(運転)，自動車(同乗)，公共交通の4つの交通手段を想定）の選択確率を以下のように定式化する．

$$P(y_{ihds} = j) = \frac{\exp(V_{ihds}^j)}{\sum_{k=1}^J \exp(V_{ihds}^k)} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} U_{ihds}^j &= V_{ihds}^j + \varepsilon_{ihds}^j \\ &= \beta_0 + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \varepsilon_{ihds}^j \end{aligned} \quad (4.5)$$

ここで，

β_0 : 定数項 (未知パラメータ)

γ_{ih}^j : $\gamma_{ih}^j \sim MVN(0, \Sigma_{ih})$ に従うランダム変数 (非観測個人間変動に対応) ($j=2,3,4$)

γ_h^j : $\gamma_h^j \sim N(0, \sigma_{h|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測世帯間変動に対応) ($j=2,3,4$)

γ_d^j : $\gamma_d^j \sim N(0, \sigma_{d|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測経日変動に対応) ($j=2,3,4$)

γ_s^j : $\gamma_s^j \sim N(0, \sigma_{s|j}^2)$ に従うランダム変数 (非観測空間変動に対応) ($j=2,3,4$)

ε_{ihds}^j : 分散 $\pi^2/6$ に従うランダム変数[固定] (非観測個人内変動に対応) ($j=1,2,3,4$)

ただし，

$$\Sigma_{ih} = \begin{pmatrix} \sigma_{ih|2}^2 & \sigma_{ih|23} & \sigma_{ih|24} \\ \sigma_{ih|23} & \sigma_{ih|3}^2 & \sigma_{ih|34} \\ \sigma_{ih|24} & \sigma_{ih|34} & \sigma_{ih|4}^2 \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

なお，3章において議論したように，上に示した分散・共分散行列は，推定の安定性を踏まえて決定した．ここでの設定は，選択肢間の相関は個人間変動に対応するランダム変数においてのみ考慮し，残りの変動要因は異分散を捉えるものである．なお，自動車(同乗)の選択肢を基準化のための交通手段 ($j=1$) として用いた．従って，以下において特定する変動構造は，自動車(同乗)との効用の差分として定義される．

ここで構築するマルチレベル多項ロジットモデル(Nullモデル)の推定にはMCMC法を用いた．ここでは，サンプルの生成回数を400,000回，稼働検査期間(棄却したサンプリング回数)を100,000回とし，30回毎にサンプリングを間引くことにより，最終的に10,000回のサンプルを事後分布として用いた．推定の安定性は，3章にて示した方法により検証した．

推定結果を表4.6に示す．また，表4.7及び図4.3に，式(3.19)を用いて特定した，全変動を非観測変動と見なした場合の交通手段選択の変動特性を示す．以下，結果から得られた知見をまとめる．

- (i). 個人間変動については、すべての交通手段に対して有意な結果となった。特に、自動車(運転)については、全変動の88.5%を占める、最も主要な変動要因であることが示された。これは、個人が自由に利用できる自動車の有無、免許の有無等の個人属性が、自動車の利用を大きく規定しているためであると考えられる。
- (ii). 世帯間変動については、自動車(運転)を除く、自転車、公共交通に対して有意に観測された。特に自転車は、48.6%を占めることから、世帯間で自転車の選択構造は大きく異なることが示された。これは、世帯構成の影響によるものと思われる。例えば複数の子供がいる世帯では、自転車の利用が高まる可能性がある。また、1人世帯の場合、学生である可能性が高く、従って自転車や公共交通の利用が高いと考えられる。このような影響が世帯間変動として捉えられた可能性が高い。実際、4.5で見ると、世帯間変動を考慮しない場合、世帯間変動の多くは個人間変動に帰着する。
- (iii). 経日変動については、全ての交通手段において有意に観測されたものの、全変動の0.7%~5.2%にとどまる結果となった。特に自動車においては、経日変動は0.7%となっており、その影響はほとんど考慮しなくともよいと思われる。ただし、公共交通では5.2%の経日変動が観測されているため、曜日等によってその利用状況は異なってくることを予想される。
- (iv). 空間変動については、経日変動と同様に、公共交通において8.0%の変動が観測されている一方で、自動車(運転)においては0.7%と低い割合を占めるに過ぎない結果となった。これは、CBD等の中心部と郊外との公共交通サービス水準の差が表れているものと考えられる。ただし、ここで分析対象としているカールスルーエ市及びハレ市は公共交通網が十分に整備されている都市であるため、他の都市を対象に同様の分析を行った場合、空間変動はより高く算出される可能性がある点に注意する必要がある。
- (v). 個人内変動については、全変動のうち、9.7%~24.1%を占める結果となった。この結果は、上述した出発時刻や活動発生、次に述べる時間利用に比べて、交通手段選択は個人内変動の影響を受けにくい行動側面であることを示している。個人内変動+経日変動が比較的小さいことを踏まえると、交通手段選択のモデル作成に関しては、1日の行動データ(断面データ)を用いたとしても、他の行動側面と比較してより信頼性の高い結果を得ることが期待できる。

表 4.6 交通手段選択の推定結果 (Null モデル)

| 変数 | 自転車 | | 自動車(運転) | | 公共交通 | |
|-----------------------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|
| | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) |
| 定数項 | -3.14 | (0.51) | -0.86 | (0.38) | -0.04 | (0.34) |
| 個人間変動 $\sigma_{ih j}$ | 7.001 | (1.31) | 29.940 | (4.31) | 4.814 | (0.80) |
| 世帯間変動 $\sigma_{h j}$ | 11.460 | (3.22) | 0.150 | (0.32) | 3.776 | (1.10) |
| 経日変動 $\sigma_{d j}$ | 0.763 | (0.18) | 0.227 | (0.06) | 0.706 | (0.16) |
| 空間変動 $\sigma_{s j}^2$ | 1.067 | (0.47) | 0.230 | (0.09) | 1.091 | (0.31) |
| 個人間変動の共分散 | | | | | | |
| : 自転車と自動車(運転) | | | 5.944 | (1.68) | | |
| : 自転車と公共交通 | | | 1.227 | (0.69) | | |
| : 自動車(運転)と公共交通 | | | -0.3181 | (1.19) | | |

サンプル数: 18,326, $\log[\pi(x|\text{mean}(0))] = -8700.2$, $\log[\text{mean}(\pi(x|0))] = -9099.9$,
 $pD = 799.5$, $DIC = 18999$

表 4.7 交通手段選択の変動特性 (Null モデル)

| 変動要因 | 自転車 | 自動車(運転) | 公共交通 |
|----------------------------|--------|---------|--------|
| 個人間変動 $\sigma_{ih j}^2$ | 29.7% | 88.5% | 35.2% |
| 世帯間変動 $\sigma_{h j}^2$ | 48.6% | 0.4% | 27.6% |
| 経日変動 $\sigma_{d j}^2$ | 3.2% | 0.7% | 5.2% |
| 空間変動 $\sigma_{s j}^2$ | 4.5% | 0.7% | 8.0% |
| 個人内変動 $\sigma^2\pi^2/3$ | 14.0% | 9.7% | 24.1% |
| 全分散 $\text{Var}(u_{ihds})$ | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

※ガンベル分布のスケールパラメータ σ は 1 に固定

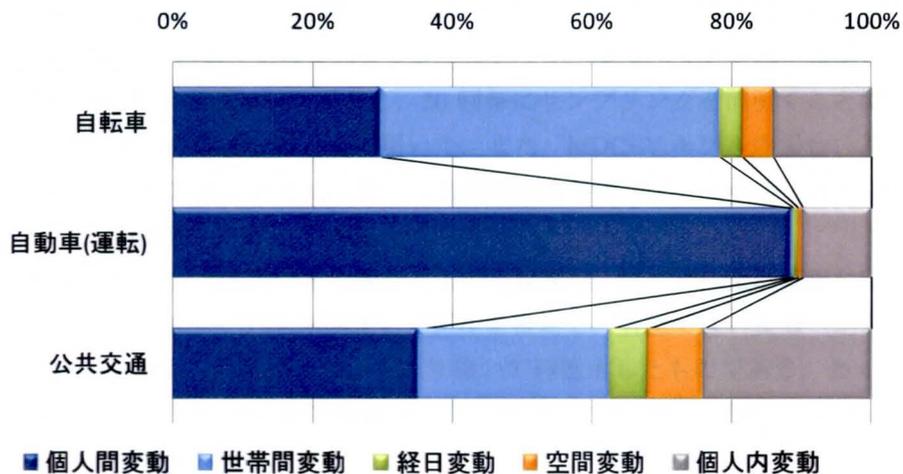


図 4.3 交通手段選択の変動特性 (Null モデル)

4.3.4 時間利用

時間利用（各活動への活動参加の有無及び時間の配分）の意思決定を，マルチレベル MDCEV モデル（3章参照）を用いて定式化する． J 個の活動種類の内 M_{ihds} 個の活動を，世帯 h に属する個人 i が日付 d に行動空間 s 内において実行するとき， J 個の活動の活動参加の有無，及び，参加する場合の M_{ihds} 個の活動への配分時間 $t_{ihds}^{m_{ihds}}$ の確率は以下のように定義される．

$$P(t_{ihds}) = \frac{(M_{ihds} - 1)!}{\sigma^{M_{ihds} - 1}} \left[\prod_{m_{ihds}=1}^{M_{ihds}} \frac{1}{(t_{ihds}^{m_{ihds}} + 1)} \right] \left[\sum_{m_{ihds}=1}^{M_{ihds}} (t_{ihds}^{m_{ihds}} + 1) \right] \left[\frac{\prod_{m_{ihds}=1}^{M_{ihds}} \exp(V_{ihds}^{m_{ihds}} / \sigma)}{\left(\sum_{j=1}^J \exp(V_{ihds}^j / \sigma) \right)^{M_{ihds}}} \right] \quad (4.7)$$

$$V_{ihds}^j = \beta_0 + \gamma_{ih}^j + \gamma_h^j + \gamma_d^j + \gamma_s^j + \eta_{ihds}^j - \ln(t_{ihds}^{j*} + 1) \quad (4.8)$$

ここで，

- β_0 : 定数項（未知パラメータ）
- γ_{ih}^j : $\gamma_{ih}^j \sim N(0, \sigma_{ih|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測個人間変動に対応）
- γ_h^j : $\gamma_h^j \sim N(0, \sigma_{h|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測世帯間変動に対応）
- γ_d^j : $\gamma_d^j \sim N(0, \sigma_{d|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測経日変動に対応）
- γ_s^j : $\gamma_s^j \sim N(0, \sigma_{s|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測空間変動に対応）
- η_{ihds}^j : $\eta_{ihds}^j \sim N(0, \sigma_{00|j}^2)$ に従うランダム変数（非観測個人内変動に対応）
- ε_{ihds}^j : 分散 $\sigma^2 \pi^2 / 6$ に従うランダム変数 [σ は 0.2 に固定]（非観測個人内変動に対応）

なお，ここでは全ての選択肢間に相関が存在しないと仮定している．また，先述のマルチレベル多項ロジットモデルと同様，ここで構築するマルチレベル MDCEV モデル（Null モデル）の推定には MCMC 法を用いている．ここでは，サンプルの生成回数を 350,000 回，稼働検査期間（棄却したサンプリング回数）を 150,000 回とし，20 回毎にサンプリングを間引くことにより，最終的に 10,000 回のサンプルを事後分布として用いた．また，MDCEV モデルの場合，基準選好関数に対数をとった式(3.29)で定義される式を用いて変動構造を特定する．この際，自宅活動をベースの活動種類として変動構造を特定している．

推定結果を表 4.8 に示す．なお表 4.8 に報告している結果は，はじめに上に定義した全てのランダム変数を含むマルチレベルモデル MDCEV モデルを推定し，有意でない変数（送迎に対する経日変動及び日常買物に対する世帯間変動）を取り除いて再推定したものである．表 4.9 及び図 4.4 に，式(3.29)を用いて特定した，全変動を非観測変動と見なした場合の出発時刻の変動特性を示す．以下，結果から得られた知見をまとめる．

- (i). 個人間変動については，全ての活動種類に対して有意となった．特に，必須活動，送迎，日常買物においては全変動の 25.2%～30.2%と高い割合を占める変動要因であることが分かる．一方で，私用，非日常買物，レジャーでは 7.0%～12.2%となった．これは，必須活動，送迎，

日常買物が、私用、非日常買物、レジャーと比較して、明確な世帯内での役割分担を持つ活動種類であり、誰が該当活動を行うのが明確であるためであると考えられる。

- (ii). 世帯間変動については、日常買物を除く全ての活動種類に対して有意な結果となった。日常買物に対する世帯間変動が有意にならなかったことから、日常買物は、世帯構成員間で代替可能である可能性が高く、世帯レベルで見ると買物活動への時間利用（活動参加及び配分時間）は一定と見なせる可能性が高い。一方、必須活動に対する世帯間変動は 26.3%と全変動に対して高い割合を占めることが確認された。これは、個々人の必須活動の時間利用が、例えば世帯のライフサイクルステージに依存しているためであると考えられる。例えば高齢者夫婦世帯では必須活動に対する時間利用は少ないといったようなことが考えられる。
- (iii). 経日変動については、送迎を除く全ての活動種類に対して有意な結果となった。この結果は、活動発生の結果と同様であり、日単位の集計レベルにおいては、送迎は、曜日や祝日等に依存せずに行われる活動であることが分かる。一方、経日変動は、必須活動で 30.2%と高い値を取っていることが分かる。これは、必須活動では、平日に集中的に時間を配分し、休日には行わないといったような時間利用パターンをとるためである。
- (iv). 空間変動については、全ての活動種類に対して有意な結果となった。ただし、必須活動及び日常買物において空間変動の割合は小さくなっていることが分かる。これは、日常的な行動空間が職場及び自宅の位置により決定され、日常買物はこの空間内で行われているためであると考えられる。反対に、日常的ではない行動空間において活動を遂行する性質の強い活動である送迎や非日常買物、レジャーにおいて空間変動の割合は高くなっている。
- (v). 個人内変動については、全変動に占める割合が、必須活動では 17.0%である一方で、その他の活動では 55.6%~65.6%と高い値を示すことが分かる。これより、必須活動を除く、比較的自由裁量型の活動への時間利用は意思決定時の文脈の違いに大きく依存することが分かった。

表 4.8 時間利用の推定結果 (Null モデル)

| 変数 | | 必須(学校・仕事・業務) | | 私用 | | 送迎 | | 日常買物 | | 非日常買物 | | レジャー | |
|-------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) | mean | (s.d.) |
| 定数項 | β_0 | -7.36 | (0.47) | -10.64 | (0.43) | -15.10 | (0.58) | -9.54 | (0.34) | -14.71 | (0.70) | -5.80 | (0.51) |
| 個人間変動 | $\sigma_{ih j}$ | 3.595 | (0.25) | 2.134 | (0.17) | 3.244 | (0.26) | 2.566 | (0.13) | 2.068 | (0.23) | 2.179 | (0.15) |
| 世帯間変動 | $\sigma_{h j}$ | 3.675 | (0.45) | 1.228 | (0.27) | 2.219 | (0.38) | 0 | - | 1.792 | (0.30) | 1.820 | (0.23) |
| 経日変動 | $\sigma_{d j}$ | 3.938 | (0.28) | 1.637 | (0.16) | 0 | - | 1.787 | (0.15) | 2.210 | (0.26) | 1.599 | (0.13) |
| 空間変動 | $\sigma_{s j}$ | 0.850 | (0.16) | 2.044 | (0.33) | 2.637 | (0.43) | 0.937 | (0.19) | 2.978 | (0.48) | 2.194 | (0.34) |
| 個人内変動 | $\sigma_{0 j}$ | 2.930 | (0.03) | 4.952 | (0.08) | 5.283 | (0.13) | 3.867 | (0.06) | 6.278 | (0.16) | 4.820 | (0.05) |

サンプル数: 12,348, $\log[\pi(x|\text{mean}(\theta))] = -88035$, $\log[\text{mean}(\pi(x|\theta))] = -101399$, $pD = 26728$, $DIC = 229526$

表 4.9 時間利用の変動構造 (Null モデル)

| 変動要因 | | 必須(学校・仕事・業務) | 私用 | 送迎 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー |
|-------|---------------------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 個人間変動 | $\sigma^2_{ih j}$ | 25.2% | 12.1% | 20.9% | 25.6% | 7.0% | 12.2% |
| 世帯間変動 | $\sigma^2_{h j}$ | 26.3% | 4.0% | 9.8% | 0.0% | 5.3% | 8.5% |
| 経日変動 | $\sigma^2_{d j}$ | 30.2% | 7.1% | 0.0% | 12.4% | 8.0% | 6.6% |
| 空間変動 | $\sigma^2_{s j}$ | 1.4% | 11.1% | 13.8% | 3.4% | 14.6% | 12.4% |
| 個人内変動 | $\sigma^2_{0 j} + \sigma^2_{\pi^2/3}$ | 17.0% | 65.6% | 55.6% | 58.6% | 65.1% | 60.2% |
| 全分散 | $\text{Var}(u^1_{iht} - u^1_{ihts})$ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

※ガンベル分布のスケールパラメータ σ は 0.2 に固定

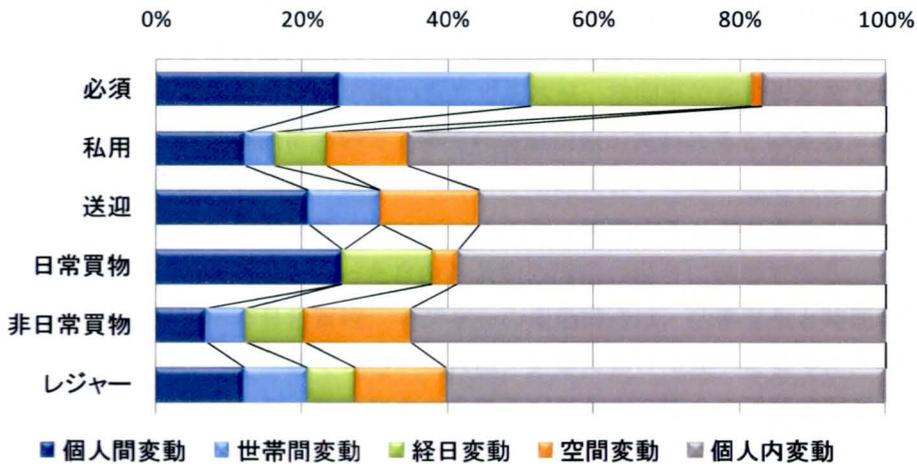


図 4.4 時間利用の変動特性 (Null モデル)

4.3.5 各行動側面の変動特性の比較

4.3.1～4.3.4にかけて、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の各々の行動側面の変動特性について考察してきた。ここでは、各行動側面の変動特性の共通点及び相違点について整理する。以下、比較から得られる主要な知見をまとめる。

- (i). 出発時刻、活動発生、時間利用ともに、必須活動において比較的高い個人間変動が観測された。これより、必須活動に関連する意思決定は、主に個人レベルで行われているものと想定される。一方で、非日常買物やレジャーに対しては、出発時刻、活動発生、時間利用ともに個人間変動は比較的小さいことが明らかとなった。
- (ii). 個人内変動が比較的低い行動側面は、活動発生及び時間利用における必須活動と全ての交通手段に対してのみであった（ここでは30%以下を低いと見なした）。この結果より、必須活動の発生・時間利用及び交通手段選択問題を除く行動側面においては、日々の変動の影響を受けやすく、ある断面(1日)において観測された行動を、その個人の代表的な行動と見なすことは妥当ではないと言える。一方、ある断面(1日)において観測された行動の集計値の代表性については、経日変動の大小により判断できる。経日変動については、活動発生、時間利用については送迎のみ、出発時刻については送迎と必須活動のみ経日変動は存在しないという結果となった。また、交通手段選択については、どの手段に対しても経日変動は比較的低い結果となった。これらの点を踏まえると、個々人のある断面(1日)において観測された行動を代表的な行動と見なせ、かつ、個人を集計した場合に観測される日単位の集計量が代表性を有すると見なせる行動側面は、実証分析で対象とした4つの行動側面のうち交通手段選択のみであった。ただし、交通手段選択においても個人内変動及び経日変動が存在しないわけではない点に注意する必要がある。
- (iii). 本分析で採用した空間単位は極めて粗いものであるが、空間単位を分析単位とする分析においては、どのような行動側面においても多くの変動情報が失われるといえる。また、(ii)にみたように、交通手段選択を除く行動側面を分析する際には、意思決定時の文脈に依存する要因に関する多くの変動情報を失っていることに注意する必要がある。この傾向は、特に非日常買物やレジャー活動といった自由裁量型の活動の場合に顕著である。
- (iv). 私用、送迎、日常買物、非日常買物、レジャーの変動構造は、活動発生と時間利用で非常に類似した構造を持つことが確認できる。これは、3章において述べたように、時間利用を記述する際に利用したモデルが、活動発生の有無及び発生する場合の活動時間長を、時間制約を考慮した上で記述するモデルであるためであり、活動発生問題をより精緻に扱ったものと見なすことができるためと思われる。一方、必須活動においては活動発生と時間利用で大きく変動構造が異なる。この理由として、必須活動は概して活動時間が長く、その結果として、時間利用では活動時間長の影響をより強く受けている可能性が考えられる。

4.4 各種変動要因の観測可能性：出発時刻及び時間利用行動を例に

4.3 においては、全変動を非観測個人間変動、非観測世帯間変動、非観測経日変動、空間変動、個人内変動の5つの変動要因に分解し、複数の構造側面における基礎的な変動構造を特定した。本節では、さらに観測変数を導入することにより、各変動要因の観測可能性（各変動要因のどの程度が観測した変数によって説明できるのか）について検証を加える（すなわち、3章に示した図3.1を具体的に特定する）。観測変数を導入したモデルをFullモデルと呼称する。なお、ここでは、先述した出発時刻及び時間利用を例として各種変動要因の観測可能性について分析する。

以下、4.4.1において出発時刻の変動特性を、4.4.2において時間利用の変動特性を明らかにする。この際、3章に示した変動構造の特定方法2（図3.4）に基づき特定した変動構造の結果について考察する。その後、4.4.3において3章に示した3つの変動構造の特定方法の比較を行う。なお、3章にて述べたように3つの特定方法に優劣を付けることは困難であり、ここではそれぞれの方法の相違点（又は類似点）を確認するために比較分析を行う。

4.4.1 出発時刻

マルチレベル線形モデル（式(4.1)）に観測変数を加えて推定したモデル（Fullモデル）の結果を表4.10に示す。なお、表4.10では、有意でない観測変数を逐次的に削除し、統計的に有意(10%有意)な変数のみ考慮したモデルの推定結果を示している。以下、観測変数の推定結果から得られる主要な知見をまとめる。

- i). 個人属性に関する観測変数については、仕事を除く全ての活動種類において何らかの変数が有意に影響している結果となった。私用、日常買物、非日常買物、レジャーといった自由裁量型の活動を目的とするトリップでは、年齢が高いほどその出発時刻は早まる傾向にある。また、既婚者についても、日常買物や非日常買物の出発時刻は早まる傾向にある。
- ii). 世帯属性に関する観測変数については、送迎、業務、仕事の活動種類において有意な変数は観測されなかった。一方、世帯人数が多いほど、日常買物、非日常買物、レジャーといった自由裁量型の活動の出発時刻は早まる傾向にある。また、それに伴い帰宅時刻も早まる傾向にあることが分かる。世帯収入については、私用、日常買物、非日常買物、帰宅に対して有意に影響する結果となり、その符号は全て正となった。すなわち、世帯収入が多い世帯ほどこれらの活動の開始時刻は遅くなる傾向にあるといえる。
- iii). 空間属性に関する観測変数については、カールスルーエに居住している人々は、必須活動（業務、学校、仕事）を除く全ての活動において出発時刻は遅くなる傾向にあることが分かる。
- iv). 時間属性に関する観測変数については、金曜日において私用、業務、学校、仕事を目的とする移動の開始時刻が早まる一方、レジャーの活動開始時刻が遅くなることが分かる。一方、土曜日においては、特に日常買物や非日常買物への出発時刻が早まる傾向にある。また、日曜日に学校や仕事を目的とする移動が発生する場合、その移動開始時刻は遅くなる傾向にある。

(v). 文脈要因に関する観測変数については、全ての活動種類において何らかの変数が有意に観測された。移動時間が長いほど、送迎、私用、業務、レジャーにおける出発時刻は早まる傾向にある。また、一日当たりのトリップ数が多いほど、全ての活動の開始時刻は遅くなる傾向にある。すなわち、遅い時間帯に新たなトリップを加える傾向にある可能性がある。また、世帯構成員を同伴する送迎の場合、その出発時刻は早まる一方、世帯構成員でない個人を同伴する送迎の場合、その出発時刻は遅くなる傾向にある。交通手段については、学校、仕事目的の移動においては、バス、LRT、鉄道といった公共交通を利用する場合にその出発時刻は早まる傾向にあることが分かる。また、非日常買物を行うために鉄道を利用する場合、その出発時刻はその他の交通手段に比べて大幅に早まる傾向にある。

次に、表 4.2 に示した Null モデルの結果と、表 4.10 の Full モデルの結果を用いて、3 章の図 3.4 に示した変動構造の特定方法 2 により計算した変動構造を表 4.11 及び図 4.5 に示す。結果から得られる知見を以下にまとめる。

- (i). 個人間変動、世帯間変動、空間変動については、それぞれの観測された分散量(%)は、20.3%～83.3%、26.6%～65.3%、29.1%～82.1%と、活動種類によって大きく異なる結果となった。ここで、上に述べたように、仕事の活動開始時刻に有意に影響する個人属性、世帯属性、空間属性は無かったにも関わらず、個人間変動のうちの 23.5%、空間変動のうちの 36.4%が観測されている点に注意する必要がある。この理由として、個人内変動を捉えるであろう文脈要因として考慮した説明変数が個人内変動ではなく個人間変動や空間変動を捉えている可能性が考えられる。例えば、移動時間は移動する文脈によって大きく異なると想定される一方、個人や空間 OD ペアにも依存することは容易に想像できる。このように、ある 1 つの変数が、複数の変動要因を同時に捉えるような性質を持つケースが存在すると考えられる。
- (ii). 経日変動については、74.2%～100%が説明変数によって観測できる結果となった。これより、私用、日常買物、非日常買物、レジャー、帰宅ではある一定の経日変動が観測されるものの、本研究で導入した説明変数を加えた場合、その非観測変動は考慮しなくても概ね問題はないと考えられる。
- (iii). 個人内変動については、観測された分散量(%)は 4.0%～12.5%と、どの活動種類においても導入した説明変数によって十分に捉えきれないことが分かる。これより、出発時刻をより詳細に記述するためには、個人内変動に関する新たな観測変数が必要であるといえる。また、個人内変動を記述する新たな観測変数の導入が困難な場合、観測変数によっても捉えられない個人内変動（すなわち非観測個人内変動）をどのように予測や評価において考慮していくのかが大きな課題であると言える。

以上、本分析から得られた主要な知見をまとめた。特に、どの活動種類においても個人内変動が全変動に対して占める割合が高い点、また、それらの変動を観測変動に落とし込むことが困難である点を踏まえたモデルパフォーマンスの評価が必要であると考えられる。2 章においてレビューしたように、従来の 1 日の交通行動データを用いたモデルパフォーマンスの評価方法は個人

表 4.10 出発時刻の推定結果 (Full モデル)

| 変数 | 活動種類 | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 送迎 | 私用 | 業務 | 学校 | 仕事 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー | 帰宅 |
| 説明変数 | | | | | | | | | |
| 定数項 | 884.0 (25) | 747.6 (32) | 630.5 (14) | 474.6 (19) | 739.8 (25) | 812.5 (27) | 799.1 (28) | 1019 (35) | 859.4 (33) |
| 個人属性 | | | | | | | | | |
| 男性 [D] | - | 13.9 (1.7) | - | -35.4 (-3.6) | - | - | - | 14.3 (1.9) | 16.1 (2.5) |
| 既婚 [D] | - | - | - | -73.5 (-2.8) | - | -27.6 (-2.2) | -26.8 (-2.1) | - | -24.7 (-2.3) |
| 親 [D] | - | - | - | -85.2 (-2.9) | - | 25.4 (1.7) | - | 40.6 (3.2) | - |
| 就業者 [D] | - | -19.5 (-1.9) | -134 (-2.7) | - | - | -97.6 (-2.6) | - | - | - |
| 固定活動(習い事等)の有無 [D] | - | - | - | 20.9 (1.7) | - | - | - | -19.6 (-2.2) | - |
| パートタイム労働者 [D] | 42.9 (2.1) | - | 99.6 (2.2) | - | - | 103.6 (2.8) | - | - | 17.7 (2.3) |
| 常勤労働者 [D] | - | - | 189 (3.2) | -100 (-1.9) | - | 128.2 (3.1) | - | - | - |
| 自営業者ダミー [D] | - | - | - | - | - | 102.7 (1.9) | - | - | - |
| 世帯構成員の介護の有無 [D] | - | - | - | - | - | - | -128 (-2.7) | - | - |
| 年齢 | - | -2.4 (-8.8) | - | 4.3 (5.0) | - | -2.5 (-6.5) | -2.1 (-5.4) | -3.1 (-9.2) | -0.9 (-2.9) |
| 自動車免許保有 [D] | -108 (-4.5) | - | - | 69.6 (4.1) | - | - | - | - | - |
| 世帯属性 | | | | | | | | | |
| 世帯内の子供の数 | - | - | - | - | - | - | - | - | 25.4 (2.0) |
| 世帯人数 | - | - | - | - | - | -15.0 (-2.0) | -17.1 (-2.7) | -26.9 (-4.3) | -22.2 (-2.1) |
| 自家用車の数 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 最寄りのバス停留所までの距離(in 100m) | - | - | - | 2.2 (2.6) | - | - | - | - | - |
| 最寄りのLRT 停留所までの距離(in 100m) | - | - | - | - | - | - | - | -0.4 (-1.8) | -0.3 (-1.7) |
| 最寄りの鉄道駅までの距離(in 100m) | - | - | - | - | - | - | - | 0.03 (1.8) | - |
| 世帯収入 (in 1000DM) | - | 6.5 (2.2) | - | - | - | 6.3 (1.8) | 12.9 (3.6) | - | 5.2 (1.8) |
| 空間属性 | | | | | | | | | |
| 都市部居住 [D] | - | 36.9 (2.7) | - | - | - | - | - | - | - |
| カールスルーエ居住 [D] | 56.1 (2.0) | 24.9 (1.9) | - | - | - | 23.7 (1.7) | 28.5 (1.8) | 62.5 (3.6) | 35.8 (2.5) |
| 時間属性 | | | | | | | | | |
| 木曜日 [D] | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.1 (2.0) |
| 金曜日 [D] | - | -44.5 (-4.9) | -36.5 (-2.8) | -21.2 (-3.8) | -11.7 (-2.2) | -17.2 (-2.9) | - | 34.6 (4.5) | -19.0 (-4.3) |
| 土曜日 [D] | - | -40.0 (-3.3) | - | - | - | -139 (-22) | -103 (-9.4) | -24.7 (-3.3) | -53.4 (-10) |
| 日曜日 [D] | - | 58.3 (3.8) | - | 99.9 (2.3) | 59.3 (3.4) | -78.1 (-4.6) | - | -79.2 (-10) | -21.9 (-3.8) |

表 4.10 (続き) 出発時刻の推定結果 (Full モデル)

| 変数 | 活動種類 | | | | | | | レジャー | 帰宅 |
|------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | 送迎 | 私用 | 業務 | 学校 | 仕事 | 日常買物 | 非日常買物 | | |
| 文脈要因 | | | | | | | | | |
| 移動時間 (min) | -1.1 (-3.2) | -0.4 (-1.7) | -0.4 (-2.7) | - | 0.5 (2.5) | - | - | -0.5 (-8.6) | - |
| トリップ数/日 | 7.1 (2.9) | 2.6 (2.0) | 4.3 (2.0) | 8.1 (6.2) | 3.4 (2.6) | 4.4 (4.0) | 6.2 (4.1) | 10.8 (9.7) | 5.4 (6.7) |
| 1 番目のトリップが通勤通学 [D] | 187.1 (9.8) | 204.3 (22) | 79.6 (5.6) | 229.6 (5.2) | -132 (-18) | 163.8 (22) | 136.7 (13) | 124.7 (17) | 143.4 (28) |
| 同伴者人数 (世帯構成員) | -27.4 (-3.0) | 54.5 (8.5) | - | - | -36.4 (-2.7) | 53.7 (10.5) | 32.4 (5.3) | 15.9 (4.7) | 42.0 (18.7) |
| 同伴者人数 (その他) | 39.6 (5.4) | 9.2 (3.7) | - | 6.6 (7.1) | 11.6 (3.8) | 25.0 (3.8) | - | -2.9 (-3.7) | 3.2 (2.6) |
| 交通手段 = 徒歩 [D] | - | - | 68.9 (1.8) | - | 70 (3.7) | -21.2 (-2.7) | - | - | -24.6 (-4.6) |
| 交通手段 = 自転車 [D] | - | -36.9 (-3.1) | 148.8 (3.7) | - | -74.1 (-4.1) | -25.2 (-2.6) | - | - | -34.9 (-5.5) |
| 交通手段 = 自動二輪車 [D] | - | 100.8 (2.7) | 267.9 (3.3) | - | - | - | - | - | 38.6 (1.9) |
| 交通手段 = 自動車(運転) [D] | - | -35.3 (-4.0) | 68.0 (2.0) | - | -48.9 (-3) | -22.4 (-2.7) | - | -57.8 (-2.2) | - |
| 交通手段 = 自動車(同乗) [D] | - | -30.0 (-2.5) | 98.2 (2.7) | - | - | - | - | -38.8 (-5.7) | - |
| 交通手段 = バス [D] | - | -53.4 (-2.5) | - | -36.1 (-2.6) | -107 (-3.7) | - | - | -30.7 (-4.4) | 48.7 (7.9) |
| 交通手段 = LRT [D] | - | -47.5 (-4.2) | 71.6 (1.8) | -71.5 (-8.3) | -62.3 (-3.3) | - | - | -48.8 (-2.5) | -48.2 (-3.9) |
| 交通手段 = 鉄道 [D] | - | - | - | -150 (-3.2) | -148.4 (-4) | - | -322 (-2.2) | -30.9 (-3.4) | -39.8 (-5.7) |
| Var(β x) | 9735.1 | 10351.3 | 3826.2 | 4484.8 | 5283.1 | 12586.4 | 8084 | 10354.5 | 7802.9 |
| ランダム変数 | | | | | | | | | |
| 個人間変動 | 4542.2 | 2042.1 | 5963.6 | 1678.3 | 13576.8 | 1965.4 | - | 2346.5 | 2316.8 |
| | [17.7] | [25.4] | [78.0] | [78.5] | [1084.1] | [58.7] | | [105.8] | [253.6] |
| 世帯間変動 | 5096.9 | 1687.6 | - | - | - | 2405.5 | 2948.1 | 2812.6 | 1819 |
| | [9.4] | [10.7] | - | - | - | [25.5] | [93.1] | [33.7] | [25.1] |
| 経日変動 | - | 208.3 | - | - | - | 9.1 | 388.4 | 163.7 | 0 |
| | - | [3.1] | - | - | - | [0.02] | [6.8] | [4.4] | [0.0] |
| 空間変動 | 2147.1 | 272 | 3715.3 | 8008.9 | 6864.8 | 473.6 | 674.1 | 1869.3 | 433.1 |
| | [13.5] | [5.6] | [67.3] | [186] | [197.36] | [10.7] | [12.7] | [91.5] | [35] |
| 個人内変動 | 51929.7 | 29031.6 | 29616 | 11674.5 | 19428.5 | 20397.7 | 19010.6 | 36198.1 | 51444 |
| 最終対数尤度 | -12,069 | -26,368 | -9,539 | -15,836 | -30567 | -29,893 | -11,813 | -58,419 | -152,645 |
| χ^2 {-2[L(C)-L(u, β)]} | 424 | 1226 | 349 | 1131 | 2752 | 2439 | 729 | 2729 | 3765 |
| サンプル数 | 1,749 | 3,998 | 1,440 | 2,576 | 4,761 | 4,653 | 1,846 | 8,720 | 22,261 |

※ [D] はダミー変数, "0" は β 値を, "[]" は β を示している。"- " は該当する説明変数の β 値が有意でなかったため(10%水準), モデルから除外したことを示す。

表 4.11 出発時刻の変動特性 (Null モデルと Full モデルの比較)

| | | 学校 | 仕事 | 業務 | 私用 | 送迎 | 日常買物 | 非日常買物 | レジャー | 帰宅 |
|------------------|---|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Null モデル | 個人間変動 $\tilde{\sigma}_{ih}^2$ | 10022 | 17738 | 7486 | 4382 | 8410 | 4372 | - | 3199 | 3748 |
| | 世帯間変動 $\tilde{\sigma}_h^2$ | - | - | - | 3980 | 6941 | 6939 | 7237 | 6650 | 3288 |
| | 経日変動 $\tilde{\sigma}_d^2$ | - | - | - | 808 | - | 4607 | 3576 | 2965 | 659 |
| | 空間変動 $\tilde{\sigma}_i^2$ | 12600 | 9814 | 5473 | 1516 | 3504 | 1053 | 1173 | 2974 | 1352 |
| | 個人内変動 $\tilde{\sigma}_o^2$ | 12160 | 21674 | 31027 | 33193 | 55464 | 22759 | 20657 | 38391 | 54977 |
| | 合計 | 34782 | 49225 | 43986 | 43879 | 74318 | 39730 | 32643 | 54179 | 64024 |
| Full モデル | 個人間変動 $\hat{\sigma}_{ih}^2$ | 1678 | 13567 | 5964 | 2042 | 4542 | 1965 | - | 2347 | 2317 |
| | 世帯間変動 $\hat{\sigma}_h^2$ | - | - | - | 1688 | 5097 | 2406 | 2948 | 2813 | 1819 |
| | 経日変動 $\hat{\sigma}_d^2$ | - | - | - | 208 | - | 9 | 388 | 164 | 0 |
| | 空間変動 $\hat{\sigma}_i^2$ | 8009 | 6960 | 3715 | 272 | 2147 | 474 | 674 | 1869 | 433 |
| | 個人内変動 $\hat{\sigma}_o^2$ | 11675 | 19510 | 29616 | 29032 | 51930 | 20398 | 19011 | 36198 | 51444 |
| | 合計 (Var(β_x)除く) | 21362 | 40037 | 39295 | 33242 | 63716 | 25251 | 23021 | 43390 | 56013 |
| 観測された分散 (%) | 個人間変動 $\frac{\tilde{\sigma}_{ih}^2 - \hat{\sigma}_{ih}^2}{\tilde{\sigma}_{ih}^2}$ (%) | 8344 (83.3%) | 4171 (23.5%) | 1523 (20.3%) | 2339 (53.4%) | 3868 (46.0%) | 2406 (55.0%) | - | 852 (26.6%) | 1431 (38.2%) |
| | 世帯間変動 $\frac{\tilde{\sigma}_h^2 - \hat{\sigma}_h^2}{\tilde{\sigma}_h^2}$ (%) | - | - | - | 2292 (57.6%) | 1844 (26.6%) | 4534 (65.3%) | 4289 (59.3%) | 3838 (57.7%) | 1469 (44.7%) |
| | 経日変動 $\frac{\tilde{\sigma}_d^2 - \hat{\sigma}_d^2}{\tilde{\sigma}_d^2}$ (%) | - | - | - | 599 (74.2%) | - | 4598 (99.8%) | 3187 (89.1%) | 2801 (94.5%) | 659 (100%) |
| | 空間変動 $\frac{\tilde{\sigma}_i^2 - \hat{\sigma}_i^2}{\tilde{\sigma}_i^2}$ (%) | 4591 (36.4%) | 2854 (29.1%) | 1757 (32.1%) | 1244 (82.1%) | 1357 (38.7%) | 579 (55.0%) | 499 (42.5%) | 1105 (37.1%) | 919 (68.0%) |
| | 個人内変動 $\frac{\tilde{\sigma}_o^2 - \hat{\sigma}_o^2}{\tilde{\sigma}_o^2}$ (%) | 485 (4.0%) | 2164 (10.0%) | 1411 (4.5%) | 4162 (12.5%) | 3534 (6.4%) | 2362 (10.4%) | 1646 (8.0%) | 2193 (5.7%) | 3533 (6.4%) |
| | 合計 (%) | 13420 (38.6%) | 9188 (18.7%) | 4691 (10.7%) | 10637 (24.2%) | 10602 (14.3%) | 14478 (36.4%) | 9621 (29.5%) | 10789 (19.9%) | 8011 (12.5%) |
| Var(β_x) | 4485 | 5283 | 3826 | 10351 | 9735 | 12586 | 8084 | 10355 | 7803 | |

内変動の存在を考慮しないものであった。もちろん1日の行動データであっても文脈要因の影響を考慮することはできるものの、本分析結果はたとえ文脈要因をモデルに組み込んだとしても個人内変動を捉えることは極めて困難であることを示しており、今後、これらの変動をどのように扱っていくのかに関する議論を行う必要性が示唆された。また、個人内変動の情報把握するためには、少なくとも複数日にわたる行動調査が必要であり、個人内変動を捉えるためのモデリング手法の議論だけではなく、調査手法の議論も併せて行っていく必要があるものと考えられる。



図 4.5 出発時刻の変動特性（非観測及び観測変動への分解）

4.4.2 時間利用

マルチレベル MDCEV モデル (式(4.7)) に観測変数を加えて推定したモデル (Full モデル) の結果を表 4.12 に示す。ここで、行動の過去従属性 ($t-1, t-2, t-3, t-7$) の影響を説明変数として考慮するため、モデルの推定には第一週目の行動データを除いた残りの 5 週間分の行動データのみ用いる。言い換えると、はじめの 1 週間のデータは、過去の行動結果を説明変数として導入するためだけに用いる。なお、行動の過去従属性は、例えば Kitamura (1988) や Kasturirangan et al. (2002) によって指摘されているように、行動を規定する重要な要素の 1 つであり、行動のリズムを捉えるために導入した。これにより、例えば、3 日おきに買物を行うといった行動や、毎週木曜日に子供を送迎するといった行動を記述することができる。

なお、マルチレベル MDCEV モデルの推定に利用する MCMC 法の推定コストが高いため (1 回の推定に約 10 日間必要であった)、ここでは 4.4.1 において採用した、有意でない観測変数を逐次的に削除する方法を採用せず、基礎集計及びランダム変数を考慮しないモデル (最尤推定法により推定) の結果から、表 4.12 に示す観測変数の採用を決定した。以下、観測変数にかかるパラメータの推定結果から得られる主要な知見をまとめる。

- (i). 個人属性に関する観測変数については、男性は、必須活動への時間利用 (活動参加及び配分時間) が大きい一方、日常買物、非日常買物は女性に比べてあまり行わない傾向にある。また、学生は、日常買物に対する時間利用は小さい一方、レジャー活動への時間利用は大きいことが分かる。免許保有者は送迎及び日常買物への時間利用が大きく、公共交通定期券保有者は必須活動及び非日常買物への時間利用が小さい。また、習い事などの固定活動 (fixed commitments) の数が多い個人ほどレジャー活動を行う傾向にあることが分かる。年齢については、高齢者ほど必須活動及びレジャーへの時間利用が小さくなる一方、私用、日常買物、非日常買物への時間利用は大きくなる傾向にある。
- (ii). 世帯属性に関する観測変数については、世帯自動車保有台数が多いほど、送迎、日常買物、非日常買物への時間利用は小さくなる傾向にある。これより、世帯の自動車の保有台数が増加するにつれて、送迎を行う必要は減少することが予想される。一方、世帯人数が多いほど、送迎への時間利用は大きくなる傾向にあり、このことから、世帯人数の増加に伴い世帯内送迎の必要性が増加する可能性が高い。また、最寄りの鉄道駅までの距離が遠いほど、送迎の時間利用は増加する一方で、レジャーに対する時間利用は減少することが分かる。
- (iii). 時間属性に関する観測変数については、日曜日においては、送迎、レジャーへの時間利用が増加する一方、私用、必須、日常買物、非日常買物への時間利用は減少する。一方、土曜日は、日曜日と同様に私用、必須への時間利用は減少するものの、日常買物、非日常買物への時間利用は増加することが分かる。平日においては、特に金曜日の時間利用が他の曜日とは異なる。具体的には、私用への時間利用が減少する一方で、日常買物およびレジャーへの時間利用が増加する傾向にある。
- (iv). 空間属性に関する観測変数については、CBD に住む個人 (世帯) は、私用への時間配分が増加する傾向にある一方で、必須、非日常買物への時間利用は減少する傾向にある。また、カー

ルスルーエに居住する個人(世帯)は、レジャーへの時間利用がハレに住む個人に比べて大きい傾向にある。

- v). 文脈要因に関する観測変数については、当該日に自動車を利用した個人は、全ての活動に対する時間利用が有意(1%)に増加することが確認できる。公共交通の利用についても概ね類似した傾向が見られるものの、公共交通の利用がレジャー活動を促すわけではないことが結果より確認できる。また、行動の過去従属性を表す変数 (t-1, t-2, t-3, t-7 日に当該活動を遂行したかどうかを表すダミー変数) の結果より、日常買物を除いて、当該日の行動結果は 1 日前の行動結果に強く影響を受けていることが分かる。一方、2 日前、3 日前となるにつれてその影響は小さくなることが確認できる。特に 3 日前については有意な過去従属性の影響は観測されなかった。一方で、1 週間前の行動結果には強く影響を受けることが確認できる。日常買物を含め、全ての活動種類において正の強い影響が観測されていることから、1 週間を周期とする行動リズムが存在することが示唆された。

次に、Null モデルの結果と、表 4.12 の Full モデルの結果を用いて、3 章の図 3.4 に示した変動構造の特定方法 2 により計算した変動構造を表 4.13 及び図 4.6 に示す。なお Null モデルの推定結果については、表 4.8 に 6 週間分のデータを用いた推定結果を示しているが、ここでは Full モデルとデータ構造を合わせるために 5 週間分のデータを用いて再推定したものを示す。結果から得られる知見を以下にまとめる。

- (i). 個人間変動、世帯間変動、空間変動については、出発時刻のケースと同様に活動種類によって観測される変動割合は大きく異なる結果となった。具体的には、観測された分散量(%)は、個人間変動において 37.5%~79.2%、世帯間変動において 19.0%~99.7%、空間変動において 10.8%~55.3%となった。中でも必須活動においては、個人間変動の 79.2%、世帯間変動の 99.7%、空間変動の 55.3%と、他の活動種類と比較して、導入した変数により行動のばらつきを捉えることができると考えられる。
- (ii). 経日変動についても出発時刻のケースと同様に、大部分の変動が観測変動として捉えることができる結果となった。具体的には、86.7%~99.7%が観測変動として捉えることが可能であった。これより、送迎を除く全ての活動種類においてある一定の経日変動が観測されるものの、本研究で導入した説明変数を加えた場合、その非観測変動は考慮しなくても概ね問題はないと考えられる。
- (iii). 個人内変動については、観測された分散量(%)は-2.5%~12.0%と、どの活動種類においても導入した説明変数によって十分に捉えきれないことが分かる (ここで負の百分率が観測されているのは、変動構造の特定の仕方によるものである。ここでは負の百分率を 0%として見なしで考察を進める。変動構造の特定の仕方に関する詳細は 4.4.3 を参照)。この点についても出発時刻のケースと同様の結果となった。これより、出発時刻のみならず時間利用行動をより詳細に記述するためには、新たな観測変数が必要であると考えられる。特に、行動の過去従属性を考慮してもなお非観測個人内変動が全変動の大部分を占めることから、個人内変動の発生原として行動リズム以外の要因を考慮する必要があるものと思われる (ただし、個々人

表 4.12 時間利用の推定結果 (Full モデル)

| 変数 | 送迎 | | 私用 | | 必須(学校・ 仕事・業務) | | 日常買物 | | 非日常買物 | | レジャー | |
|---------------------------|--------|----------|---------|----------|------------------|--------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|
| | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. |
| 定数項 | -19.50 | (1.11) | -13.73 | (0.70) | -5.922 | (0.72) | -9.503 | (0.69) | -15.43 | (1.08) | -8.003 | (0.83) |
| 説明変数 | | | | | | | | | | | | |
| 個人属性 | | | | | | | | | | | | |
| 年齢 | | | 0.045 | (0.01) | -0.042 | (0.01) | 0.019 | (0.01) | 0.039 | (0.01) | -0.039 | (0.01) |
| 男性 [D] | -0.766 | (0.42) | | | 0.586 | (0.24) | -1.032 | (0.27) | -1.664 | (0.31) | -0.060 | (0.21) |
| 既婚 [D] | | | | | | (0.33) | 0.199 | (0.33) | | | | |
| 固定活動(fixed commitments)数 | | | | | | | | | | | 0.332 | (0.14) |
| 常勤労働者 [D] | | | | | 2.554 | (0.33) | -0.739 | (0.34) | | | | |
| パートタイム労働者 [D] | -1.263 | (0.77) | 0.608 | (0.40) | 2.136 | (0.44) | | | | | | |
| 学生 [D] | | | | | 1.165 | (0.48) | -1.160 | (0.54) | | | 0.938 | (0.42) |
| 退職者 [D] | -0.943 | (0.71) | 1.116 | (0.44) | -3.889 | (0.55) | 0.228 | (0.51) | | | 0.565 | (0.47) |
| 免許保有 [D] | 1.496 | (0.52) | | | -0.428 | (0.34) | 1.039 | (0.38) | -0.453 | (0.44) | | |
| 公共交通定期保有 [D] | | | | | -0.603 | (0.26) | | | -0.911 | (0.42) | | |
| 世帯属性 | | | | | | | | | | | | |
| 世帯自動車保有台数 | -1.838 | (0.43) | | | | | -1.146 | (0.23) | -0.861 | (0.40) | | |
| 世帯人数 | 1.082 | (0.23) | | | -0.320 | (0.11) | | | | | -0.286 | (0.15) |
| 世帯収入(in 1000DM) | | | | | 0.082 | (0.06) | | | 0.177 | (0.12) | | |
| 最寄りのバス停留所までの距離 (in 100m) | | | | | | | | | -0.035 | (0.02) | | |
| 最寄りのLRT停留所までの距離 (in 100m) | | | -3.E-04 | (4.E-04) | | | -9.E-04 | (4.E-04) | 9.E-05 | (6.E-04) | 8.E-05 | (5.E-04) |
| 最寄りの鉄道駅までの距離 (in 100m) | 0.017 | (8.E-03) | | | | | 0.010 | (5.E-03) | -0.011 | (8.E-03) | -0.018 | (7.E-03) |
| 時間属性 | | | | | | | | | | | | |
| 火曜日 [D] | | | | | -0.137 | (0.33) | | | | | | |
| 水曜日 [D] | | | -0.371 | (0.30) | -0.493 | (0.32) | | | | | | |
| 木曜日 [D] | | | | | | | | | | | 0.324 | (0.23) |
| 金曜日 [D] | | | -0.779 | (0.30) | | | 0.629 | (0.15) | | | 0.739 | (0.23) |
| 土曜日 [D] | | | -2.567 | (0.33) | -6.523 | (0.35) | 0.796 | (0.15) | 1.784 | (0.34) | 2.490 | (0.22) |
| 日曜日 [D] | 0.585 | (0.29) | -3.616 | (0.36) | -6.406 | (0.38) | -4.783 | (0.27) | -5.248 | (0.57) | 3.434 | (0.23) |

表 4.12 (続き) 時間利用の推定結果 (Full モデル)

| 変数 | 送迎 | | 私用 | | 必須(学校・ 仕事・業務) | | 日常買物 | | 非日常買物 | | レジャー | |
|----------------------|--------|--------|-------|--------|------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. |
| 空間属性 | | | | | | | | | | | | |
| CBD 居住 [D] | -1.630 | (1.10) | 1.254 | (0.68) | -1.218 | (0.51) | -2.589 | (1.02) | | | | |
| Karlsruhe 居住 [D] | | | 0.738 | (0.76) | | | | | 1.868 | (0.69) | | |
| 文脈要因 | | | | | | | | | | | | |
| 当該日に自動車を利用したか [D] | 4.255 | (0.32) | 1.799 | (0.19) | 0.333 | (0.10) | 2.280 | (0.31) | 1.776 | (0.15) | | |
| 当該日に公共交通を利用したか [D] | | | 0.464 | (0.22) | 1.141 | (0.12) | | | 1.060 | (0.35) | 0.296 | (0.18) |
| t-1 日に当該活動を遂行したか [D] | 1.266 | (0.28) | 0.760 | (0.17) | 2.746 | (0.12) | 0.856 | (0.34) | 1.582 | (0.12) | | |
| t-2 日に当該活動を遂行したか [D] | 0.188 | (0.29) | 0.293 | (0.18) | 0.432 | (0.12) | 0.614 | (0.33) | 0.372 | (0.13) | | |
| t-3 日に当該活動を遂行したか [D] | -0.384 | (0.30) | 0.323 | (0.18) | 0.177 | (0.11) | -0.037 | (0.33) | 0.015 | (0.13) | | |
| t-7 日に当該活動を遂行したか [D] | 2.004 | (0.28) | 1.051 | (0.17) | 1.842 | (0.11) | 1.381 | (0.31) | 1.208 | (0.13) | | |
| ランダム変数 | | | | | | | | | | | | |
| 個人間変動 (s.d.) | 2.541 | (0.27) | 1.334 | (0.17) | 1.675 | (0.11) | 1.883 | (0.12) | 1.325 | (0.31) | 1.283 | (0.13) |
| 世帯間変動 (s.d.) | 1.167 | (0.54) | 1.152 | (0.21) | 0.198 | (0.16) | - | | 1.627 | (0.30) | 1.505 | (0.17) |
| 経日変動 (s.d.) | - | | 0.604 | (0.14) | 0.914 | (0.09) | 0.090 | (0.06) | 0.394 | (0.24) | 0.394 | (0.10) |
| 空間変動 (s.d.) | 1.951 | (0.34) | 1.774 | (0.30) | 0.528 | (0.11) | 0.988 | (0.20) | 2.461 | (0.43) | 1.524 | (0.25) |
| 個人内変動 (s.d.) | 5.060 | (0.14) | 4.836 | (0.09) | 2.734 | (0.03) | 3.856 | (0.06) | 6.296 | (0.17) | 4.746 | (0.06) |

サンプル数: 10,290, $\log[\pi(x|\text{mean}(\theta))] = -73245$, $\log[\text{mean}(\pi(x|\theta))] = -84364$, $pD = 22238$, $DIC = 190965$

※ [D] はダミー変数

表 4.13 時間利用の変動特性 (Null モデルと Full モデルの比較)

| | | 必須 | 送迎 | 私用 | 日常 買物 | 非日常 買物 | レジャー |
|---|---|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| Null モデル | 個人間変動 $\hat{\sigma}_h^2$ | 13.46 | 10.32 | 4.70 | 6.57 | 3.88 | 4.79 |
| | 世帯間変動 $\hat{\sigma}_h^2$ | 13.85 | 5.56 | 1.64 | - | 3.96 | 3.46 |
| | 経日変動 $\hat{\sigma}_d^2$ | 15.37 | - | 2.74 | 3.19 | 3.80 | 2.49 |
| | 空間変動 $\hat{\sigma}_s^2$ | 0.62 | 6.74 | 4.14 | 1.09 | 7.39 | 4.65 |
| | 個人内変動 $\hat{\sigma}_0^2$ | 8.64 | 27.03 | 23.57 | 15.16 | 38.81 | 23.33 |
| | $+\sigma^2\pi^2/3$ | | | | | | |
| 合計 | | 51.94 | 49.65 | 36.79 | 26.02 | 57.84 | 38.72 |
| Full モデル | 個人間変動 $\hat{\sigma}_h^2$ | 2.81 | 6.46 | 1.78 | 3.55 | 1.76 | 1.65 |
| | 世帯間変動 $\hat{\sigma}_h^2$ | 0.04 | 1.36 | 1.33 | (0.0) | 2.65 | 2.27 |
| | 経日変動 $\hat{\sigma}_d^2$ | 0.83 | (0.0) | 0.36 | 0.01 | 0.15 | 0.16 |
| | 空間変動 $\hat{\sigma}_s^2$ | 0.28 | 3.81 | 3.15 | 0.98 | 6.06 | 2.32 |
| | 個人内変動 $\hat{\sigma}_0^2$ | 7.61 | 25.74 | 23.52 | 15.00 | 39.77 | 22.66 |
| | $+\sigma^2\pi^2/3$ | | | | | | |
| 合計 (Var(βx)除く) | | 11.56 | 37.36 | 30.14 | 19.53 | 50.39 | 29.05 |
| Var(βx) | | 29.00191 | 8.197477 | 5.185741 | 6.474475 | 8.585831 | 7.002115 |
| 観測された分散量 (%) | 個人間変動 $\hat{\sigma}_h^2 - \hat{\sigma}_h^2$ | 10.66 | 3.87 | 2.93 | 3.03 | 2.13 | 3.15 |
| | (%) | (79.2%) | (37.5%) | (62.2%) | (46.1%) | (54.8%) | (65.6%) |
| | 世帯間変動 $\hat{\sigma}_h^2 - \hat{\sigma}_h^2$ | 13.81 | 4.19 | 0.31 | - | 1.31 | 1.20 |
| | (%) | (99.7%) | (75.5%) | (19.0%) | - | (33.2%) | (34.6%) |
| | 経日変動 $\hat{\sigma}_d^2 - \hat{\sigma}_d^2$ | 14.53 | - | 2.38 | 3.18 | 3.65 | 2.34 |
| | (%) | (94.6%) | - | (86.7%) | (99.7%) | (95.9%) | (93.8%) |
| | 空間変動 $\hat{\sigma}_s^2 - \hat{\sigma}_s^2$ | 0.35 | 2.94 | 0.99 | 0.12 | 1.34 | 2.33 |
| (%) | (55.3%) | (43.6%) | (24.0%) | (10.8%) | (18.1%) | (50.0%) | |
| 個人内変動 $\hat{\sigma}_0^2 - \hat{\sigma}_0^2$ | 1.03 | 1.29 | 0.05 | 0.16 | -0.96 | 0.67 | |
| (%) | (12.0%) | (4.8%) | (0.2%) | (1.1%) | (-2.5%) | (2.9%) | |
| 合計 | | 40.37 | 12.29 | 6.66 | 6.49 | 7.46 | 9.68 |
| (%) | | (77.7%) | (24.8%) | (18.1%) | (24.9%) | (12.9%) | (25.0%) |

※ $\sigma=0.2$ に固定

によって異なる行動のリズムはここでは考慮していない点に注意する必要がある (例えば過去従属性の変数に個人レベルのランダム係数を考慮する方法が考えられる)。

以上、本分析から得られた主要な知見をまとめた。以下、出発時刻及び時間利用を対象に行った両者の分析結果から得られる知見をまとめる。

- A) 両者 (出発時刻及び時間利用) の重要な共通の結果として、行動の過去従属性を含め、通常使用される観測変数では非観測個人内変動を捉えることは非常に困難である点が挙げられる。この結果から示唆される点として、1) 1日の行動データを用いたモデル同定では全変動の大

きな割合を占める個人内変動の情報が失われている点に注意した上で分析を進める必要がある、2) 非観測個人内変動をモデル上において考慮するにおいては、本研究で導入した種類の文脈要因によっては十分に捉えられない可能性が高い、3) 2)のような状況下において他の文脈要因を考慮できない場合、1)と同様の点に注意して結果を考察する必要がある、が挙げられる。

B) また、個人内変動だけでなく、個人間変動、世帯間変動、空間変動においてもある一定の非観測変動が残っている点に注意する必要がある。これら残りの非観測変動の理解を進めるとともに、非観測変動を観測変動に落とし込めない場合、どのように非観測変動の情報を施策の評価等に利用するのかについて議論を加えていく必要がある。



図 4.6 時間利用の変動特性（非観測及び観測変動への分解）

4.4.3 3種類の変動構造の特定方法の比較

ここでは、3章(図3.3-3.5)において示した3種類の変動構造の特定方法の比較分析を行う。比較の目的は、3つの特定方法に優劣を付けるためではなく(3章に述べたように、優劣を付けることは困難である)、それぞれの方法の相違点(又は類似点)を確認し、整理する点にある。以下、4.4.1において行った出発時刻の変動構造、4.4.2において行った時間利用の変動構造を対象として、3種類の変動構造の特定方法を比較を行う。まず、3種類の変動構造の特定方法を簡単に述べ、その後実証的に比較分析を行う。

変動構造の特定方法1(図3.3)は、事前に各説明変数が捉える変動種類を特定しておくものである。具体的には、表4.10及び表4.12に示したFullモデルの推定結果を用いて、非観測個人間変動(σ_{ih}^2)、非観測世帯間変動(σ_h^2)、非観測経日変動(σ_d^2)、非観測空間変動(σ_s^2)、非観測個人内変動(σ_0^2 (時間利用の場合は $\sigma_0^2+0.2^2\pi^2/3$))の5つの非観測変動及び、観測個人間変動($\text{Var}(\beta x[\text{個人属性}])$)、観測世帯間変動($\text{Var}(\beta x[\text{世帯属性}])$)、観測経日変動($\text{Var}(\beta x[\text{時間属性}])$)、観測空間変動($\text{Var}(\beta x[\text{空間属性}])$)、観測個人内変動($\text{Var}(\beta x[\text{文脈要因}])$)の5つの観測変動を計算する方法である。

変動構造の特定方法2(図3.4)は、NullモデルとFullモデルの推定の両方を用いて、非観測個人間変動(σ_{ih}^2)、非観測世帯間変動(σ_h^2)、非観測経日変動(σ_d^2)、非観測空間変動(σ_s^2)、非観測個人内変動(σ_0^2 (時間利用の場合は $\sigma_0^2+0.2^2\pi^2/3$))の5つの非観測変動及び、観測個人間変動($\sigma_{ih}^2 - \hat{\sigma}_{ih}^2$)、観測世帯間変動($\sigma_h^2 - \hat{\sigma}_h^2$)、観測経日変動($\sigma_d^2 - \hat{\sigma}_d^2$)、観測空間変動($\sigma_s^2 - \hat{\sigma}_s^2$)、観測個人内変動($\sigma_0^2 - \hat{\sigma}_0^2$)の5つの観測変動を計算する方法であり、4.4.1及び4.4.2ではこの方法に従って特定した変動構造を示した。

変動構造の特定方法3(図3.5)は、特定方法2に類似した方法により変動構造を特定する。具体的には、Nullモデルの推定値 $\hat{\sigma}_i^2(i = ih, h, d, s, 0)$ については、 $\hat{\sigma}_{ih}^2 + \hat{\sigma}_h^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_0^2$ で除すことによって基準化を行い(時間利用の場合は $\hat{\sigma}_{ih}^2 + \hat{\sigma}_h^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_0^2 + 0.2^2\pi^2/3$)、Fullモデルの推定値 $\hat{\sigma}_i^2(i = ih, h, d, s, 0)$ については、 $\text{Var}(\beta x_{ihds}) + \hat{\sigma}_{ih}^2 + \hat{\sigma}_h^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_0^2$ で除すことによって基準化を(時間利用の場合は $\text{Var}(\beta x_{ihds}) + \hat{\sigma}_{ih}^2 + \hat{\sigma}_h^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_0^2 + 0.2^2\pi^2/3$)行う方法である。この基準化によって、例えばロジットモデル等、評価関数の絶対値が意味を持たない場合においても変動構造を特定できる。

以上の3つの特定方法を用いて変動構造を特定した結果を、図4.7に示す。以下、比較結果から得られた各特定方法の特徴についてまとめる。

- (i). 特定方法1は、他の特定方法に比べて観測個人内変動を大きく推定する傾向にあることが分かる。これは、特定方法1においては、 $\text{Var}(\beta x[\text{文脈要因}])$ として事前に設定した説明変数を用いて観測個人内変動を特定する一方で、他の2つの特定方法では実際に減少した非観測個人内変動によって観測個人内変動を特定しているためである。上述したように、個人内変動を説明するであろう文脈要因として考慮した説明変数が、実際には個人内変動ではなく個人間変動や空間変動を捉えている可能性がある(例えば、移動時間は移動する文脈によって大

大きく異なると想定される一方、個人（すなわち個人間変動）や空間 OD ペア（すなわち空間変動）にも依存する）。この点を考慮すると、特定方法 1 において捉えている観測個人内変動は、個人内変動というよりは、モデルに導入した観測変数そのものによって観測された変動成分として捉える方が望ましいと考えられる。言い換えると、特定方法 2 及び 3 では、文脈要因が純粋に個人内変動を捉えているわけではない点を考慮している一方で、特定方法 1 ではその点を考慮していない点に注意する必要がある。

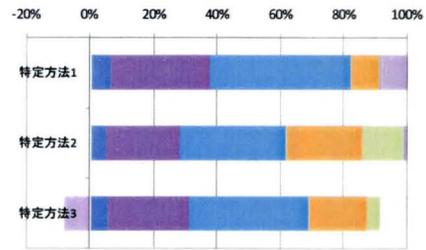
- (ii). 非観測変動と観測変動に大別して結果を眺めると、特定方法 1 は、特定方法 2 及び 3 と比較して非観測変動を大きく特定する傾向にあることが分かる。この原因の 1 つとして、特定方法 1 では、全ての説明変数間の相関が無いと仮定した上で個人属性、世帯属性、時間属性、空間属性、文脈要因のそれぞれに対して分散値を計算しているためであると考えられる。言い換えると、仮に説明変数間の相関が存在する場合、全ての説明変数を合わせて分散値を計算する $\text{Var}(\beta x_{\text{ubds}})$ と、個別に計算して足し合わせる $\text{Var}(\beta x[\text{個人属性}]) + \text{Var}(\beta x[\text{世帯属性}]) + \text{Var}(\beta x[\text{時間属性}]) + \text{Var}(\beta x[\text{空間属性}]) + \text{Var}(\beta x[\text{文脈要因}])$ は一致しない可能性が高い。ただし、多くの場合、結果の推論に影響を与えるような差異はなく、非観測変動と観測変動の比率に関しては概ね同様の結論を得ることができると考えられる。
- (iii). 変動構造の特定方法 2 及び 3 を用いた場合、図 4.7 にもあるように、分散の比率が負になる可能性がある（特定方法 1 の場合はその定義から負になる可能性はない）。この理由の 1 つとして、導入した説明変数が線形的に影響を与えると仮定しているため、その近似による誤差が反映されている可能性がある。ただし、分散の比率が負に観測された場合においても、その値の多くはわずか数%程度であり、この場合、該当する変動はないものと見なしてもよいものと思われる（ただし、出発時刻（学校）では特定方法 3 において -10.2% が観測されている。この原因は、表 4.11 に示したように、Null モデルと Full モデルの非観測変動の差分が 13420 である一方で、 $\text{Var}(\beta x_{\text{ubds}})$ が 4485 と大きく異なる値となったためである）。また、今回の実証分析の結果では、特定方法 2 の方が負の分散比率が計算される可能性は低い結果となった。

以上の点を踏まえると、各変動構造の特定方法の特徴に見合った適用場面は、以下のように整理できる。

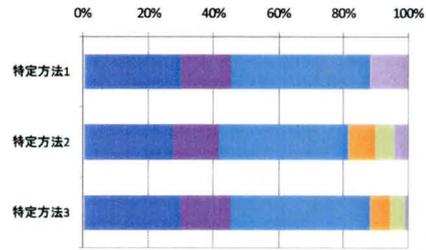
- A) 変動構造の特定方法 1 は、「説明変数（または説明変数セット）」そのものが、全変動に対してどの程度影響を及ぼしているのかを把握する際に適していると考えられる。一方で、各「変動要因」のどの程度が観測変動に落とし込めるかについては、上の(i)の点を踏まえると、行わない方が望ましい。このことから、特定方法 1 を用いる場合、図 3.1 に示した形で変動特性を示すというよりは、各種非観測変動と、ある特定の説明変数セットによって捉えられる観測変動という形で解釈の方が望ましいものと思われる。
- B) 変動構造の特定方法 2 及び 3 は、各「変動要因」のどの程度が観測変動に落とし込めるのかを評価するのに適した方法であると考えられる。すなわち、観測できなかった各変動（非観測変動）の比率を定量的に把握する場面に適した方法であると考えられる。これより、図 3.1 の特定においては特定方法 2 又は 3 の方法が望ましいと考えられる。両者は概ね同様の変動

特性を示すが、特定方法 3 が比較的負の値を示しやすいことから、利用可能な場合は、特定方法 2 を利用する方が望ましいものと考えられる（ただし、マルチレベル多項ロジットモデルの場合、特定方法 3 のみ利用可能）。一方で、どの説明変数がどの変動を捉えているのかに関する明確な示唆を得られない点が特定方法 2 及び 3 のデメリットであると考えられる。この場合、次節において行うように、逐次的に説明変数を導入することにより、各説明変数がどの変動を捉えているのかに関する知見を得ることが可能である（ただし、説明変数を加える度にモデルを推定する必要がある）。

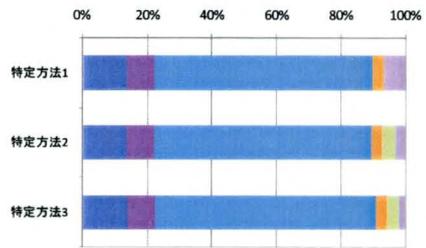
| 出発時刻(学校) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 6.4% | 4.8% | 6.5% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 30.7% | 23.0% | 31.0% |
| | 個人内変動 | 44.8% | 33.6% | 45.2% |
| 観測 | 個人間変動 | 9.0% | 24.0% | 22.3% |
| | 世帯間変動 | 0.7% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.4% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 0.0% | 13.2% | 5.2% |
| | 個人内変動 | 8.0% | 1.4% | -10.2% |



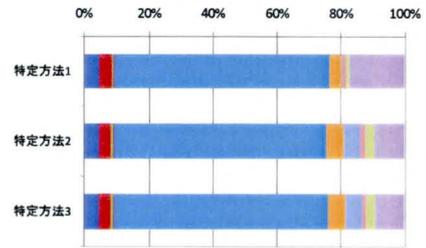
| 出発時刻(仕事) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 29.9% | 27.6% | 29.9% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 15.4% | 14.1% | 15.4% |
| | 個人内変動 | 43.1% | 39.6% | 43.0% |
| 観測 | 個人間変動 | 0.0% | 8.5% | 6.1% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.2% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 0.0% | 5.8% | 4.6% |
| | 個人内変動 | 11.5% | 4.4% | 1.0% |



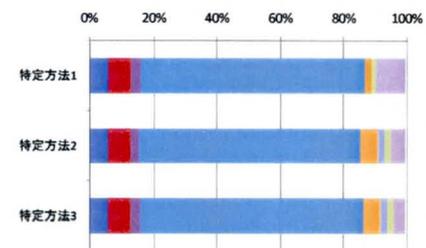
| 出発時刻(業務) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 13.6% | 13.6% | 13.8% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 8.5% | 8.4% | 8.6% |
| | 個人内変動 | 67.8% | 67.3% | 68.7% |
| 観測 | 個人間変動 | 3.3% | 3.5% | 3.2% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.4% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 0.0% | 4.0% | 3.8% |
| | 個人内変動 | 6.4% | 3.2% | 1.9% |



| 出発時刻(私用) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 4.7% | 4.7% | 4.7% |
| | 世帯間変動 | 3.9% | 3.8% | 3.9% |
| | 経日変動 | 0.5% | 0.5% | 0.5% |
| | 空間変動 | 0.6% | 0.6% | 0.6% |
| | 個人内変動 | 66.8% | 66.2% | 66.6% |
| 観測 | 個人間変動 | 3.9% | 5.3% | 5.3% |
| | 世帯間変動 | 0.4% | 5.2% | 5.2% |
| | 経日変動 | 1.3% | 1.4% | 1.4% |
| | 空間変動 | 0.9% | 2.8% | 2.8% |
| | 個人内変動 | 17.1% | 9.5% | 9.1% |



| 出発時刻(送迎) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 6.2% | 6.1% | 6.2% |
| | 世帯間変動 | 7.0% | 6.9% | 6.9% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 2.9% | 2.9% | 2.9% |
| | 個人内変動 | 70.9% | 69.9% | 70.7% |
| 観測 | 個人間変動 | 2.3% | 5.2% | 5.1% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 2.5% | 2.4% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 1.0% | 1.8% | 1.8% |
| | 個人内変動 | 9.6% | 4.8% | 3.9% |



■ 非観測 個人間変動 ■ 非観測 世帯間変動 ■ 非観測 経日変動 ■ 非観測 空間変動 ■ 非観測 個人内変動
 ■ 観測 個人間変動 ■ 観測 世帯間変動 ■ 観測 経日変動 ■ 観測 空間変動 ■ 観測 個人内変動

図 4.7 3 種類の変動構造特定方法の比較結果

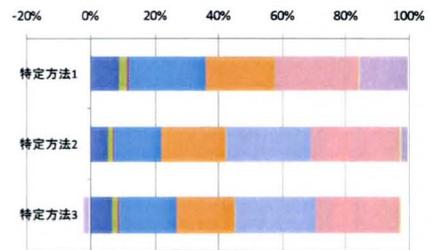
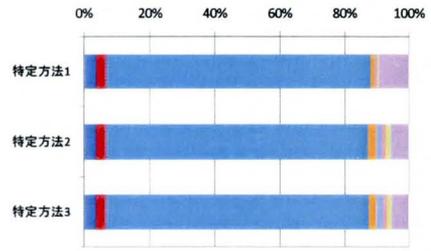
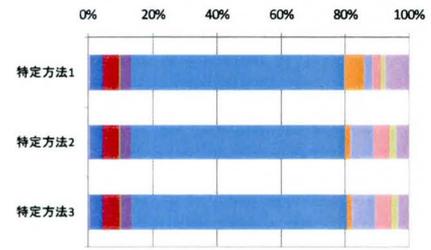
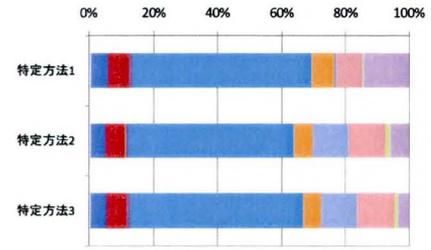
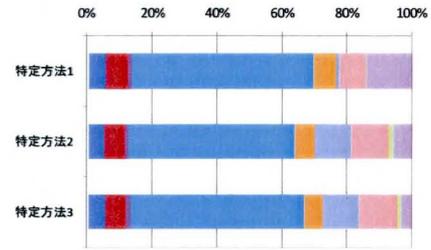
| 出発時刻(日常買物) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|------------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 5.4% | 4.9% | 5.2% |
| | 世帯間変動 | 6.6% | 6.1% | 6.4% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 1.3% | 1.2% | 1.3% |
| | 個人内変動 | 55.9% | 51.3% | 53.9% |
| 観測 | 個人間変動 | 7.3% | 6.1% | 5.8% |
| | 世帯間変動 | 0.7% | 11.4% | 11.1% |
| | 経日変動 | 8.0% | 11.6% | 11.6% |
| | 空間変動 | 0.4% | 1.5% | 1.4% |
| | 個人内変動 | 14.3% | 5.9% | 3.4% |

| 出発時刻(非日常買物) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|-------------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 5.4% | 4.9% | 5.2% |
| | 世帯間変動 | 6.6% | 6.1% | 6.4% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 1.3% | 1.2% | 1.3% |
| | 個人内変動 | 55.9% | 51.3% | 53.9% |
| 観測 | 個人間変動 | 7.3% | 6.1% | 5.8% |
| | 世帯間変動 | 0.7% | 11.4% | 11.1% |
| | 経日変動 | 8.0% | 11.6% | 11.6% |
| | 空間変動 | 0.4% | 1.5% | 1.4% |
| | 個人内変動 | 14.3% | 5.9% | 3.4% |

| 出発時刻(レジャー) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|------------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 4.3% | 4.3% | 4.4% |
| | 世帯間変動 | 5.2% | 5.2% | 5.2% |
| | 経日変動 | 0.3% | 0.3% | 0.3% |
| | 空間変動 | 3.4% | 3.5% | 3.5% |
| | 個人内変動 | 66.5% | 66.8% | 67.4% |
| 観測 | 個人間変動 | 6.3% | 1.6% | 1.5% |
| | 世帯間変動 | 2.6% | 7.1% | 7.0% |
| | 経日変動 | 2.4% | 5.2% | 5.2% |
| | 空間変動 | 1.6% | 2.0% | 2.0% |
| | 個人内変動 | 7.4% | 4.0% | 3.5% |

| 出発時刻(帰宅) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 3.7% | 3.6% | 3.6% |
| | 世帯間変動 | 2.9% | 2.8% | 2.9% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 0.7% | 0.7% | 0.7% |
| | 個人内変動 | 81.1% | 80.4% | 80.6% |
| 観測 | 個人間変動 | 1.1% | 2.2% | 2.2% |
| | 世帯間変動 | 0.4% | 2.3% | 2.3% |
| | 経日変動 | 0.6% | 1.0% | 1.0% |
| | 空間変動 | 0.5% | 1.4% | 1.4% |
| | 個人内変動 | 9.1% | 5.5% | 5.3% |

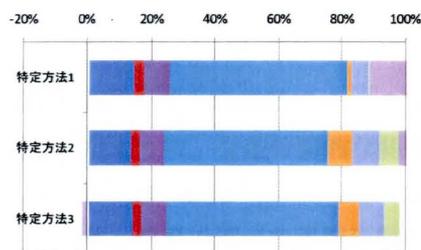
| 時間利用(必須) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 8.8% | 5.4% | 6.9% |
| | 世帯間変動 | 0.1% | 0.1% | 0.1% |
| | 経日変動 | 2.6% | 1.6% | 2.1% |
| | 空間変動 | 0.9% | 0.5% | 0.7% |
| | 個人内変動 | 24.0% | 14.6% | 18.8% |
| 観測 | 個人間変動 | 21.7% | 20.5% | 19.0% |
| | 世帯間変動 | 0.4% | 26.6% | 26.6% |
| | 経日変動 | 25.9% | 28.0% | 27.5% |
| | 空間変動 | 0.3% | 0.7% | 0.5% |
| | 個人内変動 | 15.3% | 2.0% | -2.1% |



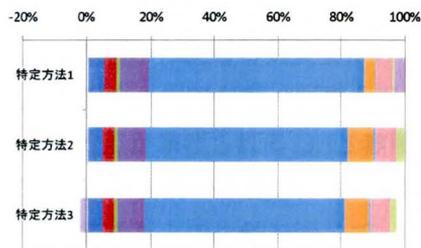
■ 非観測 個人間変動 ■ 非観測 世帯間変動 ■ 非観測 経日変動 ■ 非観測 空間変動 ■ 非観測 個人内変動
 ■ 観測 個人間変動 ■ 観測 世帯間変動 ■ 観測 経日変動 ■ 観測 空間変動 ■ 観測 個人内変動

図 4.7 (続き) 3 種類の変動構造特定方法の比較結果

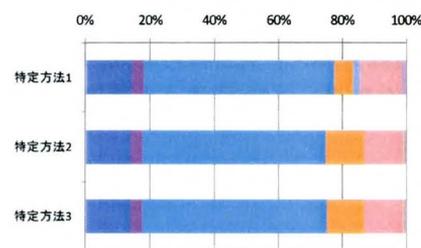
| 時間利用(送迎) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 14.1% | 13.0% | 14.2% |
| | 世帯間変動 | 3.0% | 2.7% | 3.0% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 8.3% | 7.7% | 8.4% |
| | 個人内変動 | 56.1% | 51.8% | 56.5% |
| 観測 | 個人間変動 | 1.3% | 7.8% | 6.6% |
| | 世帯間変動 | 5.1% | 8.4% | 8.2% |
| | 経日変動 | 0.1% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 0.3% | 5.9% | 5.2% |
| | 個人内変動 | 11.7% | 2.6% | -2.1% |



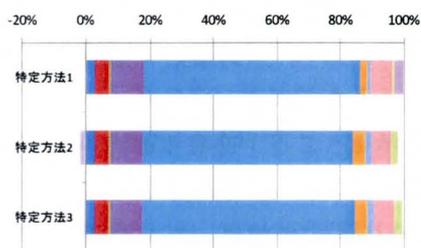
| 時間利用(私用) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 5.1% | 4.8% | 5.0% |
| | 世帯間変動 | 3.8% | 3.6% | 3.8% |
| | 経日変動 | 1.1% | 1.0% | 1.0% |
| | 空間変動 | 9.1% | 8.6% | 8.9% |
| | 個人内変動 | 67.9% | 63.9% | 66.6% |
| 観測 | 個人間変動 | 3.6% | 7.9% | 7.7% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.8% | 0.7% |
| | 経日変動 | 5.3% | 6.5% | 6.4% |
| | 空間変動 | 0.6% | 2.7% | 2.3% |
| | 個人内変動 | 3.5% | 0.1% | -2.5% |



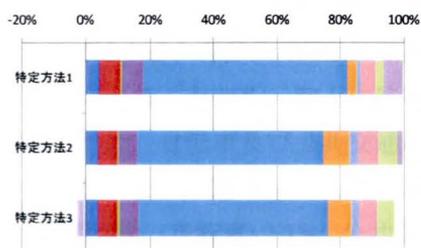
| 時間利用(日常買物) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|------------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 14.0% | 13.6% | 13.6% |
| | 世帯間変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | 空間変動 | 3.9% | 3.8% | 3.8% |
| | 個人内変動 | 59.4% | 57.7% | 57.7% |
| 観測 | 個人間変動 | 6.1% | 11.6% | 11.6% |
| | 世帯間変動 | 2.2% | 0.0% | 0.0% |
| | 経日変動 | 12.6% | 12.2% | 12.2% |
| | 空間変動 | 0.0% | 0.5% | 0.5% |
| | 個人内変動 | 1.7% | 0.6% | 0.6% |



| 時間利用(非日常買物) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|-------------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 3.0% | 3.0% | 3.0% |
| | 世帯間変動 | 4.5% | 4.6% | 4.5% |
| | 経日変動 | 0.3% | 0.3% | 0.3% |
| | 空間変動 | 10.4% | 10.5% | 10.3% |
| | 個人内変動 | 68.2% | 68.8% | 67.4% |
| 観測 | 個人間変動 | 2.2% | 3.7% | 3.7% |
| | 世帯間変動 | 1.0% | 2.3% | 2.4% |
| | 経日変動 | 7.1% | 6.3% | 6.3% |
| | 空間変動 | 0.6% | 2.3% | 2.5% |
| | 個人内変動 | 2.7% | -1.7% | -0.4% |



| 時間利用(レジャー) | | 特定方法 1 | 特定方法 2 | 特定方法 3 |
|------------|-------|--------|--------|--------|
| 非観測 | 個人間変動 | 4.7% | 4.3% | 4.6% |
| | 世帯間変動 | 6.4% | 5.8% | 6.3% |
| | 経日変動 | 0.4% | 0.4% | 0.4% |
| | 空間変動 | 6.6% | 6.0% | 6.4% |
| | 個人内変動 | 64.4% | 58.5% | 62.9% |
| 観測 | 個人間変動 | 3.0% | 8.1% | 7.8% |
| | 世帯間変動 | 1.1% | 3.1% | 2.7% |
| | 経日変動 | 4.7% | 6.0% | 6.0% |
| | 空間変動 | 2.5% | 6.0% | 5.6% |
| | 個人内変動 | 6.2% | 1.7% | -2.6% |



■ 非観測 個人間変動 ■ 非観測 世帯間変動 ■ 非観測 経日変動 ■ 非観測 空間変動 ■ 非観測 個人内変動
■ 観測 個人間変動 ■ 観測 世帯間変動 ■ 観測 経日変動 ■ 観測 空間変動 ■ 観測 個人内変動

図 4.7 (続き) 3 種類の変動構造特定方法の比較結果

4.5 共変動の特定：交通手段選択を例に

これまで本章では、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動の5つの変動要因に分解することを試みてきた。一方で、3.1.5において議論したように、交差分類的な関係にある変動要因間においては共変動が生じるケースが存在する。本節では、4.3.3において行った交通手段選択を例として共変動の影響を特定することを試みる。また、前節で述べた説明変数の逐次導入を行うことにより、各説明変数セットが捉える変動の種類について議論を加える。なお本節では、議論を単純化するために、考慮する変動の種類を限定する。具体的には、個人間変動、空間変動、個人内変動、共変動（個人間変動及び空間変動の交互作用から生じる共変動）の4つの変動要因を考慮した分析を行う。この場合、共変動は、個人に固有の空間変動の影響を捉える項となり、その発生源として、例えば個人ごとに空間の認知が異なる点が挙げられる(3.1.5参照)。

4.5.1では、全ての変動要因を非観測要因として扱うことにより、共変動の全変動に占める割合について確認する。また、共変動を導入しない場合のモデルの推定結果との比較を通じて、共変動が個人間変動、空間変動、個人内変動のいずれの変動要因により構成されているのかについて検討を加える。

4.5.2では、説明変数セット[移動時間]、[モビリティツール]、[社会経済属性]、[文脈要因]を逐次的に導入することにより、各説明変数セットが捉える変動の種類を明らかにする（説明変数の定義は表4.15を参照）。

4.5.1 共変動の導入有／無の比較（Nullモデル）

表4.14にNullモデル（説明変数を導入しないモデル）の推定結果を示す。なお、交通手段の選択肢間の相関については、4.3.3の場合と同様に、推定の安定性の問題から個人レベルにおいてのみ考慮している。共変動を考慮した場合と考慮しない場合のDIC（3章参照）を比較すると、共変動を考慮する方がモデルの精度は高いことが確認でき、共変動の影響が存在することが示された。4.4.3と同様に選択肢の1つである自動車(同乗)によって効用の差分を計算し、その変動特性を計算したものを図4.8に示す。図より、共変動の構成比率は、自転車9.2%、自動車(運転)1.9%、公共交通12.7%であることが分かる。これより、共変動は、特に（自動車(同乗)に対する）自転車及び公共交通の効用関数のばらつきに大きく寄与していることが分かる。一方自動車(運転)では、共変動及び空間変動は極めて小さな値を取っており（両者合わせて2.3%）、自動車(運転)の効用関数は、空間的な要素にほとんど影響を受けないことが示唆された。このことから、個人に特有の空間の影響（共変動）及び全個人に共通の空間の影響（空間変動）は、自転車及び公共交通の効用関数を特定する際において特に考慮する必要があると考えられる。また、図4.8から自転車及び公共交通の共変動は、共変動を考慮しない場合と比べると、空間変動（自転車:2.1%；公共交通:0.1%）、個人間変動（自転車:5.1%；公共交通:5.3%）、個人内変動（自転車:2.0%；公共交通:7.3%）を説明する形で表現されていることが分かる。この結果から、自転車の共変動は特に個人間変動を、公共交通の共変動は特に個人内変動を捉える項であることが分かる。

その他の変動要因に着目すると、自動車(運転)における個人間変動は全変動の88.5%を占める主

表 4.14 共変動の導入有／無の推定結果 (Null モデル)

| 変数 | 共変動無 | | 共変動有 | |
|-------------------------------------|----------|-------|---------|-------|
| | mean | s.d. | mean | s.d. |
| 定数項 | | | | |
| 自転車 | -2.524 | 0.370 | -3.071 | 0.377 |
| 自動車(運転) | -0.867 | 0.380 | -0.969 | 0.373 |
| 公共交通 | 0.020 | 0.253 | -0.265 | 0.300 |
| 空間変動 | | | | |
| 自転車 | 1.158 | 0.489 | 0.855 | 0.418 |
| 自動車(運転) | 0.221 | 0.081 | 0.133 | 0.073 |
| 公共交通 | 1.091 | 0.305 | 1.481 | 0.441 |
| 個人間変動 | | | | |
| 自転車 | 14.90 | 2.278 | 15.72 | 2.472 |
| 自動車(運転) | 29.26 | 4.220 | 31.58 | 4.611 |
| 公共交通 | 7.669 | 0.966 | 9.598 | 1.305 |
| 共分散 | | | | |
| : 自転車と自動車(運転) | 3.916 | 1.926 | 3.413 | 2.116 |
| : 自転車と公共交通 | 1.444 | 0.928 | 1.509 | 1.138 |
| : 自動車(運転)と公共交通 | -0.967 | 1.292 | -1.979 | 1.536 |
| 共変動 (空間変動×個人間変動) | | | | |
| 自転車 | - | - | 2.007 | 0.302 |
| 自動車(運転) | - | - | 0.665 | 0.139 |
| 公共交通 | - | - | 2.087 | 0.261 |
| LL(C) | -24294.5 | | | |
| log[mean($\pi(x \theta)$)] | -9523.0 | | -8478.1 | |
| log[$\pi(x \text{mean}(\theta))$] | -9185.4 | | -7837.7 | |
| pD | 675.1 | | 1280.8 | |
| DIC | 19720.9 | | 18237.0 | |
| サンプル数 | 18,326 | | | |

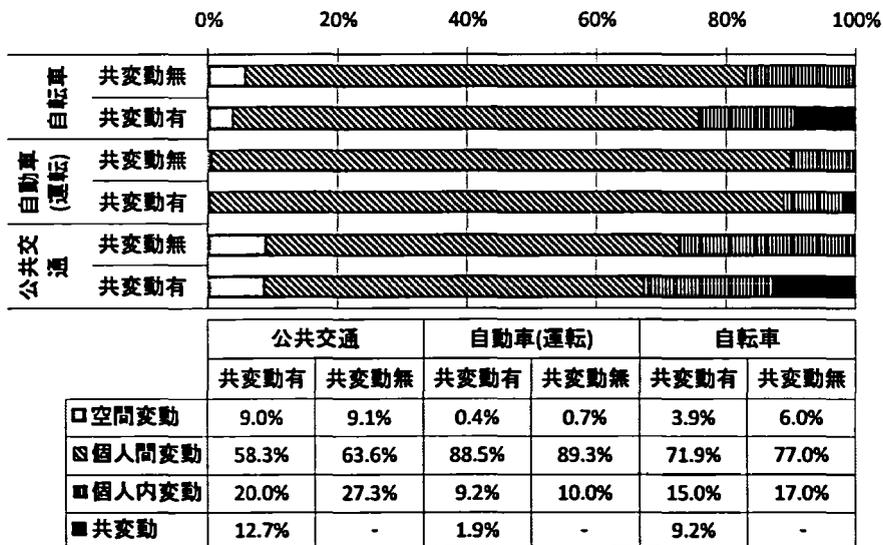


図 4.8 共変動の導入有／無の変動特性の比較 (Null モデル)

要な変動要因であることが分かる。また、公共交通、自転車においても、それぞれ 58.3%、71.9% が個人内変動であり、これより、4.3.3 において示した世帯間変動のほとんどが個人内変動に帰着していることが分かる。一方で、個人内変動は、全変動うち 9.2%~20.0%を占めるに過ぎないことが確認できる。4.3 においてみたように、他の交通手段が個人内変動に大きく影響を受ける点を考慮すると、交通手段選択に関する意思決定は日々の変動が小さな行動側面であると言える。この結果より、交通手段選択の分析においては、個人特有の影響要因（例えば自動車や定期券の保有状況といったモビリティツールの有無、個人属性等）を特に考慮する必要があることが想定される。

4.5.2 Full モデル：説明変数セットの逐次導入

ここでは、4つの説明変数セット[移動時間]、[モビリティツール]、[社会経済属性]、[文脈要因]を逐次的に導入することにより、各説明変数セットが捉える変動について考察していく。表 4.15 に各説明変数セットに含まれる変数の種類及びその定義を示す。[移動時間]は、各交通手段のネットワークレベルの移動時間のみで構成される説明変数セットであり、公共交通については待ち時間を含む。本来、移動費用等を含む交通サービス水準を表す説明変数セットとして定義することが望ましいと考えられるが、データの制約上、移動時間のみで構成される説明変数セットとした。[モビリティツール]については、交通手段(同伴)に対しては免許保有、世帯内の自動車メインユーザー数及びその交互作用項を、自転車に対しては世帯自転車保有台数/世帯人数を、自動車(運転)に対しては自動車メインユーザーダミーを（これは、世帯が保有する自動車に対して、当該自動車のメインユーザーは誰か、という項目から得られた変数である）、公共交通に対しては公共共通定期券の数を設定した。[社会経済属性]については、既婚状況や世帯収入、性別、年齢、ワークスタイルを用いて定義した。[文脈要因]については、移動目的、曜日、出発時刻、同伴者人数によって定義した。

以上定義した各説明変数セットを逐次的に導入して変動構造を特定した結果を、図 4.9-4.11 に示す。以下、各説明変数セットを導入することにより観測された変動に対する考察をまとめる。

- (i). まず、[移動時間]を導入した結果を見てみると、[移動時間]は全変動の 0.0%~1.8%を説明するに過ぎない要因であることが確認できる（ただし、自動車(運転)の観測変動が 0.0%であるのは、自動車(同伴)と移動時間が等しいためであり、効用の差分を取った際に移動時間の変動成分が 0 になることに由来している）。これより、従来から着目されてきた影響要因である移動時間のみでは、交通手段選択の意思決定をうまく表現できないことが明らかとなった。今後、他の交通サービス水準の変数に対しても同様の分析を行い、頻繁に採用されている交通サービス水準のみを変数として持つ交通手段選択モデルの妥当性を検証していく必要があると考えられる。
- (ii). 次に、[モビリティツール]を加えた場合の結果についてみると、自転車では 18.7%、自動車(運転)では 45.5%、公共交通では 15.2%と、[移動時間]と比べて[モビリティツール]が交通手段選択に及ぼす影響は大きいことが明らかとなった。特に、自動車(運転)は、モビリティツールに

表 4.15 説明変数の定義 (逐次導入)

| 説明変数 | 定義 | Mean | s.d. |
|-------------------|---|--------|--------|
| [移動時間] | | | |
| Travel time | 移動時間: 自動車(運転)及び自動車(同乗) (min) | 10.267 | 5.976 |
| | 移動時間: 自転車 (min) | 20.587 | 14.030 |
| | 移動時間: 公共交通 (min) [待ち時間含む] | 24.076 | 16.462 |
| [モビリティツール] | | | |
| License | 免許保有 (1=yes; 0=no) | 0.701 | 0.458 |
| HHcaruse | 世帯内の自動車メインユザ一人数 | 0.611 | 0.634 |
| Lic_Hhcar | License と HHcaruse の交互作用項 | 0.261 | 0.534 |
| Mob_Bike | 世帯自転車保有台数/世帯人数 | 0.873 | 0.452 |
| Mob_Car | 自動車メインユザ一 (1=yes; 0=no) | 0.433 | 0.496 |
| Mob_PT | 公共交通定期券の数 | 0.356 | 0.497 |
| [社会経済属性] | | | |
| Marr_chi | 世帯に子供がゐる既婚者 | 0.327 | 0.469 |
| Income | 世帯収入 (in 1000DM) | 4.635 | 1.992 |
| Male | 男性 (1=yes; 0=no) | 0.470 | 0.499 |
| Age24 | -24 歳 (1=yes; 0=no) | 0.274 | 0.446 |
| Age25-34 | 25-34 歳 (1=yes; 0=no) | 0.099 | 0.299 |
| Age45-54 | 45-54 歳 (1=yes; 0=no) | 0.173 | 0.378 |
| Age55-64 | 55-64 歳 (1=yes; 0=no) | 0.139 | 0.346 |
| Age65- | 65- 歳 (1=yes; 0=no) | 0.074 | 0.261 |
| Fullwork | 常勤労働者 (1=yes; 0=no) | 0.339 | 0.473 |
| Student | 学生 (1=yes; 0=no) | 0.041 | 0.198 |
| Retired | 退職者 (1=yes; 0=no) | 0.129 | 0.335 |
| [文献要因] | | | |
| TP_Pick | 移動目的 = 送迎 (1=yes; 0=no) | 0.044 | 0.206 |
| TP_WoRe | 移動目的 = 業務 (1=yes; 0=no) | 0.030 | 0.171 |
| TP_School | 移動目的 = 学校(1=yes; 0=no) | 0.064 | 0.245 |
| TP_Work | 移動目的 = 仕事 (1=yes; 0=no) | 0.114 | 0.317 |
| TP_Dshop | 移動目的 = 日常買物 (1=yes; 0=no) | 0.081 | 0.273 |
| TP_Nshop | 移動目的 = 非日常買物 (1=yes; 0=no) | 0.043 | 0.203 |
| TP_Leis | 移動目的 = レジャー (1=yes; 0=no) | 0.148 | 0.355 |
| DW_Fri | 曜日 = 金曜日 (1=yes; 0=no) | 0.165 | 0.371 |
| DW_Sat | 曜日 = 土曜日 (1=yes; 0=no) | 0.115 | 0.319 |
| DW_Sun | 曜日 = 日曜日 (1=yes; 0=no) | 0.072 | 0.258 |
| DT_Morn | 出発時刻 = a.m.6:00-a.m.8:59 (1=yes; 0=no) | 0.175 | 0.380 |
| DT_Even | 出発時刻 = p.m.6:00-p.m.8:59 (1=yes; 0=no) | 0.118 | 0.323 |
| DT_Leven | 出発時刻 = p.m.9:00-p.m.11:59 (1=yes; 0=no) | 0.042 | 0.200 |
| Party_HH | 同伴者人数 (世帯構成員) | 0.307 | 0.605 |
| Party_OT | 同伴者人数 (その他) | 0.233 | 1.478 |

表 4.16 共変動の影響を考慮した交通手段選択モデルの推定結果 (Full モデル)

| 変数 | 自動車(同乗) | | 自転車 | | 自動車(運転) | | 公共交通 | |
|-------------------------------------|----------|-------|--------|-------|---------|----------------|--------|-------|
| | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. | mean | s.d. |
| 定数項 | | | -9.153 | 1.447 | -3.597 | 0.848 | -2.080 | 1.089 |
| [移動時間] | | | | | | | | |
| Travel time | -0.033 | 0.004 | -0.033 | 0.004 | -0.033 | 0.004 | -0.033 | 0.004 |
| [モビリティツール] | | | | | | | | |
| License | -2.614 | 0.672 | | | | | | |
| HHcaruse | 0.975 | 0.312 | | | | | | |
| Lic_Hhcar | 0.051 | 0.586 | | | | | | |
| Mob_Bike | | | 3.872 | 0.660 | | | | |
| Mob_Car | | | | | 3.520 | 0.448 | | |
| Mob_PT | | | | | | | 3.096 | 0.507 |
| [社会経済属性] | | | | | | | | |
| Marr_chi | | | 0.384 | 0.861 | 1.469 | 0.515 | -0.192 | 0.683 |
| Income | | | 0.697 | 0.160 | 0.158 | 0.111 | 0.224 | 0.133 |
| Male | | | 1.320 | 0.699 | 2.401 | 0.441 | 0.011 | 0.520 |
| Age24 | | | 2.111 | 1.116 | -3.127 | 0.852 | 2.526 | 0.977 |
| Age25-34 | | | 0.913 | 1.277 | 1.021 | 0.685 | 0.230 | 1.039 |
| Age45-54 | | | -0.622 | 1.017 | -0.110 | 0.564 | 1.085 | 0.861 |
| Age55-64 | | | -1.006 | 1.193 | -0.144 | 0.624 | 1.258 | 0.954 |
| Age65- | | | 2.856 | 1.842 | 0.543 | 1.031 | 4.713 | 1.376 |
| Fullwork | | | -1.374 | 0.842 | 0.347 | 0.477 | -0.514 | 0.671 |
| Student | | | -0.577 | 1.642 | -0.031 | 1.004 | -2.647 | 1.245 |
| Retired | | | -2.002 | 1.634 | 0.029 | 0.794 | -1.524 | 1.137 |
| [文脈要因] | | | | | | | | |
| TP_Pick | | | | | 1.947 | 0.179 | | |
| TP_WoRe | | | | | 0.606 | 0.253 | | |
| TP_School | | | -0.554 | 0.207 | | | 0.204 | 0.232 |
| TP_Work | | | | | -0.152 | 0.129 | | |
| TP_Dshop | | | -0.156 | 0.138 | | | -1.053 | 0.183 |
| TP_Nshop | 0.057 | 0.082 | | | | | | |
| TP_Leis | 0.163 | 0.050 | | | | | -0.156 | 0.127 |
| DW_Fri | 0.075 | 0.056 | -0.009 | 0.111 | | | -0.012 | 0.117 |
| DW_Sat | 0.265 | 0.060 | -0.607 | 0.139 | | | -0.609 | 0.149 |
| DW_Sun | 0.145 | 0.073 | -0.293 | 0.185 | | | -0.833 | 0.185 |
| DT_Morn | -0.172 | 0.074 | | | | | 0.498 | 0.139 |
| DT_Even | 0.304 | 0.054 | | | | | -0.698 | 0.141 |
| DT_Leven | 0.565 | 0.079 | | | | | -0.793 | 0.217 |
| Party_HH | | | -3.481 | 0.120 | -2.003 | 0.088 | -2.234 | 0.099 |
| Party_OT | | | -0.922 | 0.079 | -0.733 | 0.080 | | |
| ランダム変数 | | | | | | | | |
| 空間変動 | | | 0.687 | 0.342 | 0.066 | 0.063 | 1.906 | 0.584 |
| 個人間変動 | | | 18.040 | 2.900 | 5.920 | 1.071 | 13.200 | 1.962 |
| 共変動 | | | 1.548 | 0.332 | 0.858 | 0.158 | 2.505 | 0.332 |
| 個人内変動(固定) | | | 3.290 | - | 3.290 | - | 3.290 | - |
| 個人間変動の共分散 | | | | | | | | |
| : 自転車と自動車(運転) | | | | | 1.347 | (s.d. = 1.218) | | |
| : 自転車と公共交通 | | | | | 4.183 | (s.d. = 1.596) | | |
| : 自動車(運転)と公共交通 | | | | | -0.743 | (s.d. = 0.987) | | |
| LL(C) | -24294.5 | | | | | | | |
| log[$\pi(x \text{mean}(\theta))$] | -6881.8 | | | | | | | |
| log[$\text{mean}(\pi(x \theta))$] | -6271.0 | | | | | | | |
| pD | 1221.7 | | | | | | | |
| DIC | 14985.3 | | | | | | | |
| サンプル数 | 18,326 | | | | | | | |

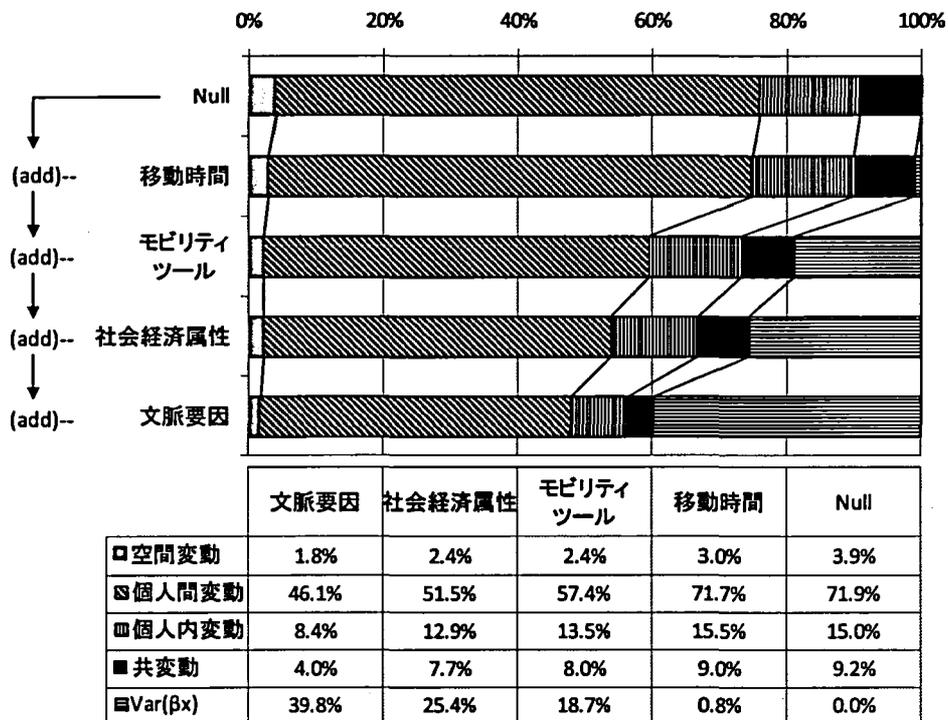


図 4.9 共変動を考慮した変動特性 (Full モデル : 自転車)

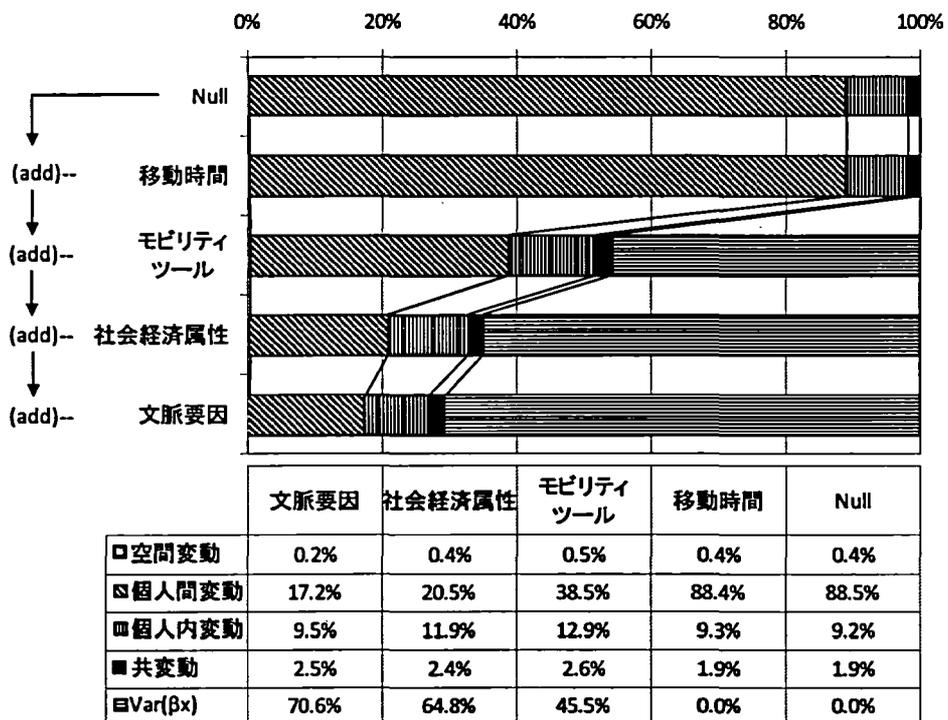


図 4.10 共変動を考慮した変動特性 (Full モデル : 自動車(運転))

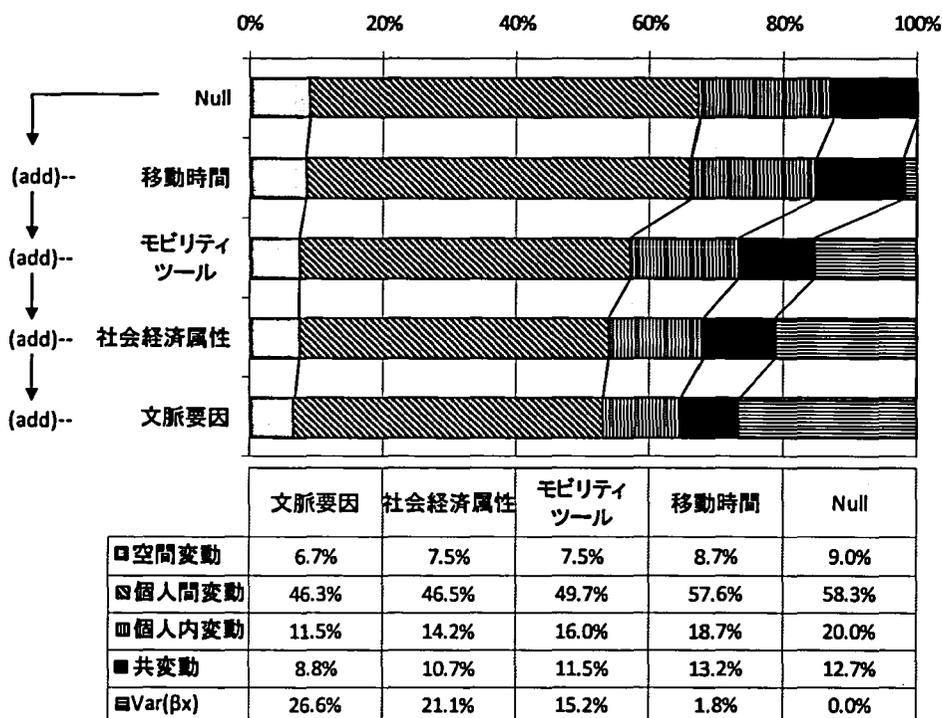


図 4.11 共変動を考慮した変動特性 (Full モデル：公共交通)

よって 50%弱の変動が観測されることが明らかとなった。この結果及び(i)の結果を踏まえると、移動時間の改善に関する施策によって交通手段選択の変更を促す施策よりは、モビリティツールに関連する施策の方が交通手段選択の変更を促すことができる可能性が高いと考えられる。この意味においては、例えば交通手段選択と自動車や定期券の保有行動を同時にモデル化するような方法によって、交通手段選択の変更を促す総合的な交通施策の提案を行うことができる可能性がある。また、[モビリティツール]の導入によって生じた各非観測変動要因の変化を見てみると、期待通り、主に非観測個人間変動が減少していることが確認できる。これに伴い、自転車及び公共交通では他の非観測変動要因も減少する一方で、自動車では増加する傾向にある。この原因として、1) [モビリティツール]の保有が空間的にばらついていて、空間変動を捉える変数となる可能性がある、2) 空間の定義が粗い場合、[モビリティツール]が共変動や個人内変動を捉える要因となり得る、3) 3章において述べたように、完全な分散・共分散を持つマルチレベル多項ロジットモデルの推定は困難であるため、その結果としてこのような個人間変動以外の非観測変動要因の値が変化し、等が想定される。これらの点については、今後詳細に議論を加えていく必要がある。

- (iii). 次に、[社会経済属性]を追加した場合について見てみると、[モビリティツール]と比べて観測変動の割合は、自転車では 18.7%から 25.7%へ (6.7%)、自動車(運転)では 45.5%から 64.8%へ (19.3%)、公共交通では 15.2%から 21.1%へ (5.9%) と増加していることが確認できる。これより、特に自動車(運転)の効用関数を特定する際においては、社会経済属性を考慮する必要性が高いと考えられる。また、期待通り、[社会経済属性]の導入によって主に非観測個人間変

動が捉えられていることが確認できる。

- (iv) 最後に、[文脈要因]を追加した場合においては、観測変動の割合は、自転車では 25.4%から 39.8%へ(14.4%)、自動車(運転)では 64.8%から 70.6%へ(5.8%)、公共交通では 21.6%から 26.6%へ(5.4%)と増加していることが確認できる。特に、自転車の効用関数において文脈要因の影響を考慮する必要があることが示唆された。[文脈要因]の導入によって主に説明される変動は、個人内変動と共変動であるが、個人間変動の幾ばくかが[文脈要因]によって説明されていることが確認できる。この理由として、出発時刻や曜日、移動目的、同伴者数に対するトリップ発生の分布が個人間で異なる可能性が考えられる。

以上の結果より、自動車(運転)に対する変動については、導入した説明変数により捉えることのできた観測変動が 70%を超えており、他の交通手段に比べてその割合が高いことが確認された。また、説明変数セットの中でも[モビリティツール]が最も影響の大きい要因であることが示唆された。自転車、公共交通においても[モビリティツール]は主要な要因であるものの、全ての説明変数セットを加えた後においても、非観測変動はそれぞれ 60.2%、73.4%となっており、依然として高い割合を示す結果となった。残った非観測変動の多くが個人間変動であることから、[モビリティツール]や[社会経済属性]では説明されない要因、例えば、個々人の持つ習慣や選好により公共交通や自転車の利用に関する意思決定が行われている可能性がある。習慣や選好といった要因の観測は非常に困難ではあるが、これまで自動車を対象に行われてきた“どのように自動車利用に対する習慣を解凍するか”(Gärling and Axhausen, 2003; 藤井ら, 2004)と対を成す、“どのように自転車や公共交通に対する習慣を形成するか”が、自動車から公共交通への転換を目指す施策を議論する上で極めて重要なものと考えられる。また、習慣の形成においては、個々人の空間への認知の違いを捉える共変動も関連してくるものと思われるが、これらの点の検証については今後の課題としたい。

4.6 本章のまとめと今後の課題

本章では、6 週間のという長期の連続時間パネルデータを用いて、活動・交通行動に内在する変動を記述することを試みた。具体的には、1) 出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の各々の行動側面における変動を、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動に分解し、2) それらの変動の観測可能性の検証、3) 共変動の存在の検証を行った。以下、本章の分析結果から得られた主要な知見をまとめる。

- 1) 出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の 4 つの行動側面の中において、個々人のある断面(1 日)において観測された行動を代表的な行動結果と見なせ、かつ、これらの結果を集計した場合に観測される日単位の集計量が代表性を有すると見なせる行動側面は、交通手段選択のみであった。ただし、交通手段選択においても一定の個人内変動及び経日変動が観測されている点に注意する必要がある。
- 2) 出発時刻、活動発生、時間利用の行動側面では、必須活動においては個人間変動が、自由裁

量型の活動においては個人内変動が高い傾向にあることが明らかとなった。これより、特に自由裁量型の行動を対象とした分析を行う場合においては、複数日の行動データを用いた分析がより有用であると考えられる。

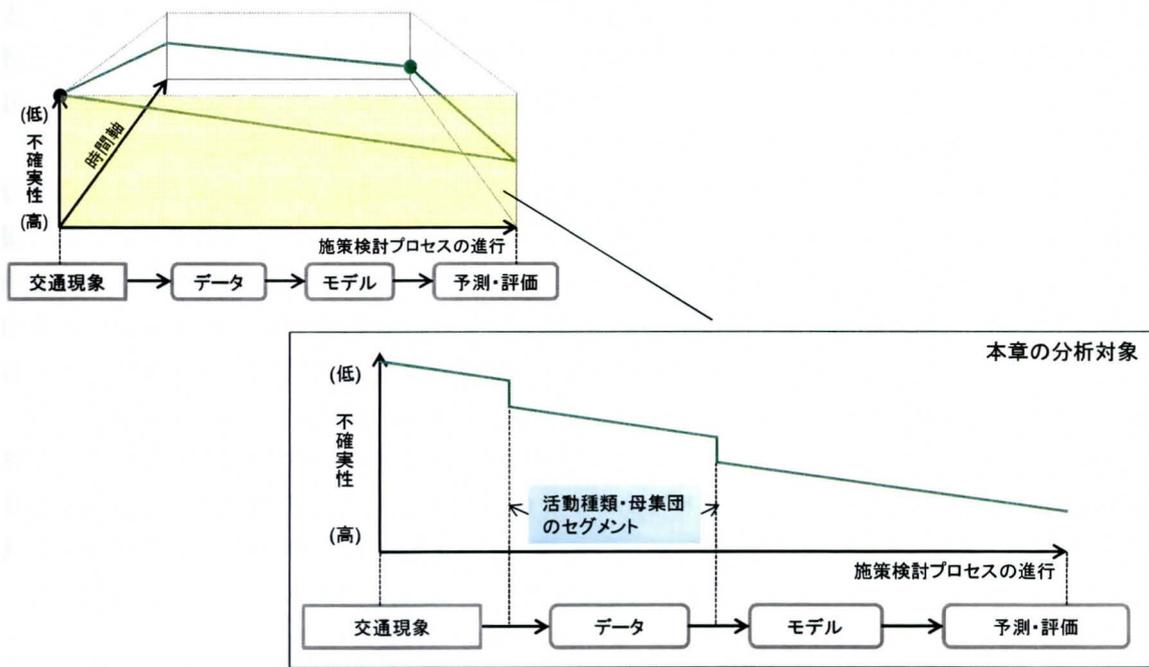
- 3) 出発時刻、時間利用を対象として変動の観測可能性を検証した結果、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動のうち、経日変動は観測変数によって説明可能な変動種類である一方、個人内変動を観測変数に落とし込むことは極めて困難であることが明らかとなった。行動の過去従属性を考慮してもなお高い非観測個人間変動が観測されたことから（時間利用のみ）、今後、本研究で用いたような文脈要因や過去従属性以外の視点から個人内変動の理解を進めることが重要な研究課題であると考えられる。
- 4) 観測できなかった変動成分（非観測変動）を、施策検討プロセス上における不確実性と見なした場合、極めて大きな不確実性が内在していることが明らかとなった。具体的には、本研究で導入した説明変数セットのケースにおいては、出発時刻では61.4%~89.3%が、時間利用では22.3%~87.1%が非観測変動であった。
- 5) 交通手段選択の文脈において共変動（空間変動×個人間変動＝個人に固有の空間変動）の影響が存在するかどうかを検証した結果、自転車及び公共交通の選択肢に全変動に対して10%前後の割合で共変動が存在することが確認された。また、4つの説明変数セット[移動時間]、[モビリティツール]、[社会経済属性]、[文脈要因]を逐次的に導入した結果、自動車(運転)はモビリティツールの影響を強く受けることが明らかとなった。反面、自転車及び公共交通では高い非観測個人間変動が残る結果となった。これより、個々人の持つ習慣や選好により公共交通や自転車の利用に関する意思決定が行われている可能性が示唆された。

以上の点より、交通計画策定プロセスにおけるデータ収集段階では、特に自由裁量型の活動を分析対象として含む場合においては長期の連続時間パネルデータを取得する必要性が高まること、その反面、交通手段選択のみに焦点を当てる場合においては断面データであってもある程度許容できることが明らかとなった。また、モデル作成段階においては、出発時刻、時間利用の行動側面においては個人内変動をどのように捉えるかに関する議論が、交通手段選択の場面においては自転車や公共交通の個人間変動をどのように捉えるかに関する議論が極めて重要であることが明らかとなった。近年、意思決定“プロセス”そのものを扱おうとする研究も見られ（例えば Lee-Gosselin and Doherty, 2005）、これらのアプローチの有用性を変動の観点から検証することも重要な今後の課題である。

第4章 関連参考文献

- 1) Axhausen, K. W., Zimmermann, A., Schonfelder, S., Rindsfuser, G., Haupt, T.: Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, *Transportation*, 29, pp. 95-124, 2002.
- 2) Axhausen, K. W., Löchl, M., Schlich, R., Buhl, T., Widmer, P.: Fatigue in long-duration travel diaries, *Transportation*, 34, pp. 143-160, 2007.
- 3) Gärling, T., Axhausen, K. W.: Introduction: Habitual travel choice, *Transportation*, 30, pp. 1-11, 2003.
- 4) Hägerstrand, T.: What About People in Regional Science?, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, Vol. 24, pp. 7-21, 1970.
- 5) Kasturirangan, K., Pendyala, R. M., Koppelman, F. S.: On the Role of History in Modeling Activity Type Choice and Activity Duration for Commuters, *Transportation Research Record*, 1807, pp. 129-136, 2002.
- 6) Kitamura, R.: An Analysis of Weekly Activity Patterns and Travel Expenditure, in R.G. Golledge and H. Timmermans (eds.) *Behavioural Modelling in Geography and Planning*, Croom Helm, London, pp. 399-423, 1988.
- 7) Lee-Gosselin, M.E.H., Doherty, S.T.: *Integrated Land-Use and Transportation Models: Behavioural Foundations*, Elsevier, 2005.
- 8) 藤井聡, 河本一郎, 北村隆一: 『一時的構造変化方策』の有効性の検証: 自動車運転者への無料バス定期券配布実験, *交通工学*, 39(2), pp. 59-65, 2004.

第5章 活動・交通行動の変動とセグメント問題



5.1 はじめに

4章にて行った変動構造の特定においては、先験的に与えた活動分類を母集団のセグメントとして利用した。しかしながら、セグメントの与え方を変えれば、当然のことながら、観測される変動特性は異なる。同様に、データに内在する変動の情報を用いて活動・交通行動はモデル化されることが頻繁であるため、モデルから得られる示唆もセグメントの与え方に依存する。特に、レジャー等の自由裁量型の活動は、複数の異なった性質を持つ活動の集合であると予想され、どのようなセグメントを採用するのが望ましいかに関する議論が別途必要となる。また、政策的な観点からは、空間的に過疎化している地域の特性や交通困難者の交通行動の特性は、全母集団への推論を目的とする通常の実証手法ではうまく考慮できない場合が多く、このような場合、セグメントの与え方を見直すことによってこれらのサブ集団に焦点を当てた分析を行う方法が必要となる。

以上の点を踏まえて、本章ではセグメント問題を取り扱うための方法の開発及びいくつかの実証分析を通して、変動の情報を用いてモデルを作成する場合に直面するセグメント問題について議論を加える。具体的には、本章では以下の分析を行う。

5.2 では、行動の類似性に基づき活動種類をセグメントする手法を提案する。具体的には、行動の類似性（目的変数に対する説明変数の寄与構造の違いにより定義される活動種類間の類似性）をセグメントの基準とすることで、セグメント内の行動特性の同質性を確保しながらも、行動が持つ不確定な変動要因の影響を受けにくい活動分類手法の提案を目的とする。実証分析では、例として活動開始時刻をセグメントの基準とする。その後、提案する手法により求められた活動分類により観測される観測変動／非観測変動の比と、アприオリな活動を用いた場合に観測される比を比較することによって、提案手法の精度検証を行う。

5.3 では、活動抵抗の高いサブ集団を抽出することを目的として、母集団のセグメント方法について議論する。基盤となる方法は時間配分モデルであり、従来仮定されてきた限界効用逓減の法則に従う行動原理の仮定が、活動抵抗の高いサブ集団には当てはまらないことを指摘し、限界効用逓増＋逓減を仮定した効用関数を持つ新たな時間配分モデルを提案し、母集団のセグメントに応用する。実証分析では、過疎地域の買物活動への参加時に存在する活動抵抗、発展途上国における学校参加における活動抵抗に焦点を当て、母集団のセグメントを行う。

5.4 では、4章において行ってきた変動特性の分析を、セグメント間で比較する意義について整理し、その後、介護者の行動特性に焦点を当てた比較分析を行う。具体的には、([自宅内介護者・自宅外介護者・非介護者]×[平日・休日]) の6つのセグメントを設定し、各セグメントで観測される変動特性の比較分析を行う。

5.5 では、本章で行う分析から得られた知見及び今後の課題をまとめる。

5.2 活動種類のセグメント

本節では、行動の類似性（目的変数に対する説明変数の寄与構造の違いにより定義される活動種類間の類似性。詳細は3章を参照）をセグメントの基準とすることでセグメント内の行動特性の同質性を確保しながらも、行動が持つ不確定な変動要因の影響を受けにくい活動分類手法の提案を目的とする。実証分析では、例として活動開始時刻の類似性をセグメントの基準とし、提案手法によって特定した活動分類とアприオリな活動分類との比較を通して、提案手法の精度検証を行う。なお本研究では、細分化された活動種類（実証分析では61種類）を少数の活動分類に集約する方法を扱う。よって、本研究で提案する活動分類を適用するためには、例えば自由記述式アンケート等で得られた詳細な活動種類を含むデータセットが必要である。また、本節では、自由記述式アンケート等から得られた活動名を詳細に分類したものを「活動種類」、それらをより粗く分類し直したものを「活動分類」と呼称する。なお本節では、活動特性の同質性という視点から、現象の記述能力のみに着目して活動の分類方法を提案するが、実際、どのような活動分類を採用するかは分析者が直面している評価対象、利用場面や目的などに依存する場合が多いと考えられる。その場合、ここで提案した分類方法はアприオリに採用した活動分類の精度や妥当性をチェックするために使うことが可能である。

5.2.1 行動の類似性に基づく活動分類手法の提案

4章においてみたように、交通行動や活動の遂行は意思決定時の文脈（個人内変動）に大きく依存する。そのため、ある時空間断面における一つ一つの交通行動や活動を典型的な（代表的な）行動と見なすことは妥当ではない。そのため、マーケティング分野で頻繁に利用されている、個人又は個々の移動・活動をセグメントする手法を土木計画・交通計画における活動分類に直接適用することは妥当ではないと考えられる。そこで本節では、個人が遂行する一つの活動が「活動種類」と階層的な関係にあることを利用し、個々の移動・活動の上位レベルに存在する「活動種類」の影響をランダム変数により扱うマルチレベル分析手法を応用することを考える。具体的には、1) 活動種類の影響をランダム変数として扱うマルチレベルモデルを構築・推定し、2) 推定されたパラメータから各活動種類に対する縮約推定量（3章参照）を算出し、3) 縮約推定量を用いて定義される行動の類似性に基づきクラスター分析を実行することで活動分類を決定する。以下、提案手法の詳細を述べる。

1) マルチレベルモデルの定式化

時刻の選択を表現するにあたって、生存時間モデルや離散選択モデルが頻繁に用いられるが、本研究では線形モデルを用いて活動開始時刻選択を表現する。線形モデルを採用する理由は、パラメータと説明変数の積が時刻の単位を持つため、クラスター分析における活動間の距離の定義が明確になるためである。個人*i*が活動種類*a* ($=1, \dots, A$)を行う時の活動開始時刻選択を以下の式で定式化する。

$$y_a = x_a(\beta + \gamma_a) + \varepsilon_a \quad (5.1)$$

ただし、

$$y_a = \begin{bmatrix} y_{a1} \\ y_{a2} \\ \vdots \\ y_{ai} \\ \vdots \\ y_{an_a} \end{bmatrix}, \quad x_a = \begin{bmatrix} x_{a11} & x_{a12} & \cdots & x_{a1K} \\ x_{a21} & x_{a22} & \cdots & x_{a2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{ai1} & x_{ai2} & \cdots & x_{aiK} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{an_a1} & x_{an_a2} & \cdots & x_{an_aK} \end{bmatrix}, \quad \varepsilon_a = \begin{bmatrix} \varepsilon_{a1} \\ \varepsilon_{a2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{ai} \\ \vdots \\ \varepsilon_{an_a} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_K \end{bmatrix}, \quad \gamma_a = \begin{bmatrix} \gamma_{a1} \\ \gamma_{a2} \\ \vdots \\ \gamma_{aK} \end{bmatrix}$$

ここで、 y_{ai} は個人*i*が活動*a*を開始する時刻、 x_{aik} は活動開始時刻を規定する*k* ($=1, \dots, K$)番目の説明変数であり、それぞれ観測される値である。また、 n_a は活動種類*a*を遂行したサンプル数である。 β_k は活動種類間で共通の未知パラメータである。 ε_{ai} は $\varepsilon_{ai} \sim N(0, \sigma_0^2)$ に従う誤差項である。 γ_{ak} は*k*番目の説明変数の影響が活動種類によって異なることを表現するランダム変数であり、 $\gamma_{ak} \sim N(0, \sigma_k^2)$ に従うとする。また、 γ_{ak} と $\gamma_{ak'}$ の間に相関はないと仮定する ($k \neq k'$)。

以上のように、個人又は個々の移動・活動ではなく、その上位レベルに存在する活動種類間の

パラメータ値の差異をランダム変数により表現する点が本手法の特徴である。言い換えると、活動種類というレベルでパラメータ値の差異を表現することによって、比較的安定した（不確定な変動要因によって左右されにくい）活動分類の抽出を試みる点が特徴である。

式(5.1)を推定するための尤度関数は、次の式で定義される。

$$L(\beta, \sigma | y) = \int \prod_i [p(y | \beta, \gamma, \sigma_0)] \Phi(\gamma | \Omega_k) d\gamma \quad (5.2)$$

ここで、 $\Phi(\cdot)$ は平均0、分散共分散行列 Ω_k に従う K 次元正規分布の密度関数である。ただし、 Ω_k は対角行列であり、対角成分は $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_K^2$ である。 $p(\cdot)$ は平均 $\beta x + \gamma$ 、分散 σ_0^2 に従う正規分布の密度関数である。モデルの推定には、制限付き最尤推定法を用いる（なお3章において述べたMCMC法によっても同様の結果が得られる）。

2) 縮約推定量の算出

3章において述べたように、マルチレベルモデルでは、活動種類ごとのパラメータの推計値 $\hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{ak}$ を得るために、縮約推定量 $\hat{\gamma}_{ak}$ を事後的に求めることがなされる。縮約推定量の特徴は、活動種類 a を遂行したサンプルが少ない場合や、対応する説明変数のばらつきが大きい場合に γ_{ak} の信頼性が低いと見なし、推計値 $\hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{ak}$ は全体平均 $\hat{\beta}_k$ に近づく方向に縮約される点にある。この特性によって、不確定な変動要因の影響により時刻の選好を記述することが困難な活動種類を同一のセグメントに分類することができる。すなわち、活動種類の水準でのパラメータ値の差異を表現する方法を採用してもなお残る不安定な推定値を持つ特定の活動種類のパラメータに対しては、その推定値を縮約することで、パラメータ値の過大評価を避けることができる。以下にその算出式を示す。

$$\hat{\gamma}_a = \hat{\Omega}_k x_a^T (\hat{\sigma}_0^2 \mathbf{I}_1 + x_a \hat{\Omega}_k x_a^T)^{-1} (y_a - x_a \hat{\beta}) \quad (5.3)$$

3) クラスタ分析

式(5.3)から得られた縮約推定量 $\hat{\gamma}_{ak}$ (活動数×パラメータ数) を用いて階層的クラスタ分析を行う。活動種類間の距離（非類似度） $D_{aa'}$ は、以下の式で計算する。

$$D_{aa'} = \sqrt{\sum_{k=1}^K (\hat{\gamma}_{ak} \bar{x}_{ak} - \hat{\gamma}_{a'k} \bar{x}_{a'k})^2} \quad (5.4)$$

ここで、 \bar{x}_{ak} 値は、 k 番目の説明変数の活動種類ごとの x_{aik} の平均値である。よって、 $\hat{\gamma}_{ak} \bar{x}_{ak}$ は時刻の単位を持ち、 k 番目の説明変数が活動開始時刻の選択に寄与する程度を表す。これより式(5.4)

は、2つの活動種類間の、目的変数に対する説明変数の寄与構造の違いを表す非類似度である。本研究では、式(5.4)から定義される活動種類間の非類似度行列に基づき階層的クラスター分析を行うことで、活動分類を決定する。クラスター（活動分類）はウォード法を用いて計算する。なお、活動分類数は分析者が事前に与える。

以上、本研究で提案する活動分類手法の手順を述べた。提案手法の特徴として、行動の類似性（目的変数に対する説明変数の寄与構造の違いにより定義される活動種類間の類似性）に基づいて活動分類を行う点に加えて、自由記述式アンケート等において活動種類が膨大な数にのぼる場合においても、比較的システムティックに活動種類を分類できる点（分析者に依存するのは、式(1)の説明変数の選択と、活動分類数の選択の2点）が挙げられる。また、本研究では線形モデルによる活動分類を採用したが、3章において見たように、一般化線形モデル(GLM)ファミリーであれば同様の分析を行うことができるため、例えば交通手段選択等、他の多くの行動側面においても提案する分析手法が適用可能である。

5.2.2 実証分析：活動開始時刻を例に

5.2.2.1 使用データ：社会生活基本調査データ（調査票B）

実証分析では、自由記述方式により得られた回答を61の詳細な活動種類にコーディングしてある社会生活基本調査（調査票B：総務省が平成13年10月13日～10月21日に実施）を用いる。なお、平日と休日の活動開始時刻の選好は異なると考えられるため、実証分析では、平成13年10月15日(月)～18日(木)における3:00～24:00までの行動データを抽出し、さらに、各活動に対して該当日、該時間帯にはじめて行った活動開始時刻のみを分析に用いる。言い換えると、同じ日に同じ活動を2回以上行った場合、2回目以降の活動開始時刻はサンプルに含まない。以上の条件のもとで抽出されたサンプル数は44,728であった。

5.2.2.2 実証分析結果

マルチレベルモデル（式(5.1)）の推定結果を表5.1に示す。モデルの推定においては61種類の活動をプールしたデータを用いているため、推定パラメータ $\hat{\beta}$ の正(負)の符号は、活動種類に依存せず、全体として活動開始時刻が後(前)にシフトすることを意味する。また、推定パラメータ $\hat{\sigma}_a$ の値は、当該説明変数が活動開始時刻選択に与える影響の活動種類間の差の程度を示している。このような視点から表5.1の推定結果を見ると、年齢の高い個人ほど、全体的に活動開始の時間帯が早まる傾向にあることが分かる。ただし、 $\hat{\sigma}_a$ の値が大きいことから、活動種類によって活動開始時刻の年代間差異は大きく異なることが分かる。一方で、天気ダミーや自動車保有ダミーに対する $\hat{\sigma}_a$ の値は非常に小さく、活動種類によらず、雨の日は10分程度、自動車を利用する個人は9分程度早い時間帯に活動開始時刻をシフトさせることが分かる。言い換えると、どのような活動分類を行ってもこれらの変数が活動開始時刻に与える影響は変化しないと考えられる。一方で、

天気ダミー、自動車保有ダミー、年齢ダミー5を除く全ての説明変数にかかる $\hat{\sigma}_a$ の値はすべて統計的に有意であり、これらの説明変数の影響は活動種類によってことなると考えられる。特に、定数項に対する $\hat{\sigma}_a$ の値が大きく推定されていることから、平均活動開始時刻は活動種類によって大きく異なることが分かる。続いて年齢、性別、労働形態（常勤就業者ダミー、家事兼仕事ダミー、専業主婦(主夫)ダミー)にかかる $\hat{\sigma}_a$ の値が大きく、これらの変数に対応するパラメータの値は、活動分類の仕方によって大きく変化すると考えられる。

次に、式(5.4)に基づき算出した非類似度を用いてクラスター分析を行った結果を表5.2に示す。ここでは、クラスター間の距離（すなわち樹形図の枝の高さ）の改善度が急激に低下する、活動分類数が5の場合について考察する。活動分類数が5のときの各クラスターの活動開始時刻分布を図5.1に示す。表5.2及び図5.1より、clus1は早い時間帯に行われる活動が中心であり、主に必須活動で構成されていることが分かる。clus2は、午前にピークを持つ活動種類で構成されており、家族の世話、介護・看護、受診、求職活動等、比較的必要性の高い活動種類を中心に構成されていることが分かる。一方clus2の中にはドライブやエアロビクス系スポーツといった比較的能動的な自由行動が含まれている。これについては、例えば家族の世話等の活動を行う必要のない日における“裏の”（代替の）活動である可能性があるものの、本分析では判断できない。今後、詳細に検証する必要がある。clus3、clus4は、活動開始時刻のばらつきが大きく、自由裁量型の活動種類を中心に構成されていることが分かる。両者の違いは、clus4は家族や他人とのコミュニケーション、自宅内での自由裁量型の活動を中心に構成されているのに対し、clus3は個人が行う（他者との関わりが小さい）自宅外活動が主たる活動種類となっている。これより、自由裁量型の活動であっても、家族や他者と関わりを持つ活動かどうか、自宅内活動か自宅外活動かによって、活動開始時刻の選好は大きく異なると考えられる。特に、活動分類数を2まで減らした場合においてもclus3とclus4は異なる活動分類にセグメントされることから、安易に「自由裁量型活動」等の分類を行ってしまうと、本来現象が持っている行動特性の情報を失ってしまう恐れがあることが分かった。最後に、clus5は睡眠と社会生活基本調査に関連する行動で構成されるセグメントである。これは、就寝前に調査票を記入する個人が多いことに由来している。

表 5.1 活動種類をランダム変数として持つマルチレベルモデルの推定結果

| 説明変数 | | パラメータ | t 値 |
|-----------------------------------|---------------------|---------------|-------------|
| 定数項 | $\hat{\beta}$ | 811.30 | 37.90 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 21459 [146] | (1114.1) ** |
| 既婚ダミー (既婚: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -8.54 | -1.04 |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 1971 [44.4] | (108.6) ** |
| 天気ダミー (雨: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -9.89 | -3.44 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 34 [5.8] | (0.1) |
| 自動車保有ダミー (1 台以上保有: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -8.71 | -2.66 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 0.0 [0.0] | (0.0) |
| 性別ダミー (男性: 1, 女性: 0) | $\hat{\beta}$ | -22.86 | -2.16 * |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 4478 [66.9] | (323.1) ** |
| 世帯年間収入ダミー-1 (1000 万以上: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | 14.11 | 2.88 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 257 [16] | (2.9) + |
| 世帯年間収入ダミー-2 (200 万未満: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -13.78 | -2.11 * |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 683 [26.1] | (14.5) ** |
| 年齢ダミー-1 (20 歳未満: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | 102.60 | 4.52 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 16441 [128] | (369.8) ** |
| 年齢ダミー-2 (20 代: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | 51.66 | 4.37 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 3848 [62.0] | (105.2) ** |
| 年齢ダミー-3 (30 代: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | 14.40 | 1.69 + |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 1451 [38.1] | (14.6) ** |
| 年齢ダミー-5 (50 代: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -17.13 | -3.76 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 80 [8.9] | (0.3) |
| 年齢ダミー-6 (60 代: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -33.45 | -5.65 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 364 [19.1] | (8.8) ** |
| 年齢ダミー-7 (70 歳以上: 1, その他: 0) | $\hat{\beta}$ | -40.53 | -4.47 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 1672 [40.9] | (54.6) ** |
| 常勤就業者ダミー (Yes: 1, No: 0) | $\hat{\beta}$ | 82.20 | 5.78 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 7831 [88.5] | (390.9) ** |
| 家事兼仕事ダミー (Yes: 1, No: 0) | $\hat{\beta}$ | 28.36 | 2.69 ** |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 2563 [50.6] | (56.7) ** |
| 専業主婦(主夫)ダミー (Yes: 1, No: 0) | $\hat{\beta}$ | -7.25 | -0.83 |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 1410 [37.6] | (16.9) ** |
| 学生ダミー (Yes: 1, No: 0) | $\hat{\beta}$ | 19.46 | 1.31 |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 5606 [74.9] | (59.4) ** |
| 10 歳以上の世帯構成員数(人) | $\hat{\beta}$ | 0.07 | 0.04 |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 87 [9.3] | (21.5) ** |
| 10 歳未満の世帯構成員数(人) | $\hat{\beta}$ | -7.62 | -1.93 + |
| | $\hat{\sigma}_k^2$ | 352 [18.8] | (36.8) ** |
| 残差 | σ_ϵ^2 | 56225 [237.1] | |
| LL(C) | | -324728 | |
| LL(β) ¹⁾ | | -324510 | |
| LL(β, σ) | | -308562 | |
| サンプル数 | | 44,728 | |

※ () 内は、該当するランダム変数を除いた場合の最終対数尤度と含んだ場合の最終対数尤度に対する χ^2 検定結果。[] 内は標準偏差 σ_k または σ_ϵ 。1) はすべてのランダム変数を除いた場合の最終対数尤度。

表 5.2 クラアスター分析による活動分類結果

| 活動分類数 2 | 活動分類数 3 | 活動分類数 4 | 活動分類数 5 | 活動分類数 6 | 活動分類数 7 | 社会生活基本調査の活動分類 | 比較用分類* |
|-------------|-------------|---------|---------|-------------------------|--------------------|------------------------|--------|
| 2A | 3A | 4A | clus1 | 6A | 7A | 食事の管理 | 2 |
| | | | | | | 身の回りの用事(自分自身や家族等が行うもの) | 3 |
| | | | | | | その他の家事 | 2 |
| | | | | | | 食事 | 3 |
| | | | | | | 通勤・通学 | 1 |
| | | | | | | 礼拝・読経 | 4 |
| | 3B | 4B | clus2 | 6B | 7C | 副業中の移動 | 1 |
| | | | | | | 学校での授業・その他学校での行動 | 2 |
| | | | | | | 住まいの手入れ・整理 | 2 |
| | | | | | | 衣類等の手入れ | 2 |
| | | | | | | 乳幼児の身体の世話と監督 | 4 |
| | | | | | | その他の趣味・娯楽 | 1 |
| 2B | 3C | 4C | clus3 | 6C | 7D | 主な仕事 | 1 |
| | | | | | | 主な仕事中の移動 | 1 |
| | | | | | | 公的サービスの利用 | 2 |
| | | | | | | 家族の身の回りの世話 | 2 |
| | | | | | | 乳幼児の介護・看護 | 2 |
| | | | | | | 乳幼児以外の家族の介護・看護 | 2 |
| | 乳幼児の付き添い等 | 2 | | | | | |
| | 4D | clus4 | 6D | 7E | 身の回りの用事(個人サービスの利用) | 3 | |
| | | | | | 移動 | 5 | |
| | | | | | 仕事中・学校での学習(学業)中の休憩 | 1 | |
| | | | | | 教養・娯楽 | 4 | |
| | | | | | ドライブ | 4 | |
| エアロビクス系スポーツ | | | | | 4 | | |
| 4D | clus5 | 6F | 7G | 球技 | 4 | | |
| | | | | ボランティア活動 | 2 | | |
| | | | | 受診 | 3 | | |
| | | | | 療養 | 3 | | |
| | | | | 求職活動 | 1 | | |
| | | | | 家庭教師による勉強, 学習塾・予備校での勉強等 | 1 | | |
| 2B | 3C | 4C | clus4 | 6E | 7F | 乗り物の手入れ | 2 |
| | | | | | | 商業的サービスの利用 | 2 |
| | | | | | | 買物 | 2 |
| | | | | | | 新聞・雑誌 | 4 |
| | | | | | | テレビ・ラジオ | 4 |
| | | | | | | その他の教養・くつろぎ | 4 |
| | 学習・研究(学業以外) | 1 | | | | | |
| | 4D | clus5 | 6F | 7G | ウォーター系スポーツ | 4 | |
| | | | | | その他のスポーツ | 4 | |
| | | | | | 冠婚葬祭 | 4 | |
| | | | | | 電子メールや手紙による交際・付き合い | 4 | |
| | | | | | 副業 | 1 | |
| 学校の宿題 | | | | | 1 | | |
| 4D | clus5 | 6F | 7G | 世帯管理 | 2 | | |
| | | | | 子供の教育 | 2 | | |
| | | | | うたたね | 3 | | |
| | | | | 創作 | 4 | | |
| | | | | 趣味 | 4 | | |
| | | | | 電話による交際・付き合い | 4 | | |
| 4D | clus5 | 6F | 7G | 建築・修繕 | 2 | | |
| | | | | 乳幼児と遊ぶ | 2 | | |
| | | | | 軽飲食 | 3 | | |
| | | | | 家族とのコミュニケーション | 4 | | |
| | | | | ゲーム | 4 | | |
| | | | | 読書 | 4 | | |
| 4D | clus5 | 6F | 7G | CD・カセットテープ・ビデオ | 4 | | |
| | | | | 社会参加活動 | 4 | | |
| | | | | 人と会って行う交際・付き合い | 4 | | |
| | | | | 睡眠 | 3 | | |
| | | | | 社会生活基本調査に関連する行動 | 5 | | |

*太田(2006)の分類を参考に作成。太田(2006)では、[ペイドワーク(仕事等)], [アンペイドワーク(家事等)], [学業, 学習・研究(学校等)], [個人的ケア], [自由時間], [その他]の6つに分類しているが、本研究では、ペイドワークと学業, 学習・研究を同一分類とし、5つの活動分類に集約した。表内の数字は、[1: 仕事・学校(ペイドワーク+学業, 学習・研究)], [2: アンペイドワーク], [3: 個人的ケア], [4: 自由時間], [5: その他]を指す。

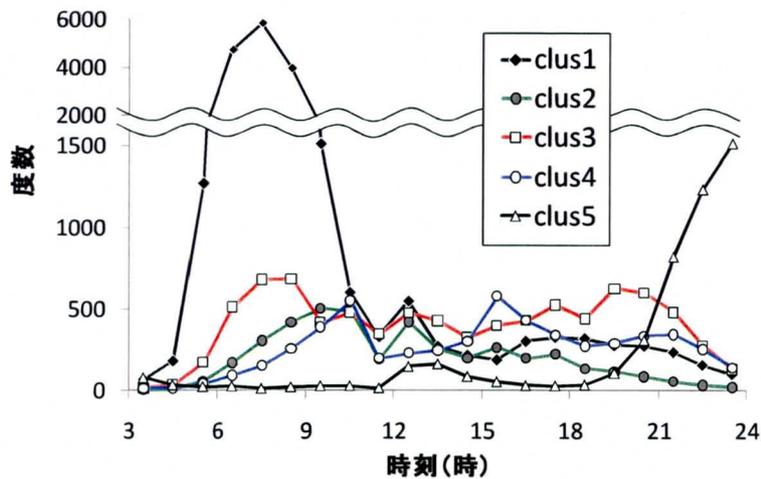


図 5.1 クラスタごとの活動開始時刻分布 (活動分類数 5)

5.2.3 提案手法の精度検証

本章では、前章にて特定した活動分類の精度検証を行うために、他のアприオリな活動分類との比較分析を行う。ここでは、太田(2006)で使用されている活動分類を比較のためのアприオリな分類として採用した(表 5.2 右端。詳細は表 5.2 中の脚注参照)。表 5.3, 表 5.4 に提案手法に基づく分類と比較用分類を用いて回帰分析を行った結果を示す。すべての回帰モデルにおいて R^2 は非常に低くなっており、活動開始時刻の記述の困難さを示している。ここで、両者の活動分類が異なるため、各回帰モデルの推定結果を直接モデル精度の比較に用いることはできない。そこで本研究では、精度検証のための基準として、活動開始時刻の総平方和の構成比を用いる。総平方和の構成比は以下の式により求める。

$$\underbrace{\sum_{m=1}^5 \sum_{i=1}^{n_m} (y_{mi} - \bar{y})^2}_{\text{総平方和}} = \underbrace{\sum_{m=1}^5 \sum_{i=1}^{n_m} (\hat{y}_{mi} - \bar{y})^2}_{\text{分類+回帰によって説明された平方和}} + \underbrace{\sum_{m=1}^5 \sum_{i=1}^{n_m} (y_{mi} - \hat{y}_{mi})^2}_{\text{残差平方和}} \quad (5.5)$$

ここで、 y_{mi} は個人 i が活動分類 m に属する活動を開始する時刻の観測値、 \bar{y} は全活動の活動開始時刻の平均値、 \hat{y}_{mi} は表 3, 表 4 に示すモデルから得られる予測値である。 n_m は活動分類 m のサンプル数である。

表 5.3 回帰分析結果 (提案手法に基づく活動分類)

| 説明変数 | clus1 パラメータ t 値 | clus2 パラメータ t 値 | clus3 パラメータ t 値 | clus4 パラメータ t 値 | clus5 パラメータ t 値 |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 定数項 | 595.57 62.50 | 771.74 37.20 | 845.21 46.43 | 964.33 42.03 | 1244.04 54.99 |
| 既婚ダミー (既婚: 1, その他: 0) | -19.18 -4.41 | -18.20 -1.76 | -20.64 -2.36 | -31.82 -2.83 | 41.01 3.77 |
| 天気ダミー (雨: 1, その他: 0) | -11.13 -3.15 | 0.95 0.11 | -24.00 -3.36 | -17.18 -2.05 | -3.24 -0.37 |
| 自動保有ダミー (1 台以上保有: 1, その他: 0) | -4.60 -1.02 | 1.57 0.14 | -22.57 -2.53 | -8.35 -0.75 | -0.39 -0.04 |
| 性別ダミー (男性: 1, 女性: 0) | -0.44 -0.12 | -35.92 -3.93 | -76.01 -9.53 | -17.75 -1.91 | -49.01 -5.17 |
| 世帯年間収入ダミー1 (1000 万以上: 1, その他: 0) | 4.28 0.89 | 2.98 0.26 | 21.36 2.12 | 29.01 2.44 | 24.27 1.97 |
| 世帯年間収入ダミー2 (200 万未満: 1, その他: 0) | 11.01 2.01 | -0.91 -0.07 | -42.35 -3.82 | -19.87 -1.47 | -35.52 -2.63 |
| 年齢ダミー1 (20 歳未満: 1, その他: 0) | -43.31 -4.68 | 47.71 2.24 | 229.06 12.05 | 38.77 1.88 | 89.46 3.94 |
| 年齢ダミー2 (20 代: 1, その他: 0) | 36.68 5.61 | 37.51 2.28 | 101.51 7.19 | 24.71 1.47 | -59.79 -3.46 |
| 年齢ダミー3 (30 代: 1, その他: 0) | 19.03 3.11 | -1.95 -0.13 | 22.76 1.72 | 6.50 0.41 | -39.83 -2.46 |
| 年齢ダミー5 (50 代: 1, その他: 0) | -5.25 -0.98 | -28.56 -2.10 | -30.04 -2.64 | -54.19 -3.60 | -28.36 -2.06 |
| 年齢ダミー6 (60 代: 1, その他: 0) | -18.42 -3.09 | -49.70 -3.53 | -70.17 -5.86 | -56.21 -3.59 | -22.70 -1.54 |
| 年齢ダミー7 (70 歳以上: 1, その他: 0) | -22.42 -3.36 | -63.69 -4.27 | -106.75 -8.24 | -88.56 -5.20 | -71.93 -4.52 |
| 常勤就業者ダミー (Yes: 1, No: 0) | -30.67 -4.81 | 64.73 5.09 | 158.55 14.02 | 66.03 4.68 | 66.38 4.70 |
| 家事兼仕事ダミー (Yes: 1, No: 0) | -21.29 -2.87 | 2.57 0.17 | 76.56 5.52 | 39.08 2.25 | 46.07 2.65 |
| 専業主婦 (主夫)ダミー (Yes: 1, No: 0) | -35.93 -5.20 | -28.55 -2.02 | 8.27 0.67 | -0.91 -0.06 | 20.54 1.32 |
| 学生ダミー (Yes: 1, No: 0) | 22.35 2.78 | -3.92 -0.20 | 14.13 0.81 | 5.09 0.34 | -59.47 -2.78 |
| 10 歳以上の世帯構成員数(人) | -2.23 -1.76 | 0.72 0.24 | 0.17 0.06 | -7.93 -2.49 | -6.96 -2.22 |
| 10 歳未満の世帯構成員数(人) | 4.30 1.67 | -24.52 -3.92 | 3.70 0.65 | -19.59 -3.12 | 0.34 0.05 |
| 残差 σ^2 [σ] | 51756 [227.5] | 56359 [237.4] | 85089 [291.7] | 76784 [277.1] | 71129 [266.7] |
| R ² | 0.014 | 0.057 | 0.145 | 0.042 | 0.038 |
| LL(β) | -149064 | -28619 | -60316 | -38631 | -33670 |
| サンプル数 | 21775 | 4156 | 8503 | 5486 | 4808 |

$$LL_{clus}(\beta) = LL_{clus1}(\beta) + LL_{clus2}(\beta) + LL_{clus3}(\beta) + LL_{clus4}(\beta) + LL_{clus5}(\beta) = -310300 \quad (N = 44,728) \quad \text{有意なパラメータの数(5\%有意)} = 62$$

表 5.4 回帰分析結果 (太田 (2006) に基づくアブリアオリな活動分類)

| 説明変数 | hikaku1 パラメータ | t 値 | hikaku2 パラメータ | t 値 | hikaku3 パラメータ | t 値 | hikaku4 パラメータ | t 値 | hikaku5 パラメータ | t 値 |
|---------------------------------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
| 定数項 | 780.45 | 42.05 | 702.45 | 37.76 | 733.86 | 39.51 | 859.94 | 50.17 | 878.30 | 23.86 |
| 既婚ダミー (既婚: 1, その他: 0) | -15.48 | -1.97 | -43.33 | -5.28 | 1.97 | 0.22 | -14.89 | -1.81 | 11.19 | 0.62 |
| 天気ダミー (雨: 1, その他: 0) | -3.84 | -0.69 | -8.41 | -1.22 | -9.07 | -1.26 | -14.92 | -2.24 | -2.30 | -0.16 |
| 自動保有ダミー (1台以上保有: 1, その他: 0) | -9.20 | -1.20 | -9.71 | -1.15 | -5.96 | -0.65 | -21.02 | -2.49 | -38.70 | -2.04 |
| 性別ダミー (男性: 1, 女性: 0) | -14.80 | -2.70 | 123.08 | 13.48 | -1.41 | -0.18 | -60.85 | -8.22 | -13.26 | -0.81 |
| 世帯年間収入ダミー1 (1000万以上: 1, その他: 0) | 4.94 | 0.68 | 18.51 | 1.87 | -3.80 | -0.38 | 35.46 | 3.77 | -11.47 | -0.57 |
| 世帯年間収入ダミー2 (200万未満: 1, その他: 0) | 3.27 | 0.34 | -34.09 | -3.39 | 0.96 | 0.09 | -30.47 | -2.92 | -16.89 | -0.73 |
| 年齢ダミー1 (20歳未満: 1, その他: 0) | -61.35 | -3.82 | 217.10 | 9.15 | 9.10 | 0.49 | 119.89 | 7.21 | 244.10 | 6.25 |
| 年齢ダミー2 (20代: 1, その他: 0) | 9.16 | 0.89 | 93.93 | 7.05 | -7.03 | -0.50 | 98.01 | 7.31 | 89.79 | 3.31 |
| 年齢ダミー3 (30代: 1, その他: 0) | 7.06 | 0.73 | 42.88 | 3.69 | -11.47 | -0.87 | 23.21 | 1.79 | 23.33 | 0.93 |
| 年齢ダミー5 (50代: 1, その他: 0) | 5.84 | 0.70 | -19.29 | -1.87 | 4.51 | 0.39 | -55.59 | -4.95 | 17.49 | 0.78 |
| 年齢ダミー6 (60代: 1, その他: 0) | 12.88 | 1.22 | -33.09 | -3.02 | -7.02 | -0.57 | -96.15 | -8.31 | -12.95 | -0.55 |
| 年齢ダミー7 (70歳以上: 1, その他: 0) | 27.23 | 1.83 | -22.28 | -1.81 | -33.23 | -2.52 | -133.14 | -10.80 | -47.50 | -1.81 |
| 常勤就業者ダミー (Yes: 1, No: 0) | -182.23 | -12.47 | 61.65 | 4.85 | -6.77 | -0.58 | 146.77 | 14.29 | 164.03 | 7.08 |
| 家事兼仕事ダミー (Yes: 1, No: 0) | -118.45 | -7.07 | -3.54 | -0.26 | -4.63 | -0.32 | 68.20 | 5.30 | 79.29 | 2.85 |
| 専業主婦 (主夫)ダミー (Yes: 1, No: 0) | -49.35 | -1.70 | -32.78 | -2.58 | 7.17 | 0.56 | 19.01 | 1.69 | 36.44 | 1.42 |
| 学生ダミー (Yes: 1, No: 0) | -41.33 | -4.14 | -52.54 | -2.21 | -43.32 | -2.60 | 63.47 | 4.47 | -17.93 | -0.48 |
| 10歳以上の世帯構成員数(人) | -1.83 | -0.92 | -4.28 | -1.66 | 2.61 | 1.01 | -1.65 | -0.67 | 3.93 | 0.75 |
| 10歳未満の世帯構成員数(人) | -5.65 | -1.31 | -5.02 | -1.05 | 9.60 | 1.79 | 3.08 | 0.58 | -53.61 | -5.26 |
| 残差 σ^2 [σ_0] | 43848 [209.4] | | 76452 [276.5] | | 153272 [391.5] | | 95481 [309] | | 102848 [320.7] | |
| R ² | 0.066 | | 0.104 | | 0.002 | | 0.123 | | 0.077 | |
| LL(β) | -49713 | | -60572 | | -112428 | | -78716 | | -18309 | |
| サンプル数 | 7352 | | 8604 | | 15217 | | 11007 | | 2548 | |

$$LL_{hikaku}(\beta) = LL_{hikaku1}(\beta) + LL_{hikaku2}(\beta) + LL_{hikaku3}(\beta) + LL_{hikaku4}(\beta) + LL_{hikaku5}(\beta) \quad (N = 44,728) \quad \text{有意なパラメータの数(5\%有意)} = 42$$

総平方和の構成比の算出結果を図 5.2 に示す。図より、提案手法による分類では、総平方和のうち 46.4%が分類または説明変数の導入によって説明される一方で、比較用分類では 12.9%であることが分かる。また、最終対数尤度の総和、有意なパラメータの数(5%有意)を見ても、提案手法による分類の方が統計的観点から優れていると言える。また、表 5.1 に示したマルチレベルモデルの総平方和の構成比（残差平方和を、誤差分布の正規性の仮定のもとで $\sigma_0^2 (=56225) \times$ サンプル数 (=44728) により算出し、総平方和から残差平方和を引くことで式(5)右辺第一項を算出)と、提案した 5 つの活動分類での総平方和の構成比に大きな差は見られないことから、61 種類の活動種類を 5 つの活動分類に集約することによる現象の記述能力の低下は小さいと考えられる。これらの結果より、提案手法による活動分類の有用性を確認するとともに、どのような活動分類を採用するかによって、現象の記述能力に大きな差があることが明らかとなった。この結果は、活動分類を再考することによって、4 章において行った分析結果（特に観測変動の占める割合）が大きく異なる可能性があることを示唆するものである。

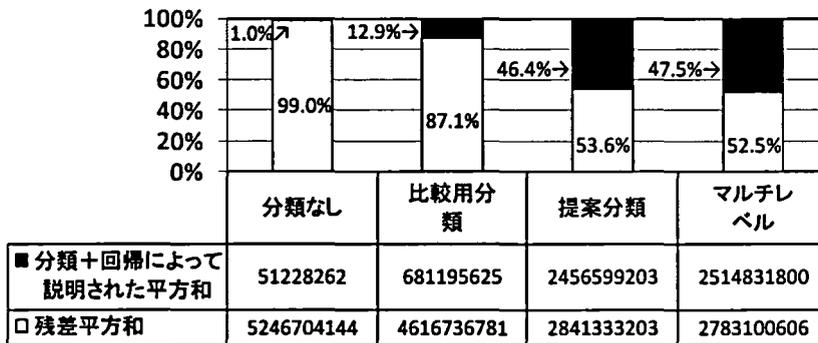


図 5.2 総平方和の構成比（式(5.5)に基づく）

5.2.4 提案手法の有用性と課題

本節では、不適切な活動分類を採用してしまうと本来活動が持っている行動特性の情報を大きく失ってしまう恐れがあるとの認識のもと、行動の類似性を反映した新たな活動分類手法を提案した。具体的には、1) 活動種類の影響をランダム変数として扱うマルチレベルモデルを構築・推定し、2) 推定されたパラメータから各活動種類に対する縮約推定量を算出し、3) 縮約推定量を用いて定義される行動の類似性に基づきクラスター分析を実行することで、活動分類を行った。実証分析では、活動開始時刻の類似性をセグメントの基準とし、提案した分類とアприオリな活動分類のモデル精度の比較を行った。結果、提案した活動分類手法の精度面での有効性を示すとともに、採用する活動分類により現象の記述能力は大きく異なることが分かった。これより、少なくとも活動開始時刻の文脈では、「活動分類の選択」は、これまで重点的に研究が行われてきたモデル構造や説明変数の選択と同様に、現象を記述する上でその精度を左右する重要な要素であることが示唆された。今後、この点を考慮した上で活動・交通行動の変動構造を特定していく必要があると考えられる。

ここでは活動特性の同質性という視点から、現象の記述能力のみに着目して活動の分類方法

を提案したが、実際、どのような活動分類を採用するかは分析者が直面している評価対象、利用場面や目的などに依存する場合が多いと考えられる。その場合、ここで提案した分類方法はア prioriに採用した活動分類の精度や妥当性をチェックするために使うことが可能である。言うまでもなく、提案した分類方法による分類の結果は分析対象や使用データに依存すると考えられる。実用的な活動分類方法になりうるかどうかについては、今後、データ内容の変化による分類結果の安定性、活動開始時刻以外の行動に適用する場合における分類結果の安定性を明らかにする必要がある。また、現象の記述能力だけでなく、分類した活動の政策評価への適用のしやすさ、異なる行動現象を同時に分析する際にデータの整合性などを考慮できるように、提案した分類方法を改良していくことも重要な課題である。

5.3 母集団のセグメント

本節では、活動抵抗の高いサブ集団を抽出することを目的に、新たな母集団のセグメント方法を提案した後、実証分析として、1) 過疎地域の買物活動への参加時に存在する活動抵抗、2) 発展途上国における学校参加における活動抵抗に焦点を当て、母集団のセグメントを実行する。

5.3.1 では、活動抵抗に基づく母集団セグメント手法を構築する。具体的には、従来仮定されてきた限界効用逓減の法則に従う行動原理の仮定が、活動抵抗の高いサブ集団には当てはまらないことを指摘し、限界効用逓増+逓減を仮定した効用関数を持つ新たな時間配分モデルを提案する。効用関数に限界効用逓増+逓減を仮定することによって表現される「ある活動への配分時間を増加させることによって、一日の活動全体から得られる総効用が減少から増加に切り替わる配分時間」を活動抵抗と定義し、この活動抵抗を母集団のセグメントの基準とする。活動抵抗は、言い換えると、当該活動遂行に付随する不効用（移動時間や移動抵抗、他の活動への配分時間の減少など）を上回るための、配分時間の閾値であると考えられる。

5.3.2 では、提案手法を用いた1つ目の実証分析として、過疎地域における買物活動参加の文脈における母集団のセグメントを試みる。過疎地域の移動制約や活動制約を議論するにおいては、これまで、「自動車を保有するか否か」、「高齢者か否か」といったア prioriなセグメントによりその特徴が記述される場合が多い。これに対して、本提案手法では、個人の時間配分に関する意思決定において活動抵抗を内生的に扱うことにより、活動遂行を制約する要因が生活行動へ与える影響を評価できる点にある。ここでの実証分析では、提案する時間配分モデルにより得られた活動抵抗に対して決定木分析を適用することによって、母集団のセグメントを行う。

5.3.3 では、提案手法を用いた2つ目の実証分析として、途上国都市（バングラディッシュのダッカ）における学校参加に焦点を当てる。学校参加に対する活動抵抗は、過疎地域のケースと同様に、「世帯収入が十分にあるかどうか」等のア prioriな基準によって判断されてきた。ここでの実証分析では、時間配分モデルを用いて得られた活動抵抗により母集団をセグメントすることにより、世帯収入以外の影響要因についても考察を加える。

5.3.4 において、本提案手法の有用性及び今後の課題についてまとめる。

5.3.1 活動抵抗に基づく母集団セグメント手法の提案

ここでは、説明の都合上、1 つ目の実証分析である過疎地域の買物活動参加を想定してモデルを構築する。以下、既存の時間配分モデルにおいて採用されている効用関数に関するレビューを行い、その後、限界効用逓増+逓減を仮定した新たな時間配分モデルの構築を行う。

5.3.1.1 既存の時間配分モデルのレビュー（効用関数形）

移動制約者をはじめとする活動抵抗が高いサブ集団を対象とする分析においては、清水(1995)が展望するように、「従来の交通計画で対象としていた平均的な需要階層に対する計画、設計、評価論という研究視点から、特定な社会階層の人々や個人を対象とする交通計画論へと研究視点を変容させること」が必要となる。人々の行動を近似的に記述するモデルの在り方に関しても、移動制約の大きい過疎地域における生活行動モデルと、都市における生活行動モデルは異なる構造を持つものと考えられる。以下、既存の時間配分モデルのレビューを通して、過疎地域における生活行動分析への既存モデルの適用に関する問題点について考察する。なお本研究では、各活動への配分時間は移動時間と実質活動時間の和であると見なす。移動がある目的のために発生することを考慮すると、移動時間は活動時間の一部であると考えられるためである。

生活/交通行動分析の分野で時間配分理論を適用した最も初期的な研究として、Kitamura(1984)の研究が挙げられる。ここでは、Type2 トビットモデル (Amemiya, 1985) を応用する形で時間配分モデルを定式化しており、配分される時間に対する選好を表す効用関数に対数関数を採用することで、限界効用逓減の法則を満たす定式化を行っている。以後、様々なモデルの拡張が試みられてきたが (例えば, Yamamoto and Kitamura, 1999; 藤井ら, 1999; Zhang et al., 2005), 効用関数に対数関数を採用する場合はほとんどである。一般に、配分時間に関する選好を対数関数で表現する限界効用逓減の概念は、「ある活動への配分時間が増加するにつれて、追加される単位配分時間から得られる効用は次第に小さくなる」ことを仮定し、初期の 1 分の配分時間から得られる効用が最も高いことを意味する。移動制約の視点からこの仮定を捉え直すと、移動時間をはじめとする活動遂行に付随する不効用は無視できるほど小さいという前提に立つ解析であると考えられる。このような仮定は、比較的アクセシビリティの高い都市における生活行動を近似的に表現する手法としては適していると考えられるものの、移動制約の大きい過疎地域における生活行動を十分に近似できない可能性がある。

移動制約が大きい状況下における生活行動を表現するにあたっては、Supernak(1992)や Timmermans et al. (2001)が指摘するような閾値の存在、すなわち、ある配分時間が活動を実施するに値する効用を得られるかどうかを判断する閾値を考慮することが有効であると考えられる。最も簡便な閾値の表現方法は、移動時間を閾値として与える方法である (加藤&今井, 2005)。これは、移動時間を超える時間を当該活動に配分するという意思決定が行われない限り、活動の遂行は起こり得ないことを表現するものである。しかしながら、過疎地域における移動制約者を対象とした分析では、以下に述べるいくつかの点において移動時間による閾値の表現は十分ではない。1 つ目は、まとめ買い等による活動時間の増減等に起因する正味活動時間の増減が挙げられる。

活動を実施するに値する効用を得られるかどうかは、移動時間に加え、必要な活動が行えるだけの正味活動時間があるかによって決まると考えられる。2つ目は、過疎地域においては、時間的・金銭的な移動負荷のみならず、身体的・心理的負担等の移動負荷が大きいことが挙げられる。これらの移動負荷が大きい場合、実際に存在する時間的な制約よりも活動を行うかどうかの閾値の制約がより実効性を持つものと予想される。

閾値がどのような要因によって構成されているのかを把握することは、生活行動の視点から移動制約を議論する上で重要であると考えられるものの、それ自体が実際の行動データから直接観測されず、定量的に把握する手法は確立されていない。そこで本章では、既存の時間配分モデルの改良を通して、活動遂行の有無と活動時間長の2つの行動データの情報から閾値（活動抵抗）を定量的に把握することを試みる。

5.3.1.2 限界効用逓増+逓減を仮定した新たな時間配分モデルの構築

ここでは、過疎地域に住む人々の買物活動に着目し、買物活動 (SA: Shopping Activity) とその他の活動 (OA: Other Activities) の2種類の活動への時間配分問題を設定する。活動種類を2種類に絞った理由は、3種類以上の活動を扱う場合においては統計的な手法によってモデルを同定することが困難になるためである。モデルの拡張は今後の課題とし、本節では、2種類の活動への時間配分問題を対象として、活動抵抗が意思決定メカニズムに内生的に関与していることを理論的・実証的に示す。

1) 意思決定メカニズムの基本コンセプト

活動抵抗を考慮した時間配分モデルを構築するにあたって、本研究では、1) 短時間の配分時間においては限界効用が逓増することを表現するs字型の効用関数を採用し、2) 「ある活動への配分時間を増加させることによって、一日の活動全体から得られる総効用が減少から増加に切り替わる配分時間」を活動抵抗として内生的に導き、3) 活動を遂行しようとする意図と活動抵抗との相対的評価から活動遂行に対する意思決定が行われるという行動メカニズムを仮定する。これは、後述するように、s字型効用関数を採用することによって生じる複数均衡解、すなわち、2つの最適配分時間の解（買物活動を行った場合の最適配分時間と、取り止めた場合の最適配分時間）と、1つの極小解（活動抵抗）に対して行動論的解釈を与えることを意味している。具体的には、(i) 個人は、2つの最適配分時間の選択を行うことによって、活動を行うかどうかの意思決定を行う；(ii) 最適配分時間の選択は、新たに導入する潜在変数（活動を遂行しようとする意図）と活動抵抗の大小関係から決定される；という意思決定メカニズムを仮定する。これによって、既存の時間配分モデルでは表現できなかった、「短時間の配分時間では十分な効用が得られず、活動を取り止める」という状況を記述することができる。なお、このような意思決定メカニズムの仮定が妥当かどうかは、既存の時間配分モデルとの推定精度の比較を通して確認する。

2) モデルの定式化

本研究では、限界効用逓増と逓減を同時に扱うことのできるs字型の効用関数として、正規分

布の分布関数を採用する。既存の s 字型効用関数としてベル型関数が Joh et al. (2001)によって提案されているものの、複雑な効用関数形をとるため操作性に優れず、実際の活動データを用いたモデルの推定が困難であるため本研究では採用しない。具体的には、個人 i が活動 j (= SA, OA) に時間 d_{ij} を配分することによって得られる効用 u_{ij} を以下の式で定義する。

$$u_{ij} = w_{ij} \int_0^{d_{ij}} \phi_{ij}(t) dt \quad (5.6)$$

$$\phi_{ij}(t) = \exp\left(-1/2\left((t-b_{ij})/a_{ij}\right)^2\right) / (a_{ij} \sqrt{2\pi}) \quad (5.7)$$

ここで、 w_{ij} は活動 j に置く重みで、全ての活動における活動 j の相対的重要度を表すパラメータである。また、 a_{ij} 、 b_{ij} は個人間異質性を表すパラメータであり、以下の式で定義する。

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \exp\left(\sum_k A_{jk} x_{ijk}\right) \\ b_{ij} &= \exp\left(\sum_m B_{jm} x_{ijm}\right) \end{aligned} \quad (5.8)$$

ただし、 x_{ijk} 、 x_{ijm} は説明変数、 A_{jk} 、 B_{jm} はパラメータである。ここで、 a_{ij} 、 b_{ij} に非負条件を課するため指数型で定義した。なお正規分布の定義から、 a_{ij} は効用関数の勾配を規定し、 b_{ij} は限界効用（単位配分時間から得られる効用）が最大になる配分時間を表すパラメータである（図 5.3）。図 1 から分かるように、s 字型の効用関数（限界効用逓増+逓減）を採用することによって、短時間の配分時間では、十分な効用が得られないことを表現することができる。具体的には、式(5.6)の一階微分及び二階微分をとると、以下のようなになる。

$$\frac{\partial u_{ij}}{\partial d_{ij}} = \phi(d_{ij}) > 0 \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial^2 u_{ij}}{\partial d_{ij}^2} = \frac{b_{ij} - d_{ij}}{a_{ij}^2} \phi(d_{ij}) \begin{cases} > 0 & \text{for } d_{ij} < b_{ij} \quad (\text{限界効用逓増}) \\ = 0 & \text{for } d_{ij} = b_{ij} \\ < 0 & \text{for } d_{ij} > b_{ij} \quad (\text{限界効用逓減}) \end{cases} \quad (5.10)$$

式(5.9)より、配分時間 d_{ij} が増加するに伴い、当該活動の遂行から得られる効用 u_{ij} は増加することが確認できる。また、式(5.10)から、変曲点はパラメータ b_{ij} によってのみ決定され、配分時間が b_{ij} より小さいとき限界効用逓増、大きいとき限界効用逓減となることが分かる。

以上定義した効用関数を用いて、2 種類の活動の遂行から得られる総効用を以下の式で定義する。

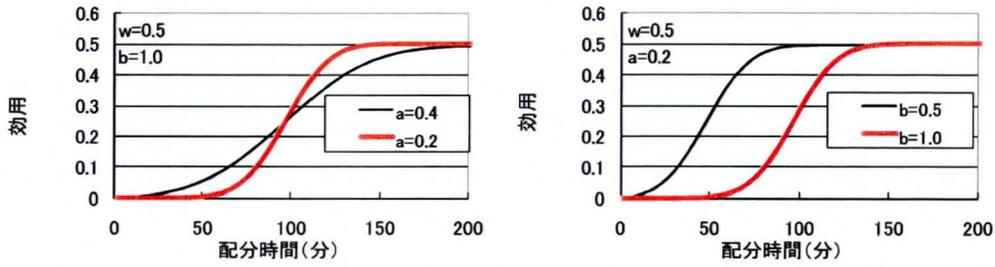


図 5.3 パラメータの変化に伴う効用関数の挙動

$$U_i = u_{iSA} + u_{iOA} = w_{iSA} \int_0^{d_{iSA}} \phi_{iSA}(t) dt + w_{iOA} \int_0^{d_{iOA}} \phi_{iOA}(t) dt \quad (5.11)$$

$$\text{Subject to } \begin{aligned} d_{iSA} + d_{iOA} &= T, w_{iSA} + w_{iOA} = 1 \\ d_{iSA} \geq 0, d_{iOA} > 0, w_{iSA}, w_{iOA} &> 0 \end{aligned} \quad (5.12)$$

ここで、 T は総配分時間である。また、その他の行動は必ず行われるものと仮定し、 $d_{iOA} > 0$ とした。ここで、式(5.12)の条件下において式(5.11)の一階微分から得られる均衡解を導出する。この際、数学的な扱いを簡略化する目的から以下の2つの条件を与える。

$$a_{iSA} < a_{iOA}, \quad a_{iSA}/w_{iSA} < a_{iOA}/w_{iOA} \quad (5.13)$$

式(5.13)の条件より、式(5.11)の均衡解として以下の式(5.14)及び式(5.15)が導出される。

$$R_{iSA} = \{B_i - \sqrt{A_i}\} / (a_{iOA}^2 - a_{iSA}^2) \quad (5.14)$$

$$d_{iSA}^* = \{B_i + \sqrt{A_i}\} / (a_{iOA}^2 - a_{iSA}^2) \quad (5.15)$$

$$\text{ただし, } A_i = a_{iSA}^2 a_{iOA}^2 \left(\frac{(b_{iSA} - b_{iOA} + T)^2}{+ 2(a_{iSA}^2 - a_{iOA}^2) \ln \left[\frac{a_{iSA} w_{iOA}}{a_{iOA} w_{iSA}} \right]} \right) \quad B_i = a_{iOA}^2 b_{iSA} - a_{iSA}^2 (b_{iOA} - T)$$

ここで、 R_{iSA} は極小解であり、 d_{iSA}^* は極大解を意味する(図5.4)。さらに、短時間の配分時間では、十分な効用が得られないことにより、買物活動を取り止める配分比 $(d_{iSA}, d_{iOA}) = (0, T)$ も極大解として存在し得る。以下、この2つの極大解の均衡選択に対する意思決定過程を考える。

均衡選択に対する意思決定過程を考えるに先立って、極小解 R_{iSA} が持つ意味について考察する。 R_{iSA} は「買物活動への配分時間を増加させることによって、一日の活動全体から得られる総効用が減少から増加に切り替わる配分時間」を意味する。これより R_{iSA} は、買物活動を遂行すること

によって得られる効用が、それに付随する不効用（移動時間、移動抵抗、他の活動への配分時間の減少など）を上回り始める配分時間であるといえる。したがって、図中点(0,T)から点 R_{iSA} に向かって総効用が減少する現象は、例えば、遠距離の買物施設に出かける場合、買物活動に関連する全ての配分時間が短い間は、その大半を買物活動のための移動に割り当てることになり、移動時間の増加や他の活動時間の縮小による効用の減少が買物活動で獲得する効用よりも上回ることを意味する。本研究では、このような特徴を持つ R_{iSA} を「活動抵抗」、つまり、活動参加の閾値として定義する。ただし、 R_{iSA} はその定義において時間単位を持つものの、実際のデータから観測されるものではなく、仮定する意思決定過程のもと規定されるものである。そのため、 R_{iSA} は買物活動を行うために必要な厳密な意味での最小配分時間ではない点に留意する必要がある。本研究の着眼点は、活動を遂行するための厳密な必要最小時間を把握するというよりは、買物活動の有無と活動時間長に関する実際の行動結果から、直接観測されない活動抵抗を抽出する点にある。行動結果から活動抵抗を抽出するメリットは、時間的・金銭的な抵抗のみならず、身体的・心理的負担等の抵抗が実際の行動結果に反映されていることにある。

ここで、買物活動の遂行に関する意思決定が、活動抵抗のみで決定されているわけではないことは明らかである。買物活動に対するニーズや世帯構成員の活動代替など、買物活動の遂行に対する意図にも影響を受ける。そこで、買物活動の遂行に対する意図を、潜在変数 I_{iSA_t} を用いて以下のように定義する。

$$I_{iSA_t} = V_{iSA_t} + \zeta_i \quad (5.16)$$

$$V_{iSA_t} = \exp\left(\sum_t \beta_t x_{iSA_t} + \sum_{t'|t' < t} \beta_{t'} x_{iSA_{t'}}\right) \quad (5.17)$$

ただし、 V_{iSA_t} は確定項、 ζ_i は $\zeta_i \sim N(0, \sigma^2)$ に従う誤差項である。 x_{iSA_t} は他の世帯構成員の買物活動の遂行状況や本人の必須活動の遂行状況を、 $x_{iSA_{t'}}$ は過去の活動履歴を表現する説明変数である。 β_t 、 $\beta_{t'}$ は未知パラメータである。また、買物活動の遂行に対する意図は非負であると考えられるため、指数型で定義した。

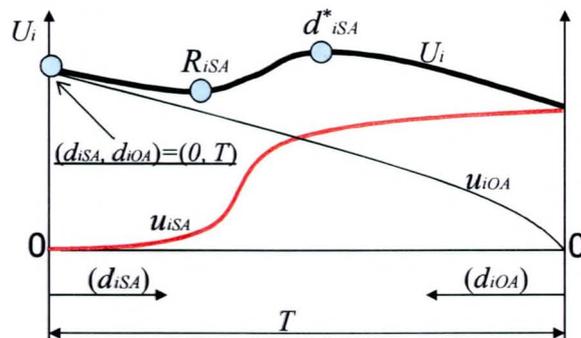


図 5.4 パラメータの変化に伴う効用関数の挙動

ここで、買物活動を行うかどうかの意思決定が買物活動に対する意図 I_{iSA_t} と活動抵抗 R_{iSA} との比較により決定されていると仮定する。すなわち、 I_{iSA_t} が R_{iSA} より大きい場合、個人は買物活動を行うと考える (図 5.5)。この仮定より、以下の活動 (未) 遂行確率が導出される。

$$\text{活動遂行確率: } \Pr(I_{iSA_t} > R_{iSA}) = \int_{R_{iSA} - V_{iSA_t}}^{\infty} \varphi(\zeta) d\zeta \quad (5.18)$$

$$\text{活動未遂行確率: } \Pr(I_{iSA_t} \leq R_{iSA}) = \int_{-\infty}^{R_{iSA} - V_{iSA_t}} \varphi(\zeta) d\zeta \quad (5.19)$$

ただし、 $\varphi(\cdot)$ は正規分布の密度関数である。また、 I_{iSA_t} は R_{iSA} に合わせてスケール化されるため、 I_{iSA_t} は時間単位を持つと考えることができる。この意味で、活動に対する意図 I_{iSA_t} は事前に予定された配分時間として捉えることができる。

以上において仮定した意思決定過程は、2つの極大解の均衡選択の結果を導いている。すなわち、式(5.18)が買い物活動を遂行する配分比 $(d_{iSA}, d_{iOA}) = (d_{iSA}^*, T - d_{iSA}^*)$ への収束確率を、式(5.19)が買い物活動を取り止める配分比 $(d_{iSA}, d_{iOA}) = (0, T)$ への収束確率をそれぞれ意味している。ここで、

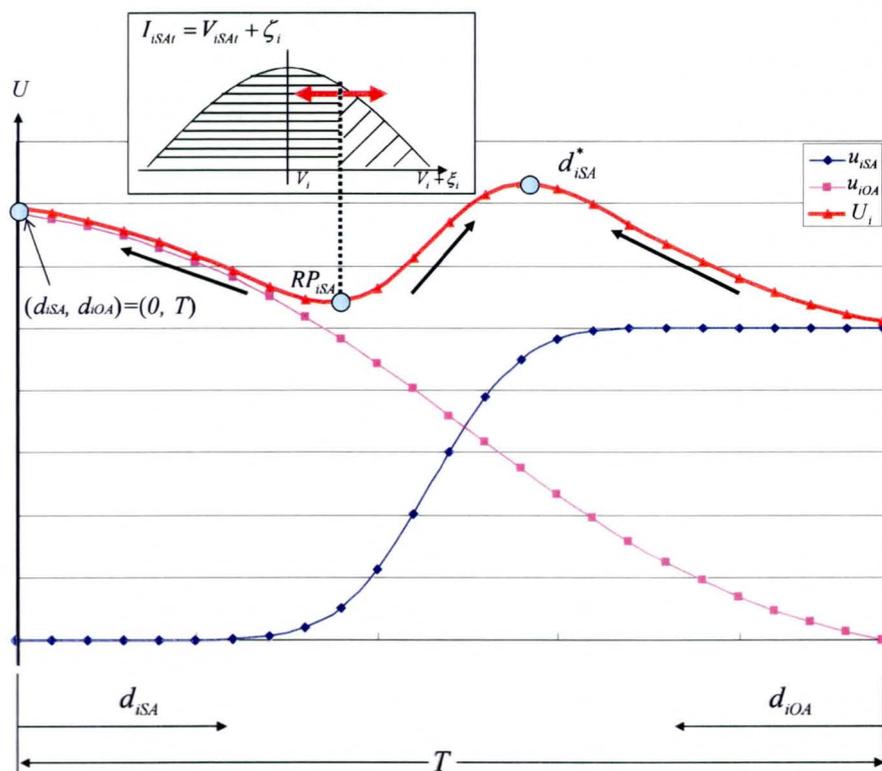


図 5.5 効用関数上の意図 I_{iSA_t} と活動抵抗 R_{iSA} の関係

以上の意思決定過程が厳密な効用最大化のもと与えられたものではない点に注意する必要がある。ここでは、限定合理的な個人を想定し、意思決定過程がアルゴリズムの一種である山登り法の極大解を探索する過程と同様のメカニズムによって成立していると仮定している。より具体的には、1) 買物活動の遂行に対する意図が、事前に予定する配分時間を規定し、2) より高い効用が得られるよう事前に予定する配分時間を逐次的に調整し、3) ある極大点（現在の配分比の近傍に、より優れた配分比がない状態）に到達し次第、配分比の変更を終了する、という意思決定過程を仮定している。なお、このような意思決定過程の仮定は、活動スケジュールの調整行動をはじめとする幾つかの既往研究で見られる（例えば Timmermans et al., 2001; Joh et al., 2001）。既往研究との違いは、本研究ではシミュレーションに基づく推定ではなく、統計的な手法によってモデルを同定する点にある。

ここで、式(5.15)の d_{iSA}^* の観測時に誤差 $\eta_i \sim N(0, \delta^2)$ が伴うとすると、

$$d_{iSA} = d_{iSA}^* + \eta_i \quad (5.20)$$

以上より、データ毎に以下の尤度が定義できる。

$$\cdot \text{買物活動を遂行した場合の尤度} : f(d_{iSA} | I_{iSA} > R_{iSA}) Pr(I_{iSA} > R_{iSA}) \quad (5.21)$$

$$\cdot \text{買物活動を遂行しなかった場合の尤度} : Pr(I_{iSA} \leq R_{iSA}) \quad (5.22)$$

また、式(5.16)における誤差項と、式(5.20)における誤差項が 2 変量正規分布に従うとすると、以下の尤度関数が個人毎に定義される。

$$L_i = \left[\begin{aligned} & \frac{1}{\delta} \varphi \left(\frac{d_{iSA} - d_{iSA}^*}{\delta} \right) \\ & \times \left[1 - \Phi \left(\left(R_{iSA} - V_{iSA} - \rho \frac{\xi}{\delta} (d_{iSA} - d_{iSA}^*) \right) / \left(\xi \sqrt{1 - \rho^2} \right) \right) \right] \right]^\omega \\ & \times \left[\Phi \left(\frac{R_{iSA} - V_{iSA}}{\xi} \right) \right]^{(1-\omega)} \end{aligned} \right] \quad (5.23)$$

ここで、 ρ は相関係数、 ω は買物活動を行った場合 1、行わなかった場合 0 をとるダミーであり、 $\Phi(\cdot)$ 、 $\varphi(\cdot)$ はそれぞれ標準正規分布の確率分布関数と確率密度関数である。式(5.23)により示される尤度関数を最尤推定法によって解くことでモデルを同定する。

なお、以上構築したモデルは、Type2 トビットモデルを応用した従来の限界効用逓減を仮定した時間配分モデル（例えば Kitamura, 1984）と同様の尤度関数形で表現されるため、自由度を考慮した最終尤度を直接比較することができる。以下の実証分析では、まず、尤度比検定により提案

モデルの有効性を確認し、その後、モデルの同定により求められる活動抵抗 R_{iSA} に着目して母集団のセグメントを試みる。

5.3.2 実証分析1：過疎地域の買物活動参加

5.3.2.1 使用データ：赤来町（現飯南町）のアクティビティダイアリーデータ

上に構築したモデルの実証分析の1つ目では、平成14年9月18日～24日に島根県の中山間地域である赤来町（現飯南町）で調査された一週間のアクティビティダイアリーデータを用いる（山田, 2003）。赤来町は調査日時点において高齢化率は30%超、平成7～13年の人口減少率が9.1%という現状にあり、典型的な過疎地域の1つである。また、自分で運転する自動車の分担率は総トリップの約65%、自動車の送迎による移動の分担率は約11%であり、移動の大部分を自動車に依存している地域であることが伺える。また、バスによる移動は総トリップの約2%に過ぎないが、バスを主な交通手段として回答している個人は全体の約6%にのぼり、需要が潜在化している可能性が高い。

本分析においては、平日である18日～20日のデータを用いる。また、式(5.17)に示したように、前日の行動結果を説明変数に用いるため、推定に用いるデータは19日～20日の行動データのみである。なお、連続する2日間の行動データが揃っている有効サンプルは、379サンプルであった。また、活動の遂行状況は、午前6:00から午後8:00までの14時間のみ観測されているため、本研究では14時間の時間配分問題を考える。そのため、午後8:00から午前6:00までの間に買物活動は発生していないという仮定を置くが、中山間地域での買物活動のみを分析対象とするため大きな問題はないと考える。なお本研究では、データの制約上、日常的な買物と非日常的な買物は分離せずに扱っている。

表5.5に買物活動の遂行に関する記述統計量を交通手段別に示す。ここでの交通手段とは、日常の移動に主に利用している交通手段のことを指す。表より、送迎、バスの順に買物活動の遂行割合が低くなっていることが伺える。これより、これら2つの交通手段を主な交通手段とする個人は、買物活動の遂行に対する抵抗が高いことが予想される。

表 5.5 買物活動の遂行に関する交通手段別記述統計量

| | 自動車 | 送迎 | バス | その他 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 平均活動時間+移動 (分) | 46.1 | 94.2 | 80.0 | 55.9 |
| 平均活動時間 (分) | 31.0 | 60.4 | 60.0 | 42.7 |
| 平均移動時間 (分) | 15.0 | 33.8 | 20.0 | 13.2 |
| 買物活動遂行人数 (人) | 58 | 14 | 5 | 13 |
| 買物未遂行人数 (人) | 172 | 61 | 19 | 37 |
| 活動遂行割合 | 25.2% | 18.7% | 20.8% | 26.0% |

5.3.2.2 パラメータの推定問題への対処

通常、2種類の配分問題を解く際には片一方の効用関数は固定される（多くの場合 0 とする）が、モデルが非線形な関数で定義されるため、このような固定を行うべきかどうか確認する必要がある。そこで、 w_{iOA} 、 a_{iOA} 、 b_{iOA} に様々な値を代入し、最終対数尤度に有意差があるかどうかを χ^2 検定により確認した。その結果、表 5.6 に示す範囲の値において有意差は見られなかったため、モデルを同定するにあたって b_{iOA} を 0 に、 a_{iOA} を 10 に、 w_{iOA} を 0.5 に固定した。なおモデルの推定において採用した時間単位は、予備的な分析を行った結果から、可処分時間 14 時間 (=840 分) を 15 とした単位を採用している。ただし、このような操作を行っても推定結果から得られる知見に影響を与えないことを確認している。

表 5.6 w_{iOA} 、 a_{iOA} 、 b_{iOA} のパラメータ値と最終対数尤度の関係

| w_{iOA} | 最終対数尤度 | a_{iOA} | 最終対数尤度 | b_{iOA} | 最終対数尤度 |
|---|-----------|--|-----------|---|-----------|
| 0.9 | -257.7827 | 100 | -257.7904 | 0 | -257.7844 |
| 0.8 | -257.7830 | 10 | -257.7844 | 1 | -257.7855 |
| 0.7 | -257.7833 | 8 | -257.7783 | 2 | -257.7866 |
| 0.6 | -257.7837 | 6 | -257.7676 | 3 | -257.7878 |
| 0.5 | -257.7844 | 4 | -257.7501 | 5 | -257.7903 |
| 0.4 | -257.7854 | 2 | -257.7292 | 7 | -257.7942 |
| 0.3 | -257.7872 | 1 | -257.7216 | 10 | -257.7966 |
| 0.2 | -257.7914 | 0.6 | -257.7199 | 12 | -257.7988 |
| 0.1 | -257.8107 | 0.4 | -257.7193 | 15 | -257.8015 |
| $a_{iOA} = 10$ に固定 $b_{iOA} = 0$ に固定 | | $w_{iOA} = 0.5$ に固定 $b_{iOA} = 0$ に固定 | | $w_{iOA} = 0.5$ に固定 $a_{iOA} = 10$ に固定 | |

5.3.2.3 実証分析結果

上述の設定のもとで推定した結果を表 5.7 に示す。自由度調整済み尤度比は 0.3285 であり、比較的良好な結果を得た。また、5.3.1.2 において述べたように、本研究で構築したモデルは、Type2 トビットモデルを応用した従来の時間配分モデルと最終尤度の比較が可能である。表 5.7 に併せて示している従来モデルと自由度調整済み尤度比、AIC を比較すると、従来モデルよりも本研究で構築したモデルの方が精度よく推定されていることが確認できる。また、分散パラメータ δ の推定値についても提案モデルの方が小さく推定されていることから、提案モデルの（買物活動への）配分時間長の予測精度は従来モデルに比べて高いといえる。これより、少なくとも過疎地域における買物活動への時間配分をモデル化するに当たっては、活動抵抗を考慮したモデリングがより望ましいものと考えられる。以下、はじめに推定結果から得られる知見について整理し、その後、決定木分析を用いて活動抵抗に基づく母集団のセグメントを行う。

表 5.7 モデルの推定結果 (過疎地域の買物活動参加)

| 説明変数 | 従来モデル (限界効用逓減) ³⁾ | | 提案モデル (限界効用逓増+逓減) | |
|------------------------------|---------------------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | パラメータ | t 値 | パラメータ | t 値 |
| 潜在変数 $u_{i,t}$ | | | | |
| 前日に買物活動を行ったか(Yes: 1; No: 0) | 0.394 | 3.50 ** | 0.288 | 1.62 |
| 当日買物活動を行った世帯構成員数(本人除く)/総世帯人数 | 1.505 | 5.35 ** | 5.086 | 2.77 ** |
| 当日必須活動に従事した時間(15/840 分) | -0.060 | -4.29 ** | -0.372 | -2.69 ** |
| 定数項 | -0.847 | -8.25 ** | -2.042 | -2.14 * |
| 効用関数 $u_{i,t}$ | | | | |
| | $a_{i,t}$ | | $b_{i,t}$ | |
| 性別(女性: 1; 男性: 0) | -0.178 | -1.66 + | 0.110 | 0.44 |
| 後期高齢者(75 歳以上: 1; それ以外: 0) | 0.000 | 0.00 | -0.044 | -0.16 |
| 世帯人数 | -0.018 | -0.48 | -0.098 | -1.28 |
| 主婦(Yes: 1; No: 0) | -0.066 | -0.53 | 0.097 | 0.38 |
| 主な交通手段が自動車(Yes: 1; No: 0) | -0.064 | -0.51 | -0.124 | -0.49 |
| 主な交通手段が送迎(Yes: 1; No: 0) | 0.268 | 1.71 + | 0.229 | 0.71 |
| 主な交通手段がバス(Yes: 1; No: 0) | 0.055 | 0.25 | -0.198 | -0.47 |
| 定数項 | -1.588 | -8.19 ** | -1.600 | -4.35 ** |
| 相関パラメータ | -0.877 | -13.38 ** | -0.878 | -13.40 ** |
| 分散パラメータ ξ^1 | 1.000 | - | 1.000 | - |
| 分散パラメータ δ | 1.113 | 7.560 ** | 0.974 | 8.61 ** |
| LL(0) ²⁾ | -416.6610 | | -416.6610 | |
| LL(β) | -289.0858 | | -257.7844 | |
| 尤度比 | 0.3062 | | 0.3813 | |
| 自由度調整済み尤度比 | 0.2534 | | 0.3285 | |
| AIC | 622.1716 | | 559.5687 | |

1) パラメータ識別問題に対処するため、1 に固定。

2) 分散パラメータ δ のみを未知パラメータとして推定した最終対数尤度。推定された分散パラメータ δ は 1.339。

3) Kitamura(1984)の Type2 の Tobit モデル型時間配分モデル。ただし、2 段階推定ではなく、同時推定法を採用。

**1%有意 *5%有意 +10%有意

まず、買物活動の遂行に対する意図を表す潜在変数 I_{iSA} を構成するパラメータの推定結果について考察する。なお本分析では、 I_{iSA} は意思決定時の文脈に依存する要因、すなわち、日々変化する要因のみで規定されるものと仮定した。結果より、前日に買物活動を行った個人は、当日においても買物活動を行う傾向にあることがわかる。ただしこの結果は、日常的な買物活動と非日常的な買物活動とで大きく異なるものと考えられ、今後、より細分化された活動分類を持つデータを用いた分析が必要である（4.4.2 に示したように、Mobidrive データを用いた分析結果からは、前日の行動結果は、日常買物に対して負、非日常買物に対して正の結果を与えることが確認された）。また、必須活動に従事する時間が長い個人ほど、買物活動を行う確率は低いことが確認できる。さらに、当日買物活動を行った世帯構成員数／総世帯人数のパラメータが正で大きな値をとっていることから、平日においても同伴者を伴う買物活動が発生している可能性が高い。

次に、パラメータ a_{iSA} , b_{iSA} からなる効用関数 u_{iSA} の推定結果について考察する。なお、各パラメータの推定値から直接的に活動抵抗 R_{iSA} 、活動時間長 d^*_{iSA} への影響を読み取ることが困難であるが、パラメータ a_{iSA} , b_{iSA} の符号の組み合わせから部分的にその影響を考察することができる（図 5.6）。符号の組み合わせから各説明変数の影響を見てみると、まず、後期高齢者や世帯人数が多いほど活動抵抗は大きくなることが分かる。一方で、女性、主婦といった日用品の購入を主に担当すると考えられる属性を持つ個人は活動抵抗が低い。主な交通手段の差異による効用関数形の変化を見ると、バス利用者の活動抵抗が高いことが分かる。また、送迎を主な交通手段とする個人の活動時間は長い一方で、自動車を主な交通手段とする個人の活動時間は短い傾向にあることが分かる。

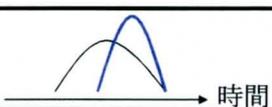
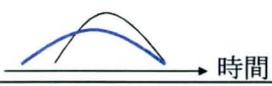
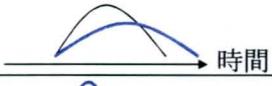
| | a_{iSA} | b_{iSA} | 限界効用の挙動 | R_{iSA} | d^*_{iSA} |
|---|-----------|-----------|---|-----------|-------------|
| 1 | - | + |  | ↑ | ? |
| 2 | + | - |  | ↓ | ? |
| 3 | + | + |  | ? | ↑ |
| 4 | - | - |  | ? | ↓ |

図 5.6 パラメータの組み合わせと限界効用の挙動の関係

次に、データマイニング手法の一つである決定木分析 (Exhaustive CHAID (SPSS, 2001)) を用いて活動抵抗の特性を明らかにする。決定木分析とは、複数の変数を持つデータをある目的変数（本研究では活動抵抗）について分類したいときに、それ以外の変数のデータを説明変数として分類規則を見つけ、相互に排他的なサブセットに分類していくものである。決定木分析に用いた説明変数は、表 5.7 の効用関数を規定するために用いた変数と同じである。

まず、図 5.7 に活動抵抗の推定値の度数分布を示す。度数分布より、活動抵抗の値は 15 付近を境に 2 峰性の分布形を取ることが確認できる。どの要因によってこれらの違いが生まれているのかについて、以下、決定木分析の結果をもとに考察する。

分類結果を図 5.8 に示す。一つ目の分岐は性別によるものであり、女性の方が男性より活動抵抗が低いことが分かる。次に、男性は後期高齢者ダミーによって活動抵抗は分類された。これより、男性の活動抵抗は交通手段の制約よりも後期高齢者かどうか活動抵抗を規定する大きな要因であることがわかる。さらに、男性後期高齢者の活動抵抗は、自動車を主な交通手段とするかどうかによって分類された。しかしながら、自動車を主な交通手段とする高齢者であっても、75 歳未満の男性(Node4)と比較して高い交通抵抗を持つことが確認できる。また、自動車以外を主な交通手段とする男性後期高齢者は、全サブセットの中で最も活動抵抗が高いことが分かった。一方で、75 歳未満の男性は世帯人数が多いほど活動抵抗が大きくなる傾向にあることが分かった。言い換えると、買物活動の遂行に対する意図が同一である場合においても、世帯人数の多い場合は男性の買物活動が顕在化する可能性は低い。一方で、女性に関しては送迎を主な交通手段とする場合 1.4205 (Node6)、バスを主な交通手段とする場合 1.1745 (Node13)、それ以外を主な交通手段とする場合 0.5248 (Node14)と、主に利用する交通手段によって活動抵抗の差が顕著に見られた。特に、送迎に頼る個人の方がバスを主に利用する個人よりも活動抵抗は高く、買物活動が潜在化する可能性が高いことが分かった。この結果は、表 5.5 の基本統計量と比較すると、移動時間で表わされる物理的な移動抵抗と同様の傾向を持つことがわかる。これより、女性の買物活動遂行時に存在する活動抵抗は、物理的な抵抗が大きいものと予想される。一方で、男性においては、移動時間等の物理的抵抗ではなく、個人属性等の物理的抵抗以外の要因によって活動抵抗は大きく規定されていることが明らかとなった。

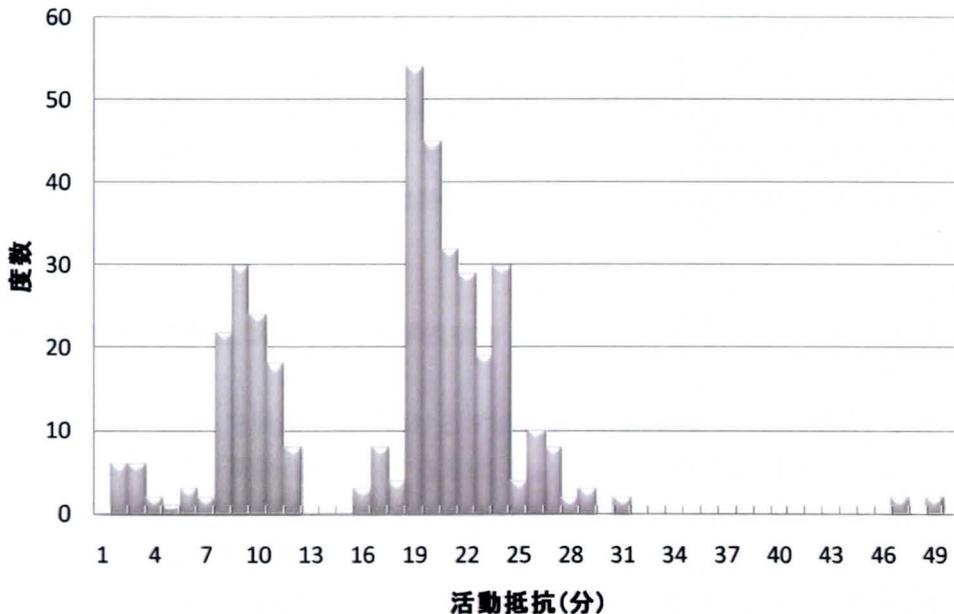


図 5.7 活動抵抗 R_{iSA} の度数分布 (過疎地域の買物活動参加)

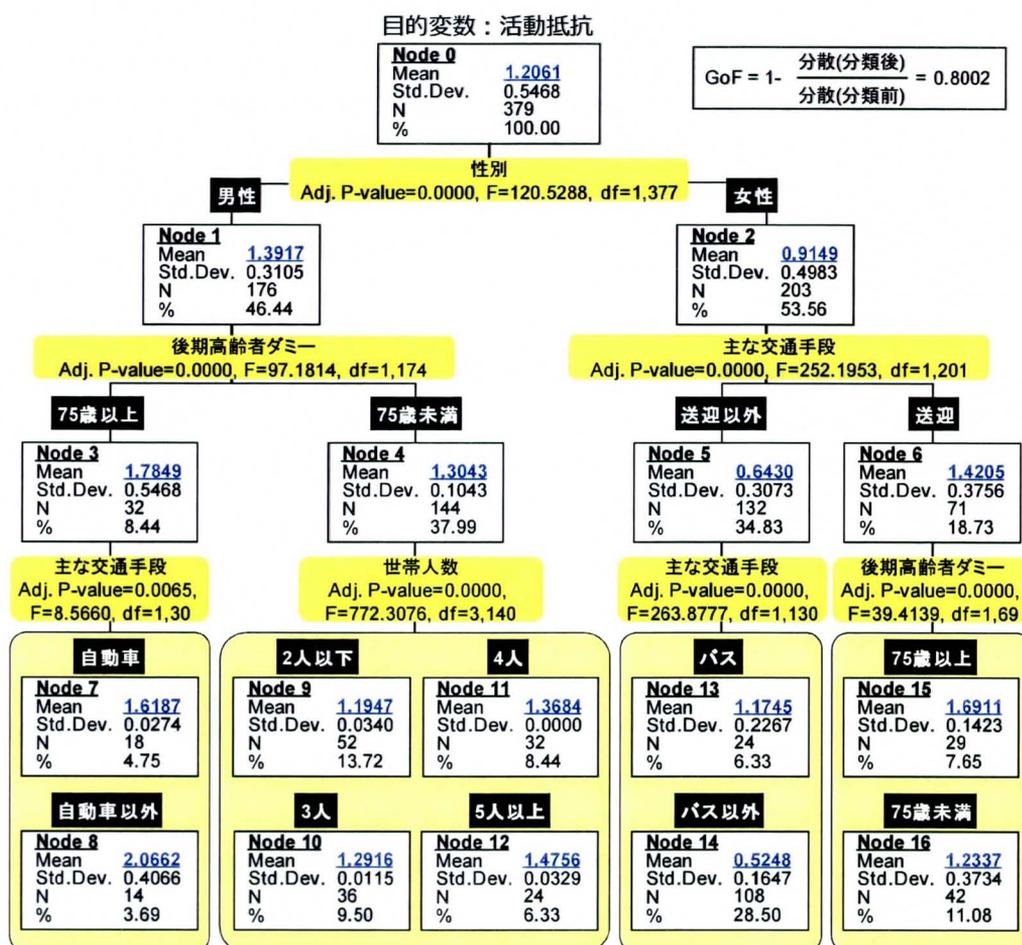


図 5.8 決定木分析による活動抵抗に基づく母集団の分類結果（過疎地域の買物活動参加）

以上の結果から、従来、移動抵抗や活動抵抗について議論を行う上で「各種公共交通の利用可能性」、「高齢者単身世帯」といったアプライオリな母集団セグメントがなされてきたが、実証分析で対象としたサンプルでは、前者の分類は特に女性に対して、後者の分類は特に男性に対して当てはまることが明らかとなった。

5.3.3 実証分析 2：発展途上国における学校参加

2 つ目の実証分析では、発展途上国における学校参加の問題を扱う。この場合、5.3.1 において構築したモデルにおける「買物活動に対する意図 I_{ISA} 」が「学校参加に対する意図 I_{ISA} 」になり、例えば親の教育レベル等が意図を構成する変数となる。上述した買物活動のケースと同様に、学校参加に対する意図 I_{ISA} と活動抵抗 R_{ISA} の比較により意思決定が行われるというモデルを構築する。学校参加に関連する活動抵抗として、例えば世帯収入や交通手段の利用可能性等が想定される。

途上国の今後の発展のためには、言うまでもなく教育水準を高めることが重要な要素の 1 つで

あり、バングラディッシュにおいても、教育水準を高めることを目的として Female Secondary School Assistance Project をはじめとした就学率を高めるプロジェクトが多数実施されてきた（例えば World Bank, 2003; UNESCO, 2005; Global March Against Child Labour & ICCLE, 2006）。またバングラディッシュでは、男性は初等教育、女性は中等教育まで学費は無料であり、学校参加に対する最も大きい抵抗要因と想定される家計の支出に対する抵抗を無くする配慮がなされている（男女の差はジェンダー問題への対処の結果である）。しかしながら、それでもなお多くの子供が学校へ参加できていない（又はしていない）状況にある。就学率の統計値は報告する機関によって大きく異なるものの¹、どの統計値を見ても多くの子供が学校に就学できない状況下にあることは明らかである。このことから、学校参加に対する抵抗となっている要因は、世帯収入だけではなく、他の要因にも影響を受けている可能性が高い。例えば、学校までの交通手段の利用可能性やスラム住民等、交通問題や都市計画問題に由来する抵抗要因の存在が考えられる。本実証分析では、これらの点を念頭に置いて、学校参加に対する抵抗を構成する要因を抽出し、活動抵抗の高いサブ集団の特定を試みる。

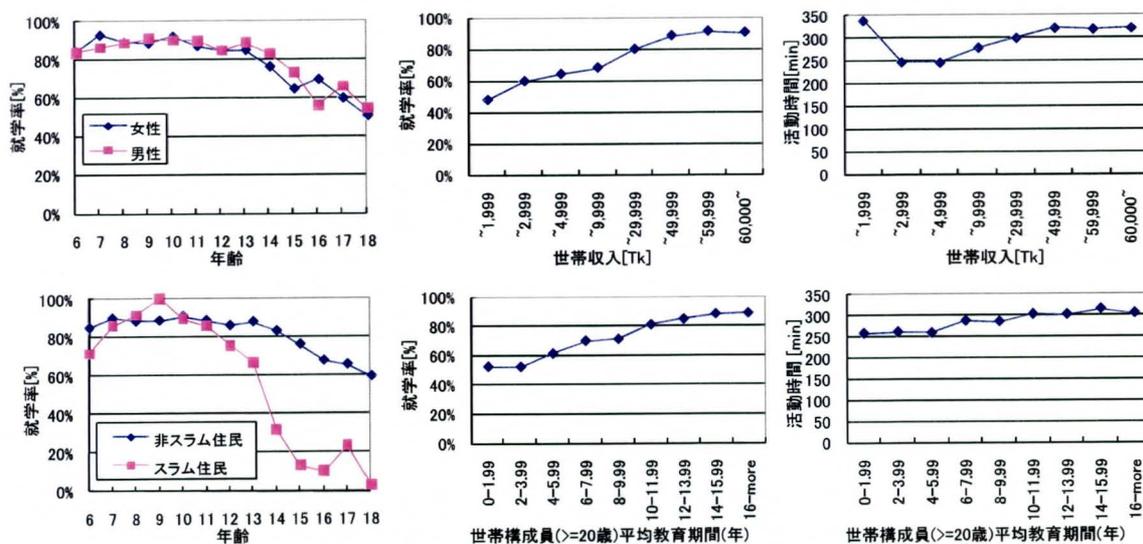
5.3.3.1 使用データ：バングラディッシュダッカのパーソントリップデータ

本実証分析では、2004年にバングラディッシュのダッカで行われたパーソントリップ調査(STP: Strategic Transport Plan (Louis Berger Group Inc. and Bangladesh Consultants Ltd., 2005))から得られたデータを用いる。本データは、4,906世帯 2,0152人の交通行動が記録されたデータであり、通常のパーソントリップ調査と同様に、当該日の交通行動に関する情報に加えて、個人属性や世帯属性が尋ねられている。本実証分析では、このうち6歳～18歳に該当する3,976人のサンプルを抽出し、学校参加に関する分析を進める。本データの特徴の1つは、スラム住民も被験者に含まれている点であり、3,976人のうち401人がスラム住民である。

図 5.9 に、本実証分析において利用するデータを用いた学校参加に関する基礎集計の結果を示す。図より、男女間で就学率に大きな差は見られない一方で、スラム住民か否かによって13歳以降の就学率に大きな差が見られる。また、世帯収入の増加に伴い就学率（活動時間）が高く（長く）なることが確認できる（ただし、世帯収入の最も低い層においては、就学率は低い一方で、活動時間長は長い傾向にある。この理由については、本分析からは把握できなかった。今後の課題としたい）。また、世帯収入と同様に就学率に大きく影響する要因として、20歳以上の世帯構成員の平均教育期間（学生であった期間）が挙げられる。このことから、教育水準の高い両親を持つ子供ほど、就学する可能性が高いことが分かる。

以上の集計分析から、子供の学校参加は、世帯収入だけではなく、複数の要因の影響を受けて決定されるものと考えられる。

¹ 例えば 2001 年の Bangladesh Census では 6-14 歳の子供のうち 1,018 万人が、2002-2003 年の Bangladesh Bureau of Statistics では 6-14 歳の子供のうち 212 万人が就学できていないことを報告している。



※1US ドル=56.5[Tk] (2004年1月時点)

図 5.9 ダッカにおける学校参加に関する基礎集計結果

5.3.3.2 実証分析結果

5.3.2.2と同様に、 b_{IOA} を0に、 a_{IOA} を10に、 w_{IOA} を0.5に固定し、可処分時間24時間(=1440分)を15としてモデルを推定した結果を表5.8に示す。表5.8に併せて示している従来モデルと自由度調整済み尤度比、AICを比較すると、従来モデルよりも本研究で構築したモデルの方が精度よく推定されていることが確認できる。

まず、学校参加に対する意図を表現する潜在変数 I_{ISA} の推定結果について考察する。図5.1の集計結果と同様に、性別の差は有意に観測されなかった一方、年齢が高い個人ほど学校への参加の意図は低くなる結果となった。また、20歳以上の世帯構成員の教育水準が高いほど学校参加に対する意図は高くなる傾向にある。この結果は、世帯構成員の教育水準が子供の学校参加に正の影響を与えることを意味しており、一度ある世代の教育水準を上げることにより、その後の世代の学校参加が高まるといった正の循環が生じる可能性がある。

次に、効用関数の推定結果について、再度図5.6を参照しながら考察する。結果より、世帯収入が多いほど、学校への配分時間は長くなることが確認できる(なお、世帯収入が10,000~29,999[Tk]の世帯を基準(パラメータを0に固定)とした推定結果となっている)。ただし、最も世帯収入の低い層(世帯収入が~1,999[Tk])では活動抵抗が高くなる結果となった。また、バス利用者の活動抵抗が高くなる傾向にあることが確認できる。この結果は、学校参加に対するバスのサービス水準が他の活動の遂行に対するサービス水準と比べて低いことを示しているものと考えられる。また、スラム居住者のパラメータは有意とはならなかったが、パラメータ a_{IOA} が極めて大きな値を取っていることから、学校参加に対する意図 I_{ISA} と活動抵抗 R_{ISA} の値が非常に近い値を取っていると考えられる(図5.3参照)。これより、スラム住民の学校参加に対する活動抵抗は高い水準にある可能性がある。

表 5.8 モデルの推定結果 (ダツカ学校参加)

| 説明変数 | 従来モデル (限界効用逓減) ³⁾ | | 提案モデル (限界効用逓増+逓減) | |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------|------------|
| | パラメータ | t 値 | パラメータ | t 値 |
| 潜在変数 I_{NSA} | | | | |
| 性別 (1: 女性 1; 0: 男性) | -0.016 | -0.453 | -0.016 | -0.905 |
| 年齢 | -0.084 | -16.566 ** | -0.039 | -11.758 ** |
| 世帯構成員(>=20 歳)平均教育期間(年) | 0.053 | 11.123 ** | 0.011 | 3.915 ** |
| 定数項 | 1.233 | 15.319 ** | 1.138 | 21.092 ** |
| 効用関数 u_{NSA} | | | | |
| 世帯収入 (1: ~1,999[TK]; 0: その他) | 0.188 | 1.325 | -5.586 | -0.383 |
| 世帯収入 (1: ~2,999[TK]; 0: その他) | -0.260 | -2.509 * | -0.950 | -0.798 |
| 世帯収入 (1: ~4,999[TK]; 0: その他) | -0.225 | -3.705 ** | -6.211 | -0.099 |
| 世帯収入 (1: ~9,999[TK]; 0: その他) | -0.106 | -3.709 ** | -0.550 | -3.686 ** |
| 世帯収入 (1: ~29,999[TK]; 0: その他) | 0.000 | - | 0.000 | - |
| 世帯収入 (1: ~49,999[TK]; 0: その他) | 0.099 | 3.398 ** | 0.386 | 3.829 ** |
| 世帯収入 (1: ~59,999[TK]; 0: その他) | 0.121 | 2.305 * | 0.384 | 2.279 * |
| 世帯収入 (1: 60,000~[TK]; 0: その他) | 0.114 | 1.850 + | 0.401 | 1.915 + |
| スラム居住 (1: Yes; 0: No) | -0.059 | -2.118 * | -9.378 | -0.314 |
| 月当たり世帯総移動コスト [TK] | 0.002 | 0.306 | 0.014 | 0.800 |
| 月当たり世帯総移動コスト/世帯収入 | 0.157 | 1.378 | 0.235 | 0.495 |
| 当該日におけるバスの利用 (1: Yes; 0: No) | 0.072 | 3.219 ** | -0.156 | -1.854 + |
| 当該日における Rickshaw の利用 (1: Yes; 0: No) | 0.007 | 0.338 | 0.034 | 0.466 |
| 定数項 | -1.564 | -65.175 ** | -1.541 | -10.624 ** |
| 相関パラメータ | 0.912 | 113.298 ** | 0.915 | 116.330 ** |
| 分散パラメータ $\xi^1)$ | 1.000 | - | 1.000 | - |
| 分散パラメータ δ | 1.452 | 68.964 ** | 1.451 | 69.270 ** |
| $LL(0)^2)$ | -10832.67 | | -10832.67 | |
| $LL(\beta)$ | -6687.34 | | -6637.93 | |
| 自由度調整済み尤度比 | 0.3810 | | 0.3845 | |
| AIC | 13412.67 | | 13339.86 | |
| サンプル数 | 3,976 | | 3,976 | |

$$\chi^2 \{-2[LL(Existing Model) - LL(Proposed model)]\} = 98.82 \text{ (df=13) **}$$

- 1) パラメータ識別問題に対処するため, 1 に固定.
 2) 分散パラメータ δ のみを未知パラメータとして推定した最終対数尤度. 推定された分散パラメータ δ は 3.354.
 3) Kitamura(1984)の Type2 の Tobit モデル型時間配分モデル. ただし, 2 段階推定ではなく, 同時推定法を採用.

**1%有意 *5%有意 +10%有意

次に、活動抵抗 R_{iSA} の推定値について考察する。図 5.10 に活動抵抗の度数分布を示す。図より、多くの個人は 125~150 付近に分布している一方で、活動抵抗の低い層（活動抵抗 100 付近）及び活動抵抗の高い層（活動抵抗 180 付近）が存在することが分かる。ここでは、世帯収入の差により生じる活動抵抗の差と、その他の要因に由来する活動抵抗の差を見ることを目的に、世帯収入による母集団セグメントに加えて、1) 居住地によるセグメント（図 5.11）、2) 交通手段によるセグメント（図 5.12）を行った。結果から得られた知見を以下にまとめる。

- (i). 概ね世帯収入の増加に伴い活動抵抗は減少する傾向にあることが分かる。一方、図 5.11 に示したように、スラム住民と非スラム住民に分けて結果を眺めると、世帯収入が~2,999 [Tk]までは世帯収入の増加に伴い活動抵抗が減少する傾向にあることが確認できるものの、スラム住民においては、その後、世帯収入の増加に伴い活動抵抗は増加に転じる傾向にあることが分かる（集計分析の結果も同様の傾向を示している（スラム住民(学校参加)の平均世帯収入: 4,397[Tk]; スラム住民(学校不参加)の平均世帯収入: 5,482[Tk])）。この結果は、世帯収入が、特にスラム住民の学校参加への活動抵抗を把握する上においてあまり有用ではない指標である可能性を示唆している。
- (ii). 図 5.12 より、当該日にバスを利用する個人の活動抵抗が高くなっていることが確認できる。この結果は、上述したように、学校参加に対するバスのサービス水準が他の活動の遂行に対するサービス水準と比べて低いことを示していると考えられる。
- (iii). (i)及び(ii)の点を踏まえると、学校に対する活動抵抗に寄与する要因は、世帯収入が主要な要因であるものの、それ以外の要因によっても左右されることが明らかとなった。

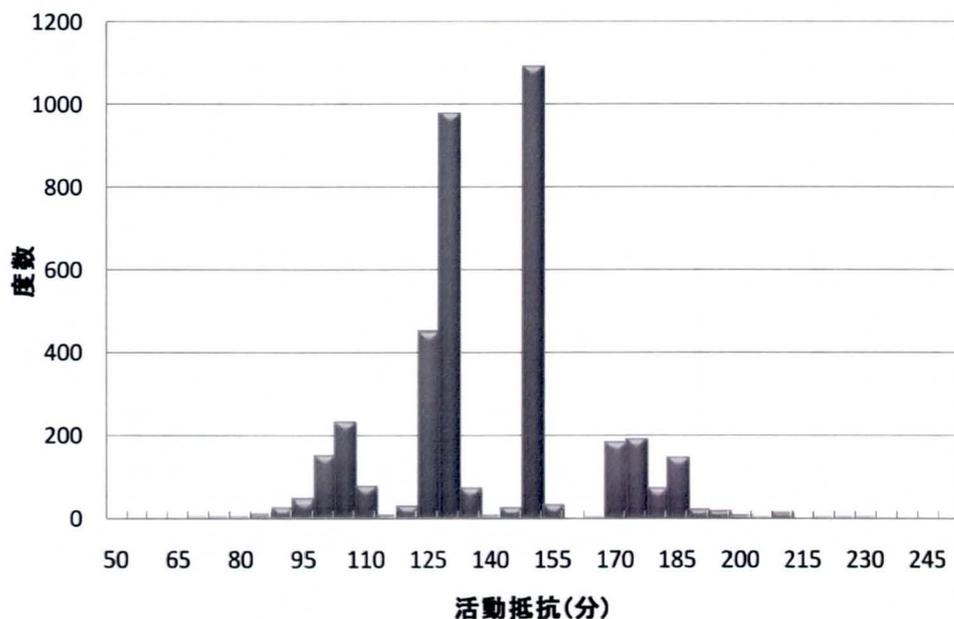


図 5.10 活動抵抗 R_{iSA} の度数分布（ダッカ学校参加）

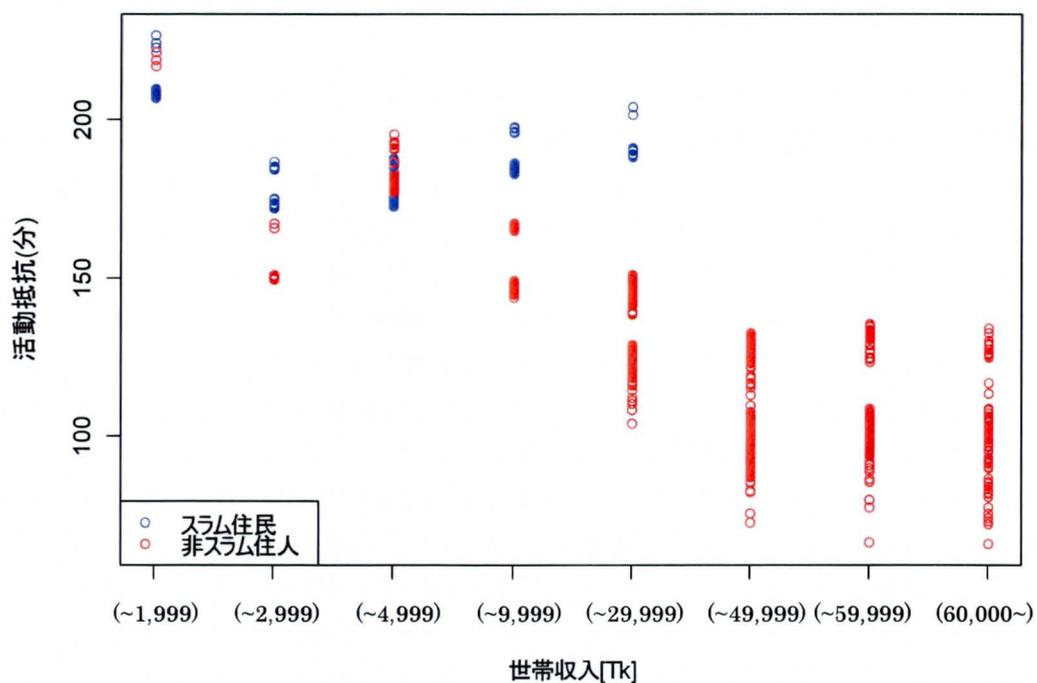


図 5.11 活動抵抗 R_{SA} の分布 (世帯収入・居住地によるセグメント)

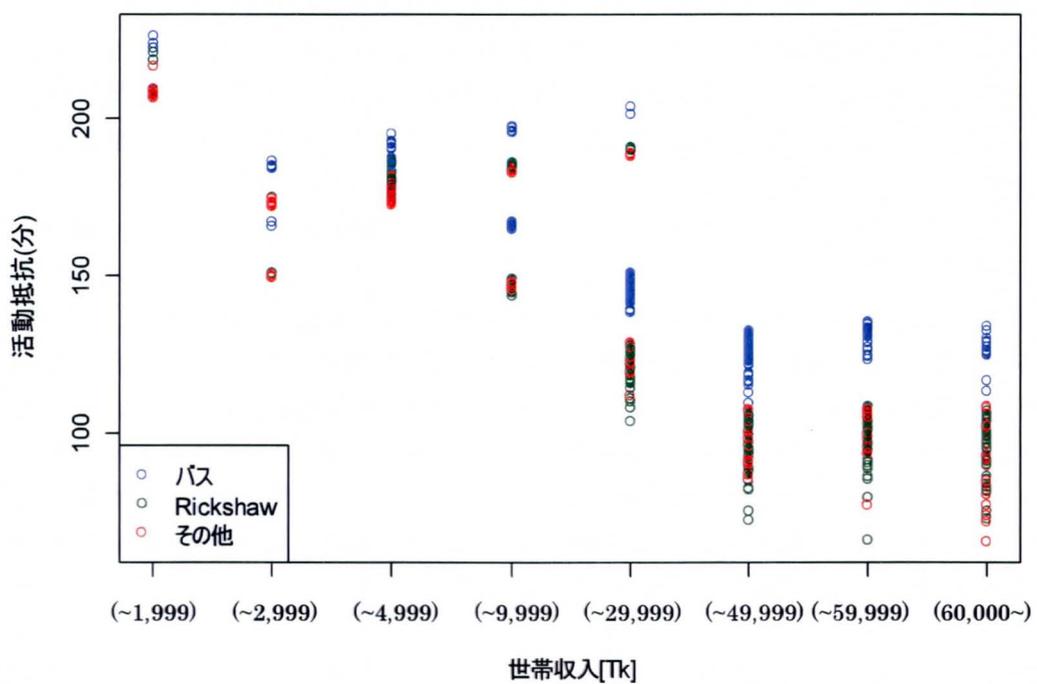


図 5.12 活動抵抗 R_{SA} の分布 (世帯収入・交通手段によるセグメント)

5.3.4 提案手法の有用性と課題

本節では、母集団のセグメント問題を再考することを念頭に置いて、活動抵抗を内生的に考慮した時間配分モデルを構築した。具体的には、効用関数に限界効用逓増と限界効用逓減の双方を扱える関数を仮定することによって、活動抵抗を内生的に考慮した。これによって、行動結果の情報から、直接観測されない活動抵抗を求めることが可能となった。実証分析においては、過疎地域における買物活動参加、発展途上国における学校参加を例に挙げて、モデルの有用性を示した。前者の実証分析の結果、過疎地域の買物活動を対象とした母集団のセグメントにおいては、性別によってその活動抵抗が大きく異なることを考慮する必要があることが示唆された。後者の実証分析の結果、途上国の学校参加を対象とした母集団のセグメントにおいては、世帯収入だけでなく、スラム居住者かどうか、利用交通手段等の影響を考慮する必要性が示唆された。このように、本提案モデルは、明らかに高い活動抵抗が想定される現象に対して有効な手法であると考えられる。また、時間配分問題としてではなく、資源配分問題として捉えた場合、これまで活動抵抗と呼んできた活動参加の閾値は、投資を行うべきかどうかの閾値として見なすことができる。もちろん、資源配分問題の場合、上述したような行動論的な解釈はできないため、モデルの仮定を整理し直す必要がある。資源配分問題への展開が今後の重要な課題の1つである。

また、本提案モデルでは、その効用関数形が複雑な形状をとるため、2つの活動への時間配分問題として定式化するに留まった。3種類以上の活動数を扱う場合、導出される均衡解の数は指数的に増加することとなる。この問題を解決する方法の1つとして、シミュレーションによるヒューリスティックな解を求める方法があるが (Joh, 2004)、この場合、どのように均衡解の指す意味を解釈するのが問題となる。また、ここでは母集団のセグメント手法のためのモデルとして、新たな時間配分モデルを提案したが、資源配分問題への拡張を含めて、交通施策分析ツールとしての利用可能性を検証していくことも今後の重要な課題である。

5.4 母集団セグメントとその変動特性

本節では、4章において行ってきた変動構造を、母集団のセグメントを与えた上で行った場合に得られるセグメントごとの変動構造及びそれらを比較することの意義について議論する。本来、5.3で得られた結果を利用して母集団のセグメントを与えるべきであるが、上で利用したデータはサンプル数が十分ではなく、セグメントごとの変動構造を安定的に特定することは困難である。そこで本節では、豊富なサンプルを有する社会生活基本調査（調査票 A）のデータを用いて介護者の行動特性に焦点を当てた実証分析を行う。具体的には[自宅内介護者・自宅外介護者・非介護者]×[平日・休日]の6つのセグメントを設定し、各セグメントで観測される変動特性の比較分析を行う。

5.4.1では、特に政策分析の観点から、セグメント間の変動特性比較の意義について整理する。

5.4.2では、介護者の時間利用行動に焦点を当てた実証分析を行う。はじめに介護者の交通行動理解の重要性について整理し、その後、使用データの概要を述べる。また、実証分析では、介護者の行動特性について十分な知見が蓄積されていないことを踏まえ、まずセグメント間の平均的

な時間利用行動の差異について統計的な検定を行った後、セグメントごとの変動構造を特定する。なお、変動構造を特定するために使用するモデルは、3.1.4.3において記述したマルチレベルMDCEVモデルである。

5.4.1 セグメント間の変動特性比較の意義

母集団全体を対象としてモデルを構築した場合、ある観測変数の影響は母集団全体で均一であると仮定することになる。一方、仮にセグメント間で意思決定構造が大きく異なる場合、母集団で均一のパラメータを設定することにより、本来捉えることができたであろう変数の影響を見落とす可能性が高い。このような理由から、従来においてもセグメントごとにモデルを構築する機会が多い。しかしながら、セグメントごとにモデルを構築する場合、(特に離散的な性質を持つモデルにおいては)パラメータの推定値をセグメント間で比較することは困難であり、その結果、セグメント間での行動特性の差異を詳細に把握することは困難であった。

一方、その変動構造を特定することにより、非観測要因の影響も含めた全変動のうちのどの程度の変動が対象とする変数に由来しているのかを把握することができる。すなわち、全変動の大きさによって各パラメータの影響を基準化することにより、ある説明変数(又は説明変数セット)の、対象とする行動側面に対する寄与率が算出可能である。この寄与率を算出することによって、セグメント内の情報を用いて同定される各セグメントの意思決定構造を、セグメント間で比較することが可能となる。実際、4章で行った種々の行動側面の変動特性の比較は、全変動の大きさによって各変動要因の影響を基準化することにより可能となった。

このような変動特性のセグメント間の比較は、特に、基準となるサブ集団が存在する場面において政策上有用な示唆を得ることができるものと考えられる。5.4.2において分析する介護者の行動特性の場合、非介護者が基準となるサブ集団であり、自宅内介護/自宅外介護を行う必要のある個人の、非介護者との行動特性の差が、政策上必要な情報であると考えられる。この差を求めするためには、セグメント間のモデルの比較を行う必要が生じる。このような状況下においては、非観測要因の影響も含めた変動構造をセグメントごとに特定し、特定された変動構造をセグメント間で比較する方法が有用なものと考えられる。

5.4.2 実証分析：自宅内/自宅外介護者の時間利用行動を例に

5.4.2.1 背景：介護者の交通行動理解の必要性

他の先進諸国と同様に、我が国においても高齢化の進行が進んでいる。65歳以上の高齢者の割合は、1970年では7.1%であったのが、2008年には22.1%に達している状況にある(内閣府, 2008)。このような状況下においては、高齢者のモビリティをどのように確保していくのが重要な課題であり、これまでににおいても数多くの既往研究において議論がなされてきた(例えば Burkhardt and McGavock, 1999; Harrison and Ragland, 2003; Alsnih and Hensher, 2003; Siren and Hakamies-Blomqvist, 2004)。一方、高齢化社会の到来は、間接的に高齢者以外の行動に影響を与えることが指摘されて

いる。その1つが、ここでの実証分析の対象である介護者の生活・交通行動である。介護者の場合、仕事等の（非介護者にも存在する）生活・交通行動の制約に加えて、被介護者の介護による制約が生じる可能性がある。Wiles(2003)は、介護者の行動が空間的に制約されていることを指摘し、彼らの生活の中心が被介護者を介護する場所付近に集中する傾向にあることを指摘している。また、Gladwell and Bedini (2004)は、被介護者の予期せぬ事態への備えから来る感情的な障害が、彼らのレジャー活動を抑制する要因となっていることを指摘している。これらの点を考慮すると、介護者の生活・交通行動は、被介護者の要求を満たすための結合制約（Hägerstrand, 1970）だけでなく、心理的・感情的な障害によっても制約されていると考えられる。今後、高齢者数の増加に伴い介護者数も増加する可能性は高い。介護の有無が彼らの生活・交通行動に与える影響を正確に把握することによって、どのように高齢者のケアサービスを充実していく必要があるのか、世帯内介護と介護サービスとのバランスをどのように取っていくべきか、等に関する議論を行う上での基礎的な情報を提供する価値は低くはないものと思われる。

5.4.2.2 使用データ：社会生活基本調査データ（調査票A）

実証分析では、社会生活基本調査（調査票A：総務省が平成18年10月に実施）を用いる。このデータは、日本の時間利用の実態を把握することを目的に5年おきに行われている調査であり、当該日における被験者の時間利用の結果、個人属性、世帯属性等が尋ねられている。このデータの欠点は、交通行動に関する情報が極めて少ない点にあり、利用交通手段や活動遂行場所のデータは含まれない。一方で、全都道府県を対象に350,000[個人・日]を超えるサンプルが取得されている点の特徴である。そのため、以下に示す母集団のセグメントを行ったとしても、各セグメントにおいて少なくとも2,000サンプルが確保できる。

実証分析においては、介護を行う主な母集団として20歳以上の既婚者のデータのみ抽出する。さらに、20歳以上の既婚者のデータを、以下の6つのセグメントに分類する。

1. 自宅内介護者の平日の時間利用（3,294[個人]）
2. 自宅外介護者の平日の時間利用（2,128[個人]）
3. 非介護者の平日の時間利用（5,000[個人]）
4. 自宅内介護者の休日の時間利用（5,439[個人]）
5. 自宅外介護者の休日の時間利用（3,450[個人]）
6. 非介護者の休日の時間利用（5,000[個人]）

なお、データの扱いを簡略化するために、膨大なサンプル数を有する非介護者の平日／休日のデータについては5,000サンプルをランダムに抽出した。

原票データでは、次に示す20種類の活動分類がなされているが、ここでは各活動の必要性や制約の程度によって、7つの活動に再分類し直したものを使用する。具体的には、[1] 個人ケア（睡眠、身の回りの用事、食事、受診・診療）、[2] 世帯ケア（家事、介護・看護、育児）、[3] 必須活動（仕事・学業）、[4] 買物活動（買い物）、[5] 自由活動（休養・くつろぎ、学習・研究（学業以

外), 趣味・娯楽, スポーツ, その他), [6] 社会活動 (ボランティア活動・社会参加活動, 交際・つきあい), [7] 移動 (通勤・通学, 移動 (通勤・通学除く)) の7つを設定する (括弧内は原票データにおける分類)。ここで, 介護を世帯ケアの1つとして含めたが, これは, 本研究の目的が, セグメント間の介護そのものへの時間利用の違いではなく, 介護の有無により他の活動への時間利用がどのように異なるのかに主な興味の対象があるためである。表 5.9 に時間利用 (活動参加の有無及び配分時間長) の基本統計量を示す。特徴的な点として, 世帯内介護者では非介護者に比べて移動時間が短くなっているのに対し, 世帯外介護者の移動時間は, 非介護者よりも長くなっていることが挙げられる。これは, 世帯外介護の場合, 介護を行うために空間的な移動を行う必要があることに由来していると考えられる。ただし, 表 5.12 に示すように, 年齢, 男女構成比がセグメントごとに異なるため, 表 5.9 の値を直接比較することは妥当ではないように思われる。そこで, 5.4.2.3 では, 性別, 年齢層別に更にセグメント内のサンプルを分割し, 活動参加及び配分時間長に対するセグメント間差異に関する統計的検定を行う。

表 5.9 時間利用 (活動参加の有無及び配分時間長) の基本統計量

| 活動参加 | 平日 | | | 休日 | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 世帯内 介護者 | 世帯外 介護者 | 非介護者 | 世帯内 介護者 | 世帯外 介護者 | 非介護者 |
| | 遂行人数 (%) | 遂行人数 (%) | 遂行人数 (%) | 遂行人数 (%) | 遂行人数 (%) | 遂行人数 (%) |
| 個人ケア | 3294 (100) | 2128 (100) | 4999 (100) | 5439 (100) | 3450 (100) | 5000 (100) |
| 世帯ケア | 2522 (76.6) | 1588 (74.6) | 2843 (56.9) | 4194 (77.1) | 2646 (76.7) | 2905 (58.1) |
| 必須活動 | 1610 (48.9) | 1189 (55.9) | 2974 (59.5) | 1761 (32.4) | 1009 (29.2) | 1712 (34.2) |
| 買物活動 | 1313 (39.9) | 962 (45.2) | 1724 (34.5) | 2349 (43.2) | 1800 (52.2) | 2203 (44.1) |
| 自由活動 | 3179 (96.5) | 2013 (94.6) | 4772 (95.4) | 5238 (96.3) | 3311 (96.0) | 4824 (96.5) |
| 社会活動 | 475 (14.4) | 345 (16.2) | 699 (14.0) | 1068 (19.6) | 728 (21.1) | 921 (18.4) |
| 移動 | 1726 (52.4) | 1501 (70.5) | 3202 (64) | 2335 (42.9) | 2095 (60.7) | 2754 (55.1) |
| サンプル数 | 3,294 | 2,128 | 5,000 | 5,439 | 3,450 | 5,000 |

| 活動時間長 (min.) | 平日 | | | 休日 | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 世帯内 介護者 | 世帯外 介護者 | 非介護者 | 世帯内 介護者 | 世帯外 介護者 | 非介護者 |
| | Mean (S.D.) |
| 個人ケア | 638.5 (139) | 611.8 (120) | 636.8 (135) | 655.5 (136) | 644.7 (128) | 664.6 (140) |
| 世帯ケア | 224.7 (209) | 210.4 (199) | 136.6 (175) | 232.9 (209) | 208.8 (194) | 137.6 (172) |
| 必須活動 | 216.1 (255) | 258.6 (264) | 287.4 (274) | 123.0 (210) | 115.6 (209) | 144.5 (231) |
| 買物活動 | 25.2 (42) | 28.1 (45) | 22.2 (42) | 33.3 (53) | 40.6 (58) | 37.8 (62) |
| 自由活動 | 274.7 (178) | 246.3 (168) | 284.1 (195) | 321.7 (197) | 329.4 (201) | 366.4 (221) |
| 社会活動 | 18.7 (62) | 23.6 (78) | 20.5 (67) | 35.6 (98) | 37.9 (104) | 34.2 (94) |
| 移動 | 42.0 (62) | 61.2 (73) | 52.5 (70) | 38.1 (72) | 63.1 (91) | 54.8 (88) |
| 合計 | 1440.0 | 1440.0 | 1440.0 | 1440.0 | 1440.0 | 1440.0 |
| サンプル数 | 3,294 | 2,128 | 5,000 | 5,439 | 3,450 | 5,000 |

5.4.2.3 セグメント間の行動差異に関する統計的検定

ここでは、セグメント間の時間利用行動の平均値の差異を明らかにするために、ピアソンのカイ二乗検定を用いて当該活動を行うかどうか（活動参加）に対する検定を、ウェルチの t 検定を用いて活動時間長に対する検定を行う。帰無仮説は「介護者と非介護者の活動参加及び活動時間長の平均は等しい」である。なお、年齢、性別の構成がセグメントごとに異なることから（表 5.12 参照）、性別、年齢層別に検定を行う。

表 5.10 及び表 5.11 に検定結果を示す。表から分かるように、複数の活動種類における活動参加及び活動時間長において統計的に有意な差が観測された。以下に主要な知見をまとめる。

- 1) 個人ケア：活動参加については、全ての個人が参加しているため有意な差はないものの、配分時間長の差に着目すると、特に休日の女性の個人ケアへの配分時間が有意に短い傾向にあることが分かる。また、世帯外介護を行う高齢者においても個人ケアへの時間配分は減少する傾向にある。
- 2) 世帯ケア：活動参加及び活動時間長ともに多くの年齢層において有意な差が観測された。また、70 歳以上の自宅内／自宅外介護者の活動参加及び活動時間長は、非介護者に比べて極めて高いことが確認できる。特に 70 歳以上の介護を行う男性の場合、活動参加率は非介護者の 2 倍以上、活動時間長は非介護者の 3 倍以上となっている。
- 3) 必須活動：平日の活動参加率は、男性女性とも 70 歳未満の年齢層においては有意な差は観測されなかった。これより、少なくとも平日においては、女性であっても、介護の有無が労働市場への参加に対する意思決定に影響を及ぼさないものと考えられる。ただし、配分時間長についてはいくつか有意に短い結果が観測されている。これより、仕事への参加に対する意思決定は変更しないものの、活動時間長を調整することによって介護の時間を捻出している可能性がある。
- 4) 買物活動：活動参加及び活動時間長ともに、男性の介護者の場合は非介護者よりも高くなる傾向に、女性の介護者の場合は非介護者よりも低くなる傾向にある。この理由の 1 つとして、介護者の世帯内の役割分担が、非介護者の世帯内の役割分担と異なる構造を持つ可能性が挙げられる。すなわち、非介護者の世帯では女性が主に日常品の買物活動を担う一方、介護者の世帯では男性が買物活動を行う傾向にある可能性がある。
- 5) 自由活動：活動参加に対する有意な差はほとんど観測されなかった一方、活動時間長については特に高齢者において有意に短くなる傾向にある。特に 70 歳以上の自宅外介護を行う個人の自由活動への配分時間が短くなっている。
- 6) 社会活動：男性の活動参加及び活動時間長については、有意に高い値がいくつか観測されている一方、女性についてはいくつかの年齢層において有意に低い値が観測される結果となった。特に非介護者との差が顕著なのは 70 歳以上の男性の世帯外介護者であり、平日においては活動参加及び活動時間長は非介護者の 2 倍以上となっている。
- 7) 移動：概して、世帯内介護者の移動時間は短くなる傾向に、世帯外介護者の移動時間は長くなる傾向にある。これは、Wiles(2003)が指摘するように、介護者の生活の中心が被介護者を

介護する場所付近に集中する傾向にあることに由来していると考えられる。

以上、セグメント間の時間利用行動の平均値の差異を明らかにすることを目的に行った統計的検定の結果に関する考察を行った。まとめると、主に世帯ケア（介護含む）への時間を確保するために、1) 世帯内介護者は、平日においては自由活動と移動への配分時間の減少を、休日においては必須活動（主に高齢者）、買物活動（主に女性）、自由活動、移動（主に女性と高齢者）への配分時間を減少させ、2) 世帯外介護者は、平日においては個人ケアと自由活動への配分時間の減少を、休日においては個人ケア（主に女性と高齢者）、必須活動、自由活動への配分時間を減少させていることが明らかとなった。また、介護の存在が少なくとも平日における必須活動への参加を妨げないこと、世帯内の買物活動の役割分担が非介護者と異なる構造を持つ可能性があることが示唆された。

上に見たように、他の活動への配分時間長を減少することにより介護への時間を確保する場面が多いものと考えられる。これに反して、高齢男性の自宅外介護者は、個人ケアや自由活動への配分時間を大幅に減少させることにより、買物活動、社会活動、移動への配分時間を増加させる傾向にあることが示された。この結果は、彼らの生活パターンが非常に能動的であることを示している。このような社会的な活動への配分時間の増加をもたらす要因の1つとして、介護活動時におけるソーシャルネットワークの役割が挙げられる。保険・医療社会学では、ソーシャルネットワークの存在は、介護者の感情を他人と分かち合い、介護の役割について再考し、引き続き介護を行っていくための活力を得る上で重要な役割を果たしていることが指摘されている（例えば Hardy and Riffle, 1993; Cohen et al. 1994）。移動を伴う自宅外介護という介護形態は、こういった特徴を持つ社会活動への参加を容易にさせる傾向にあると考えられる。

表 5.10 活動参加に関するカイニ乗検定の結果 (性別及び年齢別)

| 活動参加率 (%) | 男性 | | | | | | 女性 | | | | | | 男性+女性 | | | | | | |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | 平日 | | | 休日 | | | 平日 | | | 休日 | | | 平日 | | | 休日 | | | |
| | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | |
| 30-39 歳 | IM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | HM | 46 | 15 | 27 | 40 | 35 | 37 | 99 | 100 | 96 | 98 | 94 | 94 | 82 | 77 | 64 | 80 | 81 | 68 |
| | MA | 94 | 88 | 92 | 51 | 59 | 45 | 51 | 49 | 51 | 25 | 17 | 18 | 64 | 59 | 70 | 33 | 26 | 30 |
| | Sh | 17 | 12 | 11 | 40 | 26 | 39 | 56 | 63 | 52 | 60 | 69 | 64 | 44 | 50 | 33 | 54 | 59 | 52 |
| | DA | 94 | 94 | 92 | 96 | 91 | 95 | 90 | 94 | 92 | 93 | 94 | 94 | 91 | 94 | 92 | 94 | 94 | 95 |
| | SA | 8.3 | 15 | 8.7 | 18 | 17 | 13 | 14 | 12 | 13 | 14 | 18 | 17 | 12 | 13 | 11 | 15 | 18 | 15 |
| | Tr | 81 | 91 | 89 | 71 | 74 | 75 | 65 | 84 | 70 | 61 | 68 | 64 | 70 | 86 | 79 | 64 | 69 | 69 |
| 40-49 歳 | IM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | HM | 26 | 21 | 12 | 36 | 38 | 23 | 97 | 94 | 95 | 96 | 95 | 93 | 74 | 72 | 57 | 79 | 79 | 61 |
| | MA | 95 | 92 | 96 | 49 | 41 | 49 | 57 | 61 | 64 | 28 | 24 | 30 | 69 | 71 | 78 | 34 | 29 | 39 |
| | Sh | 12 | 6.3 | 8.0 | 31 | 35 | 32 | 58 | 66 | 60 | 63 | 69 | 66 | 43 | 48 | 36 | 54 | 60 | 51 |
| | DA | 92 | 89 | 91 | 96 | 94 | 95 | 95 | 94 | 97 | 97 | 95 | 96 | 94 | 92 | 94 | 97 | 95 | 96 |
| | SA | 12 | 12 | 11 | 22 | 17 | 15 | 18 | 15 | 15 | 20 | 20 | 18 | 16 | 14 | 13 | 20 | 19 | 17 |
| | Tr | 88 | 91 | 88 | 69 | 65 | 70 | 71 | 79 | 75 | 59 | 68 | 66 | 76 | 83 | 81 | 62 | 67 | 68 |
| 50-59 歳 | IM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | HM | 29 | 20 | 11 | 37 | 37 | 19 | 96 | 94 | 94 | 95 | 93 | 90 | 72 | 71 | 53 | 73 | 74 | 54 |
| | MA | 87 | 89 | 88 | 50 | 44 | 50 | 53 | 55 | 58 | 32 | 28 | 35 | 65 | 66 | 73 | 39 | 33 | 43 |
| | Sh | 13 | 13 | 13 | 29 | 32 | 29 | 53 | 59 | 60 | 55 | 62 | 63 | 38 | 45 | 37 | 45 | 52 | 45 |
| | DA | 96 | 92 | 92 | 95 | 96 | 96 | 98 | 96 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 95 | 95 | 96 | 97 | 97 |
| | SA | 8.8 | 8.3 | 10 | 19 | 20 | 19 | 14 | 16 | 17 | 23 | 23 | 21 | 12 | 14 | 13 | 21 | 22 | 20 |
| | Tr | 74 | 82 | 83 | 56 | 67 | 60 | 62 | 69 | 65 | 47 | 61 | 61 | 66 | 73 | 74 | 51 | 63 | 60 |
| 60-69 歳 | IM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | HM | 49 | 48 | 26 | 44 | 49 | 27 | 95 | 99 | 93 | 95 | 95 | 92 | 76 | 80 | 58 | 74 | 77 | 58 |
| | MA | 56 | 58 | 58 | 42 | 33 | 36 | 35 | 28 | 34 | 31 | 24 | 23 | 44 | 40 | 47 | 36 | 27 | 30 |
| | Sh | 26 | 24 | 21 | 31 | 31 | 29 | 53 | 58 | 53 | 50 | 60 | 59 | 42 | 45 | 36 | 42 | 49 | 43 |
| | DA | 96 | 96 | 98 | 96 | 96 | 99 | 96 | 96 | 98 | 97 | 97 | 98 | 96 | 96 | 98 | 96 | 97 | 98 |
| | SA | 16 | 19 | 15 | 21 | 22 | 21 | 16 | 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 16 | 20 | 17 | 21 | 22 | 22 |
| | Tr | 48 | 68 | 61 | 43 | 58 | 47 | 39 | 53 | 44 | 37 | 53 | 46 | 43 | 59 | 53 | 40 | 55 | 47 |
| 70+ 歳 | IM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | HM | 73 | 69 | 29 | 71 | 68 | 28 | 93 | 95 | 90 | 93 | 93 | 83 | 84 | 82 | 54 | 84 | 80 | 51 |
| | MA | 24 | 26 | 29 | 23 | 24 | 30 | 16 | 19 | 24 | 15 | 14 | 21 | 20 | 22 | 27 | 18 | 19 | 26 |
| | Sh | 40 | 31 | 23 | 32 | 36 | 24 | 36 | 47 | 39 | 34 | 46 | 36 | 38 | 39 | 30 | 33 | 41 | 29 |
| | DA | 99 | 98 | 99 | 97 | 95 | 98 | 98 | 92 | 99 | 96 | 94 | 97 | 99 | 95 | 99 | 96 | 94 | 98 |
| | SA | 16 | 36 | 16 | 17 | 22 | 15 | 15 | 18 | 15 | 16 | 18 | 20 | 15 | 26 | 15 | 16 | 20 | 17 |
| | Tr | 32 | 56 | 34 | 21 | 45 | 31 | 26 | 59 | 29 | 19 | 51 | 27 | 29 | 58 | 32 | 20 | 48 | 29 |
| 全年齢合計 | IM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | HM | 47 | 34 | 21 | 47 | 44 | 26 | 95 | 96 | 94 | 95 | 94 | 90 | 77 | 75 | 57 | 77 | 77 | 58 |
| | MA | 61 | 73 | 71 | 41 | 38 | 42 | 41 | 47 | 48 | 27 | 24 | 26 | 49 | 56 | 60 | 32 | 29 | 34 |
| | Sh | 25 | 17 | 16 | 31 | 33 | 30 | 50 | 60 | 54 | 50 | 62 | 59 | 40 | 45 | 35 | 43 | 52 | 44 |
| | DA | 97 | 93 | 95 | 96 | 95 | 97 | 97 | 95 | 96 | 96 | 96 | 96 | 97 | 95 | 95 | 96 | 96 | 97 |
| | SA | 13 | 15 | 12 | 19 | 20 | 17 | 15 | 17 | 16 | 20 | 22 | 20 | 14 | 16 | 14 | 20 | 21 | 18 |
| | Tr | 56 | 77 | 70 | 46 | 62 | 56 | 50 | 67 | 58 | 41 | 60 | 54 | 52 | 71 | 64 | 43 | 61 | 55 |

注釈: 1) IH: 世帯内介護者; OH: 世帯外介護者; No: 非介護者.
 2) IM: 個人ケア; HM: 世帯ケア; MA: 必須活動; Sh: 買物活動;
 DA: 自由活動; SA: 社会活動; Tr: 移動.
 3) 影付き太字の数字は、非介護者に比べて当該活動への参加率が有意(5%)に高いことを示す。影付き下線付きイタリックの数字は、非介護者に比べて当該活動への参加率が有意(5%)に低いことを示す。なお、20-29 歳については、サンプル数が少ないため、本表から除外している(自宅内介護者/自宅外介護者の平日(休日)のサンプル数は 20/17 (38/39)であった)。

表 5.11 活動時間長に関する t 検定の結果 (性別及び年齢別)

| 活動時間長 (min) | 男性 | | | | | | 女性 | | | | | | 男性+女性 | | | | | | |
|----------------|----|------------|------------|-----|------------|------------|-----|------------|------------|-----|------------|------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 平日 | | | 休日 | | | 平日 | | | 休日 | | | 平日 | | | 休日 | | | |
| | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | IH | OH | No | |
| 30-39 歳 | IM | 573 | 584 | 588 | 662 | 609 | 648 | <u>568</u> | 592 | 612 | 649 | 660 | 654 | 569 | 590 | 601 | 653 | 648 | 652 |
| | HM | 41 | 30 | 23 | 74 | 58 | 58 | 386 | 344 | 319 | 345 | 300 | 308 | 278 | 259 | 180 | 260 | 245 | 192 |
| | MA | 594 | 522 | 557 | 253 | 297 | 229 | 198 | 181 | 214 | 82 | 66 | 69 | 322 | 272 | 374 | 136 | 119 | 143 |
| | Sh | 14 | 5.5 | 8.9 | 39 | 38 | 39 | 33 | 35 | 32 | 50 | 58 | 53 | 27 | 27 | 21 | 46 | 54 | 47 |
| | DA | <u>136</u> | 193 | 179 | <u>306</u> | 312 | 360 | 189 | 200 | 195 | <u>246</u> | 258 | 260 | 172 | 198 | 187 | 265 | 270 | 306 |
| | SA | 19 | 20 | 15 | 37 | 38 | 28 | 13 | 15 | 19 | <u>17</u> | 35 | 33 | 15 | 16 | 17 | 23 | 35 | 30 |
| | Tr | 64 | 86 | 70 | 69 | 87 | 78 | 53 | 75 | 51 | 51 | 63 | 63 | 56 | 78 | 60 | 57 | 69 | 70 |
| 40-49 歳 | IM | 578 | 586 | 584 | 637 | 644 | 648 | 567 | <u>564</u> | 583 | <u>598</u> | 620 | 627 | 570 | 571 | 584 | 609 | 627 | 637 |
| | HM | 20 | 20 | 9.4 | 44 | 53 | 32 | 330 | 295 | 259 | 329 | 295 | 240 | 231 | 211 | 144 | 249 | 229 | 145 |
| | MA | 541 | 560 | 565 | 243 | 207 | 247 | <u>218</u> | 256 | 260 | 102 | <u>88</u> | 114 | 321 | 349 | 400 | 141 | 120 | 175 |
| | Sh | 6.3 | 2.7 | 3.7 | 27 | 30 | 32 | 32 | 35 | 34 | 51 | 55 | 57 | 24 | 25 | 20 | 44 | 48 | 46 |
| | DA | 199 | 151 | 177 | 368 | 398 | 383 | 213 | <u>206</u> | 230 | 276 | 289 | 297 | 209 | 189 | 205 | 302 | 319 | 336 |
| | SA | 17 | 41 | 19 | 52 | 35 | 28 | 24 | 23 | 19 | 32 | 30 | 36 | 22 | 29 | 19 | 38 | 31 | 32 |
| | Tr | 78 | 78 | 82 | 69 | 72 | 71 | 56 | 61 | 54 | <u>52</u> | 64 | 68 | 63 | 66 | 67 | 57 | 66 | 69 |
| 50-59 歳 | IM | 615 | 610 | 606 | 647 | 650 | 644 | 596 | 595 | 603 | <u>621</u> | <u>627</u> | 642 | 603 | 600 | 605 | 631 | 635 | 643 |
| | HM | 33 | 24 | 8.8 | 61 | 55 | 23 | 297 | 259 | 225 | 314 | 262 | 222 | 202 | 185 | 118 | 217 | 194 | 122 |
| | MA | <u>472</u> | 493 | 501 | 238 | <u>203</u> | 237 | 221 | 231 | 239 | <u>114</u> | <u>100</u> | 135 | 311 | 314 | 369 | 161 | 134 | 187 |
| | Sh | 8.9 | 7.6 | 6.8 | 25 | 27 | 25 | 31 | 38 | 35 | <u>42</u> | 47 | 50 | 23 | 28 | 21 | 35 | 40 | 37 |
| | DA | 232 | 214 | 229 | <u>379</u> | <u>382</u> | 411 | <u>235</u> | <u>240</u> | 268 | <u>264</u> | 297 | 297 | 234 | 232 | 249 | 308 | 325 | 355 |
| | SA | 14 | 12 | 13 | 38 | 48 | 40 | <u>15</u> | 19 | 22 | 41 | 39 | 36 | 14 | 16 | 18 | 40 | 42 | 38 |
| | Tr | 65 | 80 | 74 | 52 | 75 | 59 | 46 | 58 | 47 | <u>44</u> | 68 | 58 | 53 | 65 | 60 | 47 | 70 | 59 |
| 60-69 歳 | IM | 663 | <u>646</u> | 671 | 672 | 675 | 666 | 641 | <u>628</u> | 655 | <u>649</u> | <u>649</u> | 668 | 650 | 635 | 664 | 659 | 659 | 667 |
| | HM | 85 | 70 | 34 | 83 | 70 | 39 | 323 | 336 | 236 | 313 | 286 | 227 | 224 | 233 | 131 | 219 | 200 | 129 |
| | MA | 253 | 281 | 267 | 173 | 133 | 155 | 125 | <u>93</u> | 120 | 96 | 73 | 75 | 178 | 166 | 197 | 128 | 97 | 116 |
| | Sh | 19 | 19 | 15 | 25 | 22 | 26 | 35 | 39 | 38 | <u>36</u> | 47 | 49 | 28 | 31 | 26 | 31 | 37 | 37 |
| | DA | <u>342</u> | <u>329</u> | 372 | <u>401</u> | 434 | 463 | <u>266</u> | <u>273</u> | 322 | <u>276</u> | <u>301</u> | 337 | 298 | 295 | 348 | 327 | 354 | 402 |
| | SA | 31 | 30 | 26 | 49 | 41 | 43 | 26 | 27 | 28 | 38 | 34 | 39 | 25 | 28 | 27 | 42 | 36 | 41 |
| | Tr | 46 | 65 | 53 | 37 | 65 | 49 | <u>29</u> | 44 | 39 | <u>32</u> | 49 | 45 | 36 | 52 | 47 | 34 | 56 | 47 |
| 70+ 歳 | IM | 730 | <u>700</u> | 745 | 722 | <u>695</u> | 739 | 710 | 700 | 725 | 709 | <u>665</u> | 721 | 719 | 700 | 737 | 714 | 681 | 731 |
| | HM | 159 | 133 | 43 | 156 | 167 | 36 | 309 | 336 | 212 | 316 | 338 | 198 | 240 | 237 | 113 | 255 | 249 | 104 |
| | MA | <u>81</u> | 88 | 104 | <u>70</u> | 81 | 97 | 45 | 41 | 62 | <u>36</u> | 42 | 64 | 61 | 64 | 87 | 49 | 62 | 83 |
| | Sh | 25 | 18 | 18 | 23 | 25 | 20 | 25 | 31 | 27 | 24 | 27 | 27 | 25 | 25 | 22 | 24 | 26 | 23 |
| | DA | <u>402</u> | <u>391</u> | 479 | <u>420</u> | <u>386</u> | 491 | <u>317</u> | <u>267</u> | 369 | <u>323</u> | <u>307</u> | 376 | 356 | 327 | 434 | 360 | 348 | 443 |
| | SA | 18 | 61 | 23 | 31 | 52 | 28 | 18 | 24 | 21 | <u>20</u> | <u>17</u> | 29 | 18 | 42 | 22 | 24 | 35 | 28 |
| | Tr | 25 | 50 | 28 | <u>18</u> | 33 | 30 | <u>17</u> | 41 | 24 | <u>12</u> | 43 | 25 | 20 | 45 | 26 | 14 | 38 | 28 |
| 全年齢合計 | IM | 657 | 626 | 643 | 671 | 661 | 669 | 627 | 604 | 631 | 646 | 636 | 660 | 639 | 612 | 637 | 655 | 645 | 665 |
| | HM | 83 | 50 | 24 | 89 | 73 | 36 | 316 | 294 | 251 | 319 | 281 | 240 | 225 | 210 | 137 | 233 | 209 | 138 |
| | MA | 309 | 396 | 387 | 182 | 173 | 194 | 156 | 187 | 186 | 88 | 85 | 95 | 216 | 259 | 287 | 123 | 116 | 145 |
| | Sh | 16 | 11 | 11 | 25 | 27 | 27 | 31 | 37 | 34 | 38 | 48 | 48 | 25 | 28 | 22 | 33 | 41 | 38 |
| | DA | 305 | 257 | 296 | 391 | 395 | 423 | 255 | 241 | 272 | 281 | 294 | 309 | 275 | 246 | 284 | 322 | 329 | 366 |
| | SA | 20 | 28 | 19 | 40 | 44 | 34 | 18 | 21 | 22 | 33 | 35 | 34 | 19 | 24 | 20 | 36 | 38 | 34 |
| | Tr | 49 | 72 | 60 | 42 | 67 | 56 | 37 | 56 | 45 | 36 | 61 | 53 | 42 | 61 | 53 | 38 | 63 | 55 |

注釈: 1) IH: 世帯内介護者; OH: 世帯外介護者; No: 非介護者。
 2) IM: 個人ケア; HM: 世帯ケア; MA: 必須活動; Sh: 買物活動;
 DA: 自由活動; SA: 社会活動; Tr: 移動。
 3) 影付き太字の数字は、非介護者に比べて当該活動への時間配分長が有意(5%)に高いことを示す。影付き下線付きイタリックの数字は、非介護者に比べて当該活動への時間配分長が有意(5%)に低いことを示す。なお、20-29 歳については、サンプル数が少ないため、本表から除外している(自宅内介護者/自宅外介護者の平日(休日)のサンプル数は 20/17 (38/39)であった)。

5.4.2.4 モデルの概要（マルチレベル MDCEV モデル）

5.4.2.1 では、セグメント間の平均的な時間利用行動の差異について議論した。次に、セグメント内の時間利用行動の差異に関する情報を利用して特定した変動構造をセグメント間で比較する。変動構造の特定には、3章において構築したマルチレベル MDCEV モデルを用いる。ただし、使用データは、連続時間パネルデータではなく 1 時点の横断データであるため、個人内変動と個人間変動（世帯間）の識別はできず、また、経日変動も観測されない。よって、3.1.4.3 に示したモデルを簡略化した以下のモデルを採用する。

$$P(t_{is}) = \frac{(M_i - 1)!}{\sigma^{M_i - 1}} \left[\prod_{m_i=1}^{M_i} \frac{1}{(t_{is}^{m_i} + 1)} \right] \left[\sum_{m_i=1}^{M_i} (t_{is}^{m_i} + 1) \right] \left[\frac{\prod_{m_i=1}^{M_i} \exp(V_{is}^{m_i} / \sigma)}{\left(\sum_{j=1}^J \exp(V_{is}^j / \sigma) \right)^{M_i}} \right] \quad (5.24)$$

$$V_{is}^j = \beta x_{is} + \gamma_i^j + \gamma_s^j - \ln(t_{is}^{j*} + 1) \quad (5.25)$$

ここで、

- β : 未知パラメータ
- x_{is} : 観測変数（説明変数）
- γ_i^j : $\gamma_i^j \sim N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従うランダム変数（非観測個人間変動に対応）
- γ_s^j : $\gamma_s^j \sim N(0, \sigma_{sj}^2)$ に従うランダム変数（非観測空間変動に対応）
- ε_{is}^j : 分散 $\sigma^2 \pi^2 / 6$ に従うランダム変数 [σ は 0.2 に固定]（非観測個人間変動に対応）

個人内変動と個人間変動を合わせた変動成分をここでは個人間変動と呼称する。空間変動については、県レベルの居住地 ($s=1,2,\dots,47$) を用いて定義する。

モデルの推定には MCMC 法を用いた。ここでは、サンプルの生成回数を 800,000 回、稼働検査期間（棄却したサンプリング回数）を 300,000 回とし、50 回毎にサンプリングを間引くことにより、最終的に 10,000 回のサンプルを事後分布として用いた。

モデルの同定に使用する説明変数を表 5.12 に示す。変動構造の特定にあたっては、ここでは「説明変数（または説明変数セット）」そのものが全変動に対してどの程度影響を及ぼしているのかを把握し、それらの影響をセグメント間で比較することに目的があるため、変動構造の特定方法 1 を用いる（特定方法に関する議論は 4.4.3 を参照）。この際、個人ケアをベースの活動種類として変動構造を特定している。ここでは、説明変数セットとして、年齢、性別、ワークスタイル、ICT ツール、世帯属性、天候の 6 個を設定した。

5.4.2.5 実証分析結果

セグメント別に推定したマルチレベル MDCEV モデルの推定結果を表 5.13 に示す。また、表 5.13 の推定結果に基づき算出したセグメントごとの変動特性を図 5.13 に示す。上述したように、パラメータの推定値をセグメント間で直接比較することはできない。そのため、図 5.13 に基づいてど

の説明変数セットが主要な要因であるかを特定した上で、各説明変数の符号等について表 5.13 を参考にしながら考察を進めることとする。以下、分析結果から得られた主要な知見をまとめる。

- 1) 世帯ケア：図 5.13 より、世帯ケアの意思決定に関与する主要な変動要因は、全セグメントにおいて性別（31.8%～50.3%）と非観測個人間異質性（43.6%～63.3%）であることが分かる。ただし、性別による影響は、平日・休日ともに世帯内介護者において小さい傾向にある。性別の差異を表すパラメータ[Male]が全てのセグメントにおいて負となっていることを踏まえると、女性が男性よりも世帯ケアを行う傾向にある点は共通する一方で、自宅内介護者はそれ以外の要因の影響を受けやすいといえる。実際、平日における自宅内介護者の全変動のうち 7.8%がワークスタイルに由来しており、自宅外介護者及び非介護者と比較して高い値を取っていることが分かる。これより、自宅内介護者の世帯ケアの意思決定は、性別だけでなくワークスタイルにも影響を受ける傾向にあるといえる。ただし、非観測個人間変動が占める割合が高いことから、その他の影響要因の存在に注意を払う必要がある点に注意する必要がある。
- 2) 必須活動：必須活動の意思決定に関与する主要な変動要因は、ワークスタイルと非観測個人間変動という結果となった。その構成比は自宅内／自宅外介護者及び非介護者の間で大きな差異は観測されないものの、平日と休日の間に大きな差があることが分かる。具体的には、特に休日において非観測個人間変動が大きい。また、全変動に占める割合は小さいものの、ICT ツールの影響は、特に休日の自宅内介護者に大きい傾向にあることが分かる。具体的には、休日の自宅内介護者においては全変動のうちの 2.0%が ICT ツールに由来している一方、自宅外介護者では 1.0%、非介護者では 0.5%となっていることが分かる。ICT ツールは必須活動への時間利用を減少させる影響を持つことから（表 5.13）、ICT ツールを保有する休日の自宅内介護者の必須活動は短くなる傾向にあるといえる。この理由として、メールや携帯電話を用いることにより、職場に行かずとも自宅内で急な仕事上の用事に対応できる可能性がある点が指摘できる。このことは、Wiles(2003)の指摘—介護者の生活の中心が被介護者を介護する場所付近に集中する傾向にあること—と整合的な結果といえる。
- 3) 買物活動：全てのセグメントにおいて、買物活動の意思決定に関与する主要な変動要因は、非観測個人間変動であるが（77.5%～89.5%）、休日の方が平日よりも高い傾向にあることが確認できる。これは、平日の買物活動が、休日に比べてより性別やワークスタイルに依存していることに由来している。ただし、自宅内介護者は、自宅外介護者及び非介護者に比べて性別に影響を受けにくい結果となっている。この点は、5.4.2.3 において得られた結果と整合的である。
- 4) 自由活動：全変動のうち 2.2%～7.0%がワークスタイルに由来しているものの、その他の変動の多くは非観測個人間変動であることが確認できる（89.0%～96.8%）。これは、導入した変数では自由活動の意思決定はうまく記述できないことを示唆している。特に、自宅外介護者及び休日に属するセグメントにおいてその傾向は強い。
- 5) 社会活動：社会活動においても、その主要な変動要因は非観測個人間変動（81.9%～96.8%）という結果となった。説明変数の影響に着目すると、特に ICT ツールの影響に興味深い結果

が見られる。具体的には、自宅内介護者及び自宅外介護者は休日において ICT ツールの影響を受けやすい一方で、平日においては非介護者が ICT ツールの影響を受けやすい結果となった。ICT ツールに関するパラメータの符号が全て正であることを考慮すると（表 5.13）、ICT ツールの保有は社会活動への参加を促すと考えられる。

- 6) **移動**：移動においても、自由活動や社会活動と同様に、主な変動要因は非観測個人間変動であることが分かる。観測変数の影響に焦点を当てると、特に年齢、ワークスタイル、ICT ツールの影響が大きい。ICT ツールの影響は特に自宅内介護者のセグメントに対して大きな影響を及ぼすことが確認できる。Balepur et al. (1998) は、ICT ツールの保有が帰宅トリップを増加させる傾向にあることを指摘しており、この点を考慮すると、ICT ツールの保有は平日であっても昼食時に一時帰宅するトリップが発生している可能性がある（この点を確認するためには活動場所を含むより詳細なデータが必要である）。加えて Mokhtarian(1990)は、ICT ツールの重要な影響は、移動そのものを増減させる点ではなく、いつ、どこで、どのように移動するかに対する自由度を高める点にあると指摘し、時空間上の制約を緩和できる点が重要であるとしている。この点を踏まえると、自宅内介護者は、ICT ツールの利用によって、自宅に一時帰宅した場合においても仕事上の急用に対応でき、また、外出を行った状況においても自宅にいる被介護者の安否を確認できるため、空間的な制約が緩まっている可能性がある。

以上にみたように、変動構造をセグメント間で比較することにより豊富な示唆を得ることができると考えられる。今回の実証分析では、ICT ツールの利用可能性が自宅内介護者の時間利用に大きな影響を及ぼしていること等が明らかとなった。また、十分な連続時間パネルデータが利用可能な場合、セグメントごとのより詳細な変動構造の特定及びそれらの比較が可能となる。特に、基準となるセグメントが存在する場面において政策上有用な示唆を得ることができるものと考えられ、変動構造を比較することの意義は小さくないものと考えられる。

表 5.12 説明変数の基本統計量

| 説明変数 | 定義 | 平日 | | | 休日 | | |
|----------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 世帯内 介護者 | 世帯外 介護者 | 非 介護者 | 世帯内 介護者 | 世帯外 介護者 | 非 介護者 |
| | | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) |
| 年齢 | | | | | | | |
| Age20-29 | 20-29 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.006 (0.08) | 0.008 (0.09) | 0.034 (0.18) | 0.007 (0.08) | 0.011 (0.11) | 0.037 (0.19) |
| Age30-39 | 30-39 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.047 (0.21) | 0.058 (0.23) | 0.157 (0.36) | 0.049 (0.22) | 0.059 (0.23) | 0.151 (0.36) |
| Age50-59 | 50-59 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.325 (0.47) | 0.427 (0.49) | 0.232 (0.42) | 0.339 (0.47) | 0.435 (0.50) | 0.248 (0.43) |
| Age60-69 | 60-69 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.246 (0.43) | 0.253 (0.43) | 0.213 (0.41) | 0.241 (0.43) | 0.244 (0.43) | 0.195 (0.4) |
| Age 70+ | 70-歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.254 (0.44) | 0.084 (0.28) | 0.179 (0.38) | 0.235 (0.42) | 0.084 (0.28) | 0.182 (0.39) |
| 性別 | | | | | | | |
| Male | 男性 (1 = yes; 0 = no) | 0.391 (0.49) | 0.343 (0.47) | 0.504 (0.50) | 0.372 (0.48) | 0.347 (0.48) | 0.504 (0.5) |
| ワークスタイル | | | | | | | |
| Worker | 常勤労働者 (1 = yes; 0 = no) | 0.390 (0.49) | 0.463 (0.50) | 0.517 (0.50) | 0.408 (0.49) | 0.441 (0.50) | 0.539 (0.5) |
| DoubleW | 家事のかたわらに仕事 (1 = yes; 0 = no) | 0.157 (0.36) | 0.172 (0.38) | 0.15 (0.36) | 0.162 (0.37) | 0.178 (0.38) | 0.134 (0.34) |
| ICT ツール | | | | | | | |
| Cellphone | 携帯電話保有 (1 = yes; 0 = no) | 0.604 (0.49) | 0.748 (0.43) | 0.683 (0.47) | 0.609 (0.49) | 0.772 (0.42) | 0.683 (0.47) |
| PC | パソコン保有 (1 = yes; 0 = no) | 0.291 (0.45) | 0.418 (0.49) | 0.379 (0.49) | 0.304 (0.46) | 0.430 (0.50) | 0.379 (0.49) |
| 世帯属性 | | | | | | | |
| HHnum>10 | 10 歳以上の世帯人数 | 3.644 (1.37) | 2.875 (1.12) | 3.096 (1.31) | 3.787 (1.43) | 2.903 (1.16) | 3.144 (1.36) |
| HHnum<10 | 10 歳未満の世帯人数 | 0.199 (0.59) | 0.188 (0.57) | 0.376 (0.75) | 0.216 (0.6) | 0.191 (0.56) | 0.379 (0.75) |
| Car | 世帯自動車保有 (1=1 台以上; 0=その他) | 0.857 (0.35) | 0.922 (0.27) | 0.904 (0.29) | 0.858 (0.35) | 0.923 (0.27) | 0.908 (0.29) |
| Low income | 年間世帯収入が 300 万円未満 (1 = yes; 0 = no) | 0.278 (0.45) | 0.221 (0.41) | 0.228 (0.42) | 0.261 (0.44) | 0.203 (0.40) | 0.221 (0.41) |
| High income | 年間世帯収入が 1000 万円以上 (1 = yes; 0 = no) | 0.104 (0.31) | 0.141 (0.35) | 0.114 (0.32) | 0.142 (0.35) | 0.138 (0.34) | 0.115 (0.32) |
| 天候 | | | | | | | |
| Weather | 雨 (1 = yes; 0 = no) | 0.112 (0.32) | 0.094 (0.29) | 0.098 (0.3) | 0.067 (0.25) | 0.073 (0.26) | 0.073 (0.26) |

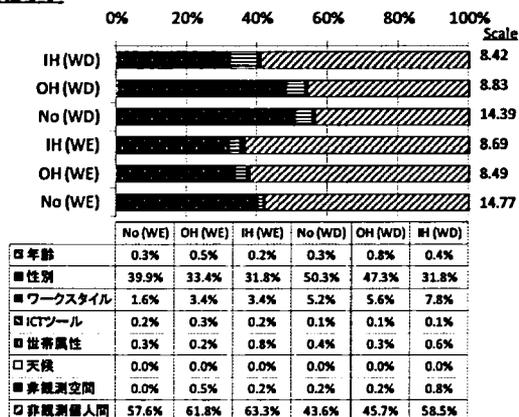
表 5.13 セグメント別マルチレベル MDCEV モデルの推定結果

| 変数 | 平日 | | | 休日 | | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 世帯内介護者 | 世帯外介護者 | 非介護者 | 世帯内介護者 | 世帯外介護者 | 非介護者 |
| | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) |
| 世帯ケア | | | | | | |
| 説明変数 | | | | | | |
| Constant | -0.176 (0.24) | -0.842 (0.28) | -0.924 (0.24) | -0.326 (0.19) | -0.877 (0.25) | -0.973 (0.26) |
| Age20-29 | -0.337 (0.54) | -0.380 (0.51) | -0.276 (0.24) | 0.043 (0.41) | -0.411 (0.40) | 0.188 (0.26) |
| Age30-39 | 0.434 (0.23) | 0.098 (0.24) | 0.316 (0.15) | 0.022 (0.18) | -0.305 (0.21) | 0.236 (0.17) |
| Age50-59 | -0.326 (0.14) | -0.022 (0.14) | -0.189 (0.13) | -0.172 (0.11) | -0.180 (0.12) | -0.326 (0.15) |
| Age60-69 | -0.367 (0.16) | 0.423 (0.16) | -0.107 (0.15) | -0.298 (0.12) | -0.030 (0.14) | -0.226 (0.16) |
| Age 70+ | -0.116 (0.18) | 0.760 (0.22) | -0.336 (0.17) | 0.079 (0.14) | 0.553 (0.20) | -0.689 (0.19) |
| Male | -3.353 (0.10) | -4.306 (0.12) | -5.378 (0.10) | -3.438 (0.08) | -3.534 (0.10) | -5.099 (0.11) |
| Worker | -1.730 (0.11) | -1.528 (0.12) | -1.833 (0.11) | -1.150 (0.09) | -1.138 (0.11) | -1.036 (0.12) |
| DoubleW | -0.358 (0.12) | -0.490 (0.13) | -0.378 (0.12) | -0.237 (0.10) | -0.192 (0.11) | -0.150 (0.14) |
| Cellphone | 0.165 (0.10) | -0.060 (0.12) | 0.246 (0.11) | 0.191 (0.08) | -0.203 (0.11) | -0.019 (0.13) |
| PC | -0.155 (0.11) | 0.163 (0.11) | 0.094 (0.10) | 0.158 (0.08) | 0.303 (0.09) | 0.317 (0.11) |
| HHnum<10 | -0.036 (0.08) | 0.096 (0.09) | 0.230 (0.06) | 0.019 (0.06) | 0.161 (0.08) | 0.274 (0.07) |
| HHnum>10 | -0.130 (0.03) | 0.056 (0.04) | -0.075 (0.03) | -0.176 (0.03) | 0.031 (0.04) | -0.119 (0.04) |
| Car | 0.177 (0.13) | 0.057 (0.18) | 0.198 (0.14) | 0.135 (0.11) | -0.037 (0.16) | -0.028 (0.17) |
| Low income | 0.233 (0.10) | 0.025 (0.12) | -0.196 (0.10) | 0.145 (0.08) | -0.140 (0.11) | -0.080 (0.12) |
| High income | -0.072 (0.14) | -0.440 (0.14) | -0.069 (0.13) | -0.007 (0.10) | -0.042 (0.12) | -0.049 (0.15) |
| Weather | 0.102 (0.13) | -0.027 (0.16) | 0.122 (0.13) | -0.118 (0.13) | 0.074 (0.16) | 0.263 (0.17) |
| ランダム変数 | | | | | | |
| 空間変動 (s.d.) | 0.251 (0.06) | 0.145 (0.08) | 0.157 (0.06) | 0.141 (0.06) | 0.203 (0.07) | 0.079 (0.04) |
| 個人間変動 (s.d.) | 2.190 (0.03) | 1.975 (0.04) | 2.477 (0.04) | 2.317 (0.03) | 2.261 (0.03) | 2.895 (0.04) |
| 必須活動 | | | | | | |
| 説明変数 | | | | | | |
| Constant | -10.20 (0.39) | -10.03 (0.45) | -10.02 (0.28) | -15.87 (0.66) | -18.74 (1.01) | -18.80 (0.75) |
| Age20-29 | -2.271 (0.75) | -1.107 (0.71) | 0.035 (0.25) | 0.261 (1.17) | -1.865 (1.48) | 0.199 (0.60) |
| Age30-39 | 0.155 (0.31) | -0.486 (0.33) | -0.041 (0.15) | 0.318 (0.53) | -0.184 (0.73) | -0.768 (0.39) |
| Age50-59 | -0.233 (0.18) | -0.242 (0.18) | -0.166 (0.13) | 0.398 (0.31) | 0.881 (0.41) | 0.789 (0.31) |
| Age60-69 | -0.462 (0.21) | -0.487 (0.23) | -0.576 (0.15) | 1.039 (0.36) | 1.095 (0.50) | 0.742 (0.38) |
| Age 70+ | -0.912 (0.26) | -1.017 (0.37) | -0.800 (0.19) | 0.138 (0.43) | 1.552 (0.77) | 1.583 (0.45) |
| Male | 0.335 (0.14) | 0.350 (0.16) | 0.350 (0.10) | 0.427 (0.23) | 0.590 (0.33) | 0.858 (0.25) |
| Worker | 9.396 (0.21) | 9.522 (0.25) | 9.014 (0.16) | 10.11 (0.33) | 11.63 (0.54) | 11.32 (0.42) |
| DoubleW | 7.761 (0.21) | 7.466 (0.26) | 7.327 (0.17) | 8.573 (0.33) | 10.64 (0.56) | 10.18 (0.45) |
| Cellphone | -0.356 (0.16) | -0.284 (0.19) | -0.352 (0.12) | -1.225 (0.26) | -0.865 (0.39) | -0.572 (0.30) |
| PC | -0.154 (0.15) | 0.029 (0.15) | -0.122 (0.10) | -1.452 (0.24) | -1.349 (0.33) | -0.858 (0.24) |
| HHnum<10 | -0.070 (0.11) | 0.186 (0.12) | 0.038 (0.07) | 0.060 (0.17) | 0.260 (0.28) | 0.333 (0.17) |
| HHnum>10 | -0.011 (0.05) | -0.002 (0.06) | 0.080 (0.03) | 0.260 (0.08) | 0.268 (0.13) | 0.189 (0.08) |
| Car | 0.406 (0.21) | 0.043 (0.28) | 0.261 (0.17) | 0.757 (0.36) | 0.399 (0.63) | 1.249 (0.45) |
| Low income | -0.149 (0.15) | 0.057 (0.18) | 0.003 (0.12) | 0.453 (0.25) | 0.953 (0.39) | 0.263 (0.28) |
| High income | 0.389 (0.19) | 0.073 (0.19) | 0.002 (0.13) | -1.274 (0.30) | -0.286 (0.42) | -0.836 (0.33) |
| Weather | 0.184 (0.19) | 0.039 (0.23) | -0.139 (0.15) | -0.052 (0.39) | -0.551 (0.57) | -0.582 (0.42) |
| ランダム変数 | | | | | | |
| 空間変動 (s.d.) | 0.208 (0.11) | 0.212 (0.11) | 0.133 (0.07) | 0.713 (0.16) | 0.495 (0.28) | 0.398 (0.20) |
| 個人間変動 (s.d.) | 2.713 (0.05) | 2.518 (0.06) | 2.552 (0.04) | 5.478 (0.11) | 6.118 (0.16) | 5.761 (0.12) |
| 買物活動 | | | | | | |
| 説明変数 | | | | | | |
| Constant | -3.478 (0.49) | -3.883 (0.51) | -4.462 (0.41) | -3.932 (0.37) | -3.967 (0.40) | -4.087 (0.38) |
| Age20-29 | -0.766 (1.12) | 0.991 (0.90) | -0.693 (0.44) | -1.079 (0.80) | 0.451 (0.63) | -0.679 (0.38) |
| Age30-39 | -0.122 (0.48) | 0.034 (0.44) | -0.281 (0.27) | 0.096 (0.34) | -0.031 (0.34) | 0.002 (0.24) |
| Age50-59 | -0.708 (0.28) | -0.103 (0.25) | 0.124 (0.23) | -0.734 (0.20) | -0.539 (0.19) | -0.564 (0.20) |
| Age60-69 | -0.816 (0.31) | -0.524 (0.30) | -0.365 (0.26) | -1.110 (0.24) | -0.786 (0.23) | -0.828 (0.23) |
| Age 70+ | -1.464 (0.36) | -1.038 (0.42) | -1.110 (0.31) | -2.193 (0.27) | -1.261 (0.33) | -1.973 (0.28) |
| Male | -1.917 (0.20) | -3.104 (0.23) | -3.375 (0.18) | -1.586 (0.16) | -2.223 (0.17) | -2.324 (0.16) |
| Worker | -2.210 (0.23) | -2.389 (0.22) | -2.590 (0.20) | -1.115 (0.18) | -0.511 (0.17) | -0.863 (0.18) |
| DoubleW | -0.426 (0.24) | -0.780 (0.24) | -0.876 (0.21) | -0.267 (0.19) | -0.318 (0.19) | -0.333 (0.21) |
| Cellphone | 0.783 (0.21) | 0.508 (0.22) | 0.780 (0.19) | 0.883 (0.17) | -0.159 (0.18) | 0.689 (0.18) |
| PC | -0.303 (0.21) | -0.224 (0.20) | 0.029 (0.17) | 0.135 (0.16) | 0.131 (0.15) | 0.026 (0.15) |
| HHnum<10 | -0.311 (0.17) | -0.222 (0.18) | -0.383 (0.12) | -0.385 (0.12) | -0.284 (0.14) | -0.255 (0.11) |
| HHnum>10 | -0.293 (0.07) | -0.011 (0.08) | -0.096 (0.06) | -0.305 (0.05) | -0.010 (0.06) | -0.262 (0.05) |
| Car | -0.383 (0.25) | -0.166 (0.33) | -0.114 (0.25) | -0.084 (0.20) | 0.268 (0.27) | 0.434 (0.24) |
| Low income | -0.146 (0.21) | 0.102 (0.21) | 0.063 (0.18) | 0.149 (0.16) | -0.446 (0.18) | -0.512 (0.17) |
| High income | -0.148 (0.30) | -0.427 (0.27) | 0.071 (0.24) | 0.401 (0.19) | -0.230 (0.20) | 0.014 (0.21) |
| Weather | -0.197 (0.28) | 0.028 (0.30) | -0.139 (0.25) | -0.021 (0.26) | -0.327 (0.26) | 0.239 (0.25) |
| ランダム変数 | | | | | | |
| 空間変動 (s.d.) | 0.511 (0.13) | 0.146 (0.10) | 0.282 (0.14) | 0.355 (0.11) | 0.299 (0.11) | 0.386 (0.10) |
| 個人間変動 (s.d.) | 3.983 (0.09) | 3.402 (0.09) | 4.035 (0.08) | 4.075 (0.07) | 3.522 (0.07) | 3.964 (0.07) |

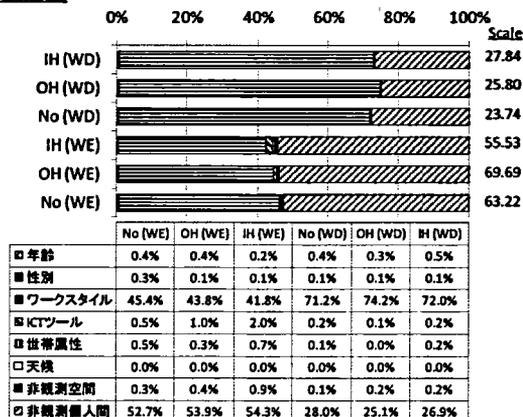
表 5.13 (続き) セグメント別マルチレベル MDCEV モデルの推定結果

| 変数 | 平日 | | | | 休日 | |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 世帯内介護者 | | 世帯外介護者 | | 世帯内介護者 | |
| | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) | Mean (S.D.) |
| 自由活動 | | | | | | |
| 説明変数 | | | | | | |
| Constant | -1.548 (0.12) | -1.215 (0.19) | -0.979 (0.11) | -1.169 (0.11) | -0.919 (0.14) | -0.970 (0.11) |
| Age20-29 | 0.333 (0.28) | -0.244 (0.35) | -0.251 (0.11) | -0.276 (0.22) | -0.319 (0.23) | -0.352 (0.11) |
| Age30-39 | -0.267 (0.12) | 0.097 (0.16) | -0.124 (0.07) | -0.192 (0.10) | -0.137 (0.12) | -0.096 (0.07) |
| Age50-59 | 0.212 (0.07) | 0.315 (0.09) | 0.112 (0.06) | -0.012 (0.06) | 0.022 (0.07) | 0.073 (0.06) |
| Age60-69 | 0.261 (0.08) | 0.356 (0.11) | 0.293 (0.07) | 0.002 (0.07) | 0.032 (0.08) | 0.171 (0.07) |
| Age 70+ | 0.361 (0.09) | 0.189 (0.15) | 0.353 (0.08) | 0.004 (0.07) | -0.228 (0.11) | 0.121 (0.08) |
| Male | 0.250 (0.05) | 0.158 (0.08) | 0.193 (0.04) | 0.362 (0.04) | 0.334 (0.06) | 0.429 (0.04) |
| Worker | -0.677 (0.06) | -0.787 (0.08) | -0.803 (0.05) | -0.423 (0.05) | -0.455 (0.06) | -0.426 (0.05) |
| DoubleW | -0.218 (0.06) | -0.221 (0.09) | -0.309 (0.06) | -0.244 (0.05) | -0.218 (0.07) | -0.084 (0.06) |
| Cellphone | 0.170 (0.05) | 0.033 (0.08) | 0.102 (0.05) | 0.091 (0.05) | 0.122 (0.06) | 0.053 (0.05) |
| PC | 0.086 (0.05) | 0.145 (0.07) | -0.020 (0.04) | 0.153 (0.04) | 0.008 (0.05) | 0.153 (0.04) |
| HHnum<10 | -0.139 (0.04) | -0.100 (0.06) | -0.204 (0.03) | -0.174 (0.03) | -0.163 (0.05) | -0.150 (0.03) |
| HHnum>10 | 0.073 (0.02) | 0.007 (0.03) | 0.022 (0.02) | 0.031 (0.01) | -0.055 (0.02) | -0.004 (0.01) |
| Car | -0.022 (0.07) | -0.095 (0.12) | -0.014 (0.07) | 0.022 (0.06) | 0.134 (0.09) | -0.022 (0.07) |
| Low income | 0.037 (0.05) | -0.117 (0.08) | -0.068 (0.05) | -0.086 (0.04) | -0.089 (0.06) | 0.023 (0.05) |
| High income | -0.088 (0.07) | -0.066 (0.09) | -0.210 (0.06) | 0.105 (0.05) | 0.110 (0.07) | -0.063 (0.06) |
| Weather | 0.110 (0.07) | 0.172 (0.11) | -0.010 (0.06) | 0.182 (0.07) | 0.003 (0.09) | 0.031 (0.07) |
| ランダム変数 | | | | | | |
| 空間変動 (s.d.) | 0.099 (0.03) | 0.142 (0.05) | 0.079 (0.03) | 0.143 (0.03) | 0.088 (0.03) | 0.050 (0.02) |
| 個人間変動 (s.d.) | 1.118 (0.02) | 1.356 (0.02) | 1.262 (0.02) | 1.222 (0.01) | 1.281 (0.02) | 1.230 (0.01) |
| 社会活動 | | | | | | |
| 説明変数 | | | | | | |
| Constant | -12.29 (1.22) | -11.9 (1.47) | -14.96 (1.08) | -13.71 (0.87) | -15.91 (1.07) | -15.46 (0.94) |
| Age20-29 | -3.084 (3.05) | -1.703 (3.14) | -3.235 (1.26) | -3.401 (2.03) | 0.532 (1.59) | -0.438 (0.94) |
| Age30-39 | -2.035 (1.22) | -0.363 (1.29) | -0.612 (0.67) | -1.823 (0.83) | -0.001 (0.89) | -0.440 (0.62) |
| Age50-59 | -1.186 (0.69) | -0.513 (0.73) | -0.003 (0.57) | 0.429 (0.46) | 0.989 (0.50) | 1.237 (0.49) |
| Age60-69 | -0.369 (0.75) | 0.200 (0.82) | 1.017 (0.62) | 0.965 (0.52) | 1.378 (0.58) | 2.327 (0.55) |
| Age 70+ | -0.864 (0.86) | 0.997 (1.13) | 0.652 (0.73) | 0.207 (0.60) | 1.515 (0.82) | 1.502 (0.64) |
| Male | 0.262 (0.48) | 1.403 (0.62) | -0.538 (0.41) | -0.022 (0.33) | -0.528 (0.41) | -1.027 (0.37) |
| Worker | -4.216 (0.57) | -5.672 (0.70) | -3.658 (0.48) | -0.907 (0.38) | -0.593 (0.43) | -0.338 (0.42) |
| DoubleW | -1.092 (0.60) | -1.567 (0.67) | -2.357 (0.55) | 0.457 (0.41) | -0.467 (0.48) | -0.237 (0.50) |
| Cellphone | 0.889 (0.52) | 0.703 (0.61) | 2.266 (0.47) | 1.840 (0.36) | 2.104 (0.46) | 1.277 (0.42) |
| PC | 1.300 (0.51) | 0.978 (0.54) | 0.834 (0.42) | 0.910 (0.35) | 0.884 (0.36) | 1.163 (0.37) |
| HHnum<10 | 0.313 (0.39) | -0.803 (0.52) | -0.887 (0.30) | 0.115 (0.26) | -0.394 (0.35) | -0.140 (0.26) |
| HHnum>10 | -0.267 (0.17) | -0.202 (0.23) | -0.213 (0.15) | -0.249 (0.11) | 0.197 (0.15) | 0.096 (0.12) |
| Car | 0.331 (0.65) | 0.191 (0.90) | 1.473 (0.64) | 0.663 (0.47) | 0.838 (0.69) | 0.379 (0.57) |
| Low income | -1.465 (0.52) | -1.329 (0.64) | -0.417 (0.45) | -0.402 (0.37) | 1.059 (0.44) | -0.111 (0.40) |
| High income | 1.327 (0.68) | 1.669 (0.69) | 0.825 (0.55) | 1.120 (0.41) | 0.142 (0.50) | 0.640 (0.48) |
| Weather | 0.726 (0.64) | 1.394 (0.80) | 0.648 (0.56) | -0.595 (0.57) | 0.019 (0.63) | 0.598 (0.57) |
| ランダム変数 | | | | | | |
| 空間変動 (s.d.) | 0.342 (0.29) | 1.492 (0.41) | 0.224 (0.20) | 0.479 (0.27) | 0.210 (0.18) | 0.210 (0.18) |
| 個人間変動 (s.d.) | 7.650 (0.32) | 7.171 (0.36) | 7.851 (0.27) | 7.372 (0.20) | 7.174 (0.23) | 7.690 (0.23) |
| 移動 | | | | | | |
| 説明変数 | | | | | | |
| Constant | -5.291 (0.39) | -3.682 (0.36) | -5.162 (0.25) | -6.825 (0.39) | -4.372 (0.38) | -5.865 (0.32) |
| Age20-29 | -0.290 (0.80) | 0.434 (0.69) | 0.084 (0.24) | -0.019 (0.74) | 0.176 (0.61) | -0.118 (0.31) |
| Age30-39 | -0.425 (0.35) | 0.620 (0.31) | -0.125 (0.15) | 0.232 (0.33) | 0.113 (0.32) | -0.041 (0.21) |
| Age50-59 | -0.640 (0.20) | -0.556 (0.18) | -0.317 (0.13) | -0.854 (0.20) | -0.235 (0.19) | -0.514 (0.17) |
| Age60-69 | -1.718 (0.23) | -0.991 (0.21) | -0.934 (0.15) | -1.312 (0.23) | -0.597 (0.22) | -0.969 (0.20) |
| Age 70+ | -2.158 (0.27) | -0.949 (0.30) | -1.877 (0.18) | -2.956 (0.28) | -1.031 (0.31) | -1.976 (0.23) |
| Male | 0.071 (0.15) | 0.295 (0.15) | 0.244 (0.10) | 0.032 (0.15) | -0.026 (0.15) | -0.076 (0.13) |
| Worker | 1.538 (0.17) | 1.199 (0.16) | 1.727 (0.12) | 1.088 (0.18) | 0.519 (0.17) | 1.013 (0.15) |
| DoubleW | 1.244 (0.20) | 0.523 (0.19) | 1.017 (0.14) | 0.810 (0.19) | 0.478 (0.18) | 0.943 (0.18) |
| Cellphone | 1.068 (0.17) | 0.376 (0.16) | 0.751 (0.11) | 1.008 (0.17) | 0.409 (0.17) | 1.084 (0.15) |
| PC | 0.708 (0.16) | 0.079 (0.14) | 0.457 (0.09) | 0.541 (0.16) | 0.386 (0.14) | 0.096 (0.13) |
| HHnum<10 | -0.189 (0.12) | -0.267 (0.12) | -0.121 (0.06) | -0.276 (0.12) | -0.152 (0.13) | -0.001 (0.09) |
| HHnum>10 | -0.255 (0.05) | -0.052 (0.06) | -0.152 (0.03) | -0.083 (0.05) | -0.108 (0.06) | -0.198 (0.04) |
| Car | 0.458 (0.21) | -0.463 (0.24) | 0.081 (0.15) | 0.492 (0.22) | -0.385 (0.25) | 0.586 (0.21) |
| Low income | -0.703 (0.17) | -0.584 (0.16) | -0.574 (0.11) | -0.343 (0.17) | -0.606 (0.17) | -0.580 (0.15) |
| High income | 0.281 (0.21) | 0.305 (0.18) | 0.275 (0.13) | -0.144 (0.19) | 0.187 (0.19) | 0.130 (0.17) |
| Weather | 0.246 (0.21) | -0.062 (0.21) | 0.131 (0.14) | 0.315 (0.25) | 0.333 (0.24) | 0.476 (0.21) |
| ランダム変数 | | | | | | |
| 空間変動 (s.d.) | 0.441 (0.10) | 0.243 (0.12) | 0.169 (0.07) | 0.422 (0.10) | 0.169 (0.10) | 0.098 (0.06) |
| 個人間変動 (s.d.) | 3.266 (0.06) | 2.625 (0.05) | 2.682 (0.04) | 4.057 (0.07) | 3.411 (0.06) | 3.512 (0.06) |
| log[$\pi(x mean(\theta))$] | -48737 | -33658 | -72656 | -77070 | -51892 | -69331 |

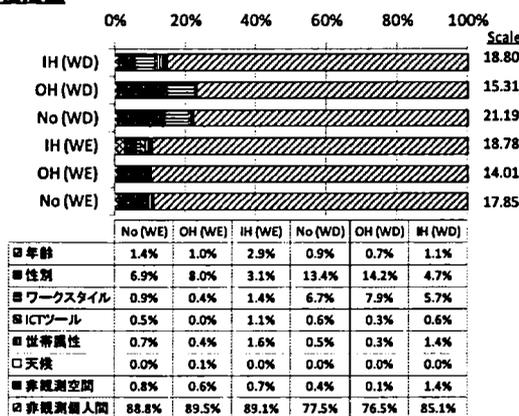
世帯ケア



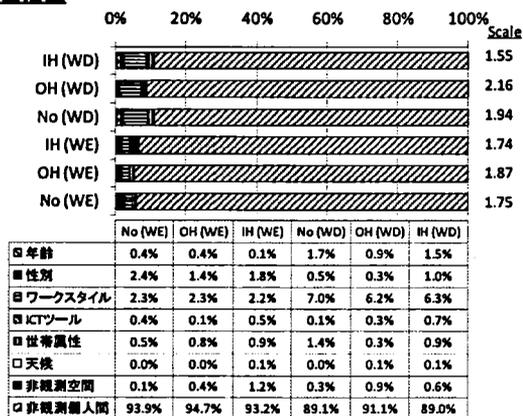
必須活動



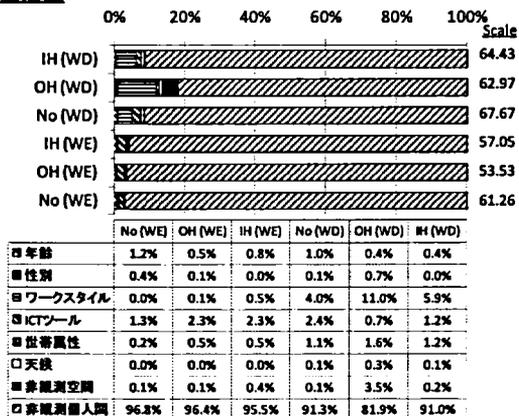
買物活動



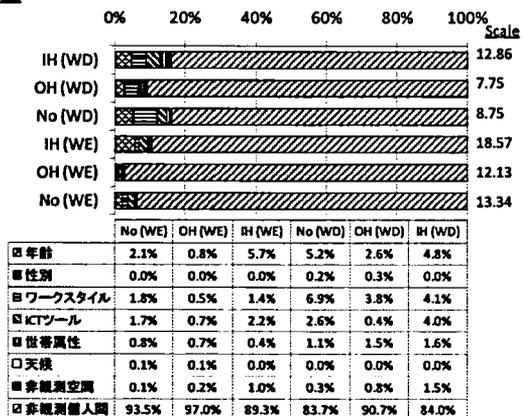
自由活動



社会活動



移動



注釈) IH: 世帯内介護者; OH: 世帯外介護者; No: 非介護者
WD: 平日; WE: 休日

図 5.13 変動特性のセグメント間比較

5.5 本章のまとめと今後の課題

本章では、変動を捉える際に直面するセグメント問題に関する議論を、実証分析を伴いながら行った。具体的には、1) 活動種類のセグメント手法の提案、2) 母集団のセグメント手法の提案を行うとともに、3) セグメント間における変動特性比較の意義について議論を加えた。以下に本章において行った分析の結果及びそこから得られた主要な知見をまとめる。

- 1) 活動種類のセグメント問題を取り扱う手法として、行動の類似性に基づく活動分類手法を提案し、その有用性を実証した。実証分析において対象とした活動開始時刻の観点からは、特に自由裁量型の活動に関するセグメント方法に注意を払う必要があることが示唆された。また、提案手法の活動分類を採用した場合に捉えることのできる観測変動は 46.4%であったのに対し、アприオリな活動分類の場合では 12.9%であったことから、どのようなセグメントを採用するのかによって、4.4 において分析の対象とした変動の観測可能性は大きく異なることが明らかとなった。このことから、「活動分類の選択」(＝活動種類のセグメント)は、これまでモデル精度を向上させるために主に行われてきた「説明変数の選択」や「モデル構造の選択」と同様に、現象の記述精度を左右する重要な要素であることが示唆された。
- 2) 母集団のセグメント問題を取り扱う手法として、活動抵抗に基づく母集団のセグメント手法を提案し、その有用性を実証した。具体的には、限界効用逓増+逓減を仮定する時間配分モデルを構築し、そこから導出される活動抵抗に基づき母集団のセグメントを試みた。実証分析では、過疎地域における買物活動参加、発展途上国における学校参加を対象とした分析を行った。実証分析の結果から、過疎地域における活動抵抗の高いサブ集団は、「自動車の利用可能性」及び「高齢者かどうか」だけでは十分に判別できず、男女間の差異を考慮する必要があることが明らかとなった。また、学校活動への参加に対する活動抵抗の高いサブ集団は、「世帯収入」だけでは十分に判別できず、交通手段や居住地に依存することが明らかとなった。
- 3) セグメント間の変動特性を比較する意義は、異なるモデル間の推定結果の比較の困難さに由来している点を指摘し、この点について実証分析を通じて確認した。具体的には、[自宅内介護者・自宅外介護者・非介護者]×[平日・休日]の計 6 つのセグメントを設定し、セグメントごとに特定した変動特性を比較した。実証分析の結果から、ICT ツールを保有することによる時間利用への影響は、非介護者・自宅外介護者に比べて自宅内介護者において特に大きいことが示唆された。また、非観測変動の割合に着目すると、平日に比べて休日の方が高くなっており、特に休日の時間利用行動が導入した説明変数によっては捉えられないことが明らかとなった。

以上の分析結果を踏まえると、これまで軽視されがちであった活動種類や母集団のセグメントを、交通政策を検討するプロセスにおいても考慮していく必要あると考えられる。データ収集の観点からは、通常、10 程度の大まかに分類された活動種類が提示されることが頻繁であるが、特に活動間の依存関係に着目する Activity-based アプローチに基づく分析を行う場合、例えば自由記

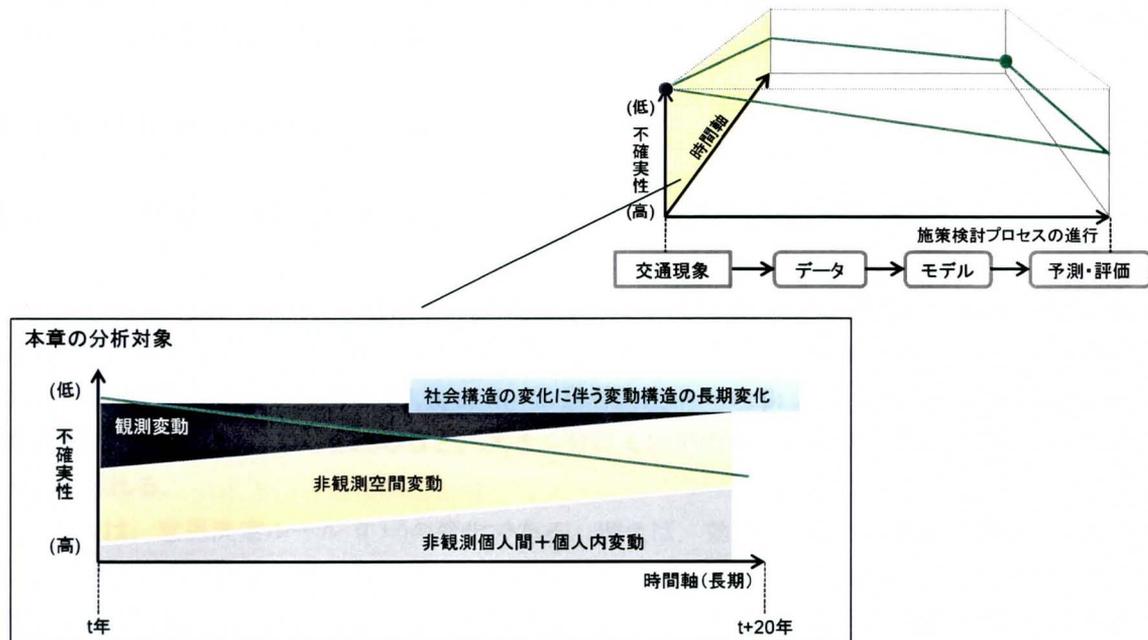
述式のアンケートを採用した上で適切な活動分類を熟考する等の配慮が必要なものと考えられる。この際においては、本研究において提案した行動の類似性に基づく活動分類手法が1つの道具として利用できる。また、収集したデータを用いてモデルを作成する場合においても、母集団をどのようにセグメントするかによってモデルから得られる示唆は大きく変わり得る。この際においては、母集団内の特性を把握し、セグメントを与える基準として、本研究において提案した活動抵抗が1つの道具として利用可能である。ただし、明らかに活動抵抗の高い事象に対してのみ有用であり、5.3.4に述べたように、残された課題も多い。最後に、セグメントを分けた場合に問題となる、セグメント間の行動特性の差異を比較するにあたっては、5.4に示した変動特性の比較が有用であると考えられる。

第5章関連参考文献

- 1) Alsnih, R., Hensher, D.A.: The mobility and accessibility expectations of seniors in an aging population. *Transportation Research Part A*, 37, pp. 903-916, 2003.
- 2) Amemiya, T.: *Advanced Economics*, Blackwell, 1985.
- 3) Balepur, P. N., Varma, K. V., Mokhtarian, P. L.: Transportation impacts of center-based telecommuting: Interim findings from the Neighborhood Telecenters Project, *Transportation*, Vol. 25, pp. 287-306, 1998.
- 4) Burkhardt, J.E.: Mobility changes: Their nature, effects, and meaning for elders who reduce or cease driving. *Transportation Research Record*, 1671, pp. 11-18, 1999.
- 5) Burkhardt, J.E., McGavock, A.T.: Tomorrow's older drivers: Who? How many? What impacts?. *Transportation Research Record*, 1693, pp. 62-70, 1999.
- 6) Cohen, C., Teresi, J., Blum, C.: The role of caregiver social networks in Alzheimer's disease, *Social Science & Medicine*, Vol. 38, pp. 1483-1490, 1994.
- 7) Gladwell, N. J., Bedini, L. A.: In search of lost leisure: the impact of caregiving on leisure travel, *Tourism Management*, Vol. 25, pp. 685-693, 2004.
- 8) Global March Against Child Labour & ICCLE: Review of Child Labour, Education and Poverty Agenda, Bangladesh Country Report 2006, 2006
(URL: <http://www.globalmarch.org/images/bangladesh-report.pdf>).
- 9) Hägerstrand, T.: What About People in Regional Science?, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, Vol. 24, pp. 7-21, 1970.
- 10) Hardy, V. L., Riffle, K. L.: Support for caregivers of dependent elderly: A support group can help a dependent elderly person by helping a caregiver overcome feelings of social isolation, *Geriatric Nursing*, Vol. 14, pp. 161-164, 1993.
- 11) Harrison, A., Ragland, D.R.: Consequences of driving reduction or cessation for older adults. *Transportation Research Record*, 1843, pp. 96-104, 2003.
- 12) Joh, C-H., Arentze, T., Timmermans, H. J. P.: Understanding activity scheduling and rescheduling behaviour: Theory and numerical illustration, *GeoJournal*, Vol.53, pp. 359-371, 2001.
- 13) Joh, C-H.: Measuring and Predicting Adaptation in Multidimensional Activity-Travel Patterns, Ph. D Dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- 14) Kitamura, R.: A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-Home Activities and Trips, *Transportation Research B*, Vol. 18, pp. 255-266, 1984.
- 15) Louis Berger Group Inc. and Bangladesh Consultants Ltd.: Strategic Transport Plan for Dhaka –Final Report–, Government of the People's Republic of Bangladesh Ministry of Communications, 2005.
- 16) Mokhtarian, P. L.: A typology of relationships between telecommunications and transportation, *Transportation Research Part A*, Vol. 24, pp. 231-242, 1990.
- 17) SPSS Inc.: *Answer Tree 3.0 User's Guide*, SPSS, 2001.
- 18) Siren, A., Hakamies-Blomqvist, L.: Private car as the grand equaliser? Demographic factors and

- mobility in Finnish men and women aged 65+. *Transportation Research Part F*, 7, pp. 107-118, 2004.
- 19) Supernak, J.: Temporal utility profiles of activities and travel: uncertainty and decision making, *Transportation Research Part B*, Vol. 26, pp. 61-76, 1992.
 - 20) Timmermans, H. J. P., Arentze, T., Joh, C-H.: Modeling Effects of Anticipated Time Pressure on Execution of Activity Programs, *Transportation Research Board*, No.1752, pp. 8-15, 2001.
 - 21) Wiles, J.: Daily geographies of caregivers: mobility, routine, scale, *Social Science & Medicine*, Vol. 57, pp. 1307-1325, 2003.
 - 22) World Bank: The Female Secondary School Assistance Project, Bangladesh, 2003 (URL: <http://poverty2.forumone.com/library/view/14828>).
 - 23) UNESCO: Children out of school: measuring exclusion from primary education, UNESCO Institute for Statistics, 2005 (URL: http://www.uis.unesco.org/ev.php?ID=6758_201&ID2=DO_TOPIC).
 - 24) Yamamoto, T., Kitamura, R.: An analysis of time allocation to in-home and out-of-home discretionary activities across working days and non-working days, *Transportation*, 26, pp. 211-230, 1999.
 - 25) Zhang, J., Timmermans, H., Borgers, A.: A Model of Household Task Allocation and Time Use, *Transportation Research Part B*, Vol.39, pp. 81-95, 2005.
 - 26) 太田美音: さらなる利活用を目指して—平成 18 年社会生活基本調査の集計及び 13 年社会生活基本調査特別集計から—, *統計*, 2006 年 7 月号, pp. 35-40, 2006.
 - 27) 加藤浩徳, 今井 誠: 時間・所得制約を考慮した資源配分モデルに基づく鉄道利用通勤者の私的交通時間節約価値の実証分析, *土木学会論文集*, No.793/IV-68, pp. 85-104, 2005.
 - 28) 清水浩志郎: 高齢者・障害者交通研究の意義と今後の展望, *土木学会論文集*, No. 518/IV-28, pp. 17-29, 1995.
 - 29) 総務省-統計局: 社会生活基本調査 (<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2006/index.htm>).
 - 30) 内閣府: 高齢社会白書, 内閣府, 2008 (<http://www8.cao.go.jp/kourei/index.html>).
 - 31) 藤井聡, 北村隆一, 熊田善亮: 交通需要解析のための所得制約・自由時間制約下での消費行動のモデル化, *土木学会論文集*, No. 625/IV-44, pp. 99-112, 1999.
 - 32) 山田敏久: 世帯構成員間の相互作用を考慮した中山間地域における交通政策の影響分析, 広島大学大学院, 修士論文, 2003.

第6章 連続的性質を有する変化：変動構造の長期変化



6.1 はじめに

4章及び5章において議論したように、ある時間軸上の断面において取得した変動の情報をどのように集約していくかが、交通施策検討プロセスにおける極めて重要な点である。一方、実際に計画を策定する場面においては、ある断面で観測された変動の情報を集約するだけでなく、その情報を用いて将来時点の交通状態を予測・評価する必要がある。このような時点をまたぐ推論を行う場合、ある時間断面で求められたモデル構造は将来に渡って変化しないと仮定し、将来時点の交通状態を予測する場合は頻繁である。このようなモデル構造の安定性の仮定については、2章においてみたように、これまでも多くの研究者によってその妥当性が検証されてきた。この際、頻繁に利用されてきた検証方法は、対象とする行動側面の平均値の時点間比較、実測値と予測値の剥離に基づく検証等である。言い換えると、バックキャストを含め、従来の手法は、観測変動の情報にのみ基づいた安定性の検証が主であった。しかしながら、4章において議論したように、データに内在する非観測変動の影響は極めて大きく、観測変動の安定性の検証だけでは活動・交通行動の変化を十分に評価できていないと言いが難い。そこで本章では、モデル構造の安定性の仮定の妥当性を、非観測変動要因を含む変動構造の観点から検証することとする。

6.2 では、変動構造の変化を特定する意義について整理する。その際、1) 変化を捉える観点からみた変動構造の変化を特定する意義、2) 政策への示唆から見た変動構造の変化を特定する意義、に分けて整理する。

6.3 では、1986年～2006年の時間利用行動の長期変化を例とした実証分析を行う。ここでは、変動構造の変化に加えて、地域レベルパラメータ（縮約推定量）の経年変化についても見る。

6.4 では、本章において行う分析から得られた知見及び今後の課題をまとめる。

6.2 変動構造の変化を特定する意義

6.2.1 変化を捉える観点からみた有用性

2章において見たように、変化は、離散的变化—連続的变化、短期的変化—長期的変化、微視的变化—巨視的变化、といった、複数の視点から分類することが可能である。一方、将来時点の予測に直接関与するモデル構造 $f(\beta, x, \varepsilon)$ ($f(\cdot)$: 意思決定ルール; β : パラメータ; x : 観測変数; ε : 非観測変動) の観点から変化を眺めると、大きく分けて以下の4つのモデル構造の変化が存在すると考えられる。

1つ目は、意思決定ルール $f(\cdot)$ の変化である。例えば、効用最大化とは異なる意思決定ルールに変化するような状況が考えられる。2つ目は、パラメータ β の変化である。パラメータは、該当する観測変数への人々の反応の程度を示すものであり、例えば、経済の発展に伴い移動コストへの反応が鈍くなるといったような状況が考えられる。3つ目は、観測変数 x の変化である。例えば新たな影響要因としてICTツールの存在が考えられる。また、新たな影響要因が出現せずとも、既にモデルに組み込まれている観測変数そのものが変化する場合がある。例えば、自動車保有状況の変化が該当する。この観測変数そのものの変化にのみ焦点を絞って行われてきたのが、従来一般的に行われてきた将来時点の予測方法であると考えられる。4つ目として、非観測変動の変化が挙げられる。これは、モデルに組み込まれなかった変数や、観測が困難な習慣や個人の嗜好の影響を反映するものと考えられる。例えば個々人の活動・交通行動が多様化しているような状況下では、非観測変動の影響は経年的に大きくなることが予想される。

以上みた4つの変化は、互いに関連し合っているものと考えられる。例えば、時間の経過に伴いICTツールの交通行動への影響が大きくなってきている状況を考える。この場合、変化を観測するための方法の1つとして、ICTツールの影響を表す観測変数に対応するパラメータ β の変化を観測することにより、モデル構造の経年的な変化を検証する方法が考えられる。一方、ICTツールの影響を表す観測変数が利用できない状況下においては、このICTツールの影響は、非観測変動の変化として現れるものと考えられる。このように、意思決定ルール $f(\cdot)$ の変化やパラメータ β の変化、新たな観測変数 x の出現による、モデルの構造的な変化を十分に捉えきれない場合、これらの影響は主に非観測変動に反映されるものと考えられる。4章において議論したように、通常、モデル内で捉えきれない変動は極めて多く、変化を観測するにあたって非観測変動の影響を無視することはできない。この点を踏まえると、非観測変動の影響を含む変動構造自体の変化をみるのが有用であると考えられる。もちろん、非観測変動の変化の観測は、変化の発生源に

関する情報を含まないものの、非観測変動の変化を観測する必要性の高い場面は多々ある。特に、ある特定の変化に対する“仮説”が想定できない状況において、非観測変動の変化を把握することが、対象とする現象そのものの変化を観測する上で重要な役割を果たすものと考えられる。実際、4章でみたように、ある断面で起こっている現象の変動でさえ、なぜ変動しているのかに関する十分な知見を得られていない状況にある。このような状況下においてモデル構造の変化を把握するために、非観測変動を含めた変動構造の変化に着目する価値は高いものと思われる。

なお、本章で行う実証分析では、新たな影響要因 x の出現、意思決定ルール $f(\cdot)$ の変化は扱わない。すなわち、全期間に渡って同一の影響要因 x と意思決定ルール $f(\cdot)$ を仮定する。この仮定のもとで、観測変動 $\text{Var}(bx)$ と非観測変動 ε (正確には ε の分散) の構成比の変化を把握する。

6.2.2 政策への示唆からみた有用性

政策の観点からも、変動構造の変化を観測することにより得られる示唆は大きい。例えば、例えば、交通システムの改善によって平均的には個人々のモビリティは上昇すると期待される一方で、都市部と地方部間のモビリティ格差を生む可能性を否定できない。このようなモビリティ水準の空間分布に対する時間的変化を把握することにより、例えば、利用可能な財源をどの地域にどの程度配分すべきかといった問題を考える際における、地域間のモビリティバランスを考慮するための基礎情報を提供することができる。また、変動構造の変化の情報は、このようなモビリティの問題だけでなく、特に途上国で問題視されている収入格差や男女不平等問題など、平等性の議論において重要な情報を有するものと考えられる。

なお、以下の実証分析では、3章において述べた縮約推定量を用いて、常勤労働者の移動時間の県レベルの空間分布を例示し、その時間的変化を把握する。

6.3 実証分析：1986年～2006年の時間利用行動の長期変化を例に

ここでは、上に述べた問題意識のもと、実証分析として1986年～2006年の時間利用行動の変動構造の長期変化について分析を行う。以下、6.3.1では、使用データの概要を述べるとともに、集計分析から示唆される時間利用行動の変化について考察する。6.3.2では、使用するモデルの概要を説明する。6.3.3では、モデルの推定結果から得られる知見について考察する。6.3.4で変動構造の長期変化について考察し、6.3.5では縮約推定量を用いて、地域間(県レベル)の常勤労働者の移動時間の分布について考察する。

6.3.1 使用データ：4時点の社会生活基本調査データ(調査票A)

本実証分析では、1986年、1991年、1996年、2006年の、4時点の社会生活基本調査データ(調査票A)を用いる。なお、2006年のデータは、5.4において用いたデータと同一のデータである。原票データは、全ての時点において350,000[人・日]サンプルを超える平日及び休日の時間利用が記録されているが、ここでは、20歳以上既婚者の平日の時間利用行動のサンプルのみを使用す

る。また、計算負荷を抑えるために、各時点において 5,000 サンプルをランダム抽出する。さらに、5.4 と同様に、原票データが有する 20 種類の活動分類を 7 つの活動に再分類し直したものを使用する。具体的には、[1] 個人ケア（睡眠、身の回りの用事、食事、受診・診療）、[2] 世帯ケア（家事、介護・看護、育児）、[3] 必須活動（仕事・学業）、[4] 買物活動（買い物）、[5] 自由活動（休養・くつろぎ、学習・研究（学業以外）、趣味・娯楽、スポーツ、その他）、[6] 社会活動（ボランティア活動・社会参加活動、交際・つきあい）、[7] 移動（通勤・通学、移動（通勤・通学除く））の 7 つを設定する（括弧内は原票データにおける分類）。

活動参加及び配分時間長に関する記述統計量を表 6.1 及び表 6.2 に示す。表より、まず、必須活動への参加率が経年的に減少していることが確認できる。この理由として、既に退職した高齢者人口の増加が考えられる。一方で、世帯ケアの参加率は経年的に増加する傾向にあることが分かる。これは、男性の世帯ケアへの参加率が高まっていることに由来している。具体的に男性のみのデータを用いて参加率の経年変化をみると、1986 年で 8.4%、1991 年で 11.1%、2001 年で 18.3%、2006 年で 20.9%となっている。一方で、世帯ケアへの配分時間長をみると、経年的に安定している、または、減少している傾向にあることが読み取れる。これより、世帯ケアに関する世帯内の役割分担が経年的に変化しており、従来の日本における典型的な男女の役割分担（すなわち、男性は働き女性は家事をする）は変化の過程にある可能性が高い。他の興味深い結果として、活動時間長に一定の経年変化がみられたのは必須活動（経年的に減少）と買物活動（経年的に増加）のみであったのに対し、7 つの活動のうち 4 つの活動（個人ケア、必須活動、買物活動、自由活動）において活動時間長の標準偏差が経年的に大きくなっている点が挙げられる。この結果は、

表 6.1 各時点における活動参加の記述統計量

| 活動種類 | 1986 | | 1991 | | 2001 | | 2006 | |
|------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| | 遂行人数 | (%) | 遂行人数 | (%) | 遂行人数 | (%) | 遂行人数 | (%) |
| 個人ケア | 5000 | (100.0) | 5000 | (100.0) | 5000 | (100.0) | 5000 | (100.0) |
| 世帯ケア | 2572 | (51.4) | 2604 | (52.1) | 2791 | (55.8) | 2808 | (56.2) |
| 必須活動 | 3423 | (68.5) | 3372 | (67.4) | 3052 | (61.0) | 2956 | (59.1) |
| 買物活動 | 1492 | (29.8) | 1608 | (32.2) | 1723 | (34.5) | 1691 | (33.8) |
| 自由活動 | 4818 | (96.4) | 4804 | (96.1) | 4806 | (96.1) | 4767 | (95.3) |
| 社会活動 | 793 | (15.9) | 802 | (16.0) | 798 | (16.0) | 690 | (13.8) |
| 移動 | 2892 | (57.8) | 2985 | (59.7) | 3296 | (65.9) | 3192 | (63.8) |

表 6.2 各時点における活動時間長の記述統計量

| 活動種類 | 1986 | | 1991 | | 2001 | | 2006 | |
|------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| | Mean | (s.d.) | Mean | (s.d.) | Mean | (s.d.) | Mean | (s.d.) |
| 個人ケア | 625.7 | (120.7) | 625.1 | (127.0) | 632.4 | (128.4) | 635.4 | (138.8) |
| 世帯ケア | 144.4 | (188.6) | 143.2 | (188.4) | 137.2 | (177.0) | 139.9 | (180.2) |
| 必須活動 | 330.6 | (258.9) | 323.5 | (258.7) | 287.5 | (266.4) | 287.2 | (275.9) |
| 買物活動 | 18.0 | (36.1) | 20.0 | (39.3) | 21.2 | (39.6) | 21.8 | (42.1) |
| 自由活動 | 251.2 | (171.3) | 256.8 | (178.5) | 283.1 | (191.3) | 282.6 | (195.5) |
| 社会活動 | 23.1 | (70.4) | 23.3 | (70.5) | 22.6 | (72.9) | 20.0 | (66.7) |
| 移動 | 47.1 | (65.6) | 48.2 | (67.4) | 55.9 | (76.9) | 53.1 | (72.3) |

時間利用行動の個人間異質性が経年的に大きくなっている可能性を示唆するものである。すなわち、ある個人では当該活動に集中的に時間を配分するような変化が、別の個人では当該活動に従事する時間を減少させるような変化が生じている可能性が高い。このような時間利用行動の多様化が生じている状況下では、従来行われてきた観測変動の安定性の検証だけでは活動・交通行動の変化を捉えられない可能性が高いと考えられる。

6.3.2 モデルの概要（マルチレベル MDCEV モデル）

3.3 においてみたように、離散時間—連続時間パネルデータが利用可能な場合、4章において行った詳細な変動構造の長期変化を特定することが可能である。また、離散時間パネルデータが利用可能な場合、離散時間—連続時間パネルデータを用いる場合と比べて特定できる変動構造は制約されるが、例えば自動車の保有形態の変化等、観測変数の個々人の変化を考慮することが可能である。また、繰り返し横断データの場合、詳細な変動構造の特定、観測変数の個々人の変化は考慮できないが、時点ごとに変動構造を特定し、その変動構造を時点間で比較する方法により変動特性の時間軸上の変化を捉えることが可能である（ただし同一母集団からランダムにサンプルが得られていることを前提とする）。本研究では繰り返し横断データを用いるため、各時点においてそれぞれモデルを推定し、推定結果から算出される変動構造を比較する。

具体的には、都道府県 s に居住する個人 i が J 個の活動種類の内の M_{ihs} 個の活動をある一日において実行するとして、以下のマルチ MDCEV モデルを構築する（なお、時点別にモデルを推定するため、時間軸を表現する添え字は省略。モデルの詳細は3章参照）。

$$P(t_{is}) = \frac{(M_i - 1)!}{\sigma^{M_i - 1}} \left[\prod_{m_i=1}^{M_i} \frac{1}{(t_{is}^{m_i} + 1)} \right] \left[\sum_{m_i=1}^{M_i} (t_{is}^{m_i} + 1) \right] \left[\frac{\prod_{m_i=1}^{M_i} \exp(V_{is}^{m_{ihs}} / \sigma)}{\left(\sum_{j=1}^J \exp(V_{is}^j / \sigma) \right)^{M_i}} \right] \quad (6.1)$$

$$V_{is}^j = \sum_{k=1}^K \beta_k^j x_{isk}^j + \sum_{q=1}^Q \gamma_{sq}^j x_{isq}^j + \gamma_i^j - \ln(t_{is}^{j*} + 1) \quad (6.2)$$

ここで、

- β : 未知パラメータ
- x_{is} : 観測変数（説明変数）
- γ_i^j : $\gamma_i^j \sim N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従うランダム変数（非観測個人間変動に対応）
- γ_{sq}^j : $\gamma_{sq}^j \sim N(0, \sigma_{sqj}^2)$ に従うランダム変数（非観測空間変動に対応） ($q=1, \dots, Q$)
- ε_{is}^j : 分散 $\sigma^2 \pi^2 / 6$ に従うランダム変数 [σ は 0.2 に固定]（非観測個人間変動に対応）

個人内変動と個人間変動を合わせた変動成分をここでは個人間変動と呼称する。空間変動については、県レベルの居住地 ($s=1, 2, \dots, 47$) を用いて定義する。ここで、空間変動については、説明変数との交互作用（すなわち空間レベルのランダム係数）も併せて考慮する。これにより、各説明

変数が時間利用に与える影響の空間的な分布の観測が可能となる。

モデルの推定にはMCMC法を用いた。ここでは、サンプルの生成回数を800,000回、稼働検査期間（棄却したサンプリング回数）を300,000回とし、50回毎にサンプリングを間引くことにより、最終的に10,000回のサンプルを事後分布として用いた。全ての時点において、同様の設定で推定を行った。また、変動構造の特定当たっては、変動構造の特定方法1を用いる（特定方法に関する議論は4.4.3を参照）。この際、個人ケアをベースの活動種類として変動構造を特定する。

モデルの同定に使用する説明変数を表6.3に示す。変動構造を特定する際の説明変数セットとして、[ワークスタイル]、[自動車保有]、[世帯収入]、[年齢]、[性別]の5つを設定した。従って、本実証分析では、基準選好関数に内在する全変動を以下のように分解する。

$$\begin{aligned}
 \text{var} \left[\ln \left(\frac{\psi_{is}^j}{\psi_{is}^1} \right) \right] &= \text{var} \left(\underbrace{\beta^j_{\text{Worker}} \times [\text{Worker}] + \beta^j_{\text{Homemaker}} \times [\text{Homemaker}]}_{\text{観測変動：ワークスタイル}} \right. \\
 &\quad \left. + \beta^j_{\text{DoubleW}} \times [\text{DoubleW}] \right) \\
 &+ \text{var} \left(\underbrace{\beta^j_{\text{Car}} \times [\text{Car}] + \beta^j_{\text{Car_inc}} \times [\text{Car_inc}]}_{\text{観測変動：自動車保有}} \right) \\
 &+ \text{var} \left(\underbrace{\beta^j_{\text{Low income}} \times [\text{Low income}] + \beta^j_{\text{High income}} \times [\text{High income}]}_{\text{観測変動：世帯収入}} \right) \\
 &+ \text{var} \left(\underbrace{\begin{aligned} &\beta^j_{\text{Age20-29}} \times [\text{Age20-29}] + \beta^j_{\text{Age30-39}} \times [\text{Age30-39}] \\ &+ \beta^j_{\text{Age50-59}} \times [\text{Age50-59}] + \beta^j_{\text{Age60-69}} \times [\text{Age60-69}] \\ &+ \beta^j_{\text{Age>70}} \times [\text{Age>70}] \end{aligned}}_{\text{観測変動：年齢}} \right) \\
 &+ \text{var} \left(\underbrace{\beta^j_{\text{Female}} \times [\text{Female}]}_{\text{観測変動：性別}} \right) \\
 &+ \left(\underbrace{\sigma_{s_{\text{Constant}}|j}^2 + (\sigma_{s_{\text{Car}}|j} \times [\text{Car}])^2 + (\sigma_{s_{\text{Female}}|j} \times [\text{Female}])^2}_{\text{非観測変動：空間}} \right. \\
 &\quad \left. + (\sigma_{s_{\text{Worker}}|j} \times [\text{Worker}])^2 \right) \\
 &+ \left(\underbrace{\sigma_{ij}^2 + \frac{\sigma^2 \pi^2}{3}}_{\text{非観測変動：個人間}} \right)
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

なお、3章及び4章においても述べたように、式(6.3)の変動構造を特定する際には、観測変数が独立であると仮定する必要がある（ただし、この仮定についてはモデルを推定する際に既に置かれている）。

表 6.3 使用する説明変数の定義

| Explanatory variable | Definition | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|----------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Mean (s.d.) | Mean (s.d.) | Mean (s.d.) | Mean (s.d.) |
| <u>ワークスタイル</u> | | | | | |
| Worker* | 常勤労働者 (1 = yes; 0 = no) | 0.574 (0.49) | 0.573 (0.49) | 0.541 (0.50) | 0.526 (0.50) |
| Homemaker | 専業主婦(夫) (1 = yes; 0 = no) | 0.206 (0.40) | 0.194 (0.40) | 0.215 (0.41) | 0.221 (0.41) |
| DoubleW | 家事のかたわらに仕事 (1 = yes; 0 = no) | 0.149 (0.36) | 0.158 (0.36) | 0.144 (0.35) | 0.132 (0.34) |
| <u>自動車保有</u> | | | | | |
| Car* | 世帯自動車保有 (1 = 1 台以上; 0 = その他) | 0.802 (0.40) | 0.840 (0.37) | 0.892 (0.31) | 0.899 (0.30) |
| Car_inc | 世帯自動車保有と世帯収入[100 万]の交互作用 | 4.160 (3.40) | 5.446 (4.12) | 5.878 (4.10) | 5.409 (3.94) |
| <u>世帯収入</u> | | | | | |
| Low income | 年間世帯収入が 300 万円未満 (1 = yes; 0 = no) | 0.263 (0.44) | 0.163 (0.37) | 0.179 (0.38) | 0.221 (0.41) |
| High income | 年間世帯収入が 1000 万円以上 (1 = yes; 0 = no) | 0.056 (0.23) | 0.127 (0.33) | 0.142 (0.35) | 0.108 (0.31) |
| <u>年齢</u> | | | | | |
| Age20-29 | 20-29 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.078 (0.27) | 0.062 (0.24) | 0.048 (0.21) | 0.041 (0.21) |
| Age30-39 | 30-39 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.260 (0.44) | 0.197 (0.40) | 0.158 (0.36) | 0.155 (0.36) |
| Age50-59 | 50-59 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.215 (0.41) | 0.224 (0.42) | 0.246 (0.43) | 0.243 (0.43) |
| Age60-69 | 60-69 歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.131 (0.34) | 0.164 (0.37) | 0.191 (0.39) | 0.192 (0.39) |
| Age>70 | 70-歳 (1 = yes; 0 = no) | 0.066 (0.25) | 0.083 (0.28) | 0.147 (0.35) | 0.185 (0.39) |
| <u>性別</u> | | | | | |
| Female* | 女性 (1 = yes; 0 = no) | 0.507 (0.50) | 0.504 (0.50) | 0.505 (0.50) | 0.497 (0.50) |

“*”は当該変数のパラメータに空間レベルのランダム変数(すなわちランダム係数)を考慮していることを示す

6.3.3 4 時点のマルチレベル MDCEV モデル推定結果

時点ごとのマルチレベル MDCEV モデルの推定結果を表 6.4 に示す。パラメータの推定値の大小を時点間で直接比較することはできないが、いくつかの興味深い結果が得られた。以下、推定結果から得られた主要な知見をまとめる。

- (i). 世帯ケア：全時点において共通する点として、[性別]が最も重要なパラメータである点が挙げられる。すなわち、女性の方が男性よりも世帯ケアを行う傾向にある。また、高齢者や常勤労働者は、世帯ケアに従事しない傾向にある。一方で、[世帯収入]や[自動車保有]が世帯ケアに及ぼす影響は全ての時点において有意に観測されなかった。これは、世帯ケアが必ず行う必要のある活動種類であるためと考えられる。
- (ii). 必須活動：全時点において、[ワークスタイル]が主要な影響要因であることが分かる。また、40-49 歳の必須活動への影響が最も大きく、図 6.1 に示すように、年齢の影響は二次関数的な

挙動を示すことが分かる。

- (iii). 買物活動：[性別]が及ぼす影響が全時点を通して最も大きい。また、必須活動と同様に、40-49歳の買物活動への時間利用（活動参加及び配分時間長）が最も高く、買物活動においても二次関数的な年齢の影響が観測された（図 6.1）。一方、専業主婦(夫)の影響が1986年においては正に有意に影響する要因であったが、1991年以降、その影響は有意ではなくなっていることが確認できる。
- (iv). 自由活動：高齢者ほど自由活動を行う傾向にある一方で、常勤労働者や家事のかたわらに仕事を行っている個人は、自由活動への活動参加及び配分時間長は小さい。
- (v). 社会活動：1986年及び1991年時点においては、女性及び高齢者の社会活動への時間利用は有意に低い傾向にあったものの、2001年以降、有意な差は観測されない。これより、時間の経過に伴い、女性や高齢者であっても、男性や壮年層と同程度の社会活動を遂行できる状況になったものと想定できる。また、図 1 から、特に社会活動への時間利用において、年齢の影響の経年変化は大きいものと予想される。
- (vi). 移動：全ての時点を通して、低世帯収入者、女性、高齢者の移動時間が短い傾向にある。一方で、自動車の保有は移動に有意な影響を及ぼさないことが確認できる。

以上に加えて、非観測空間変動の推定値は、非観測個人内変動の推定値に比べて極めて小さいことが分かる。この結果は、個人の時間利用が県間において比較的安定している（すなわち差異はない）ことを示している。居住環境が個人の行動パターンに影響を及ぼさないという結果は、例えば Snellen et al. (2001)によっても報告されている（異なる都市形態や道路ネットワーク構造を持つ都市の行動パターンを比較している）。一方、4章において示したように、行動空間として空間を定義した場合においては空間の影響が存在するため、この点については空間の定義に依存すると言わざるを得ない。また、今回利用可能であった空間単位が県レベルと粗いものであったため、非観測空間変動が観測されなかった可能性がある。今後、異なる空間の単位、定義を用いて検証を加える必要がある。

表 6.4 各時点のマルチレベル MDCEV モデルの推定結果

| (活動種類) | 1986 | | 1991 | | 2001 | | 2006 | | |
|--|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|----|
| | 説明変数 | mean | sd | mean | sd | mean | sd | mean | sd |
| (世帯ケア) | | | | | | | | | |
| Constant | -7.611 | 0.21 | -7.328 | 0.22 | -6.483 | 0.22 | -6.585 | 0.23 | |
| Female | 6.290 | 0.11 | 6.231 | 0.12 | 5.380 | 0.10 | 5.093 | 0.11 | |
| Age 20-29 | 0.178 | 0.14 | 0.150 | 0.17 | 0.191 | 0.20 | -0.120 | 0.23 | |
| Age 30-39 | 0.143 | 0.10 | 0.446 | 0.11 | 0.099 | 0.13 | 0.319 | 0.15 | |
| Age 50-59 | -0.107 | 0.11 | -0.347 | 0.12 | -0.485 | 0.12 | -0.434 | 0.13 | |
| Age 60-69 | -0.424 | 0.13 | -0.189 | 0.13 | -0.503 | 0.13 | -0.230 | 0.14 | |
| Age >70 | -1.091 | 0.19 | -0.946 | 0.18 | -0.638 | 0.15 | -0.553 | 0.16 | |
| Low income | -0.026 | 0.10 | 0.106 | 0.12 | 0.131 | 0.12 | -0.120 | 0.13 | |
| High income | -0.315 | 0.23 | -0.260 | 0.19 | 0.010 | 0.19 | 0.403 | 0.22 | |
| Car | -0.090 | 0.14 | -0.072 | 0.16 | -0.220 | 0.17 | 0.136 | 0.18 | |
| Car_inc | 0.003 | 0.02 | 0.024 | 0.02 | 0.014 | 0.02 | -0.011 | 0.02 | |
| Worker | -0.924 | 0.18 | -1.320 | 0.19 | -1.181 | 0.16 | -1.287 | 0.17 | |
| Homemaker | 0.902 | 0.18 | 0.389 | 0.20 | 0.739 | 0.16 | 0.909 | 0.17 | |
| MixedW | 0.178 | 0.19 | -0.259 | 0.20 | 0.129 | 0.18 | 0.324 | 0.19 | |
| Constant [prefecture] (σ_s) | 0.094 | 0.05 | 0.080 | 0.05 | 0.155 | 0.08 | 0.068 | 0.04 | |
| Car (σ_s) | 0.122 | 0.07 | 0.079 | 0.04 | 0.138 | 0.08 | 0.069 | 0.04 | |
| Female (σ_s) | 0.075 | 0.04 | 0.082 | 0.05 | 0.066 | 0.04 | 0.070 | 0.04 | |
| Worker (σ_s) | 0.322 | 0.10 | 0.151 | 0.09 | 0.110 | 0.07 | 0.368 | 0.12 | |
| Constant [inter-individual] (σ_e) | 2.075 | 0.03 | 2.325 | 0.04 | 2.419 | 0.04 | 2.615 | 0.04 | |
| (必須活動) | | | | | | | | | |
| Constant | -8.676 | 0.22 | -8.903 | 0.25 | -8.600 | 0.29 | -9.664 | 0.28 | |
| Female | -0.235 | 0.08 | 0.005 | 0.09 | -0.216 | 0.11 | -0.338 | 0.11 | |
| Age 20-29 | -0.421 | 0.13 | -0.506 | 0.16 | -0.084 | 0.20 | -0.404 | 0.22 | |
| Age 30-39 | -0.136 | 0.08 | -0.142 | 0.10 | -0.169 | 0.13 | -0.144 | 0.13 | |
| Age 50-59 | -0.052 | 0.09 | -0.132 | 0.09 | -0.290 | 0.11 | -0.238 | 0.12 | |
| Age 60-69 | -0.511 | 0.11 | -0.465 | 0.11 | -0.760 | 0.14 | -0.436 | 0.14 | |
| Age >70 | -0.681 | 0.17 | -0.970 | 0.18 | -1.409 | 0.18 | -0.864 | 0.16 | |
| Low income | -0.003 | 0.09 | -0.277 | 0.11 | 0.024 | 0.14 | -0.082 | 0.13 | |
| High income | 0.065 | 0.19 | 0.045 | 0.16 | -0.054 | 0.19 | 0.097 | 0.21 | |
| Car | 0.206 | 0.12 | 0.099 | 0.14 | -0.038 | 0.19 | 0.346 | 0.20 | |
| Car_inc | -0.009 | 0.02 | -0.018 | 0.02 | -0.008 | 0.02 | -0.019 | 0.02 | |
| Worker | 8.194 | 0.20 | 8.529 | 0.23 | 8.217 | 0.23 | 9.025 | 0.22 | |
| Homemaker | 0.014 | 0.23 | -0.263 | 0.26 | -0.858 | 0.27 | 0.095 | 0.26 | |
| MixedW | 7.429 | 0.22 | 7.156 | 0.24 | 6.577 | 0.25 | 7.410 | 0.24 | |
| Constant [prefecture] (σ_s) | 0.068 | 0.03 | 0.069 | 0.04 | 0.154 | 0.08 | 0.071 | 0.04 | |
| Car (σ_s) | 0.063 | 0.03 | 0.074 | 0.04 | 0.103 | 0.06 | 0.078 | 0.04 | |
| Female (σ_s) | 0.110 | 0.06 | 0.249 | 0.09 | 0.225 | 0.13 | 0.244 | 0.11 | |
| Worker (σ_s) | 0.061 | 0.03 | 0.074 | 0.04 | 0.079 | 0.05 | 0.068 | 0.04 | |
| Constant [inter-individual] (σ_e) | 1.914 | 0.03 | 2.071 | 0.03 | 2.481 | 0.03 | 2.463 | 0.04 | |

表 6.4 (続き) 各時点のマルチレベル MDCEV モデルの推定結果

| (活動種類) | 1986 | | 1991 | | 2001 | | 2006 | |
|--|---------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| 説明変数 | mean | sd | mean | sd | mean | sd | mean | sd |
| (買物活動) | | | | | | | | |
| Constant | -10.310 | 0.43 | -8.619 | 0.39 | -8.031 | 0.40 | -7.508 | 0.38 |
| Female | 5.047 | 0.23 | 4.500 | 0.20 | 3.605 | 0.19 | 3.670 | 0.19 |
| Age 20-29 | -0.430 | 0.28 | -0.502 | 0.30 | -0.446 | 0.35 | -0.936 | 0.38 |
| Age 30-39 | -0.386 | 0.19 | -0.445 | 0.20 | -0.350 | 0.23 | -0.843 | 0.25 |
| Age 50-59 | -0.880 | 0.21 | -0.670 | 0.20 | 0.159 | 0.20 | -0.578 | 0.22 |
| Age 60-69 | -1.395 | 0.26 | -1.183 | 0.23 | -0.442 | 0.23 | -0.480 | 0.24 |
| Age >70 | -2.545 | 0.39 | -2.146 | 0.32 | -1.801 | 0.28 | -1.490 | 0.26 |
| Low income | 0.128 | 0.19 | -0.325 | 0.22 | 0.147 | 0.22 | -0.140 | 0.21 |
| High income | -0.258 | 0.44 | 0.387 | 0.35 | 0.211 | 0.34 | 0.169 | 0.37 |
| Car | -0.669 | 0.28 | -0.052 | 0.30 | -0.081 | 0.31 | -0.322 | 0.31 |
| Car_inc | 0.032 | 0.04 | -0.056 | 0.04 | 0.007 | 0.04 | -0.016 | 0.04 |
| Worker | -0.638 | 0.37 | -1.793 | 0.32 | -2.255 | 0.29 | -2.404 | 0.26 |
| Homemaker | 1.717 | 0.38 | 0.512 | 0.34 | -0.049 | 0.30 | 0.086 | 0.27 |
| MixedW | 0.446 | 0.40 | -0.281 | 0.35 | -0.678 | 0.32 | -0.369 | 0.30 |
| Constant [prefecture] (σ_s) | 0.306 | 0.16 | 0.116 | 0.08 | 0.143 | 0.10 | 0.262 | 0.14 |
| Car (σ_s) | 0.140 | 0.10 | 0.136 | 0.10 | 0.132 | 0.10 | 0.158 | 0.11 |
| Female (σ_s) | 0.268 | 0.17 | 0.166 | 0.12 | 0.231 | 0.15 | 0.153 | 0.11 |
| Worker (σ_s) | 0.165 | 0.13 | 0.166 | 0.12 | 0.224 | 0.16 | 0.242 | 0.17 |
| Constant [inter-individual] (σ_i) | 3.695 | 0.08 | 3.793 | 0.08 | 3.906 | 0.08 | 3.933 | 0.08 |
| (自由活動) | | | | | | | | |
| Constant | -0.769 | 0.09 | -0.723 | 0.10 | -0.483 | 0.10 | -0.669 | 0.10 |
| Female | -0.303 | 0.05 | -0.217 | 0.05 | -0.208 | 0.05 | -0.221 | 0.05 |
| Age 20-29 | -0.166 | 0.07 | -0.171 | 0.08 | -0.341 | 0.09 | -0.522 | 0.10 |
| Age 30-39 | -0.068 | 0.05 | -0.201 | 0.05 | -0.268 | 0.06 | -0.458 | 0.07 |
| Age 50-59 | 0.203 | 0.05 | -0.004 | 0.05 | 0.046 | 0.05 | 0.029 | 0.06 |
| Age 60-69 | 0.281 | 0.06 | 0.098 | 0.06 | 0.109 | 0.06 | 0.109 | 0.07 |
| Age >70 | 0.260 | 0.08 | 0.172 | 0.08 | 0.126 | 0.07 | 0.129 | 0.07 |
| Low income | 0.034 | 0.05 | 0.158 | 0.06 | 0.055 | 0.06 | 0.002 | 0.06 |
| High income | 0.016 | 0.10 | -0.173 | 0.09 | -0.078 | 0.08 | 0.095 | 0.10 |
| Car | 0.066 | 0.06 | -0.034 | 0.07 | -0.041 | 0.07 | 0.106 | 0.08 |
| Car_inc | 0.001 | 0.01 | 0.017 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | -0.006 | 0.01 |
| Worker | -0.724 | 0.08 | -0.713 | 0.08 | -0.849 | 0.07 | -0.848 | 0.07 |
| Homemaker | 0.028 | 0.09 | 0.009 | 0.09 | -0.207 | 0.08 | 0.008 | 0.08 |
| MixedW | -0.394 | 0.09 | -0.406 | 0.09 | -0.434 | 0.08 | -0.321 | 0.09 |
| Constant [prefecture] (σ_s) | 0.048 | 0.02 | 0.047 | 0.02 | 0.047 | 0.02 | 0.040 | 0.02 |
| Car (σ_s) | 0.057 | 0.03 | 0.054 | 0.02 | 0.051 | 0.02 | 0.043 | 0.02 |
| Female (σ_s) | 0.058 | 0.03 | 0.049 | 0.02 | 0.068 | 0.03 | 0.059 | 0.03 |
| Worker (σ_s) | 0.144 | 0.03 | 0.111 | 0.04 | 0.133 | 0.04 | 0.107 | 0.04 |
| Constant [inter-individual] (σ_i) | 1.128 | 0.01 | 1.178 | 0.01 | 1.181 | 0.01 | 1.286 | 0.02 |

表 6.4 (続き) 各時点のマルチレベル MDCEV モデルの推定結果

| (活動種類) | 1986 | | 1991 | | 2001 | | 2006 | |
|--|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | mean | sd | mean | sd | mean | sd | mean | sd |
| (社会活動) | | | | | | | | |
| Constant | -10.84 | 0.85 | -12.67 | 0.88 | -14.76 | 0.95 | -15.47 | 0.96 |
| Female | -3.102 | 0.53 | -1.497 | 0.47 | 0.311 | 0.43 | 0.019 | 0.47 |
| Age 20-29 | -1.447 | 0.69 | -0.673 | 0.73 | -0.110 | 0.82 | -1.421 | 1.03 |
| Age 30-39 | -0.275 | 0.45 | 0.333 | 0.47 | 0.554 | 0.54 | 0.485 | 0.61 |
| Age 50-59 | -0.233 | 0.47 | -0.100 | 0.46 | 0.522 | 0.47 | 0.192 | 0.54 |
| Age 60-69 | -1.169 | 0.57 | 0.038 | 0.51 | 0.813 | 0.53 | 1.777 | 0.57 |
| Age >70 | -1.971 | 0.79 | -1.471 | 0.73 | -0.632 | 0.63 | 0.815 | 0.64 |
| Low income | -1.276 | 0.44 | -2.259 | 0.52 | -0.441 | 0.50 | -0.928 | 0.52 |
| High income | 1.938 | 0.92 | 2.520 | 0.72 | 0.943 | 0.72 | -0.839 | 0.87 |
| Car | 0.857 | 0.62 | 0.447 | 0.62 | 0.486 | 0.63 | -0.321 | 0.68 |
| Car_inc | -0.082 | 0.09 | -0.107 | 0.08 | 0.034 | 0.08 | 0.232 | 0.09 |
| Worker | -3.060 | 0.69 | -1.293 | 0.70 | -1.410 | 0.66 | -2.497 | 0.61 |
| Homemaker | 2.597 | 0.77 | 2.535 | 0.77 | 2.072 | 0.71 | 1.736 | 0.65 |
| MixedW | -0.226 | 0.82 | 0.510 | 0.81 | 0.606 | 0.75 | 0.551 | 0.71 |
| Constant [prefecture] (σ_i) | 0.226 | 0.20 | 0.249 | 0.21 | 0.170 | 0.14 | 0.158 | 0.13 |
| Car (σ_i) | 0.395 | 0.31 | 0.187 | 0.16 | 0.223 | 0.19 | 0.168 | 0.14 |
| Female (σ_i) | 0.401 | 0.35 | 0.599 | 0.42 | 0.210 | 0.18 | 0.235 | 0.21 |
| Worker (σ_i) | 0.295 | 0.26 | 0.350 | 0.30 | 0.276 | 0.25 | 0.307 | 0.28 |
| Constant [inter-individual] (σ_i) | 7.586 | 0.24 | 7.610 | 0.24 | 7.471 | 0.23 | 7.794 | 0.27 |
| (移動) | | | | | | | | |
| Constant | -5.156 | 0.28 | -5.184 | 0.27 | -4.453 | 0.23 | -4.797 | 0.24 |
| Female | -0.654 | 0.13 | -0.408 | 0.13 | -0.539 | 0.11 | -0.388 | 0.11 |
| Age 20-29 | 0.332 | 0.19 | 0.172 | 0.20 | 0.035 | 0.20 | -0.182 | 0.23 |
| Age 30-39 | 0.007 | 0.13 | 0.189 | 0.13 | 0.063 | 0.13 | 0.028 | 0.14 |
| Age 50-59 | -0.781 | 0.14 | -0.578 | 0.12 | -0.496 | 0.11 | -0.512 | 0.12 |
| Age 60-69 | -1.991 | 0.18 | -1.618 | 0.15 | -1.402 | 0.13 | -1.247 | 0.14 |
| Age >70 | -2.545 | 0.26 | -3.481 | 0.24 | -2.477 | 0.16 | -2.463 | 0.16 |
| Low income | -0.425 | 0.13 | -0.765 | 0.15 | -0.423 | 0.13 | -0.621 | 0.13 |
| High income | -0.052 | 0.28 | 0.243 | 0.22 | -0.160 | 0.19 | 0.060 | 0.22 |
| Car | -0.265 | 0.19 | -0.164 | 0.19 | -0.335 | 0.19 | 0.036 | 0.19 |
| Car_inc | 0.028 | 0.03 | 0.005 | 0.02 | 0.059 | 0.02 | 0.025 | 0.02 |
| Worker | 2.153 | 0.24 | 2.220 | 0.23 | 1.821 | 0.17 | 1.994 | 0.17 |
| Homemaker | -0.215 | 0.26 | -0.128 | 0.26 | 0.089 | 0.19 | 0.490 | 0.18 |
| MixedW | 0.540 | 0.27 | 0.890 | 0.26 | 1.434 | 0.20 | 1.085 | 0.20 |
| Constant [prefecture] (σ_i) | 0.228 | 0.09 | 0.253 | 0.10 | 0.123 | 0.06 | 0.155 | 0.08 |
| Car (σ_i) | 0.111 | 0.07 | 0.163 | 0.10 | 0.076 | 0.04 | 0.082 | 0.05 |
| Female (σ_i) | 0.162 | 0.11 | 0.285 | 0.14 | 0.116 | 0.07 | 0.106 | 0.07 |
| Worker (σ_i) | 0.115 | 0.08 | 0.140 | 0.09 | 0.102 | 0.06 | 0.123 | 0.08 |
| Constant [inter-individual] (σ_i) | 3.042 | 0.05 | 2.870 | 0.04 | 2.628 | 0.04 | 2.729 | 0.04 |
| 最終対数尤度 | -72834 | | -73246 | | -73709 | | -72180 | |
| サンプル数 | 5000 | | 5000 | | 5000 | | 5000 | |

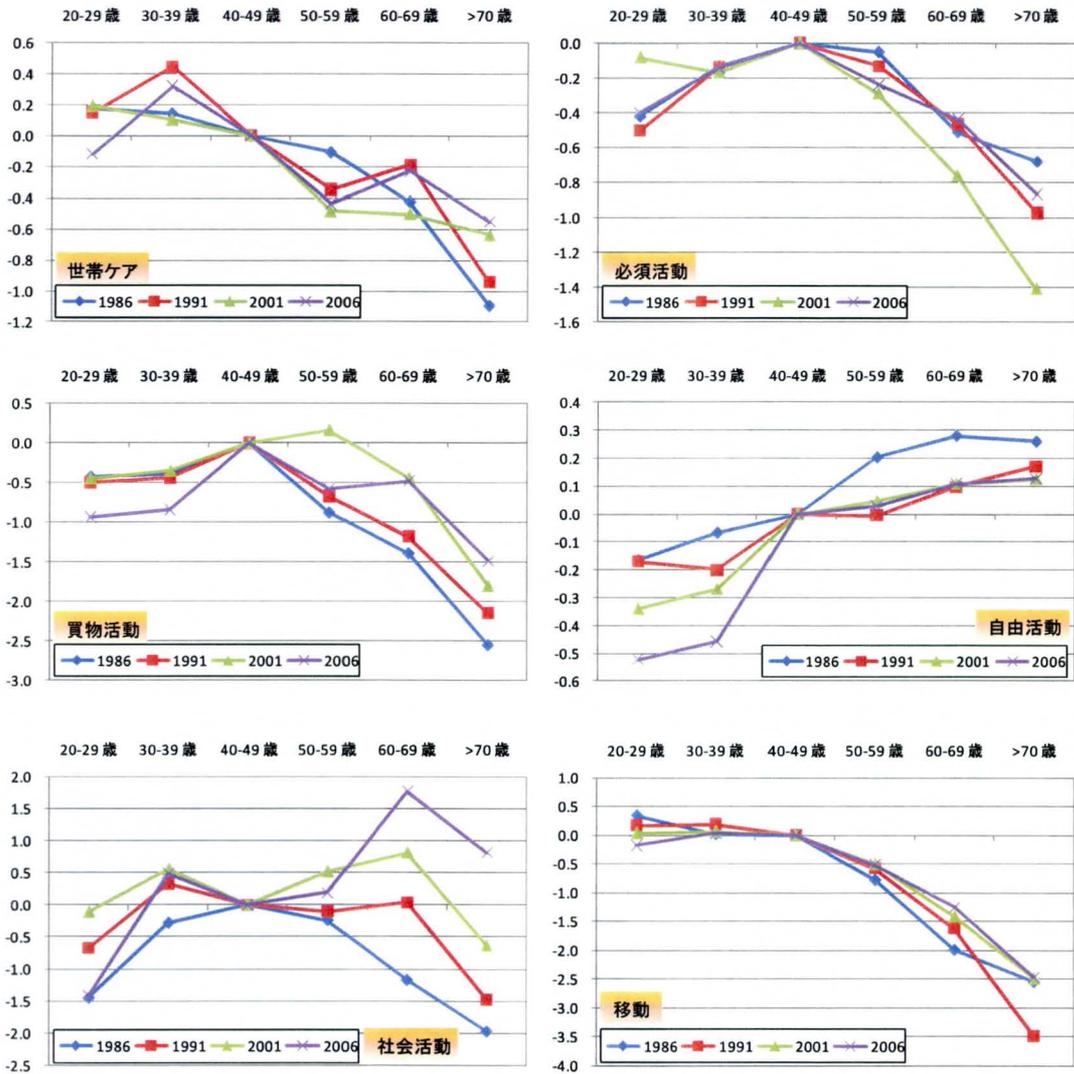
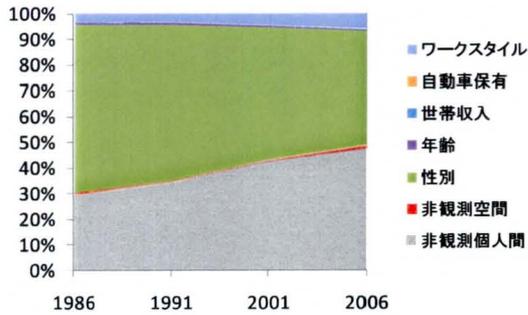


図 6.1 年齢パラメータの経年変化

6.3.4 時間利用行動の変動構造の長期変化

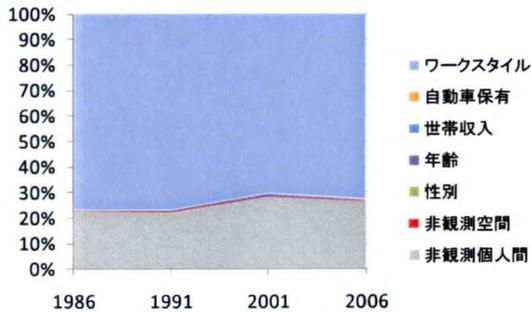
表 6.4 の推定結果を式(6.3)に代入し特定した変動構造を図 6.2-6.7 に示す。以下、結果から得られる主要な知見をまとめる。

- (i). 世帯ケア：観測変動に焦点を当てると、全ての時点において、世帯ケアへの時間利用に対して[性別]が最も大きな影響を持つものの、その影響は経年的に減少していることが分かる。その反面、[ワークスタイル]の影響がわずかに経年的に増加する傾向にあるものの、経年的にその変動割合が大きくなっているのは非観測個人間変動であることが図より確認できる。この結果は、集計分析において明らかとなった、従来の日本における典型的な男女の役割分担が



| | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 観測変動 | | | | |
| ワークスタイル | 0.56 [3.7%] | 0.54 [3.4%] | 0.66 [4.7%] | 0.88 [6.0%] |
| 自動車保有 | 0.00 [0.0%] | 0.01 [0.1%] | 0.00 [0.0%] | 0.00 [0.0%] |
| 世帯収入 | 0.01 [0.0%] | 0.01 [0.1%] | 0.00 [0.0%] | 0.02 [0.1%] |
| 年齢 | 0.10 [0.7%] | 0.17 [1.0%] | 0.09 [0.6%] | 0.09 [0.6%] |
| 性別 | 9.89 [65.4%] | 9.71 [60.6%] | 7.24 [51.6%] | 6.49 [44.4%] |
| 非観測変動 | | | | |
| 空間変動 | 0.13 [0.9%] | 0.04 [0.3%] | 0.06 [0.4%] | 0.15 [1.0%] |
| 個人間変動 | 4.44 [29.3%] | 5.54 [34.6%] | 5.98 [42.6%] | 6.97 [47.8%] |
| 合計 | 15.13 [100%] | 16.01 [100%] | 14.04 [100%] | 14.59 [100%] |

図 6.2 変動構造の経年変化（世帯ケア）

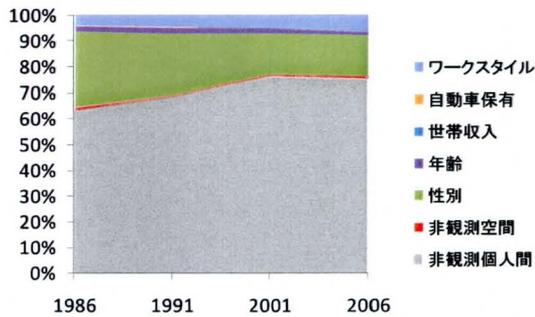


| | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 観測変動 | | | | |
| ワークスタイル | 12.96 [76.9%] | 15.51 [77.1%] | 15.78 [70.5%] | 17.08 [72.8%] |
| 自動車保有 | 0.00 [0.0%] | 0.00 [0.0%] | 0.00 [0.0%] | 0.01 [0.0%] |
| 世帯収入 | 0.00 [0.0%] | 0.01 [0.1%] | 0.00 [0.0%] | 0.00 [0.0%] |
| 年齢 | 0.05 [0.3%] | 0.10 [0.5%] | 0.22 [1.0%] | 0.08 [0.4%] |
| 性別 | 0.01 [0.1%] | 0.00 [0.0%] | 0.01 [0.1%] | 0.03 [0.1%] |
| 非観測変動 | | | | |
| 空間変動 | 0.02 [0.1%] | 0.08 [0.4%] | 0.09 [0.4%] | 0.08 [0.3%] |
| 個人間変動 | 3.79 [22.5%] | 4.42 [22.0%] | 6.29 [28.1%] | 6.20 [26.4%] |
| 合計 | 16.85 [100%] | 20.12 [100%] | 22.39 [100%] | 23.48 [100%] |

図 6.3 変動構造の経年変化（必須活動）

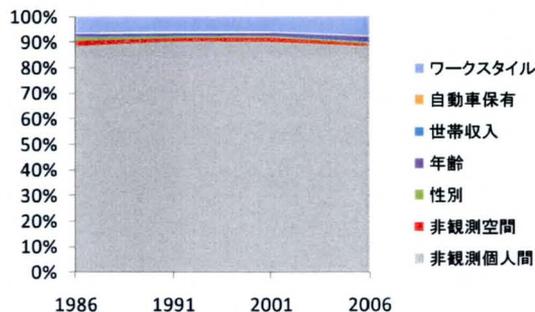
変化している可能性を支持するものである。すなわち、世帯ケアへの時間利用に関する意思決定は、性別以外の要因に依存する方向に変化しているといえる。

- (ii) **必須活動**：全ての時点において[ワークスタイル]が主要な変動要因であることが分かる。また、残りの変動は非観測個人間変動であることも図より確認できる。必須活動の観測変動の割合は、他の活動種類に比べて最も高い値を示しており、また、経年的に比較的安定しているように思われる。
- (iii) **買物活動**：世帯ケアと同様に[性別]が主要な変動要因であるものの、その程度は1986年から2001年にかけて減少していることが分かる。その反面、[ワークスタイル]及び非観測個人間



| | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 観測変動 | | | | |
| ワークスタイル | 0.87 [4.0%] | 1.00 [4.7%] | 1.05 [5.2%] | 1.38 [6.7%] |
| 自動車保有 | 0.05 [0.2%] | 0.06 [0.3%] | 0.00 [0.0%] | 0.02 [0.1%] |
| 世帯収入 | 0.01 [0.0%] | 0.04 [0.2%] | 0.01 [0.0%] | 0.01 [0.0%] |
| 年齢 | 0.45 [2.1%] | 0.46 [2.2%] | 0.40 [2.0%] | 0.22 [1.1%] |
| 性別 | 6.37 [29.3%] | 5.06 [23.9%] | 3.25 [16.1%] | 3.37 [16.2%] |
| 非観測変動 | | | | |
| 空間変動 | 0.21 [1.0%] | 0.09 [0.4%] | 0.14 [0.7%] | 0.18 [0.8%] |
| 個人間変動 | 13.78 [63.4%] | 14.52 [68.4%] | 15.39 [76.0%] | 15.60 [75.1%] |
| 合計 | 21.74 [100%] | 21.22 [100%] | 20.24 [100%] | 20.78 [100%] |

図 6.4 変動構造の経年変化（買物活動）

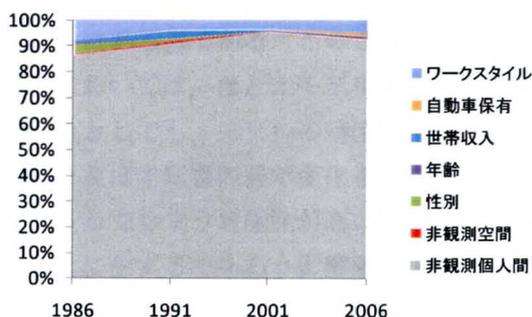


| | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 観測変動 | | | | |
| ワークスタイル | 0.10 [6.6%] | 0.10 [6.1%] | 0.11 [6.2%] | 0.16 [7.7%] |
| 自動車保有 | 0.00 [0.1%] | 0.00 [0.3%] | 0.00 [0.0%] | 0.00 [0.0%] |
| 世帯収入 | 0.00 [0.0%] | 0.01 [0.5%] | 0.00 [0.1%] | 0.00 [0.0%] |
| 年齢 | 0.02 [1.4%] | 0.01 [0.8%] | 0.02 [1.3%] | 0.05 [2.4%] |
| 性別 | 0.02 [1.4%] | 0.01 [0.7%] | 0.01 [0.6%] | 0.01 [0.6%] |
| 非観測変動 | | | | |
| 空間変動 | 0.03 [1.9%] | 0.02 [1.2%] | 0.03 [1.6%] | 0.02 [0.9%] |
| 個人間変動 | 1.40 [88.6%] | 1.52 [90.4%] | 1.53 [90.1%] | 1.79 [88.4%] |
| 合計 | 1.58 [100%] | 1.68 [100%] | 1.69 [100%] | 2.02 [100%] |

図 6.5 変動構造の経年変化（自由活動）

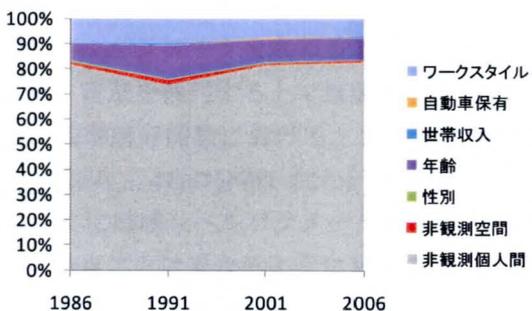
変動の影響は経年的に大きくなっている。これらの点から、買物活動の変動構造の変化は、世帯ケアの変動構造の変化と類似していることが分かる。

- (iv). 自由活動及び社会活動：これらの活動種類においては、全ての時点において、全変動の 90% 前後が非観測個人間変動という結果となった。このことは、自由活動及び社会活動の時間利用に対する意思決定は、ここで導入した説明変数以外の要因によって規定されていることを意味する。4 章の結果、及び、Spissu(2009)の研究成果を踏まえると、非観測個人間変動の多くは、非観測個人内変動に由来していると考えられる。ただし、非観測個人内変動と非観測個人間変動の識別した上で変動構造の変化を捉えるためには、離散時間—連続時間パネルデ



| | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 観測変動 | | | | |
| ワークスタイル | 5.20 [7.8%] | 2.31 [3.6%] | 2.00 [3.4%] | 3.25 [4.9%] |
| 自動車保有 | 0.08 [0.1%] | 0.15 [0.2%] | 0.06 [0.1%] | 0.76 [1.2%] |
| 世帯収入 | 0.59 [0.9%] | 1.81 [2.8%] | 0.16 [0.3%] | 0.18 [0.3%] |
| 年齢 | 0.36 [0.5%] | 0.31 [0.5%] | 0.23 [0.4%] | 0.55 [0.8%] |
| 性別 | 2.41 [3.6%] | 0.56 [0.9%] | 0.02 [0.0%] | 0.00 [0.0%] |
| 非観測変動 | | | | |
| 空間変動 | 0.45 [0.7%] | 0.58 [0.9%] | 0.20 [0.3%] | 0.20 [0.3%] |
| 個人間変動 | 57.68 [86.4%] | 58.04 [91.0%] | 55.95 [95.4%] | 60.88 [92.5%] |
| 合計 | 66.76 [100%] | 63.77 [100%] | 58.62 [100%] | 65.82 [100%] |

図 6.6 変動構造の経年変化（社会活動）



| | 1986 | 1991 | 2001 | 2006 |
|--------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 観測変動 | | | | |
| ワークスタイル | 1.10 [9.5%] | 1.09 [9.6%] | 0.63 [7.2%] | 0.61 [6.6%] |
| 自動車保有 | 0.01 [0.1%] | 0.00 [0.0%] | 0.04 [0.5%] | 0.01 [0.1%] |
| 世帯収入 | 0.03 [0.3%] | 0.10 [0.9%] | 0.03 [0.3%] | 0.07 [0.7%] |
| 年齢 | 0.76 [6.6%] | 1.51 [13.4%] | 0.79 [9.1%] | 0.81 [8.8%] |
| 性別 | 0.11 [0.9%] | 0.04 [0.4%] | 0.07 [0.8%] | 0.04 [0.4%] |
| 非観測変動 | | | | |
| 空間変動 | 0.10 [0.9%] | 0.19 [1.7%] | 0.04 [0.5%] | 0.06 [0.6%] |
| 個人間変動 | 9.39 [81.6%] | 8.37 [74.0%] | 7.04 [81.5%] | 7.58 [82.6%] |
| 合計 | 11.50 [100%] | 11.31 [100%] | 8.64 [100%] | 9.17 [100%] |

図 6.7 変動構造の経年変化（移動）

ータが必要となる（3章参照）。

- (v). 移動: 主要な観測変動要因は、[ワークスタイル](6.6%~9.6%)と[年齢](6.6%~13.4%)であるが、残りの約 80%の変動は非観測個人間変動に由来していることが分かる。[ワークスタイル]の影響が経年的に減少する傾向にあることが確認できる一方、[年齢]や非観測個人間変動については、一定の変化のパターンは観測されない結果となった。

総じて、6.3.3において記述したように非観測空間変動は極めて小さい一方で、全変動に対する非観測個人間変動が主要な変動要因であることが示された。これより、少なくとも観測変動の変

化のみを対象とした従来の変化の検証は、十分に現象の変動を捉えられるだけの観測変数を導入しない限り、変化を正確に計測できていない可能性が高い。変動構造の変化を観測することにより得られた最も重要な知見は、特に世帯ケア及び買物活動に対する非観測個人間変動が経年的に増加傾向にある点である。このことは、導入した説明変数でモデルを作成することを所与とした状況下においては、たとえモデル構造内のパラメータ β 及び観測変数 x を、最新データを用いて更新したとしても、モデルの精度は下がることを意味する。言い換えると、観測変数が対象とする行動に及ぼす影響の経年変化を考慮し、当該パラメータを逐次修正したとしても、その予測精度は低下してしまう可能性が高い。この問題を解決するための方法として、観測をより精緻に行い、新たに生ずるであろう影響要因を積極的に取り入れていくことが考えられる。この際、4章において明らかとなったように、非観測個人内変動が非観測変動の主要な変動要因である可能性が高く、複数日に渡る行動データの観測及び調査項目の充実が必要であるものと思われる。

6.3.5 地域レベルパラメータ（縮約推定量）の長期変化

次に、地域レベルパラメータの推定結果について考察を加える。本実証分析においては、地域レベルパラメータは、ある観測変数にかかるパラメータの県間の差異を意味する。ただし、上述したように、県レベルの空間変動はほとんど存在しないため、ここで行う地域レベルパラメータの議論は、実際の行動理解においてはあまり有用ではないと言わざるを得ない。しかしながら、地域レベルパラメータを求めることによりある観測変数の影響の空間分布の経年変化を観測することは、政策を検討する上で重要となる局面も多々あると考えられるため、ここでは例として、移動の基準選好関数における、常勤労働者変数にかかるパラメータの地域間差異（すなわち、 $\gamma_{s, \text{Worker}}^j$ ($s=1, \dots, 47$)の分布)について考察することにする。

図 6.8 に地域レベルパラメータの経年変化（常勤労働者の移動）を示す。パラメータの県間差異は、時点ごとに異なるように見えるが、共通する点も存在する。具体的には、東京都市圏、京阪神都市圏、北九州都市圏といった、比較的人口が集中している地域においては、地域レベルパラメータは高い値を取ることが確認できる。このことは、常勤労働者の移動時間は非常勤労働者に比べて移動時間が長いことは表 6.4 の結果より明らかであるが、都市圏においてはその傾向がより顕著であることを示している。これは、都市圏においては、周辺地域から都心部への通勤が他の地方都市と比較して多いことに由来しているためと思われる。しかしながら、このような推論を詳細に行うためには、県単位の地域レベルパラメータでは粗すぎる可能性が高く、今後、この点についてはより詳細に検証する必要がある。また、図 6.8 からは、地域間差異の経年変化に関する顕著な傾向は見られなかった。他の変数にかかる地域レベルパラメータについても同様の分析を行ったが、全てのケースにおいて経年変化が顕著にみられるようなケースは見られなかった。

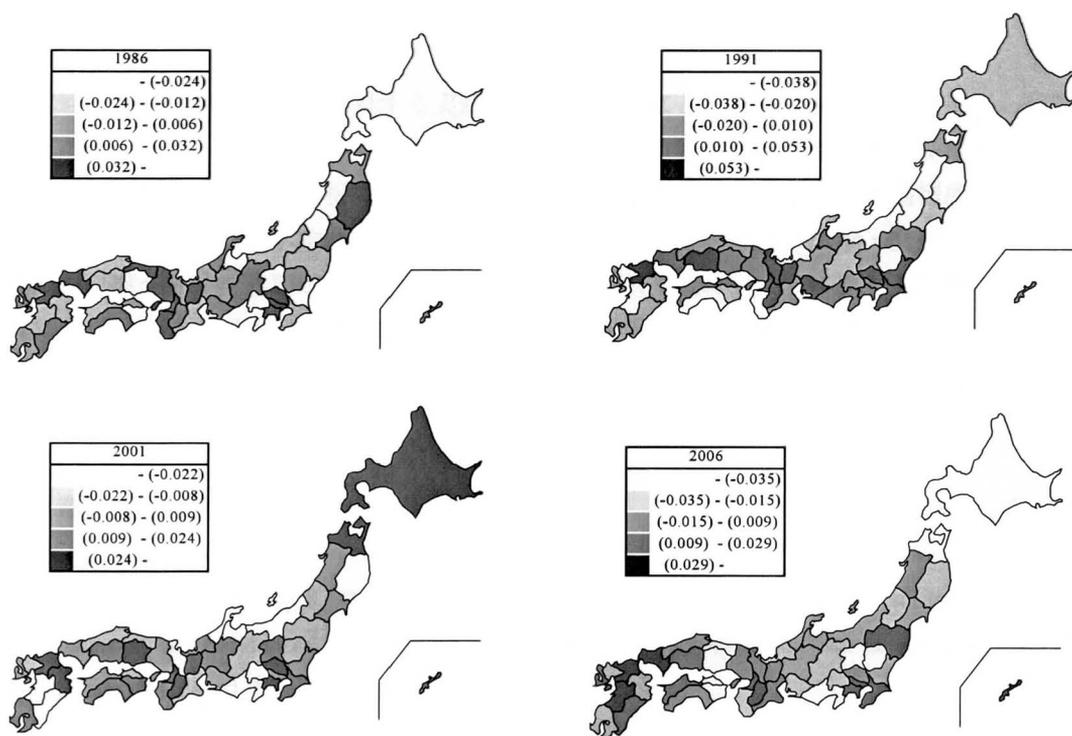


図 6.8 地域レベルパラメータの経年変化（常勤労働者の移動）

6.4 本章のまとめと今後の課題

本章では、活動・交通行動の変化を検証する上においても、変動構造の観点が極めて重要であることを指摘し、時間利用行動を例として実証分析を行い、変動構造の長期変化を具体的に示した。以下に、本章で行った分析から得られた主要な知見をまとめる。

- 1) 活動・交通行動の現象の変化を検証するためには、観測変動の変化を確認するだけでは不十分である点を指摘した。この点について、時間利用行動を対象とした実証分析を通じて実際に非観測変動が経年的に増加傾向にあることを示し、導入した説明変数でモデルを作成することを所与とした状況下においては、たとえモデル構造内のパラメータ β 及び観測変数 x を、最新データを用いて更新したとしても、予測精度は低下することを示した。このような変化の計測は、非観測変動を含めた変動構造の変化をみることによって可能となったものである。これより、非観測変動の変化の検証は、変化の発生源に関する情報を含まないものの、モデルの将来時点の予測精度を検証する上では極めて有用な方法であるといえる。
- 2) また、地域レベルパラメータ（縮約推定量）を導出することにより、ある観測変数が対象とする現象に及ぼす影響の空間分布の経年変化を捉えることができることを示した。ただし、実証分析では、空間単位が粗く、空間分布の経年変化の顕著な傾向は観測されなかった。今

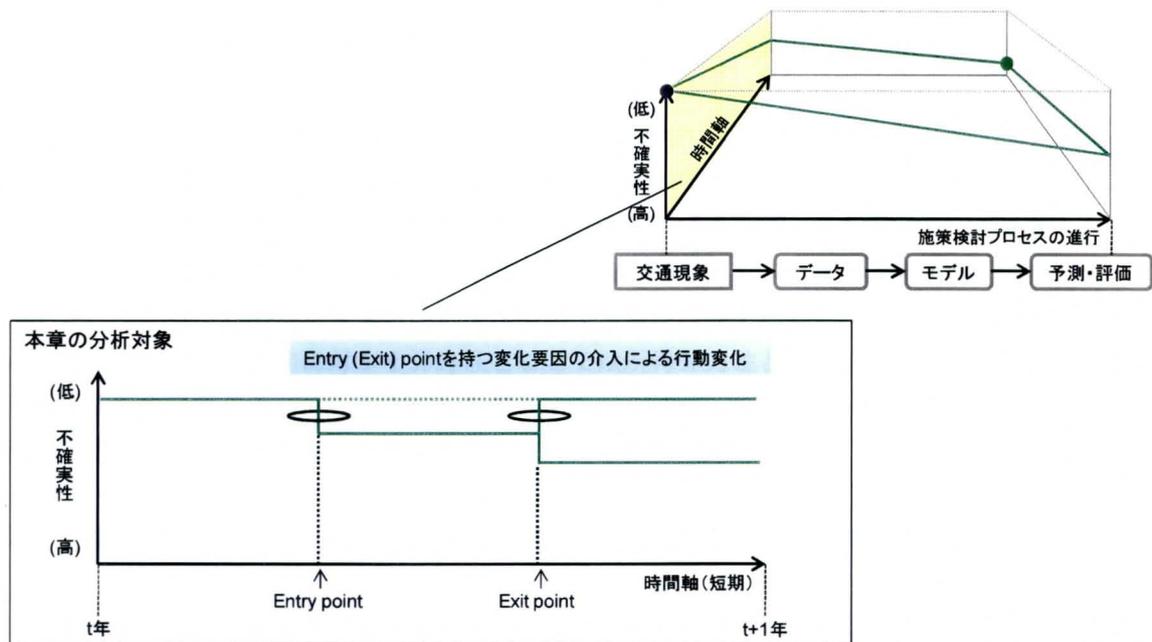
後、異なる空間定義、空間単位のもとで追加分析を行うことが望まれる。

本章では、時間利用行動に対する実証分析のみ行うにとどまったが、その結果から行動の長期変化が生じていることが明らかとなった。その変化は、恐らくは交通行動の多様化により生じているものであり、本実証分析で取り扱った説明変数を所与とした場合、予測精度は経年的に悪化する傾向にあることが示唆された。これら点を踏まえると、今後、活動・交通行動の長期変化を積極的に捉えていく必要があるとともに、離散時間—連続時間パネル調査も視野に入れた、より精緻な行動調査を展開し、新たに生ずるであろう影響要因を積極的に捉える努力が必要なものと考えられる。

第6章 関連参考文献

- 1) Snellen, D., Arentze, T., Borgers, A., Timmermans, H.: Impact of urban setting on activity-travel patterns: comparison of performance indicators with quasi-experimental design data, *Transportation Research Record*, No. 1780, pp. 1-8, 2001.
- 2) Spissu, E., Pinjari, A. R., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., Axhausen, K. W.: An analysis of weekly out-of-home discretionary activity participation and time-use behavior, *Transportation*, Vol. 36, pp. 483-510, 2009.

第7章 離散的性質を有する変化：価格弾力性の逐次モニタリング



7.1 はじめに

6章において、異なる離散時点において観測された行動データを用いて、変動構造の長期変化の把握を試みた。離散時点において観測されたデータを用いる場合、変化の生じたタイミングについては検証できず、例えば高速道路料金の値下げ等、Entry (Exit) pointを持つ変化要因の介入が明らかであっても、その影響を観測することは困難である。そのため、Entry (Exit) pointを持つ変化要因の影響を捉えるためには、時間軸上に連続して観測されたデータが必要となる。一方、個々の行動を長期に渡って観測することが極めて非現実的であることは明らかである。これらの点を踏まえると、マクロ時系列データは、詳細な変動の情報を含まないものの、長期に渡る連続的なデータが保存されている場合が多く、Entry (Exit) pointを持つ変化要因の影響を捉えるのに適している場合が多いものと考えられる。ただし、個々の自動車保有の変化等の微視的变化については把握できない。マクロ時系列データによって把握可能な変化は、例えば2009年3月から始まった休日の高速道路料金の引き下げ等、ある集団全体に対して影響を与えるような巨視的变化で

ある。

本章では、このような Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入により生じる交通行動の（巨視的な）変化を、ベイズ更新の概念を用いて逐次モニタリングしていく（3章において述べた方法を用いる）。モニタリングすることの意義は、変化の非対称性、時間遅れ等の影響を観測することができる点にある。また、1章においてみたように、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入は、計画主体の領域外において行われる意思決定によるものが少なからず存在し、その影響を（将来時点の）需要予測に直接的に反映させることが困難な場合が多い。そのため、その影響が一時的なものかどうかをモニタリングし、一時的ではない場合には予測値を修正する等の事後的な対応が望まれる。

実証分析では、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入の例として、2008年4月の暫定税率の失効（25.1円/リットル）及び2008年5月の復活、2008年8月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落を扱う。具体的には、53路線の高速道路月間交通量データを用いて、2008年1月から2009年1月までの価格弾力性の逐次モニタリングを行う（なお、景気の急落についても同時期に観測されていることから、景気動向が高速道路交通量に及ぼす影響についても考察を加えることとする。以降、景気動向に対する弾力性をここでは所得弾力性と呼ぶ）。この際、路線間差異を考慮するためにマルチレベルモデルとして交通需要（月間高速道路交通量）のモデルを定式化し、縮約推定量としての路線別価格弾力性の逐次更新を行う（3章参照）。

7.2 実証分析：2008年1月から2009年1月までの価格弾力性の逐次モニタリング

本節では実証分析の枠組み及び結果について記述する。まず、7.2.1において、価格弾力性の安定性に関する既往研究のレビューを行い、本実証分析の問題意識を整理する。7.2.2では、本研究で使用するデータについて概説する。7.2.3では、本研究で構築するモデル及びベイズ更新について整理する。7.2.4では、採用する景気動向指数を実証的に選定する。7.3.5では、2008年1月から2009年1月まで弾力性を逐次更新した結果を示し、考察を加える。

7.2.1 既往研究のレビュー：価格弾力性の安定性

ガソリン価格が交通需要に与える影響は、ガソリン価格の変化率(%)に対する交通需要の変化率(%)で定義される価格弾力性を用いて表現される場合が多い。価格弾力性は、ガソリン価格の変化に対する人々の反応（行動変化）を直接的に示す指標であり、環境慣例税の導入の有効性の検証等、示唆に富む重要な指標として位置付けられる。そのため、これまでも数多くの研究者・機関によって価格弾力性の推計が行われてきた。例えば、ガソリン消費に対する価格弾力性（Drollas, 1984; Schimek, 1996）、道路交通需要に対する価格弾力性（Schimek, 1996; Johansson and Schipper, 1997）、公共交通需要に対する価格弾力性（Currie and Phung, 2007&2008）等、様々な需要に対する価格弾力性が算出されている。なお、既往の価格弾力性に関する総合的なレビュー論文として、Goodwin (1992), Goodwin et al. (2004), Graham and Glaister (2002, 2004)等がある。また、道路の将来交通需要推計に関する検討会（国土交通省道路局, 2008）においても、ガソリン価格の

高騰を背景とした価格弾力性の算出が試みられるなど、価格弾力性は交通計画上重要な指標の 1 つとして位置づけられている。Goodwin (1992), Graham and Glaister (2002, 2004)や国土交通省道路局(2008)の推計結果をみると、短期的な価格弾力性は-0.1~0.3 (すなわち、10%のガソリン価格の上昇に対して交通量が1~3%減少する) であるとの結論が一般的なようである。

一方、価格弾力性が一意な値として求まらないことがいくつかの既往研究により指摘されている。1点目は、価格弾力性が(長期的な)時間の経過に伴い低くなっているとの指摘がある(Hughes et al., 2008)。2点目は、ガソリン価格高騰に伴う交通量の変化のパターンが地域によって大きく異なると想定される点である(Tanishita, 2005)。特に、代替交通手段のサービス水準が貧弱な地方部では、価格弾力性は極めて小さくなることが推測される。3点目は、ガソリン価格の上昇局面と下降局面では反応が非対称となる点である(Dargay and Gately, 1997)。Dargay and Gately(1997)は、オイルショック時のガソリン価格の高騰を対象とした実証分析を行い、一度ある閾値を越えるような急激な価格高騰が生じると、その後、ガソリン価格がもとに戻ったとしても需要は完全にはもとには戻らないことを示している。4点目は、行動反応の変化が価格変化の理由(例えば、課税による価格上昇か、需要と供給のバランスからくる価格上昇か)によって弾力性は変化することが指摘されている(OECD, 2000; Goodwin, 2004)。Goodwin (2004)は、ロンドンにおける混雑課金時に観測された初期の交通量の減少から求められる価格弾力性と、ガソリン価格の変化からくる価格弾力性が異なることを指摘している。

本研究において対象とする価格弾力性の変化の観測対象は2008年1月~2009年1月であるため、上述の1点目は関与しないものの、2点目~4点目の指摘は極めて興味深い。2点目については、2008年1年間を通じて起こったガソリン価格の急激な増減に対して地方部の路線と都市部の路線の価格弾力性の変化にどのような違いが生じているのかを把握することにより、弾力性の変化に対する空間的な差異に関する詳細な知見を得ることが可能である。3点目については、2008年8月までのガソリン価格の急激な高騰がある閾値に達したのかどうか、すなわち、その後のガソリン価格の急落によっても交通量は完全にはもとに戻らなかったのかどうかを検証する価値があると考えられる。このような非対称性が存在する場合、価格弾力性は2008月以降上昇する傾向を示すはずである。4点目については、2008年4月の暫定税率の失効(25.1円/リットル)及び2008年5月の復活という政治的な要因によって生じた価格の増減と、2008年8月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落という需要と供給のバランスによって生じたと考えられる価格の増減とで、どのような弾力性の変化の違いが観測されるかという点である。仮に極めて異なる弾力性の変化が観測された場合、近年議論されている環境税をガソリン価格に負荷する場合においても、環境税を人々がどのように認識しているのかによって行動反応は異なってくるものと予想される。

以上の点を踏まえて以下実証分析を進めていく。

7.2.2 使用データ

実証分析において使用するデータを表1に示す。高速道路交通量データとして、首都高速道路(株)、東日本高速道路(株)がWeb上に公開している路線別交通量データ、西日本高速道路(株)が管理し

ている中国地方にある路線の交通量データを用いる（計 53 路線、詳細は図 3 参照）。なお、分析期間中に供用開始の影響が顕著な山陰道は対象から除外する。ガソリン価格は、石油情報センターが公開している月別県別のレギュラーガソリン店頭現金価格を用いる。景気動向指数は、内閣府が公表している 2 種類の景気動向指数（Diffusion Index と Composite Index）のうち、景気動向を量的に把握することを目的とする Composite Index(CI)を用いる。なお景気動向指数として、景気に対し先行して動く先行指数、ほぼ一致して動く一致指数、遅れて動く遅行指数の 3 つの指数が公表されている。景気動向指数を導入した理由は、景気の急落がガソリン価格の急激な変動と同時期に観測されており、交通量を決定する要因として無視できないと考えたためである。なお、既往研究では所得弾力性を求めるために GDP を説明変数に取りこむことが頻繁であるが、GDP は四半期ベースで公表される指標であるため、ここでは景気動向指数を用いた。本実証分析では景気動向に対する弾力性を所得弾力性と定義する。

図 1 にガソリン価格及び 3 つの景気動向指数 CI の経時変化を示す。図より、2008 年 1 年間を通して急激なガソリン価格の増減が観測されていることが分かる。まず、2008 年 4 月における暫定税率の失効及び 5 月の復活が目立つ。その後、2008 年 8 月時点においては、ガソリン価格は約 185 円／リットルまで高騰するものの、2008 年 9 月以降急落し、2009 年 1 月には 110 円／リットルを下回っていることが分かる。景気動向については、一致指数、遅行指数については 2008 年まで安定的である一方で、その後減少傾向にあることが分かる。また、ガソリン価格と 3 つの景気動向指数の間に高い相関は観測されないものの、3 つの景気動向指数間に高い相関があることが確認できる。そこで本研究では、まず各景気動向指数を採用したモデルを 3 つ作成し、適合度の最も高いモデルの景気動向指数を採用することとした。これについては 7.2.4 において述べる。

表 7.1 使用データ一覧

| データ | データソース |
|----------------------------|--|
| 路線別月間交通量 (2005.4-2009.1) | 首都高速道路㈱調べ (http://www.shutoko.jp/)。3 路線 |
| 路線別月間交通量 (2006.4-2009.1) | 東日本高速道路㈱調べ (http://www.e-nexco.co.jp/)。42 路線（一般有料道路含む） |
| 路線別月間交通量 (2004.4-2009.1) | 西日本高速道路㈱中国支社調べ。8 路線（中国地方のみ） |
| 県別月別ガソリン価格 (2005.4-2009.1) | 石油情報センター調べ (http://oil-info.icej.or.jp/)。レギュラーガソリン店頭現金価格 |
| 景気動向指数 (2005.4-2009.1) | 内閣府が公表 (http://www.cao.go.jp/index-e.html)。景気動向を量的に把握することを目的とした Composite Index (CI)を使用 ¹ |

¹ 先行指数（以下の 12 系列から構成）：最終需要財在庫率指数、鉱工業生産財在庫率指数、新規求人数、実質機械受注、新設住宅着工床面積、耐久消費財出荷指数、消費者態度指数、日経商品指数、長短金利差、東証株価指数、投資環境指数、中小企業売上げ見通し D.I.

一致指数（以下の 11 系列から構成）：生産指数、鉱工業生産財出荷指数、大口電力使用量、稼働率指数、所定外労働時間指数、投資財出荷指数、商業販売額、商業販売額、営業利益、中小企業売上高、有効求人倍率

遅行指数（以下の 6 系列から構成）：第 3 次産業活動指数、常用雇用指数、実質法人企業設備投資、家計消費支出、法人税収入、完全失業率

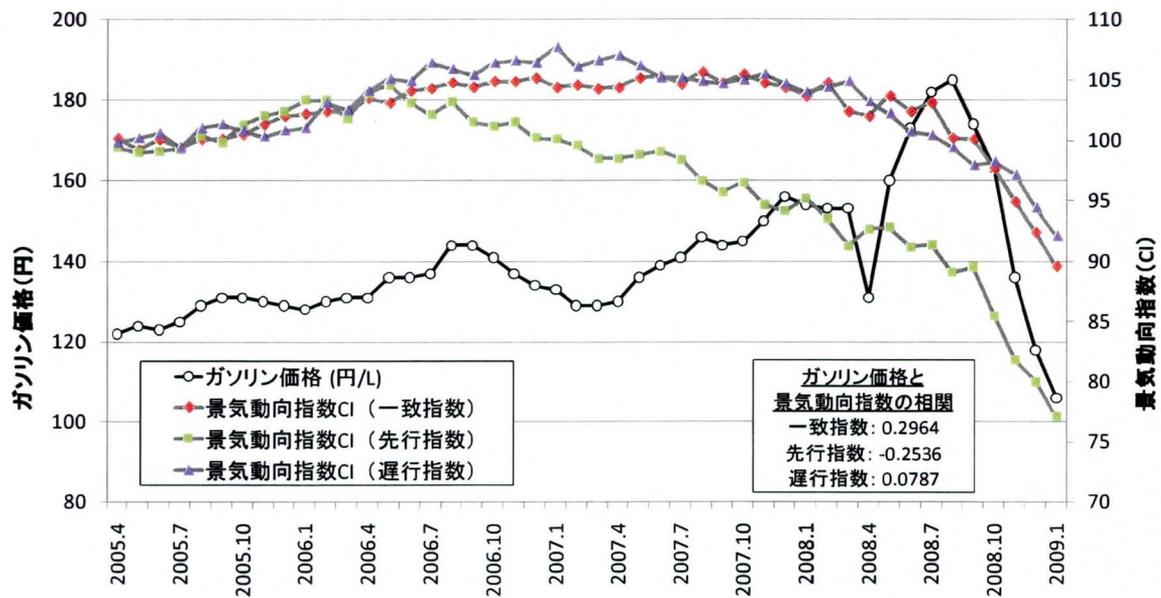


図 7.1 ガソリン価格及び景気動向指数の経時変化

7.2.3 ベイズ更新に基づく価格弾力性の逐次モニタリング手法

本実証分析で使用する逐次モニタリングの方法は、3.4において述べたベイズ更新を基盤としたものである。以下、7.2.3.1ではモデルを定式化し、7.2.3.2ではベイズ更新の方法について再度説明を加える。

7.2.3.1 モデルの定式化

本研究では、以下の式により定義される価格弾力性 e_p (ガソリン価格に対する高速道路交通需要の弾力性) 及び所得弾力性 e_E (景気動向指数に対する高速道路交通需要の弾力性) を求める。

$$e_p = \frac{\partial Q/Q}{\partial P/P} = \frac{\partial \ln(Q)}{\partial \ln(P)}, \quad e_E = \frac{\partial Q/Q}{\partial E/E} = \frac{\partial \ln(Q)}{\partial \ln(E)} \quad (7.1)$$

ここで、 Q は交通量、 P はガソリン価格、 E は景気動向指数である。

式(7.1)で定義される弾力性を算出するにあたって、log-log モデル (コブダグラス型関数に対数を取ったもの)、部分調整モデル(Partial adjustment model)をはじめ、多岐に渡る方法が存在する。本分析では、多々ある方法のうち、どれが優れているかについては議論の対象とはせず、既存研究において最も頻繁に採用されているモデル構造である log-log モデルを採用する。ここでは、7.2.1における議論のもと、どのように地域間差異 (実証分析においては路線間差異) を考慮するか

着目する。最も単純に地域間差異を考慮する方法は、路線別に log-log モデルを推定し、各路線の弾力性を得る方法である。一方、Maddala et al. (1997)は、アメリカの各州におけるエネルギー需要に対する価格弾力性推定の文脈において、州別の推定によって得られる価格弾力性は、1つの州から得られるマクロ時系列データは数十サンプル程度と極めて限られており、その推定値は極めて不安定であることを指摘している。一方、全地域のマクロ時系列データを合わせて推定する場合においては安定した推定値が得られるが、州間で弾力性は一定であると仮定することとなる。Maddala et al. (1997) は、州間において一定の弾力性が存在するという仮説は簡単に棄却されることを指摘した上で、縮約推定量を用いた弾力性の推計を提案している（縮約推定量については3章参照）。

以上の Maddala et al. (1997)の研究成果を踏まえて、本研究では以下のマルチレベルモデルとして log-log モデルを定式化する。

$$\ln(Q_{imy}) = (\mu_0 + \gamma_{i0}) + (\mu_1 + \gamma_{i1})\ln(Q_{im(y-1)}) + (\mu_2 + \gamma_{i2})\ln(P_{imy}) + (\mu_3 + \gamma_{i3})\ln(E_{imy}) + (\mu_4 + \gamma_{i4})T_{my} + \varepsilon_{imy} \quad (7.2)$$

ここで、 Q_{imy} は、 y 年 m 月における路線 i の月間交通量である。 $Q_{im(y-1)}$ は旅行シーズン等、交通需要の年変動を調整するために導入した。 P_{imy} は y 年 m 月における路線 i 周辺地域のレギュラーガソリン店頭販売価格、 E_{my} は y 年 m 月における景気動向指数、 T_{my} は時間の経過による交通量の増減を捉えるためのトレンド項である。 ε_{imy} は平均0、分散 σ_0^2 に従う誤差項である。また、 $\mu = \{\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4\}$ は、各説明変数に対する路線平均の影響を表すパラメータ、 $\gamma_i = \{\gamma_{i0}, \gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \gamma_{i3}, \gamma_{i4}\}$ は路線固有のパラメータであり、路線平均からの差異を表す（縮約推定量に当たる）。ここで、 γ_i は平均0、分散共分散 Σ の多変量正規分布に従うとする。ただし、

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{\gamma 0}^2 & \sigma_{\gamma 01} & \sigma_{\gamma 02} & \sigma_{\gamma 03} & \sigma_{\gamma 04} \\ \sigma_{\gamma 01} & \sigma_{\gamma 1}^2 & \sigma_{\gamma 12} & \sigma_{\gamma 13} & \sigma_{\gamma 14} \\ \sigma_{\gamma 02} & \sigma_{\gamma 12} & \sigma_{\gamma 2}^2 & \sigma_{\gamma 23} & \sigma_{\gamma 24} \\ \sigma_{\gamma 03} & \sigma_{\gamma 13} & \sigma_{\gamma 23} & \sigma_{\gamma 3}^2 & \sigma_{\gamma 34} \\ \sigma_{\gamma 04} & \sigma_{\gamma 14} & \sigma_{\gamma 24} & \sigma_{\gamma 34} & \sigma_{\gamma 4}^2 \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

ここで、 μ_2 は価格弾力性の定義（[交通需要の変化率(%) / ガソリン価格の変化率(%)] = $[d\ln(Q)/d\ln(P)]$ ）から高速道路交通量のガソリン価格に対する弾力性（路線平均）である。同様に、 μ_3 は高速道路交通量の景気動向に対する弾力性（路線平均）である。また、路線平均からの差異を加えた $\mu_2 + \gamma_{i2}$ 及び $\mu_3 + \gamma_{i3}$ は、各路線の価格弾力性、所得弾力性にそれぞれ該当する。

7.2.3.2 バイズ更新

式(7.1)-(7.3)で定義されるモデルを、MCMC 法を用いて推定する。具体的には、式(7.1)-(7.3)から決定される以下の事後分布を定義する。

$$\pi(\gamma_1, \dots, \gamma_I, \mu, \Sigma, \sigma_0 | Q, x) \propto \prod_{i \in I} \prod_{my \in TT_i} f(Q_{imy}, x_{imy} | \gamma_i, \mu, \sigma_0) p(\gamma_i | \Sigma) p(\mu) p(\Sigma) p(\sigma_0) \quad (7.4)$$

ここで、 TT_i はデータ期間を表す。また $f(Q_{imy}, x_{imy} | \gamma_i, \mu, \sigma_0)$ は、式(7.1)から定義される尤度であり、平均 $[\ln(Q_{imy}) - \beta_{i0} - \beta_{i1} \ln(Q_{im(y-1)}) - \beta_{i2} \ln(P_{imy}) - \beta_{i3} \ln(E_{my}) - \beta_{i4} T_{my}]$ 、分散 σ_0^2 に従う。 $p(\gamma_i | \Sigma)$ は Σ の条件下における γ_i の確率分布であり、パラメータ γ_i は平均 γ_i 、共分散 Σ に従う $p(\gamma_i | \Sigma)$ を事前分布とし、パラメータ Σ は $p(\Sigma)$ を事前分布とするといった階層構造を持つ。ここで、 $p(\Sigma)$ は逆ウィシャート分布、 $p(\mu)$ は正規分布、 $p(\sigma_0)$ は逆ガンマ分布に従う事前分布であり、すべて無情報事前分布を仮定する。

以上のように、無情報事前分布を仮定した場合、統計的な観点からは、 m 月までに得られたデータを用いて推定することにより得られた μ はBLUE (Best Linear Unbiased Estimator) に、 γ_i はBLUP (Best Linear Unbiased Prediction) に該当する (3章参照)。ここで、 $m+1$ 月のデータ $Q_{i(m+1)y}$ 及び $x_{i(m+1)y}$ を入手した場合を考えよう。このとき、 $m+1$ 月までのデータを用いて推定されるパラメータは、種々の変化要因の介入により、 m 月までのデータにより得られたパラメータとは異なる可能性がある。このとき、 $m+1$ 時点においては、 μ, γ_i はBLUP/BLUEではない。このような変化に対応するために、本研究ではバイズ更新を用い、 $m+1$ 月のデータが得られた時点で、 $m+1$ 月におけるBLUP/BLUEにパラメータを更新することを行う。具体的には、以下の式に基づき更新する。

$$\begin{aligned} & \pi(\gamma_1, \dots, \gamma_I, \mu, \Sigma, \sigma_0 | Q, x, Q_{i(m+1)y}, x_{i(m+1)y}) \\ & \propto \prod_{i \in I} \prod_{my \in TT_i + 1} f(Q_{imy}, x_{imy} | \gamma_i, \mu, \sigma_0) p(\gamma_i | \Sigma) p(\mu) p(\Sigma) p(\sigma_0) \\ & \propto \prod_{i \in I} f(Q_{i(m+1)y}, x_{i(m+1)y} | \gamma_i, \mu, \sigma_0) \pi(\gamma_1, \dots, \gamma_I, \mu, \Sigma, \sigma_0 | Q, x) \end{aligned} \quad (7.5)$$

この更新を、新たなデータが得られる度に行い、パラメータが辿る変化の軌跡を追うことにより、弾力性の変化に関する推論を行う。

7.2.4 3種類の景気動向指数の比較

上述したモデルの推定においてはMCMC法を用いる。具体的には、生成回数を36,000,000回、稼働検査期間を6,000,000回とし、3,000回毎にサンプリングを間引くことにより、最終的に10,000回のサンプルを事後分布として用いた。なお、収束状況の確認は3章に述べた方法によって行う

ている。

各景気動向指数（先行指数・一致指数・遅行指数）を用いた3つのモデルの適合度を表7.2に示す。なお、比較を行うためのモデル推定は、2009年1月までの全データを用いて推定している。推定の結果、DIC、 R^2 ともに、景気に対して一致して動く一致指数の適合度が最も高かった。よって以後の分析では、景気動向指数として一致指数を用いて分析を進める。

表 7.2 3種類の景気動向指数を用いた推定結果の比較

| | 採用した景気動向指数 | | |
|----------------------|------------|----------|----------|
| | 先行指数 | 一致指数 | 遅行指数 |
| 最終対数尤度 ¹⁾ | 2406.64 | 2481.78 | 2460.22 |
| DIC | -4531.56 | -4642.03 | -4616.37 |
| R^2 | 0.999306 | 0.999399 | 0.999397 |

1) サンプリングしたパラメータの平均値を尤度関数に代入して得られた最終対数尤度。最終対数尤度が正であるのは、尤度が密度関数で定義されているため。

7.2.5 2009年1月時点までのデータを用いた推定結果

2009年1月時点までの全データを用いた推定結果を表7.3に示す。推定された路線平均の価格弾力性は-0.118、所得弾力性は0.464となった。すなわち、ガソリン価格（景気動向指数）が10%高くなると、交通量は1.18%増加（4.64%減少）する。この結果は、景気動向指数から得られる所得弾力性を従来のGDP等を用いた場合に得られる所得弾力性と同一と見なした場合、過去に行われてきた推定値と矛盾しない結果である。また、ラグ項の推定値が大きいことから、高速道路交通量は基本的には前年同月の交通量に大きく依存していることが分かる。推定された Σ の分散に着目すると、ガソリン価格にかかるパラメータを除いて全て有意な結果となった。これより、交通需要を規定するモデル構造は路線によって有意に異なるといえ、路線間差異を考慮する必要があるといえる。なお、表7.3の推定結果は、後述する逐次更新結果の2009年1月の結果と一致する。

7.2.6 価格弾力性及び所得弾力性の逐次更新結果

価格弾力性及び所得弾力性の逐次更新結果を表7.4及び表7.5に示す。以下、路線平均の弾力性変化、各路線の弾力性変化について順に考察する。

7.2.6.1 路線平均の弾力性変化

各弾力性の路線平均値の経時変化を図7.2に示す。まず、価格弾力性に着目すると、ガソリン価格が急落する異なる2期間である1) 2008年4月の暫定税率の失効、2) 2009年9月以降のガソリン価格の急落によって異なる変化が生じていることが分かる。2008年4月の暫定税率失効の期間においては、価格弾力性は大きく低下する（すなわち0に近づく）ことが分かる。また、その

表 7.3 推定結果 (2009 年 1 月までの全データを使用)

| 説明変数 | | Mean | S.E. | 2.5%, 97.5% quantiles | Geweke |
|----------|------------|---------|-----------|--------------------------|--------|
| 定数項 | μ_0 | 0.413 | (0.074) | 0.267, 0.562 | -0.431 |
| ラグ項(y-1) | μ_1 | 0.920 | (0.019) | 0.884, 0.957 | 0.390 |
| ガソリン価格 | μ_2 | -0.118 | (0.019) | -0.156, -0.080 | 1.041 |
| 景気動向指数 | μ_3 | 0.464 | (0.120) | 0.226, 0.702 | -0.438 |
| トレンド項 | μ_4 | 1.94E-4 | (0.001) | -0.001, 0.002 | 0.490 |
| 残差 | σ_0 | 0.002 | (9.1E-05) | 1.7E-3, 2.1E-3 | 0.050 |

共分散 (式(7.3)). (下線は相関係数. 括弧内は S.E.)

| | | | | |
|------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| 0.097 (0.039) | -0.031 (0.010) | 2.3E-03 (8.9E-03) | 0.126 (0.052) | 5.6E-04 (3.1E-04) |
| <u>-0.938</u> | 0.011 (3.1E-03) | -2.2E-03 (2.6E-03) | -0.038 (0.016) | -2.4E-04 (9.8E-05) |
| <u>0.115</u> | <u>-0.321</u> | 4.0E-03 (2.5E-03) | -0.015 (0.021) | 4.0E-05 (9.9E-05) |
| <u>0.616</u> | <u>-0.539</u> | <u>-0.361</u> | 0.430 (0.201) | 1.6E-03 (1.1E-03) |
| <u>0.391</u> | <u>-0.492</u> | <u>0.138</u> | <u>0.540</u> | 2.1E-05 (7.0E-06) |

| | |
|----------------|----------|
| サンプル数 | 1394 |
| R ² | 0.9994 |
| LL | 2481.78 |
| pD | 160.76 |
| DIC | -4642.03 |

低下は5月まで継続し、その後、再び2008年1月～3月の水準にまで戻ることが分かる。これより、暫定税率の失効は、価格弾力性の変化を引き起こすものの、一時的な影響を及ぼすに過ぎないように見受けられる。なお、価格弾力性が小さくする方向に変化しているため、暫定税率の失効に伴うガソリン価格の低下によって交通需要が増加することを抑制する方向に変化しているといえる。すなわち、高速道路交通量の増加は、2008年3月までのデータを用いて得られる価格弾力性を用いた予測値よりも少ないといえる。一方、2009年9月以降のガソリン価格が急落した期間に着目すると、価格弾力性の平均値は比較的安定して推移していることが分かる。この結果から、明らかにこの2期間における価格弾力性の変化のパターンは異なることが分かる。この理由の1つとして、価格変化の理由が異なる点が挙げられる。具体的には、前者の期間におけるガソリン価格の変化は政治的な意思決定によるものである一方で、後者の期間におけるガソリン価格の変化は主に需要と供給のバランスに由来するものである。この結果は、ガソリン価格が価格変化の原因に依存する点において、上述した Goodwin (2004)の指摘と整合的な結果である。もちろん、Goodwin (2004)の指摘は混雑課金についてであり、政策的な意思決定の種類は異なるものの、共通する知見として、政治的な意思決定によるガソリン価格の変化は、市場原理により起こるガソリン価格の変化と異なると見なす必要がある可能性が高い点が挙げられる。このことは、環境税の導入を検討する場合においては、その導入効果は、環境税の額だけでなく、税の種類にも依

表 7.4 価格弾力性の逐次更新結果

| | Jan08 | Feb08 | Mar08 | Apr08 | May08 | Jun08 | Jul08 | Aug08 | Sep08 | Oct08 | Nov08 | Dec08 | Jan09 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 東京・神奈川・埼玉通過路線 | | | | | | | | | | | | | |
| 首都高速(神奈川線) | -0.097 | -0.050 | -0.085 | -0.045 | -0.035 | -0.097 | -0.063 | -0.090 | -0.089 | -0.110 | -0.122 | -0.122 | -0.125 |
| 首都高速(埼玉線) | -0.089 | -0.038 | -0.070 | -0.039 | -0.030 | -0.091 | -0.060 | -0.088 | -0.123 | -0.140 | -0.159 | -0.159 | -0.174 |
| 首都高速(東京線) | -0.095 | -0.052 | -0.087 | -0.047 | -0.036 | -0.098 | -0.064 | -0.090 | -0.094 | -0.116 | -0.130 | -0.128 | -0.132 |
| 横浜横須賀道路 | -0.103 | -0.046 | -0.082 | -0.044 | -0.033 | -0.096 | -0.064 | -0.092 | -0.094 | -0.112 | -0.120 | -0.117 | -0.120 |
| 横浜新道 | -0.099 | -0.043 | -0.079 | -0.042 | -0.032 | -0.094 | -0.062 | -0.091 | -0.092 | -0.110 | -0.119 | -0.117 | -0.120 |
| 関越自動車道 | -0.091 | -0.036 | -0.076 | -0.042 | -0.032 | -0.094 | -0.060 | -0.089 | -0.093 | -0.114 | -0.129 | -0.130 | -0.134 |
| 京葉道路 | -0.099 | -0.048 | -0.084 | -0.045 | -0.035 | -0.097 | -0.064 | -0.092 | -0.094 | -0.113 | -0.124 | -0.121 | -0.123 |
| 東北自動車道 | -0.094 | -0.039 | -0.078 | -0.041 | -0.032 | -0.094 | -0.060 | -0.089 | -0.092 | -0.111 | -0.121 | -0.120 | -0.123 |
| 常磐自動車道 | -0.093 | -0.039 | -0.076 | -0.041 | -0.032 | -0.093 | -0.061 | -0.089 | -0.092 | -0.111 | -0.122 | -0.121 | -0.125 |
| 首都圏中央連絡自動車道 | -0.036 | 0.014 | -0.023 | -0.020 | -0.014 | -0.069 | -0.034 | -0.072 | -0.107 | -0.146 | -0.193 | -0.209 | -0.213 |
| 第三京浜道路 | -0.096 | -0.039 | -0.075 | -0.040 | -0.031 | -0.092 | -0.060 | -0.089 | -0.091 | -0.111 | -0.122 | -0.123 | -0.128 |
| 東京外環自動車道 | -0.092 | -0.032 | -0.070 | -0.038 | -0.029 | -0.090 | -0.057 | -0.087 | -0.090 | -0.110 | -0.123 | -0.121 | -0.126 |
| 東京湾アクアライン | -0.084 | -0.007 | -0.052 | -0.028 | -0.020 | -0.081 | -0.058 | -0.091 | -0.103 | -0.125 | -0.136 | -0.145 | -0.145 |
| その他の路線 | | | | | | | | | | | | | |
| 東京湾アクアライン連絡道 | -0.106 | -0.047 | -0.089 | -0.046 | -0.035 | -0.100 | -0.075 | -0.102 | -0.126 | -0.147 | -0.162 | -0.169 | -0.157 |
| 岡山自動車道 | -0.095 | -0.056 | -0.090 | -0.049 | -0.039 | -0.100 | -0.068 | -0.093 | -0.101 | -0.123 | -0.133 | -0.133 | -0.135 |
| 釜石自動車道 | -0.099 | -0.050 | -0.089 | -0.043 | -0.039 | -0.112 | -0.078 | -0.107 | -0.118 | -0.125 | -0.119 | -0.110 | -0.117 |
| 館山自動車道 | -0.095 | -0.034 | -0.075 | -0.041 | -0.030 | -0.093 | -0.067 | -0.095 | -0.094 | -0.117 | -0.135 | -0.138 | -0.133 |
| 琴丘能代道路 | -0.154 | -0.120 | -0.130 | -0.059 | -0.047 | -0.115 | -0.086 | -0.120 | -0.170 | -0.171 | -0.152 | -0.142 | -0.131 |
| 広島岩国道路 | -0.087 | -0.058 | -0.094 | -0.050 | -0.039 | -0.101 | -0.068 | -0.092 | -0.115 | -0.136 | -0.155 | -0.157 | -0.163 |
| 広島自動車道 | -0.103 | -0.053 | -0.089 | -0.048 | -0.038 | -0.100 | -0.068 | -0.095 | -0.111 | -0.135 | -0.158 | -0.168 | -0.182 |
| 札幌自動車道 | -0.107 | -0.063 | -0.099 | -0.052 | -0.040 | -0.103 | -0.069 | -0.096 | -0.104 | -0.119 | -0.125 | -0.125 | -0.126 |
| 山形自動車道 | -0.115 | -0.061 | -0.101 | -0.053 | -0.042 | -0.107 | -0.075 | -0.100 | -0.103 | -0.115 | -0.116 | -0.108 | -0.112 |
| 山陽自動車道 | -0.092 | -0.042 | -0.080 | -0.042 | -0.033 | -0.094 | -0.059 | -0.086 | -0.083 | -0.109 | -0.121 | -0.119 | -0.120 |
| 秋田外環自動車道 | -0.174 | -0.158 | -0.177 | -0.090 | -0.072 | -0.144 | -0.113 | -0.128 | -0.154 | -0.155 | -0.134 | -0.123 | -0.116 |
| 秋田自動車道 | -0.121 | -0.086 | -0.113 | -0.060 | -0.047 | -0.113 | -0.081 | -0.105 | -0.123 | -0.139 | -0.145 | -0.143 | -0.139 |
| 松江自動車道 | -0.751 | -0.761 | -0.719 | -0.353 | -0.288 | -0.400 | -0.365 | -0.292 | -0.316 | -0.173 | -0.009 | 0.045 | 0.034 |
| 上信越自動車道 | -0.100 | -0.045 | -0.083 | -0.043 | -0.034 | -0.095 | -0.065 | -0.093 | -0.094 | -0.110 | -0.115 | -0.114 | -0.116 |

表 7.4 (続き) 価格弾力性の逐次更新結果

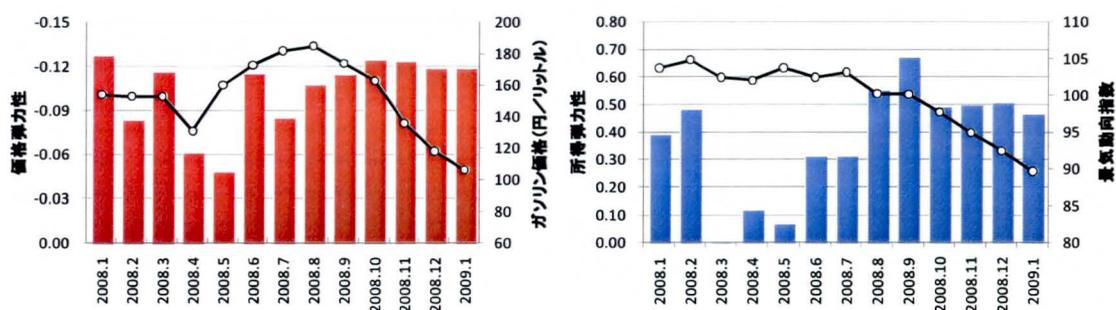
| | Jan08 | Feb08 | Mar08 | Apr08 | May08 | Jun08 | Jul08 | Aug08 | Sep08 | Oct08 | Nov08 | Dec08 | Jan09 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| その他の路線 | | | | | | | | | | | | | |
| 新空港自動車道 | -0.143 | -0.106 | -0.116 | -0.062 | -0.052 | -0.124 | -0.094 | -0.117 | -0.118 | -0.126 | -0.119 | -0.111 | -0.107 |
| 深川留萌自動車道 | -0.080 | 0.024 | -0.016 | -0.001 | -0.001 | -0.071 | -0.057 | -0.087 | -0.104 | -0.131 | -0.155 | -0.169 | -0.184 |
| 青森自動車道 | -0.145 | -0.135 | -0.161 | -0.080 | -0.063 | -0.133 | -0.104 | -0.124 | -0.143 | -0.139 | -0.124 | -0.117 | -0.119 |
| 仙塩道路 | -0.108 | -0.062 | -0.096 | -0.055 | -0.045 | -0.113 | -0.084 | -0.106 | -0.111 | -0.120 | -0.113 | -0.104 | -0.102 |
| 仙台北部道路 | -0.105 | -0.056 | -0.084 | -0.048 | -0.038 | -0.104 | -0.073 | -0.098 | -0.107 | -0.118 | -0.120 | -0.114 | -0.114 |
| 仙台北部道路 | -0.120 | -0.076 | -0.113 | -0.080 | -0.056 | -0.130 | -0.106 | -0.124 | -0.113 | -0.118 | -0.109 | -0.099 | -0.095 |
| 千葉東金道路 | -0.103 | -0.048 | -0.083 | -0.045 | -0.034 | -0.097 | -0.067 | -0.096 | -0.095 | -0.109 | -0.115 | -0.111 | -0.112 |
| 中国自動車道 | -0.107 | -0.045 | -0.082 | -0.043 | -0.034 | -0.095 | -0.061 | -0.088 | -0.078 | -0.103 | -0.111 | -0.109 | -0.115 |
| 長野自動車道 | -0.110 | -0.058 | -0.085 | -0.043 | -0.033 | -0.098 | -0.071 | -0.104 | -0.103 | -0.114 | -0.116 | -0.111 | -0.113 |
| 東関東自動車道 | -0.100 | -0.047 | -0.083 | -0.044 | -0.034 | -0.095 | -0.063 | -0.091 | -0.096 | -0.117 | -0.132 | -0.130 | -0.133 |
| 東水戸道路 | -0.168 | -0.131 | -0.173 | -0.083 | -0.067 | -0.142 | -0.118 | -0.130 | -0.123 | -0.116 | -0.092 | -0.073 | -0.059 |
| 東北中央自動車道 | -0.126 | -0.102 | -0.107 | -0.050 | -0.038 | -0.107 | -0.079 | -0.106 | -0.114 | -0.123 | -0.122 | -0.114 | -0.117 |
| 湯沢横手道路 | -0.102 | -0.064 | -0.094 | -0.051 | -0.038 | -0.102 | -0.073 | -0.102 | -0.116 | -0.128 | -0.136 | -0.132 | -0.130 |
| 道央自動車道 | -0.097 | -0.043 | -0.081 | -0.043 | -0.033 | -0.095 | -0.060 | -0.089 | -0.095 | -0.114 | -0.124 | -0.126 | -0.131 |
| 道東自動車道 | -0.379 | -0.400 | -0.394 | -0.182 | -0.146 | -0.235 | -0.201 | -0.178 | -0.183 | -0.148 | -0.097 | -0.083 | -0.036 |
| 日高自動車道 | -0.074 | 0.021 | -0.019 | -0.031 | -0.024 | -0.089 | -0.060 | -0.093 | -0.065 | -0.088 | -0.097 | -0.095 | -0.105 |
| 日本海東北自動車道 | -0.162 | -0.142 | -0.158 | -0.077 | -0.059 | -0.124 | -0.094 | -0.114 | -0.150 | -0.152 | -0.150 | -0.145 | -0.144 |
| 八戸自動車道 | -0.108 | -0.051 | -0.077 | -0.040 | -0.030 | -0.094 | -0.067 | -0.099 | -0.093 | -0.108 | -0.109 | -0.103 | -0.110 |
| 磐越自動車道 | -0.111 | -0.056 | -0.092 | -0.047 | -0.036 | -0.099 | -0.070 | -0.098 | -0.106 | -0.115 | -0.115 | -0.106 | -0.114 |
| 百石道路 | -0.318 | -0.355 | -0.395 | -0.187 | -0.156 | -0.249 | -0.219 | -0.196 | -0.175 | -0.131 | -0.052 | -0.013 | 0.002 |
| 浜田自動車道 | -0.108 | -0.083 | -0.118 | -0.065 | -0.051 | -0.116 | -0.085 | -0.108 | -0.106 | -0.126 | -0.133 | -0.136 | -0.130 |
| 富津館山道路 | -0.049 | -0.029 | -0.086 | -0.048 | -0.037 | -0.098 | -0.070 | -0.113 | -0.195 | -0.192 | -0.186 | -0.185 | -0.183 |
| 米子自動車道 | -0.112 | -0.061 | -0.095 | -0.051 | -0.040 | -0.102 | -0.069 | -0.093 | -0.083 | -0.107 | -0.109 | -0.106 | -0.104 |
| 米沢南陽道路 | -0.089 | -0.057 | -0.097 | -0.058 | -0.045 | -0.118 | -0.090 | -0.117 | -0.089 | -0.098 | -0.092 | -0.082 | -0.085 |
| 北関東自動車道 | -0.111 | -0.075 | -0.145 | -0.093 | -0.084 | -0.168 | -0.142 | -0.149 | -0.104 | -0.092 | -0.057 | -0.031 | 0.010 |
| 北陸自動車道 | -0.117 | -0.076 | -0.110 | -0.058 | -0.046 | -0.112 | -0.084 | -0.106 | -0.109 | -0.122 | -0.125 | -0.122 | -0.115 |
| 平均 (μ_2) | -0.127 | -0.083 | -0.116 | -0.061 | -0.048 | -0.115 | -0.084 | -0.107 | -0.114 | -0.124 | -0.123 | -0.118 | -0.118 |

表 7.5 所得弾力性の逐次更新結果

| | Jan08 | Feb08 | Mar08 | Apr08 | May08 | Jun08 | Jul08 | Aug08 | Sep08 | Oct08 | Nov08 | Dec08 | Jan09 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 東京・神奈川・埼玉通過路線 | | | | | | | | | | | | | |
| 首都高速(神奈川線) | 0.527 | 0.606 | 0.098 | 0.183 | 0.138 | 0.387 | 0.399 | 0.694 | 0.538 | 0.210 | 0.246 | 0.281 | 0.315 |
| 首都高速(埼玉線) | 0.575 | 0.654 | 0.148 | 0.214 | 0.173 | 0.415 | 0.418 | 0.730 | 1.610 | 1.276 | 0.902 | 0.678 | 0.614 |
| 首都高速(東京線) | 0.532 | 0.598 | 0.090 | 0.177 | 0.131 | 0.381 | 0.396 | 0.696 | 0.708 | 0.416 | 0.409 | 0.384 | 0.418 |
| 横浜横須賀道路 | 0.502 | 0.621 | 0.106 | 0.191 | 0.150 | 0.393 | 0.394 | 0.676 | 0.665 | 0.305 | 0.207 | 0.203 | 0.204 |
| 横浜新道 | 0.522 | 0.634 | 0.116 | 0.196 | 0.156 | 0.398 | 0.403 | 0.685 | 0.618 | 0.223 | 0.161 | 0.190 | 0.186 |
| 関越自動車道 | 0.557 | 0.658 | 0.123 | 0.198 | 0.155 | 0.402 | 0.413 | 0.706 | 0.730 | 0.373 | 0.333 | 0.358 | 0.346 |
| 京葉道路 | 0.517 | 0.613 | 0.098 | 0.184 | 0.139 | 0.386 | 0.394 | 0.680 | 0.633 | 0.290 | 0.302 | 0.292 | 0.292 |
| 東北自動車道 | 0.543 | 0.649 | 0.121 | 0.200 | 0.157 | 0.402 | 0.412 | 0.707 | 0.692 | 0.261 | 0.168 | 0.170 | 0.137 |
| 常磐自動車道 | 0.547 | 0.649 | 0.124 | 0.201 | 0.159 | 0.403 | 0.409 | 0.697 | 0.652 | 0.257 | 0.228 | 0.247 | 0.272 |
| 首都圏中央連絡自動車道 | 0.780 | 0.839 | 0.283 | 0.283 | 0.251 | 0.507 | 0.525 | 0.859 | 1.685 | 1.679 | 1.734 | 1.700 | 1.507 |
| 第三京浜道路 | 0.536 | 0.650 | 0.129 | 0.205 | 0.166 | 0.409 | 0.416 | 0.704 | 0.657 | 0.273 | 0.202 | 0.236 | 0.238 |
| 東京外環自動車道 | 0.553 | 0.673 | 0.146 | 0.216 | 0.175 | 0.420 | 0.425 | 0.717 | 0.684 | 0.236 | 0.186 | 0.174 | 0.161 |
| 東京湾アクアライン | 0.572 | 0.762 | 0.192 | 0.251 | 0.219 | 0.454 | 0.417 | 0.680 | 1.078 | 0.834 | 0.640 | 0.820 | 0.797 |
| その他の路線 | | | | | | | | | | | | | |
| 東京湾アクアライン連絡道 | 0.448 | 0.603 | 0.072 | 0.168 | 0.125 | 0.367 | 0.339 | 0.578 | 1.217 | 1.437 | 1.688 | 1.857 | 1.654 |
| 岡山自動車道 | 0.540 | 0.584 | 0.083 | 0.167 | 0.119 | 0.373 | 0.378 | 0.665 | 0.871 | 0.663 | 0.521 | 0.497 | 0.444 |
| 釜石自動車道 | 0.518 | 0.602 | 0.081 | 0.188 | 0.113 | 0.323 | 0.343 | 0.567 | 0.638 | 0.382 | 0.329 | 0.258 | 0.257 |
| 館山自動車道 | 0.535 | 0.664 | 0.128 | 0.201 | 0.166 | 0.402 | 0.382 | 0.641 | 0.638 | 0.534 | 0.718 | 0.771 | 0.716 |
| 琴丘能代道路 | 0.256 | 0.340 | -0.042 | 0.120 | 0.071 | 0.309 | 0.306 | 0.459 | 1.377 | 1.709 | 1.868 | 1.802 | 1.552 |
| 広島岩国道路 | 0.564 | 0.575 | 0.070 | 0.160 | 0.114 | 0.368 | 0.379 | 0.676 | 1.402 | 1.215 | 1.046 | 0.955 | 0.918 |
| 広島自動車道 | 0.512 | 0.599 | 0.088 | 0.173 | 0.124 | 0.374 | 0.383 | 0.671 | 1.181 | 1.122 | 0.992 | 1.034 | 1.071 |
| 札幌自動車道 | 0.484 | 0.556 | 0.053 | 0.153 | 0.113 | 0.357 | 0.378 | 0.646 | 0.716 | 0.388 | 0.296 | 0.356 | 0.188 |
| 山形自動車道 | 0.446 | 0.562 | 0.047 | 0.152 | 0.101 | 0.341 | 0.348 | 0.607 | 0.608 | 0.244 | 0.142 | 0.096 | 0.087 |
| 山陽自動車道 | 0.553 | 0.638 | 0.113 | 0.194 | 0.150 | 0.401 | 0.417 | 0.725 | 0.461 | 0.189 | 0.148 | 0.154 | 0.184 |
| 秋田外環自動車道 | 0.153 | 0.192 | -0.192 | -0.010 | -0.075 | 0.175 | 0.184 | 0.369 | 0.880 | 1.210 | 1.298 | 1.230 | 1.074 |
| 秋田自動車道 | 0.408 | 0.465 | 0.007 | 0.120 | 0.068 | 0.313 | 0.320 | 0.566 | 0.963 | 1.021 | 1.077 | 1.022 | 0.862 |
| 松江自動車道 | -2.496 | -2.085 | -1.863 | -1.122 | -1.286 | -0.972 | -0.912 | -1.035 | -0.683 | -0.158 | 0.180 | 0.357 | 0.561 |
| 上信越自動車道 | 0.514 | 0.623 | 0.102 | 0.191 | 0.146 | 0.393 | 0.392 | 0.662 | 0.665 | 0.224 | 0.085 | 0.136 | 0.169 |

表 7.5 (続き) 所得弾力性の逐次更新結果

| | Jan08 | Feb08 | Mar08 | Apr08 | May08 | Jun08 | Jul08 | Aug08 | Sep08 | Oct08 | Nov08 | Dec08 | Jan09 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| その他の路線 | | | | | | | | | | | | | |
| 新空港自動車道 | 0.306 | 0.390 | 0.002 | 0.113 | 0.044 | 0.266 | 0.265 | 0.457 | 0.575 | 0.465 | 0.625 | 0.614 | 0.571 |
| 深川留萌自動車道 | 0.640 | 0.905 | 0.323 | 0.379 | 0.341 | 0.520 | 0.445 | 0.761 | 1.381 | 0.969 | 0.584 | 0.576 | 0.223 |
| 青森自動車道 | 0.311 | 0.286 | -0.136 | 0.035 | -0.014 | 0.227 | 0.229 | 0.420 | 0.776 | 0.736 | 0.664 | 0.623 | 0.544 |
| 仙塩道路 | 0.479 | 0.560 | 0.062 | 0.141 | 0.081 | 0.314 | 0.309 | 0.554 | 0.581 | 0.349 | 0.227 | 0.204 | 0.178 |
| 仙台東部道路 | 0.489 | 0.581 | 0.100 | 0.171 | 0.120 | 0.356 | 0.355 | 0.623 | 0.697 | 0.379 | 0.319 | 0.283 | 0.239 |
| 仙台北部道路 | 0.424 | 0.503 | 0.010 | 0.040 | 0.026 | 0.243 | 0.213 | 0.402 | 0.296 | 0.151 | 0.231 | 0.305 | 0.334 |
| 千葉東金道路 | 0.503 | 0.615 | 0.105 | 0.184 | 0.146 | 0.388 | 0.381 | 0.640 | 0.525 | 0.143 | 0.170 | 0.160 | 0.206 |
| 中国自動車道 | 0.495 | 0.627 | 0.108 | 0.194 | 0.148 | 0.397 | 0.411 | 0.709 | 0.196 | -0.101 | -0.123 | -0.061 | 0.038 |
| 長野自動車道 | 0.471 | 0.576 | 0.100 | 0.194 | 0.152 | 0.384 | 0.366 | 0.573 | 0.619 | 0.293 | 0.153 | 0.163 | 0.130 |
| 東関東自動車道 | 0.516 | 0.615 | 0.105 | 0.189 | 0.147 | 0.395 | 0.403 | 0.689 | 0.740 | 0.448 | 0.489 | 0.406 | 0.382 |
| 東水戸道路 | 0.188 | 0.296 | -0.179 | 0.020 | -0.048 | 0.181 | 0.157 | 0.332 | 0.203 | 0.024 | 0.307 | 0.255 | 0.175 |
| 東北中央自動車道 | 0.403 | 0.415 | 0.036 | 0.165 | 0.125 | 0.341 | 0.332 | 0.561 | 0.698 | 0.453 | 0.484 | 0.342 | 0.330 |
| 湯沢横手道路 | 0.488 | 0.545 | 0.060 | 0.154 | 0.114 | 0.362 | 0.359 | 0.597 | 0.869 | 0.647 | 0.838 | 0.777 | 0.638 |
| 道央自動車道 | 0.529 | 0.632 | 0.110 | 0.193 | 0.152 | 0.397 | 0.417 | 0.705 | 0.728 | 0.319 | 0.150 | 0.220 | 0.106 |
| 道東自動車道 | -0.816 | -0.723 | -0.862 | -0.406 | -0.499 | -0.240 | -0.207 | -0.096 | -0.191 | 0.480 | 1.510 | 1.942 | 2.051 |
| 日高自動車道 | 0.641 | 0.876 | 0.298 | 0.248 | 0.206 | 0.425 | 0.417 | 0.660 | 0.204 | -0.473 | -0.853 | -0.807 | -0.796 |
| 日本海東北自動車道 | 0.210 | 0.254 | -0.132 | 0.044 | -0.001 | 0.263 | 0.266 | 0.493 | 1.202 | 1.321 | 1.424 | 1.312 | 1.248 |
| 八戸自動車道 | 0.492 | 0.608 | 0.126 | 0.207 | 0.171 | 0.404 | 0.386 | 0.616 | 0.503 | 0.091 | -0.165 | -0.245 | -0.292 |
| 磐越自動車道 | 0.469 | 0.583 | 0.077 | 0.177 | 0.134 | 0.377 | 0.372 | 0.631 | 0.778 | 0.307 | 0.057 | -0.080 | -0.055 |
| 百石道路 | -0.496 | -0.545 | -0.853 | -0.414 | -0.539 | -0.291 | -0.273 | -0.225 | -0.533 | -0.256 | 0.111 | 0.071 | 0.134 |
| 浜田自動車道 | 0.462 | 0.473 | -0.010 | 0.095 | 0.039 | 0.293 | 0.299 | 0.538 | 0.508 | 0.609 | 0.728 | 0.874 | 0.897 |
| 富津館山道路 | 0.667 | 0.649 | 0.067 | 0.142 | 0.102 | 0.366 | 0.369 | 0.526 | 2.183 | 2.597 | 2.534 | 2.343 | 1.940 |
| 米子自動車道 | 0.466 | 0.568 | 0.069 | 0.162 | 0.113 | 0.366 | 0.373 | 0.659 | 0.258 | -0.010 | -0.059 | 0.047 | 0.108 |
| 米沢南陽道路 | 0.570 | 0.579 | 0.061 | 0.134 | 0.084 | 0.293 | 0.280 | 0.450 | 0.106 | -0.336 | -0.470 | -0.444 | -0.409 |
| 北関東自動車道 | 0.448 | 0.506 | -0.097 | -0.023 | -0.147 | 0.060 | 0.042 | 0.165 | -0.943 | -1.002 | -0.293 | -0.056 | -0.100 |
| 北陸自動車道 | 0.430 | 0.507 | 0.017 | 0.127 | 0.074 | 0.317 | 0.305 | 0.547 | 0.626 | 0.478 | 0.632 | 0.685 | 0.652 |
| 平均 (μ_3) | 0.387 | 0.479 | 0.001 | 0.116 | 0.065 | 0.307 | 0.308 | 0.548 | 0.669 | 0.489 | 0.496 | 0.504 | 0.464 |



※折れ線グラフはガソリン価格／景気動向を、棒グラフは価格弾力性／所得弾力性を示す。

図 7.2 価格弾力性（左）及び所得弾力性（右）の経時変化（路線平均値）

存する可能性があることを示唆している。また、暫定税率が失効／復活した 2008 年 4 月及び 5 月前後の価格弾力性の推移をみると、3 月時点及び 6 月時点において前月と比べて上昇する傾向にあることが分かる。これより、暫定税率の失効前及び復活後には乗り控えが生じている可能性がある。このことは、行動反応に遅れ(lag)／先行(lead)が存在することを示唆していると考えられる。

次に、所得弾力性の経時変化に着目すると、2008 年 3 月から 5 月の期間において急激に低下する一方、2008 年 8 月以降は比較的安定しているように見受けられる。3 月から 5 月にかけての一時的な弾力性の低下は、暫定税率の失効にも関与しているように思われる。具体的には、3 月時点において既に暫定税率が失効することは広く知られており、景気動向に依存せず、単に旅行のプラン等を 4 月に延期した影響が反映されている可能性がある。もう 1 つの可能性として、3 月が多くの企業の年度末に該当するため、交通需要が景気動向に依存しないことが考えられる。ただし、本分析で行った集計的な分析からは、以上のような点に対する信頼に足る結論を導くことはできない。今後、これらの点について検証を加える必要がある。

7.2.6.2 各路線の弾力性変化

各路線の価格弾力性及び所得弾力性の変化を図 7.3 に示す。ここで、図より、理論的に整合的でない弾力性（すなわち、正の価格弾力性及び負の所得弾力性）が観測されていることが分かる。これらの不整合な弾力性の値は、東京・神奈川・埼玉を通過しない地方部の路線において主に生じていることが分かる（詳細は表 7.4 及び表 7.5 参照）。この理由の 1 つとして、地方部の路線においては、交通量がもともと少ないため、イベント交通等の影響を受けやすい可能性がある。

路線別価格弾力性の推移に着目すると、変化の方向は路線によって大きく異なるものの、路線毎にある一定の方向に変化している傾向にあることが分かる。特に、地方部の路線と都市部の路線（東京・神奈川・埼玉通過路線）で大きな差があることが確認できる。具体的には、都市部路線における価格弾力性は、2008 年 1 月時点において全ての路線において平均値を下回る値を示すものの、2009 年 1 月時点には全ての路線が平均値を上回る値となっていることが分かる。このような路線間差異の構造が変化した時点を確認するために、異なる 2 つの月において推定された路

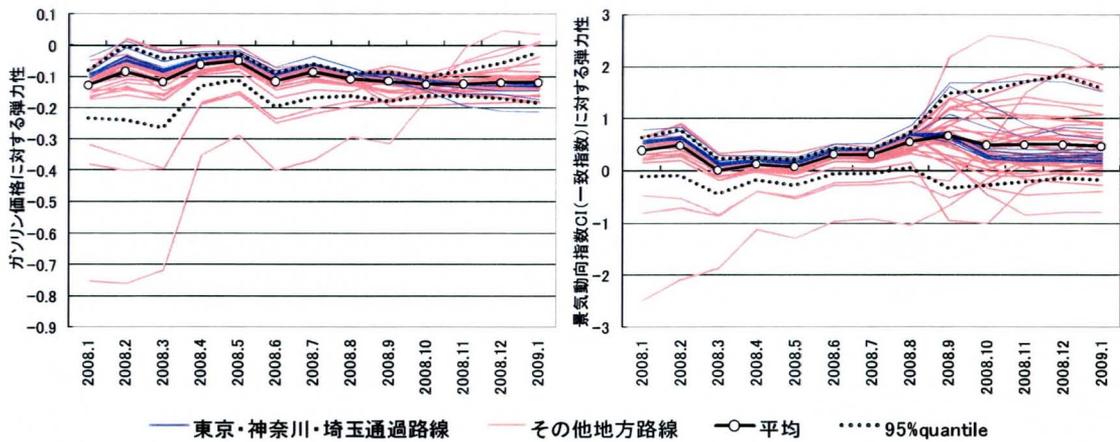


図 7.3 価格弾力性（左）及び所得弾力性（右）の経時変化（路線別）

表 7.6 路線別価格弾力性及び所得弾力性の相関行列

| | | 2008 | | | | | | | | | | | | 2009 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 |
| 2008 | 1 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.52 | 0.18 | -0.03 | -0.10 | -0.18 |
| | 2 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.52 | 0.15 | -0.08 | -0.13 | -0.22 |
| | 3 | 0.98 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.54 | 0.18 | -0.06 | -0.12 | -0.21 |
| | 4 | 0.97 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.57 | 0.21 | -0.03 | -0.10 | -0.18 |
| | 5 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.59 | 0.22 | -0.02 | -0.08 | -0.17 |
| | 6 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.61 | 0.25 | 0.00 | -0.06 | -0.14 |
| | 7 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.62 | 0.26 | 0.01 | -0.06 | -0.13 |
| | 8 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 0.61 | 0.24 | -0.01 | -0.07 | -0.14 |
| | 9 | 0.84 | 0.87 | 0.86 | 0.85 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.87 | 1.00 | 0.89 | 0.66 | 0.57 | 0.50 |
| | 10 | 0.40 | 0.45 | 0.43 | 0.40 | 0.39 | 0.38 | 0.38 | 0.42 | 0.80 | 1.00 | 0.92 | 0.87 | 0.81 |
| | 11 | -0.67 | -0.65 | -0.67 | -0.70 | -0.71 | -0.73 | -0.73 | -0.71 | -0.30 | 0.32 | 1.00 | 0.98 | 0.96 |
| | 12 | -0.73 | -0.72 | -0.74 | -0.76 | -0.78 | -0.79 | -0.79 | -0.78 | -0.41 | 0.20 | 0.99 | 1.00 | 0.99 |
| 2009 | 1 | -0.70 | -0.71 | -0.74 | -0.77 | -0.78 | -0.80 | -0.80 | -0.79 | -0.42 | 0.16 | 0.95 | 0.97 | 1.00 |

※下線は路線別価格弾力性の当該月ペアの相関係数を、斜体は路線別所得弾力性の当該路線ペアの相関係数を示す

線別弾力性の相関行列を算出する（表 7.6）。その結果、2008 年 9 月以前においては、暫定税率の失効及びガソリン価格の急激な高騰が起きたにもかかわらず、全てのペアにおいて高い相関が観測された。一方、2008 年 9 月以降、相関係数は急激に低下することが確認できる。これより、ガソリン価格の急落が生じた 2008 年 9 月以降において路線間差異の構造が変化したと言える。

ここで、何故、2008 年 8 月以前においては観測されなかった構造変化が、2008 年 9 月以降において観測されたのかについて考察する。考えられる理由の 1 つとして、都市部の路線においては、2008 年 8 月までのガソリン価格の高騰がある閾値を越えた結果、その後のガソリン価格の急落が生じた状況においても交通量は完全にはもとの状態には戻らなかった可能性が考えられる。この結果は、上述した Dargay and Gately (1997) の指摘と整合的である。ただし、地方部の路線には Dargay and Gately (1997) の指摘は当てはまらないと考えられる。

次に、路線別所得弾力性の経時変化に着目すると、価格弾力性と同様に、2008 年 9 月時点にお

いて弾力性の地域間差異の構造が大きく変化していることが確認できる（表 7.6）。このような構造変化の原因として、景気の悪化に伴う、各路線の沿線における産業や商業等の変化が、路線ごとに異なる変化を示したことが考えられる。ただし、このような変化の原因については、複数の変数を統合した景気動向指数ではなく、各構成要素が交通量に及ぼす影響を詳細に評価する必要があると考えられる。山上(1991)や梶川(1999)によって、特に鉱工業生産指数や消費支出と、高速道路交通量の間に関係が見られることが指摘されており、例えば鉱工業製品を生産している工場の閉鎖／移転等の影響を詳細にみていくことが今後の課題として挙げられる。

7.3 本章のまとめと今後の課題

本章では、離散的な性質を有する変化として 2008 年一年間を通して観測されたガソリン価格の急激な増減を対象に、価格弾力性（及び所得弾力性）の経時変化について検証した。以下、本分析から得られた主要な知見をまとめる。

- 1) 2008 年 4 月の暫定税率の失効及び 5 月の復活は、大きく価格弾力性を変化させる変化の要因であるものの、一時的な影響を及ぼすに過ぎないことが明らかとなった。ただし、暫定税率の失効前及び失効後においては、価格弾力性は一時的に高くなっており、遅れ(lag)／先行(lead)の影響が存在する可能性が示唆された。
- 2) 価格弾力性及び所得弾力性の路線間差異の構造は、ガソリン価格の急落が起こった 2008 年 9 月以降において大きく変化していることが明らかとなった。
- 3) 価格弾力性の変化は、価格変化の理由に依存することが明らかとなった。すなわち、政治的な意思決定によるガソリン価格の変化は、市場原理により起こるガソリン価格の変化とは異なる可能性が高いといえる。これより、環境税の導入を検討する場合においては、その導入効果は、環境税の額だけでなく税の種類にも依存する可能性があることが示唆された。
- 4) 都市部の路線においては、2008 年 8 月までのガソリン価格の高騰程度の一時的な価格上昇によって、たとえその後ガソリン価格がもとの水準に戻ったとしても、高速道路交通量は完全にはもとには戻らない可能性があることが示唆された（すなわち非対称性が存在する）。

以上の結果より、計画主体の領域外において行われる意思決定によって、交通行動は大きく変化する可能性が示唆された。このような変化要因の介入が生じるかどうかに関する予測は極めて困難であり、予期せぬ変化要因への対応は、需要予測の範疇を超えると考えられる。そのため、交通行動の変化を逐次モニタリングし、変化要因の介入により生じる変化が一時的なものでない場合においては、事後的に対応することが必要である。本章では、そのための 1 つの方法としてベイズ更新を用いた逐次モニタリング手法を提案した。提案手法によって得られる知見も多いものの、残された課題も多い。方法論的な観点からは、時間の経過に伴い過去のデータが有する情報の価値は低下すると考えられるが、提案手法ではこの点を考慮していない（すなわち、全時点のデータの情報の価値は同一と仮定している）。今後、時点によってデータを重み付けし、現在の情報により敏感なベイズ更新の枠組みを構築する必要があるように思われる。また、他の行動側

面への適用を積極的に行い、実証分析を蓄積していくことが望まれる。

第7章関連参考文献

- 1) Currie, G., Phung, J.: Transit Ridership, Auto Gas Prices, and World Events: New Drivers of Change?, Transportation Research Board, No. 1992, pp. 3-10, 2007.
- 2) Currie, G., Phung, J.: Understanding Links Between Transit Ridership and Auto Gas Prices - US and Australian Evidence, Paper prepared for the presentation at the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January, 2008 (CD-ROM).
- 3) Dargay, J., Gately, D.: The Demand for Transportation Fuels: Imperfect Price-Reversibility?, Transportation Research Part B, Vol. 31, pp. 71-82, 1997.
- 4) Drollas, L. P.: The Demand for Gasoline: Further Evidence, Energy Economics, Vol. 6, pp. 71-82, 1984.
- 5) Goodwin, P. B.: A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects on Price Changes, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 26, pp. 155-169, 1992.
- 6) Goodwin, P., Dargay, J., Hanly, M.: Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A Review, Transport Reviews, Vol. 24, pp. 275-292, 2004.
- 7) Graham, D. J., Glaister, S.: The Demand for Automobile Fuel -A Survey of Elasticities, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 36, pp. 1-26, 2002.
- 8) Graham, D. J., Glaister, S.: Road Traffic Demand Elasticity Estimates: A Review, Transport Reviews, Vol. 24, pp. 261-274, 2004.
- 9) Hughes, J., Knittel, C. R., Sperling, D.: Evidence of a Shift in the Short-Run Price Elasticity of Gasoline Demand, Energy Journal, Vol. 29, pp. 113-134, 2008.
- 10) Johansson, O., Schipper, L.: Measuring Long-Run Automobile Fuel Demand: Separate Estimations of Vehicle Stock, Mean Fuel Intensity, and Mean Annual Driving Distance, Journal of Transport Economic and policy, Vol. 31, pp. 277-292, 1997.
- 11) Maddala, G. S., Trost, R. P., Li, H., Joutz, F.: Estimation of Short-Run and Long-Run Elasticities of Energy Demand from Panel Data Using Shrinkage Estimators, Journal of Business & Economic Statistics, Vol. 15, pp. 90-100, 1997.
- 12) OECD: Behavioural Responses to Environmentally-Related Taxes, OECD, Paris, ([http://www.oilis.oecd.org/oilis/1999doc.nsf/LinkTo/NT00002A16/\\$FILE/00074423.PDF](http://www.oilis.oecd.org/oilis/1999doc.nsf/LinkTo/NT00002A16/$FILE/00074423.PDF)), 2000.
- 13) Schimek, P.: Gasoline and Travel Demand Models Using Time Series and Cross-Section Data from United States, Transportation Research Record, No. 1558, pp. 83-89, 1996.
- 14) Tanishita, M.: Change in Price and Income Elasticity of Gasoline Demand in Japanese Cities, 1980's-1990's, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3250-3263, 2005.
- 15) 梶川俊二: 高速道路の交通量と景気動向に関する最近の動向分析 - 東名高速道路に関する分

析 -, 高速道路と自動車, 第 42 卷, 第 12 号, pp. 43-50, 1999.

- 16) 交通需要予測研究会: 交通計画における予測の事後評価に関する研究, トヨタ財団助成研究報告書 (研究代表者: 新谷洋二), 1987.
- 17) 国土交通省道路局: 道路の将来交通需要推計に関する検討会: 第 8 回道路の将来交通需要推計に関する検討会報告書, 2008 (<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/suikai/0811.html>).
- 18) 山上俊彦: 高速道路の交通量と景気動向, 高速道路と自動車, 第 34 卷, 第 11 号, pp. 31-38, 1991.

第8章 結論

8.1 本研究の成果

交通計画の実現過程においては不可避免的に不確実性が伴うため、近年では、幅を持った予測値を提示する等、不確実性の存在を考慮し、一般に公開していく必要性が指摘されている。一方、計画策定プロセスにおいてどのような不確実性がどの程度内在しているかに関する理解は極めて限られており、結果として、不確実性はないものと仮定して計画を進めざるを得ない状況にある。このような背景のもと、本研究では、不確実性を変動・変化の観点から明らかにしていくことを試みた。以下、本研究の成果を、変動・変化を捉えるための分析フレームの構築、変動の観点から見た施策検討プロセス上に発生し得る不確実性、変化の観点から見た時間軸上に発生し得る不確実性の3つの観点からまとめる。

8.1.1 変動・変化を捉えるための分析フレームの構築

従来においては、実際の現象が有する膨大な変動・変化の情報のうち着目すべき変動・変化をアприオリに決定することにより、変動・変化の情報の抽出/集約がなされてきた。例えば、ある一日において観測された交通行動を代表的な行動と見なし、交通行動の個人間の同質性を仮定し、将来時点においても現象の因果構造は変わらないと仮定することによって、現象の有する膨大な変動・変化の情報は、極めてシンプルで扱いやすい情報に変換されてきた。一方、このような一連の仮定を置くことによって失われた変動・変化の情報がどの程度存在するのか等、これらの仮定の妥当性は十分に検証されてこなかった。

以上の点を踏まえて、従来の情報の抽出/集約プロセスにおいて捨てられてきた変動・変化の情報を定量的に把握するための分析フレームを3章において構築した。まず、教育学や地理学、育種学、疫学等の他分野において発展してきたマルチレベル分析を援用し、活動・交通行動に内在する変動の情報を、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動の5つに分解する方法を提案した。あわせて、各変動に対して観測変動と非観測変動を識別できるように展開した。さらに、マルチレベル線形モデル、マルチレベルロジットモデル、マルチレベル MDCEV モデルと、複数の既存モデルをマルチレベル分析に拡張することにより、多くの行動側面の変動構造を特定できることを示した。これによって、例えば、ある一日において観測された交通行動を代表的な行動と仮定することにより生じる変動情報の損失、交通行動の個人間の同質性を仮定するゾーン単位の分析により生じる変動情報の損失等を、様々な行動側面を対象として定量的に把握することができるようになった。また、個人変動と空間変動の交互作用から生じる共変動は、個人に固有の空間変動の影響を表すことを指摘し、交互作用を表す新たなランダム変数の導入によって容易に拡張できることを示した。以上の変動構造の特定については、4章において実証分析を試みた。また、マルチレベルモデルから得られる縮約推定量の特性について3章において整理した。5章において、縮約推定量を用いた、行動の類似性に基づく活動分類への応用方法を提

案した。具体的には、活動種類の影響をランダム変数として扱うマルチレベルを推定することにより、各活動種類に対する縮約推定量を算出し、縮約推定量を用いて定義される行動の類似性に基づきクラスター分析を実行することで活動分類を決定する手法を提案した。また、6章及び7章においては、縮約推定量に基づく空間変動の把握を実証的に試みた。

次に、以上に見た、ある断面における変動を詳細に把握するためのマルチレベルモデルの手法を、時間軸上の変化を捉えるために拡張する方法について提案した。具体的には、離散時間—連続時間パネルデータが利用可能な場合、分散の構造化によって、上に示した個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動から成る変動構造の変化を観測できることを示した。また、離散時間—連続時間パネルデータが利用可能な状況が極めて稀であることを考慮して、焦点を当てる変動の種類を限定した。離散時間パネルデータが利用可能な場合における変動構造の変化、繰り返し横断データが利用可能な場合における変動構造の変化を把握する方法を提案した。6章において、繰り返し横断データを用いて、変動構造の変化を実証的に特定した。

また、ベイズ更新の方法を援用することにより、マルチレベルモデルにより特定されたモデルを、時間軸上に逐次更新していく方法を提案した。これによって、時間軸上に連続した変化を観測することが可能となった。特に、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入の影響を確認するためには、このような時間軸上に連続した変化の観測が有効であることを指摘した。7章において、マクロ時系列データを用いた実証分析を行った。具体的には、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入の例として、2008年4月の暫定税率の失効(25.1円/リットル)及び2008年5月の復活、2008年8月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落を対象として、価格弾力性の変化について分析した。

以上構築した分析フレームは、データの利用可能性に強く制約を受けるものの、交通現象に内在する変動・変化を網羅的に捉えることができる点が特徴である。例えば、1日の行動データを用いて、伝統的な四段階推定法により交通行動をモデル化し、そこで抽出された関係式が20年後も変化しないと仮定して得られた予測値に内在する不確実性の把握を試みる事が可能である。ただし、変動・変化の観点から見た不確実性のみ扱っており、1.1.1に見たような総合的な意味での不確実性ではない点に注意する必要がある。

また、母集団のセグメントを考えるに当たっては、上述したマルチレベルモデル及びベイズ更新の援用では対応できないため、別途新たな手法を提案した。特に、活動抵抗の高いサブ集団を抽出することを目的として、活動抵抗に基づく母集団のセグメント手法と提案した。具体的には、限界効用逓増+逓減を仮定する時間配分モデルを構築し、複数の均衡解に行動論的解釈を与えることによって活動抵抗を導出し、導出された活動抵抗をセグメントの基準として用いることによって母集団のセグメントを行う方法を提案した。提案手法は、明らかに活動抵抗の高い事象に対してのみ利用可能であり、適用可能な場面は非常に限定的であるものの、行動結果の情報から直接観測されない活動抵抗を求めることが可能となった点において有用な手法であると考えている。

8.1.2 変動の観点から見た施策検討プロセス上に発生し得る不確実性

4章では、3章において提案した分析フレームを用いて、出発時刻、活動発生、交通手段選択、

時間利用の4つの行動側面に内在する変動特性を明らかにすることを試みた。また5章では、活動・交通行動の変動を特定する際に問題となるセグメント問題について扱った。以下、これらの分析を通して得られた、変動の観点から見た施策検討プロセス上に発生し得る不確実性に関する知見をまとめる。

第1に、複数の行動側面において経日変動が存在することが明らかとなった。これは、個々人の行動結果を1日単位で集計した場合においても、その集計値は日付間で異なることを意味する。言い換えると、ある1日において観測された行動は、集計レベルにおいても代表性を保証できないことが明らかとなった。この傾向が特に顕著であると考えられる。経日変動が全変動の10%以上を占める行動側面は、日常買物の出発時刻(11.6%)、非日常買物の出発時刻(11.0%)、仕事の活動発生(14.0%)、日常買物の活動発生(12.5%)、必須活動の時間利用(30.2%)、日常買物の時間利用(12.4%)であった。これらの行動側面については、集計値であっても他の日にちへの推論を拡張する際には注意を要することが確認された。

第2に、出発時刻、活動発生、時間利用の行動側面では、必須活動においては個人間変動が、自由裁量型活動においては個人内変動が高くなる傾向にあることが明らかとなった。このことは、ある一日において観測された個々人の行動は、自由裁量型の活動の場合、その個人の代表的な活動ではない可能性が高いことを意味する。これより、自由裁量型の活動を詳細に把握し、予測・評価するためには、複数日の行動データが必要であることが示唆された。

第3に、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用の4つの行動側面において、個々人のある断面(1日)において観測された行動を代表的な行動結果と見なせ、かつ、これらの結果を集計した場合に観測される日単位の集計量が代表性を有すると見なせる行動側面は、交通手段選択のみであった。もちろん、交通手段選択においてもある一定の個人内変動や経日変動が観測されているものの、他の行動側面に比べ、1日のみの観測データを用いてある程度正確にモデル化できる可能性が高いことが示唆された。

第4に、出発時刻、時間利用を対象として変動の観測可能性を検証した結果、個人間変動、世帯間変動、経日変動、空間変動、個人内変動のうち、経日変動は観測変数によって十分にその変動を捉えることができる一方(主に曜日変動として捉えることができる)、個人内変動を観測変動に落とし込むことは極めて困難であることが明らかとなった。特に自由裁量型の活動においては、個人内変動が主要な変動要因であることから、観測変動のみを用いた従来のモデリング手法では大きな誤差が生じる可能性が示唆された。すなわち、変動情報の抽出/集約プロセスにおいては、個人内変動の情報をモデル内に反映することは困難であることが示された。このことは、たとえ複数日にわたる行動データを取得したとしても、その情報をうまくモデル化することは極めて困難であることを意味している。一方、複数日に渡る行動データは、個人内変動の程度を定量的に示す上で欠かせないものであり、この点を踏まえると、複数日の行動を観測した上で、捉えることのできなかった非観測変動を不確実性の1種として捉え、予測値の幅を決定するために用いることが有用ではないかと考えている。

第5に、活動分類の与え方によって、どの程度捉える事のできる変動は異なるのかについて、活動開始時刻を対象に検証した結果、アプライオリなセグメントを用いた場合は、全変動のうちの12.9%が観測変動であった一方、提案した行動の類似性に基づく活動分類手法を用いた場合、全変

動のうちの 46.4%を観測変動に落とし込むことができることが明らかとなった。すなわち、採用する活動分類によって、観測変動／非観測変動の比は、大きく異なることが示された。これより、「活動分類の選択」は、これまで重点的に研究が行われてきたモデル構造や説明変数の選択と同様に、現象を記述する上でその精度を左右する重要な要素であることが示唆された。

第 6 に、提案した活動抵抗に基づく母集団のセグメント方法を、過疎地域における買物活動参加、発展途上国における学校参加を例に実証分析を行った結果、通常想定される母集団のセグメント基準では、活動抵抗の高いサブ集団をうまく抽出できない可能性が高いことが明らかとなった。具体的には、過疎地域における買物活動参加に対する活動抵抗の高いサブ集団は、「自動車の利用可能性」や「高齢者かどうか」だけでは十分に判別できないこと、学校活動参加に対する活動抵抗の高いサブ集団は、「世帯収入」だけでは十分に判別できないことが示唆された。

第 7 に、セグメントごとに変動構造を特定し、比較する有用性を実証した。具体的には、[自宅内介護者・自宅外介護者・非介護者]×[平日・休日]の計 6 つのセグメントを設定し、その変動構造の差異を明らかにした。その結果、平日に比べて休日の方が非観測変動は大きいこと、自宅内介護者は ICT ツールの保有による影響を受けやすいこと等が明らかとなった。

以上を要するに、行動に内在する変動の情報を抽出／集約する施策検討プロセスにおいては、1 日の行動データやゾーン単位の集計モデル、アприオリなセグメントを採用することによって、無視できない量の変動情報を失っていることが定量的に示された。失われた変動情報が不確実性を生じさせる 1 つの要因であることは明らかであり、その程度を把握するためには、少なくとも、個人内変動の影響を評価できる複数日の行動データが必要不可欠であることが確認された。

8.1.3 変化の観点から見た時間軸上に発生し得る不確実性

6 章では変動構造の長期変化を、7 章では Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入による行動変化について分析を加えた。以下、分析結果から得られた主要な知見をまとめる。

第 1 に、非観測変動の影響を含めた変動構造の長期変化について時間利用行動を例として実証分析を行った結果、非観測変動の占める割合が高くなる方向に変動構造は変化していることが明らかとなった。このことは、使用する説明変数を所与とした場合、たとえモデル構造内のパラメータ及び観測値を最新のデータに更新したとしても、予測精度は経年的に低下することを意味している。この原因の 1 つとして、行動の多様化が起因している可能性が高い。この点を踏まえると、ある時点において特定したモデルを将来時点に拡張する際には、“行動とそれを規定する要素の因果関係は安定しておらず、時間軸上に変化し得る”点を考慮するだけでなく、“行動の多様化により、行動とそれを規定する要素の因果関係は経年的に複雑化している可能性が高い”点を踏まえる必要があることが示唆された。

第 2 に、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入による行動変化について 2008 年 4 月の暫定税率の失効 (25.1 円／リットル) 及び 2008 年 5 月の復活、2008 年 8 月までのガソリン価格の高騰及びその後の急落を例として実証分析を行った結果、暫定税率の失効／復活については、その交通行動への影響は大きいものの、一時的な影響を及ぼすに過ぎないことが明らかとなった。ただ

し、暫定税率の失効前後に遅れ(lag)／先行(lead)と思われる変化が観測されており、“行動変化は変化要因の介入により瞬時に起こるわけではなく、その前後の期間にまで影響を及ぼす”ことが示唆された。また、都市部の路線においては、2008年8月までのガソリン価格の高騰による一時的な価格上昇によって、たとえその後ガソリン価格がもとの水準に戻ったとしても、高速道路交通量は完全にはもとには戻らない可能性があることが示唆された。このことから、“行動変化は非対称的性質を有する”ことが示唆された。

以上を要するに、断面データを用いて将来時点の予測・評価を行う際に必要となる仮説、“行動変化は瞬時に起こる”、“行動変化は対称的かつ可逆的性質を有する”、“行動とそれを規定する要素の因果関係は安定しており、時間軸上に変化しない”は、少なくとも上の実証分析のケースでは棄却された。さらに、最後の仮説については、行動とそれを規定する要素の因果関係は経年的に複雑化している傾向にあることが示唆された。

8.2 政策分析への示唆

8.2.1 政策指向型の分析

1章において概観したように、環境問題への早急の対応等、交通計画が有する課題は大きく変化している。このような状況下においては、旧来行われてきた、過去の趨勢をベースとして予測するトレンド型のフォアキャスト型ではなく、政策目標を定めたバックキャスト型の政策分析・評価がますます重要になるものと予想される。例えば、具体的な温室効果ガス削減目標の設定が世界規模で議論されていることを踏まえると、その目標の達成のための計画立案が必要になってくるものと考えられる。このような、いわば政策指向型の政策分析・評価の場合、異なるスケール・対象・期間を持つ各種政策を総動員して政策目標を達成することが重要となる。交通現象の変動・変化の情報は、以上のようなバックキャストに基づく政策指向型の分析を進める際において有用な基礎情報を提供し得るものと考えている。以下では、温室効果ガス削減を目標として自転車の利用促進を図る場合を例に取り上げ、本研究において見てきた変動・変化の情報の役割について若干の考察を加える。

自転車の利用促進は、モビリティマネジメントに代表されるような協力的行動を促す心理的方略から、自転車道の整備及びその連続性の確保、土地利用の再編まで、極めて異なるスケール・対象・期間を有する各種施策によって達成し得るものと考えられる。4章において示した交通手段選択の変動構造は、このような異なるスケールを持つ各種要因から影響を受ける交通行動の変容を生じさせ得る政策のスケールに目途を付けるために利用できると考えられる。ドイツのカールスルーエ市及びハレ市を対象とした実証分析の結果からは、個人間(世帯間)変動(個人(世帯)属性や個人の習慣等)が自転車を利用するかどうかに対して支配的な影響を持つことが示された。また、自転車保有や個人属性の影響を考慮した場合においても、高い非観測個人間変動が観測されたことから、個々人の持つ習慣や選好により自転車の利用が規定されている可能性がある。その反面、居住地や出発地・目的地の差異により生じる空間変動の影響は小さいことが示された。こ

のように、有効性が高いと思われる政策メニューを絞り込む際において、交通行動の変動の情報は有用なものと考えられる。

また、バックキャストを行う際においては、フォアキャストと比較して、行動変化をモニタリングすること、及び、政策介入の程度を適宜チューニングすること、が極めて重要と考える。6章及び7章にて示したように、人々の活動・交通行動を規定する変動構造は時間軸上に変化し得るものである上、経済状況の急変や石油価格の急激な高騰・急落等、極めて短期間で社会情勢は変化し、それに伴い人々の行動も変化し得る。予測の精度ではなく、目標の達成に重きを置くバックキャストにおいては、これらの変化を観測し、観測した情報をもとに、現在進め（ようと）している政策の微修正を繰り返し、目標値の実現可能性を常に確認しておく必要があるものと思われる。この際においては、各政策の柔軟性を考慮し、チューニングが可能な政策変数を準備しておくことも重要となろう。

8.2.2 頑健性を考慮した交通政策の評価

本研究では、変動・変化の観点から不確実性について若干の考察を試みたに過ぎないが、それでも、交通計画の実現過程には、極めて高い不確実性が存在することが示された。このような状況下において政策分析を行うために今後行っていくべき研究の方向性として以下の2通りがあると考えている。

1 点目として、非観測変動をより丁寧に説明しようとしたり、モデル内に変化の要素を含む動的モデルを構築したりする方向性が考えられる。言い換えると、現象のより良い理解を通じて精度の高いモデルを構築しようとする従来研究の延長線上の方向性が考えられる。この場合、非観測変動や変化によって生じる不確実性を無くするように努め、政策分析の確度を高めるよう努めることとなる。ただし、過度に複雑なモデルを構築してしまうと、時間的に安定しないモデル構造となってしまう恐れがある点に注意する必要がある。

2 点目として、非観測変動や変化の存在を認めた上で、より頑健な政策分析を模索していく方法が考えられる。言い換えると、予測値や評価値が数値として正確であるよりも、その予測・評価が不確実性を伴うとの前提のもと、それでもなお、対象とする政策を行うべきかどうかを判断するための手法を開発していく方向性が考えられる。

上の2つの方向性は背反するものではなく、その特性を踏まえて研究を蓄積していく必要があると考える。前者は、全ての計画行為の基礎となる現象の理解を深める点においても必要不可欠な視点である。しかしながら、1章において見たように、完全な不確実性の排除はほとんど不可能に近い点、施策立案者は不確実性が存在する状況下において判断を下さざるを得ない状況にある点、さらに、上述したバックキャストの重要性がますます高めている点を踏まえると、後者の視点の重要性が浮き彫りになる。Kouvelis and Yu (1997)は、不確実性下における意思決定者が取るべき手段として以下を挙げている。

“The best way to handle uncertainty, and to make decisions under uncertainty, is to accept uncertainty, make a strong effort to structure it and understand it, and finally, make it part of the

decision making reasoning (p1)”

この Kouvelis and Yu の指摘からみると、本研究で行ってきた一連の研究は、不確実性を構造化し、理解することに努めたものであると言える。最後段階である、意思決定の一部として不確実性を取り込む点については、本研究では議論できなかった。本研究では、変動・変化の観点から不確実性をみたとはいえないが、交通計画に内在する不確実性が極めて高く、その存在は、複数日の観測データ、複数時点の観測データを用いて初めて明らかとなるものである。今後、不確実性を意思決定に取り込んだ頑健性を考慮した交通施策評価手法を構築していくとともに、それでもなお残る不確実性への対応としてモニタリング及び実施している政策の微修正を行っていく必要性は極めて高いものと考えている。

8.3 調査論への示唆

従来から、モデリング手法の善し悪しを比較・評価する研究については膨大な蓄積がなされてきたものの、調査手法の善し悪しの比較・評価を行う研究の蓄積は極めて限られている (Stopher and Jones, 2003)。本節では、本研究の成果から示唆される今後の調査の方向性について考察を加える。

8.3.1 データの取得期間・間隔

4章における分析の結果、活動・交通行動に一定の経日変動が存在することが示されたことから、少なくとも1日の行動結果を代表的な行動と見なす調査に依存する計画の妥当性を再度検討する必要があると考えている。また、極めて大きな個人内変動が観測された点、及び、ICカードをはじめとする技術の発展に伴い個別化された政策の実施が可能となりつつある点を踏まえると、複数日に渡る行動調査による詳細な個人の行動パターンを把握する重要性はますます高まっているものと予想される。これらの点を踏まえると、今後の調査形態として、1日の大規模な行動調査だけでなく、行動の変動・変化を詳細に捉えるために連続時間—離散時間パネル調査を併せて行い、変化要因の介入による離散的な変化に対しては、マクロ時系列データ及び以下にみる Continuous survey を用いて対応していく方法を考慮する必要があるだろう。連続時間—離散時間パネル調査については、ドイツにおいて行われている German Mobility Panel の調査形態が参考となる。German Mobility Panel は、German Federal Ministry of Transport からの資金提供で成り立っている。調査期間に制約のない恐らく唯一の連続時間—離散時間パネル調査である。

さらに、被験者の負担を考慮しつつ変化の把握を試みるためには、オーストラリアのメルボルンで行われた Victorian Activity and Travel Survey (Morris et al., 2001) や、シドニーで行われた Sydney Household Travel Survey (Battellino and Peachman, 2003) 等の、パネルデータに見られる同一個人を対象とした調査ではなく、異なる個人の交通行動を数年間に渡って連続的に尋ねる調査 (Continuous survey) の実施も視野に入れる必要があるだろう。これによって、7章において集計レベルで分析した Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入による交通行動への影響をより詳細に把握することがで

きる。また、お盆や正月、観光シーズン等の特異日の行動結果及び季節間変動の把握や、供給側のシステム変化に対する行動変化の把握等、多岐に渡る交通行動の変動・変化の観測及びその影響要因の把握が可能となる。ただし、個人内変動の情報を含まないため、個々人の行動リズムそのものの変化を把握することは困難である。

以上の点を踏まえると、変動・変化を捉える観点から望ましい調査体系の1つとして、離散時間―連続時間パネル調査及び Continuous survey の併用が考えられる。8.2においてみたように、バックキャストिंगのような政策指向型の分析が必要とされる現在の状況下においては、ある1日の母集団全体の行動結果を再現するために特定日の行動結果を膨大に取得する従来の調査体系よりも、変動・変化を詳細に把握することができる調査体系の採用がますます必要になると考える。すなわち、現在行っている政策の効果をモニタリングしながら目標に向けて逐次微調整を行うことを許容するデータを取得する必要性は極めて高いものと思われる。

8.3.2 データの保存・公開・統合

上述の調査の改善と並んで重要な点として、データの保存・公開・統合の問題が挙げられる。この点に関しては他の分野でも同様の問題を有しており、例えば前田(2004)は、日本においては社会調査データを重要な社会的・学術的資源と考え保存・公開する努力が最近まで組織だっでは行われていなかったことを指摘し、データの一括保存・公開の意義として、1) 政策課題の検討に向けた過去の調査データの蓄積、2) 調査回数の抑制および新規調査の質的改善、3) データ収集・整理に必要な膨大な時間的負担および研究費獲得の必要性からの解放、4) データの散逸の防止、の4点を挙げている。以上の点は、交通行動調査に対しても当てはまる重要な指摘であると思われる。残念ながら、交通行動調査についても、調査の実施に際してこれまでに極めて多額の投資を行ってきたにもかかわらず、過去の多くの調査データが紛失してしまっているという現状がある(Stopher and Jones, 2003)。これによって、本来可能であるはずの行動変化の把握ができなくなっている例も多数存在するものと思われる。

調査費用の削減、調査規模の縮小の潮流にあり、また一方で、上述したように変化のモニタリングに耐え得るだけのデータが必要とされる中で、全体としての調査費用の効率化を可能とする複数データを共有するプラットフォームの構築は、極めて重要な課題である。さらに、モデルに比べてデータは、時間的にも空間的にも個別的であり、一般化できないものであるが故に、その保存・公開の必要性は極めて高いものと考えられる。事実、2009年4月には全面改正された統計法が施行され、公的統計の体系的な整備を通じて「行政のための統計」から「社会の情報基盤としての統計」に転換することが意図されている。交通行動調査に関連する各種データに関しても、個人情報保護の問題は残るものの、体系的な整備が望まれる。その促進のためには、異なるデータの統合手法に関する研究の蓄積が必要となろう。モデルの発展とデータの豊富さが相互依存的な関係を有しているのと同様に、複数データを共有するプラットフォームの必要性は、データの統合手法の発展と相互依存的な関係にあるものと考えられるためである。

いずれにしても、現状を認識するためのデータと、モデル等を通じた政策評価手法の両者が揃って、はじめて、客観的で科学的な分析手法に基づく施策立案が可能となる。この意味において、上に述べた分析手法及び調査論の議論は不可分であることを改めて強調しておきたい。変動・変化の情報は、施策立案を取り巻く諸問題を直接的に解決するものではないが、現状の認識及び今後取り得る政策分析や調査の方向性に関する議論を統合的に進める上で有用な役割を担うものと考えられ、今後、更なる研究の蓄積が望まれる。

8.4 今後の課題

以下、本研究に関する今後の課題を列举する。

本研究では、出発時刻、活動発生、交通手段選択、時間利用といった、複数の行動側面における変動特性を明らかにすることを試みたが、経路選択、目的地選択等、評価しきれなかった行動側面が多々残されている。また、変動構造の変化、Entry (Exit) point を持つ変化要因の介入による行動変化については、極めて限定的な実証分析を行ったに過ぎない。今後、2009年3月から始まった休日高速道路料金の引き下げの影響の評価を含め、他の側面における変動・変化についても分析を進めていきたいと考えている。

加えて、本研究で行った一連の分析は、本来は一連のプロセスとして実行されている活動・交通行動の意思決定を、各行動側面において区切り、個別に変動構造を特定してきた。本研究で提案している手法は、一般化線形モデルの枠組みであれば容易に応用可能であるため、今後、例えば Bowman and Ben-Akiva(2000)の提案しているスケジュールモデルへの適用等を行っていききたいと考えている。直接交通計画の立案に利用可能な、複数の行動側面を包括するモデルに内在する変動構造を特定する意義は決して少なくないものと考えている。

さらに、変動構造の把握に向けて行った一連の分析において特に定義することが困難であったのは空間変動であり、採用する定義によって結果は変わり得る点が課題として残される。地理学の分野では、空間の影響を連続的に扱う地理的加重回帰モデルの開発・適用が進められており

(Fotheringham, 2002)、この手法を援用することにより、より詳細な空間変動を記述することができると期待される。また、交通計画においては、空間分布の変更を伴う政策メニューが多い点を踏まえると、異なるゾーンサイズの適用を併せて行い比較分析を行うなど、可変単位地区問題についてより詳細に検討していく必要があるものと思われる。

本研究で提案したセグメント手法は、行動の類似性（目的変数に対する説明変数の寄与構造の違いにより定義される活動種類間の類似性）を基準とした活動種類のセグメント手法と、活動抵抗（当該活動に付随する不効用を上回るための配分時間の閾値）を基準とした母集団のセグメント手法の2つであった。両者ともに、政策分析を行うことを前提としたセグメント手法ではなかった。今後、ある政策変数への反応の程度によりセグメントを行うなど、政策分析を行うことを視座に据えたセグメント手法を構築したいと考えている。また、セグメントについてどこまで詳細に議論できるかは、調査票の設計に依存する。今後、セグメントを行うことを考慮した調査設計の在り方についても議論を加える必要がある。

活動・交通行動を規定する因果構造が変化していくことを所与とすれば、行動変化を自動的にモニタリングしていくことが望ましいのではないかと考えている。例えば、公共交通 IC カードのデータが利用可能な状況下では、公共交通利用者の出発時刻選択を逐次更新し、出発時刻分布の経時変化を観測していくことが考えられる。これによって、時刻表の再編を行う際に基盤となる利用者行動の最新の情報を利用することができる。また、道路上のトラフィックカウンターのデータを用いて行動変化を観測できれば、極めて微視的なスケールの交通量の変化の把握が可能となると期待される。さらに、上述した Continuous survey が実施されるようになれば、極めて詳細なレベルでモニタリングが可能となる。この調査の実施を促すためには、モニタリングの重要性を示す更なる研究の蓄積が望まれる。

個人内変動を観測するための文脈要因に関するデータの取得は、本研究で示したように、極めて重要な課題の1つである。特に、活動発生や時間利用の行動側面における文脈要因を観測するためには、活動が発生しなかった状況に関する情報も併せて取得する必要がある。既存の交通行動やアクティビティダイアリー調査における設問が、活動が発生した状況下での設問（例えば、誰と活動を行ったか、どの交通手段を利用したか等）を中心に構成されている点を踏まえると、個人内変動の影響による活動発生プロセスを把握するためには、大幅な調査手法の改良が必要となると考えられる。極めて困難な課題ではあるが、多くの議論の余地が残されている。

3章において、分散を構造化することにより変動構造の長期変化を把握する手法を構築したものの、データの制約上、実証分析を行うことができなかった。今後、変動構造の時間軸上における変化を把握することができ、かつ、単一モデル内において変化と変動の識別がなされる本手法の有用性を実証的に示すことが課題である。現在、German Mobility Panel の利用申請を行っており、連続時間—離散時間パネルデータの有用性を示すことを通じて、我が国における今後の調査の在り方に関する議論を深めていきたいと考えている。

第8章 関連参考文献

- 1) Battellino, H., Peachman, J.: The Joys and Tribulations of a Continuous Survey, in P.R. Stopher and P.M. Jones (eds.) *Transport Survey Quality and Innovation*, Pergamon, New York, pp. 49-68, 2003.
- 2) Bowman, J. L., Ben-Akiva, M.: Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, *Transportation Research Part A*, Vol. 35, pp. 1-28, 2000.
- 3) Fotheringham A. S., Brunson, C., Charlton, M.: *Geographically Weighted Regression: The analysis of spatially varying relationships*, John Wiley & Sons, Ltd., 2002.
- 4) Kouvelis, P., Yu, G.: *Robust discrete Optimization and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- 5) Morris, J., Sindt, C., Holmes, J.: *The Redesign of the Victorian Activity and Travel Survey*, Working Paper 2001/10, Melbourne: Transport Research Centre, RMIT, 2001.
(<http://mams.rmit.edu.au/6en39rvvpboy.pdf>)
- 6) Stopher, P. R., Jones, P. M.: Developing standards of transport survey quality, in P.R. Stopher and P.M. Jones (eds.) *Transport Survey Quality and Innovation*, Pergamon, New York, pp. 1-38, 2003.
- 7) 前田幸男: 世論調査データの行方データ・アーカイブの役割, *中央調査報*, No. 558, pp. 1-4, 2004.

謝 辞

本研究を遂行するにあたって、多くの方々からのご指導とご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

広島大学大学院国際協力研究科藤原章正教授には、筆者が4年生で研究室に配属されて以来、終始一貫して暖かいご指導、ご鞭撻をいただきました。同教授の、現在の社会情勢に対する的確な問題意識に根差した数多くのご助言なしには、本論文は完成し得ませんでした。甚大なる感謝の意を表します。

広島大学大学院国際協力研究科張峻屹准教授には、研究の着想段階から論文執筆に至るまで一貫して幾多のご助言をいただくとともに、交通計画・土木計画における生活行動理解の重要性について細部に渡ってご指導いただきました。広島大学大学院工学研究科西名大作教授、同大学院国際協力研究科金子慎治教授には、本研究の社会的意義について俯瞰的な観点からのご助言を賜りました。広島大学大学院工学研究科塚井誠人准教授には、大局的な見地からのご助言を数多く賜るとともに、狭い視野に陥りがちな筆者を叱咤激励していただきました。広島大学大学院国際協力研究科嶋本寛助教、同研究科 Sudarmanto Budi Nugroho 助教、工学研究科桑野将司助教、韓国国土研究院李百鎮氏には、研究遂行に関する様々な助言や研究に取り組む姿勢について幾多のご指導をいただきました。心より感謝の意を表します。

スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETHZ)交通システム研究所の Kay Axhausen 教授には、6週間の交通日誌データ(Mobidrive データ)の本研究での使用を快諾いただくとともに、研究遂行に際して数多くのご助言を賜りました。さらに、同研究所の Michael Löchl 氏, Andreas Horni 氏には、データの使用に関して様々な便宜を図っていただきました。また、本研究で使用した複数時点に渡る社会生活基本調査のデータは、総務省により提供していただいたものであり、このデータがなければ6章における分析は成し得なかったといえ、ここに厚く感謝の意を表します。

国内外の学会や研究会等の場においては、東京大学大学院工学系研究科原田昇教授、神戸大学大学院工学研究科朝倉康夫教授、名古屋大学大学院環境学研究科森川高行教授、東京大学大学院工学系研究科羽藤英二准教授、山梨大学大学院医学工学総合研究部佐々木邦明准教授、名古屋大学大学院工学研究科山本俊行准教授をはじめとする数多くの先生方に貴重なご意見を教授していただきました。深くお礼を申し上げます。

金元喆氏、王卓氏、Tran Ngoc Linh 氏をはじめとする広島大学大学院国際協力研究科交通工学研究室、同大学院工学研究科社会基盤計画学研究室の諸兄には多くのご支援をいただくとともに、日常生活の中での数多くの議論は、研究を進める上での大きな励みとなりました。ここに深く感謝の意を表します。

ここに記しきれない多くの方々の学恩、ご支援によって本研究が成立していることを銘記し、心より感謝して本論文を締めくくります。

2010年3月 力石 真

付録

付録 A 多項ロジットモデルの分散・共分散構造及び変動構造の性質

付録 B 最尤推定法と MCMC 法の比較及び収束判定の一例

付録 A 多項ロジットモデルの分散・共分散構造及び変動構造の性質

ここでは、まず、離散選択モデルを作成する際に注意すべき点である、1) 効用が絶対値に意味を持たない点、2) 効用のスケールが相対的な点、を無視して、全選択肢に完全な分散・共分散構造を仮定する。ただし、以下でみるように、実際は以上の2点を無視することはできないため、上の2点を無視した場合の分散を表す記号として σ の代わりに θ を用いる。選択肢集合が4つの場合を想定すると、各ランダム変数の完全な分散・共分散は、以下のように表される。

$$\begin{aligned} \gamma_i &= (\gamma_{ih}^1, \dots, \gamma_{ih}^4) \sim MVN(0, \Theta_{ih}), \gamma_h = (\gamma_h^1, \dots, \gamma_h^4) \sim MVN(0, \Theta_h), \\ \gamma_d &= (\gamma_d^1, \dots, \gamma_d^4) \sim MVN(0, \Theta_d), \gamma_s = (\gamma_s^1, \dots, \gamma_s^4) \sim MVN(0, \Theta_s), \\ \eta_{ihds}^2 &= (\eta_{ihds}^1, \dots, \eta_{ihds}^4) \sim MVN(0, \Theta_{00}) \end{aligned} \quad (A.1)$$

ただし、

$$\Theta_{ih} = \begin{pmatrix} \theta_{ih|1}^2 & \theta_{ih|12} & \theta_{ih|13} & \theta_{ih|14} \\ \theta_{ih|12} & \theta_{ih|2}^2 & \theta_{ih|23} & \theta_{ih|24} \\ \theta_{ih|13} & \theta_{ih|23} & \theta_{ih|3}^2 & \theta_{ih|34} \\ \theta_{ih|14} & \theta_{ih|24} & \theta_{ih|34} & \theta_{ih|4}^2 \end{pmatrix}, \Theta_h = \begin{pmatrix} \theta_{h|1}^2 & \theta_{h|12} & \theta_{h|13} & \theta_{h|14} \\ \theta_{h|12} & \theta_{h|2}^2 & \theta_{h|23} & \theta_{h|24} \\ \theta_{h|13} & \theta_{h|23} & \theta_{h|3}^2 & \theta_{h|34} \\ \theta_{h|14} & \theta_{h|24} & \theta_{h|34} & \theta_{h|4}^2 \end{pmatrix} \quad (A.2)$$

$$\Theta_d = \begin{pmatrix} \theta_{d|1}^2 & \theta_{d|12} & \theta_{d|13} & \theta_{d|14} \\ \theta_{d|12} & \theta_{d|2}^2 & \theta_{d|23} & \theta_{d|24} \\ \theta_{d|13} & \theta_{d|23} & \theta_{d|3}^2 & \theta_{d|34} \\ \theta_{d|14} & \theta_{d|24} & \theta_{d|34} & \theta_{d|4}^2 \end{pmatrix}, \Theta_s = \begin{pmatrix} \theta_{s|1}^2 & \theta_{s|12} & \theta_{s|13} & \theta_{s|14} \\ \theta_{s|12} & \theta_{s|2}^2 & \theta_{s|23} & \theta_{s|24} \\ \theta_{s|13} & \theta_{s|23} & \theta_{s|3}^2 & \theta_{s|34} \\ \theta_{s|14} & \theta_{s|24} & \theta_{s|34} & \theta_{s|4}^2 \end{pmatrix} \quad (A.3)$$

$$\Theta_{00} = \begin{pmatrix} \theta_{00|1}^2 & \theta_{00|12} & \theta_{00|13} & \theta_{00|14} \\ \theta_{00|12} & \theta_{00|2}^2 & \theta_{00|23} & \theta_{00|24} \\ \theta_{00|13} & \theta_{00|23} & \theta_{00|3}^2 & \theta_{00|34} \\ \theta_{00|14} & \theta_{00|24} & \theta_{00|34} & \theta_{00|4}^2 \end{pmatrix} \quad (A.4)$$

次に、以上みた完全な分散・共分散構造に対して、1) 効用が絶対値に意味を持たない点、2) 効用のスケールが相対的な点を考慮し、実際に推定可能なパラメータ σ と上に見たパラメータ θ との関係を見る。まず、離散選択モデルでは、効用の差分にのみ関心があるため、ランダム変数を含む1つの選択肢の全てのパラメータを固定する必要がある。ここでは選択肢1のパラメータを固定する。次に、効用のスケールを固定するために、さらに選択肢2の個人内変動を表すランダム変数 η_{ihds}^2 を固定する。最終的には、理論的に推定できるパラメータの数は、個人内変動については $(J-1)J/2-1$ であり、その他の変動要因については $(J-1)J/2$ である (Train, 2003)。

以上の設定のもと、理論的に推定可能な σ と推定可能性を無視して定義した θ の関係は、以下のようになる。

$$\begin{aligned}
\gamma_i &= (\gamma_{ih}^2, \gamma_{ih}^3, \gamma_{ih}^4) \sim MVN(0, \Sigma_{ih}), \gamma_h = (\gamma_h^2, \gamma_h^3, \gamma_h^4) \sim MVN(0, \Sigma_h), \\
\gamma_d &= (\gamma_d^2, \gamma_d^3, \gamma_d^4) \sim MVN(0, \Sigma_d), \gamma_s = (\gamma_s^2, \gamma_s^3, \gamma_s^4) \sim MVN(0, \Sigma_s), \\
\eta_{ihds} &= (\eta_{ihds}^2, \eta_{ihds}^3, \eta_{ihds}^4) \sim MVN(0, \Sigma_{00})
\end{aligned} \tag{A.5}$$

ただし,

$$\Sigma_{ih} = \begin{pmatrix} \sigma_{ih|2}^2 & \sigma_{ih|23} & \sigma_{ih|24} \\ \sigma_{ih|23} & \sigma_{ih|3}^2 & \sigma_{ih|34} \\ \sigma_{ih|24} & \sigma_{ih|34} & \sigma_{ih|4}^2 \end{pmatrix}, \Sigma_h = \begin{pmatrix} \sigma_{h|2}^2 & \sigma_{h|23} & \sigma_{h|24} \\ \sigma_{h|23} & \sigma_{h|3}^2 & \sigma_{h|34} \\ \sigma_{h|24} & \sigma_{h|34} & \sigma_{h|4}^2 \end{pmatrix} \tag{A.6}$$

$$\Sigma_d = \begin{pmatrix} \sigma_{d|2}^2 & \sigma_{d|23} & \sigma_{d|24} \\ \sigma_{d|23} & \sigma_{d|3}^2 & \sigma_{d|34} \\ \sigma_{d|24} & \sigma_{d|34} & \sigma_{d|4}^2 \end{pmatrix}, \Sigma_s = \begin{pmatrix} \sigma_{s|2}^2 & \sigma_{s|23} & \sigma_{s|24} \\ \sigma_{s|23} & \sigma_{s|3}^2 & \sigma_{s|34} \\ \sigma_{s|24} & \sigma_{s|34} & \sigma_{s|4}^2 \end{pmatrix} \tag{A.7}$$

$$\Sigma_{00} = \begin{pmatrix} 1 & \sigma_{00|23} & \sigma_{00|24} \\ \sigma_{00|23} & \sigma_{00|3}^2 & \sigma_{00|34} \\ \sigma_{00|24} & \sigma_{00|34} & \sigma_{00|4}^2 \end{pmatrix} \tag{A.8}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
\sigma_{z|2}^2 &= (\theta_{z|1}^2 + \theta_{z|2}^2 - 2\theta_{z|12}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{z|3}^2 &= (\theta_{z|1}^2 + \theta_{z|3}^2 - 2\theta_{z|13}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{z|4}^2 &= (\theta_{z|1}^2 + \theta_{z|4}^2 - 2\theta_{z|14}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{z|23} &= (\theta_{z|1}^2 + \theta_{z|23} - \theta_{z|12} - \theta_{z|13}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{z|24} &= (\theta_{z|1}^2 + \theta_{z|24} - \theta_{z|12} - \theta_{z|14}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{z|34} &= (\theta_{z|1}^2 + \theta_{z|34} - \theta_{z|13} - \theta_{z|14}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12})
\end{aligned} \tag{A.9}$$

※ $z = ih, h, d, s$

また,

$$\begin{aligned}
\sigma_{00|3}^2 &= (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|3}^2 - 2\theta_{00|13}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{00|4}^2 &= (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|4}^2 - 2\theta_{00|14}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{00|23} &= (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|23} - \theta_{00|12} - \theta_{00|13}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{00|24} &= (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|24} - \theta_{00|12} - \theta_{00|14}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12}) \\
\sigma_{00|34} &= (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|34} - \theta_{00|13} - \theta_{00|14}) / (\theta_{00|1}^2 + \theta_{00|2}^2 - 2\theta_{00|12})
\end{aligned} \tag{A.10}$$

以上から、 σ と θ の間には式(A.9)及び式(A.10)に示すような関係があることが分かる。式(A.9)及び式(A.10)では選択肢1の全てのランダム変数及び選択肢2の個人内変動を表すランダム変数を固定したが、以下、このような特定の選択肢のパラメータを固定することが変動構造の特定に何ら制約を与えないことを、多項ロジットモデルの変動構造の特定と併せて示す。以下では Null モ

デルの場合について説明を加える。

まず、基準化に用いた選択肢 1 の選択肢間の効用の差分の変動構造の例として、選択肢 1 と選択肢 3 との効用の差分の変動構造を以下に示す（ガンベル分布のスケールパラメータ σ は定数）。

$$\text{Var}(\tilde{U}_{ihds}^3 - \tilde{U}_{ihds}^1) = (\tilde{\sigma}_{ih3}^2) + (\tilde{\sigma}_{h3}^2) + (\tilde{\sigma}_{d3}^2) + (\tilde{\sigma}_{s3}^2) + (\tilde{\sigma}_{003}^2 + \sigma^2 \pi^2 / 3) \quad (\text{A.11})$$

次に、基準化に用いた選択肢 1 以外の選択肢間の効用の差分の変動構造の例として、選択肢 2 と選択肢 3 の効用の差分の変動構造を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{Var}(\tilde{U}_{ihds}^2 - \tilde{U}_{ihds}^3) = & (\tilde{\sigma}_{ih2}^2 + \tilde{\sigma}_{ih3}^2 - 2\tilde{\sigma}_{ih23}) + (\tilde{\sigma}_{h2}^2 + \tilde{\sigma}_{h3}^2 - 2\tilde{\sigma}_{h23}) \\ & + (\tilde{\sigma}_{d2}^2 + \tilde{\sigma}_{d3}^2 - 2\tilde{\sigma}_{d23}) + (\tilde{\sigma}_{s2}^2 + \tilde{\sigma}_{s3}^2 - 2\tilde{\sigma}_{s23}) \\ & + (1 + \tilde{\sigma}_{003}^2 - 2\tilde{\sigma}_{0023} + \sigma^2 \pi^2 / 3) \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

式(A.11)及び式(A.12)で示した変動構造を、式(A.9)及び式(A.10)により θ を用いて記述し直すと、それぞれ以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \text{Var}(\tilde{U}_{ihds}^3 - \tilde{U}_{ihds}^1) = & (\tilde{\theta}_{ih3}^2 + \tilde{\theta}_{ih1}^2 - 2\tilde{\theta}_{ih13}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + (\tilde{\theta}_{h3}^2 + \tilde{\theta}_{h1}^2 - 2\tilde{\theta}_{h13}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + (\tilde{\theta}_{d3}^2 + \tilde{\theta}_{d1}^2 - 2\tilde{\theta}_{d13}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + (\tilde{\theta}_{s3}^2 + \tilde{\theta}_{s1}^2 - 2\tilde{\theta}_{s13}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + ((\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{003}^2 - 2\tilde{\theta}_{0013}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) + \sigma^2 \pi^2 / 3) \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(\tilde{U}_{ihds}^2 - \tilde{U}_{ihds}^3) = & (\tilde{\theta}_{ih2}^2 + \tilde{\theta}_{ih1}^2 - 2\tilde{\theta}_{ih12} + \tilde{\theta}_{ih3}^2 + \tilde{\theta}_{ih1}^2 - 2\tilde{\theta}_{ih13} - 2(\tilde{\theta}_{ih1}^2 + \tilde{\theta}_{ih23} - \tilde{\theta}_{ih12} - \tilde{\theta}_{ih13})) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + (\tilde{\theta}_{h2}^2 + \tilde{\theta}_{h1}^2 - 2\tilde{\theta}_{h12} + \tilde{\theta}_{h3}^2 + \tilde{\theta}_{h1}^2 - 2\tilde{\theta}_{h13} - 2(\tilde{\theta}_{h1}^2 + \tilde{\theta}_{h23} - \tilde{\theta}_{h12} - \tilde{\theta}_{h13})) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + (\tilde{\theta}_{d2}^2 + \tilde{\theta}_{d1}^2 - 2\tilde{\theta}_{d12} + \tilde{\theta}_{d3}^2 + \tilde{\theta}_{d1}^2 - 2\tilde{\theta}_{d13} - 2(\tilde{\theta}_{d1}^2 + \tilde{\theta}_{d23} - \tilde{\theta}_{d12} - \tilde{\theta}_{d13})) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + (\tilde{\theta}_{s2}^2 + \tilde{\theta}_{s1}^2 - 2\tilde{\theta}_{s12} + \tilde{\theta}_{s3}^2 + \tilde{\theta}_{s1}^2 - 2\tilde{\theta}_{s13} - 2(\tilde{\theta}_{s1}^2 + \tilde{\theta}_{s23} - \tilde{\theta}_{s12} - \tilde{\theta}_{s13})) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\ & + \left(1 + (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{003}^2 - 2\tilde{\theta}_{0013}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \right. \\ & \left. - 2((\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{0023} - \tilde{\theta}_{0012} - \tilde{\theta}_{0013}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012})) + \sigma^2 \pi^2 / 3 \right) \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

式(A.14)を整理すると、

$$\begin{aligned}
\text{Var}(\tilde{U}_{ihds}^2 - \tilde{U}_{ihds}^3) &= (\tilde{\theta}_{ih2}^2 + \tilde{\theta}_{ih3}^2 - 2\tilde{\theta}_{ih23}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\
&+ (\tilde{\theta}_{h2}^2 + \tilde{\theta}_{h3}^2 - 2\tilde{\theta}_{h23}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\
&+ (\tilde{\theta}_{d2}^2 + \tilde{\theta}_{d3}^2 - 2\tilde{\theta}_{d23}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\
&+ (\tilde{\theta}_{s2}^2 + \tilde{\theta}_{s3}^2 - 2\tilde{\theta}_{s23}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012}) \\
&+ ((\tilde{\theta}_{002}^2 + \tilde{\theta}_{003}^2 - 2\tilde{\theta}_{0023}) / (\tilde{\theta}_{001}^2 + \tilde{\theta}_{002}^2 - 2\tilde{\theta}_{0012})) + \sigma^2\pi^2/3
\end{aligned} \tag{A.15}$$

となり、 σ を十分に小さくとした場合、各変動の比は、どの選択肢によって基準化を行ったとしても、全ての選択肢のペアで特定できることが分かる（ただし、分散スケールの問題を認識した上で基準化する選択肢を決定することが望ましいことが指摘されている（Ben-Akiva, 2001））。

参考文献

1. Ben-Akiva, M., Bolduc, D., Walker, J.: Specification, identification, & estimation of the logit kernel (or continuous mixed logit) model, Working Paper, Department of Civil Engineering, MIT, 2001.
2. Train, K. E.: Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, 2003.

付録 B 最尤推定法と MCMC 法の比較及び収束判定の一例

以下、最尤推定法と MCMC 法の比較、及び、本研究で用いた収束判定方法について、真値が既知である仮想データをもとに行う。以下では、通常の回帰モデル、2 項ロジットモデル、マルチレベル回帰モデル、マルチレベル 2 項ロジットモデルを例に挙げる。

仮想データの設定

まず、以下の線形式を設定する。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \varepsilon_i \quad (\text{B.1})$$

ここで、未知パラメータの真値を $\beta_0=0.5$, $\beta_1=1.0$, $\beta_2=0.5$ とし, $x_{1i} \sim N(-1,2)$, $x_{2i} \sim N(1,3)$, $\varepsilon_i \sim N(0,\pi^2/3)$ に従う乱数を 10,000 個発生させ、式(B.1)に代入することにより y_i を作成する。以上より得られたデータを回帰モデルの推定に用いる。

次に、式(B.1)を効用と見なし、そのまま 2 項ロジットモデルに援用する。具体的には、選択肢 2 の効用を 0 に固定し、選択肢 1 の効用 y_i が 0 以上のとき選択肢 1、0 より小さいとき選択肢 2 が選ばれると仮定して、

$$P_i^1 = \frac{\exp(y_i)}{1 + \exp(y_i)}, \quad P_i^2 = \frac{1}{1 + \exp(y_i)} \quad (\text{B.2})$$

として、モデルの推定を行う。

次に、マルチレベルモデルの推定のためのデータセットを作成する。具体的には、式(B.1)において発生させた 10,000 個のサンプルを、500 人分の行動結果を 20 日間観測したデータと見なし、個人間変動を表現する γ_i と個人間変動を表現する ε_{ii} を区別する。

$$y_{ii} = \beta_0 + \beta_1 x_{1ii} + \beta_2 x_{2ii} + \gamma_i + \varepsilon_{ii} \quad (\text{B.3})$$

ここで、 γ_i を除く他の変数は式(B.1)と同じ値を用いる。 γ_i については $N(0,2)$ に従う乱数により個人数に対応する 500 個のサンプルを生成する。次に、同一個人が行った 20 日分の活動に対して同一の γ_i を割り振ることにより y_{ii} を作成する。

次に、式(B.2)を効用と見なし、マルチレベル 2 項ロジットモデル用のデータを作成する。具体的には、選択肢 2 の効用を 0 に固定し、選択肢 1 の効用 y_{ii} が 0 以上のとき選択肢 1、0 より小さいとき選択肢 2 が選ばれると仮定して、

$$P_{ii}^1 = \frac{\exp(y_{ii})}{1 + \exp(y_{ii})}, \quad P_{ii}^2 = \frac{1}{1 + \exp(y_{ii})} \quad (\text{B.2})$$

として、モデルの推定を行う。

以上の設定から得られたデータセットの平均値及び分散値を表 B.1 に示しておく。

表 B.1 シミュレーションデータ

| | y_i | y_{it} | x_{1i} | x_{2i} | γ_i | ε_i | β_0 | β_1 | β_2 |
|----|--------|----------|----------|----------|------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 平均 | 0.9877 | 0.9562 | 1.0088 | -1.0072 | -0.0315 | -0.0175 | 0.5 | 1.0 | 0.5 |
| 分散 | 6.8495 | 8.8875 | 3.0080 | 2.0059 | 1.9702 | 3.3359 | 0 | 0 | 0 |

表 B.2-B.5 及び図 B.1-B.8 に、回帰モデル、2 項ロジットモデル、マルチレベル回帰モデル、マルチレベル 2 項ロジットモデルの推定結果を示す。MCMC 法の推定に当たっては、全てのケースにおいて、サンプルの生成回数を 11,000 回、稼働検査期間 (棄却したサンプリング回数) を 1,000 回とし、最終的に 10,000 回のサンプルを事後分布として用いた。なお、マルチレベルモデルを最尤推定法によって解くケースにおいては、適応型求積法を用いている。

まず、回帰モデルと 2 項ロジットモデルの結果を見ると、MCMC 法によって得られた推定値は、最尤推定法の推定値と漸近的に等しいことが分かる。MCMC 法によって得られた標本の時系列プロットより、各パラメータが、状態空間をまんべんなくサンプリングしている様子が伺える。また、標本の自己相関関数も極めて低いことから、サンプリングが効率的であることが分かる。Geweke (1992) の収束判定方法¹の結果を見ると、表中の Geweke の値は 1.96 を下回っており、パラメータは収束していると考えられる。また、両者とも pD の値はパラメータ数にほとんど一致しており、従って、ランダム変数を含まないモデルの場合、DIC と AIC は漸近的に等価なモデル比較指標であることが確認できる。

次に、マルチレベル回帰モデルと 2 項ロジットモデルの結果を見ると、標本の時系列プロット、標本自己相関関数のプロット、Geweke (1992) の収束判定結果ともに概ね良好な結果であることが確認できる。ただし、マルチレベル 2 項ロジットモデルの b_0 については、その標本の時系列プロットから、状態空間をまんべんなくサンプリングしていない可能性が残る。こういった場合、本研究ではサンプルの生成回数を増やすことにより推定結果の安定性を確認している (また、標本の自己相関が高い場合においても、サンプルの生成回数を増やすことにより対応した。初期値に標本系列が依存している場合は、稼働検査期間を長く設定し直すことにより対応した)。表 B.6 に、サンプルの生成回数を 100,000 回、稼働検査期間 (棄却したサンプリング回数) を 10,000 回とし、10 回毎にサンプリングを間引くことにより、最終的に 10,000 回のサンプルを事後分布として用いた場合の推定結果を併記する。この結果を見ると、わずかに b_0 の推定値は異なるものの、分析結果からの推論に影響を及ぼすものではないことが確認できる。なお、最尤推定法と MCMC 法の結果を比較すると、両者は漸近的に等しいことが確認できる (ただし、ランダム変数の分散パラメータについては、モデルから推論を行う際に影響を与えるほどではないものの、MCMC の方が大きく推定する傾向にある)。ただし、pD は、パラメータ数とは明らかに異なる値を取っており、ランダム変数を含むモデルの場合、モデル比較の基準である AIC と DIC の持つ意味は大きく異なる。

¹ 得られた標本系列の前半と後半でパラメータの期待値が同じかどうかを検定する手法。本研究では、Geweke (1992) に従い、前半 10% と後半 10% から得られるパラメータの期待値が等しいかを検定した。

回帰モデル

表 B. 2 回帰モデル推定結果

| | 最尤推定法 | | | MCMC 法 | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|-----------|-------------------------|--------|
| | パラメータ | s.e. | t 値 | mean | s.d. | mean/s.d. | 2.5%,97.5% quantiles | Geweke |
| b_0 | 0.493 | 0.0248 | 19.840 | 0.493 | 0.0248 | 19.883 | (0.444,0.542) | 0.151 |
| b_1 | 0.997 | 0.0105 | 94.660 | 0.997 | 0.0105 | 94.853 | (0.976,1.017) | 0.085 |
| b_2 | 0.507 | 0.0129 | 39.310 | 0.507 | 0.0128 | 39.555 | (0.482,0.533) | 0.049 |
| 残差 (分散[標準偏差]) | 3.336[1.827] | | | 3.338[1.827] | 0.0477 | - | (3.246,3.433) | -0.671 |
| 最終対数尤度 | -20212.43 | | | | | | | |
| AIC | 40432.86 | | | | | | | |
| $\log[\text{mean}(\pi(x \theta))]$ | | | | -20214.45 | | | | |
| $\log[\pi(x \text{mean}(\theta))]$ | | | | -20212.45 | | | | |
| pD | | | | 4.000 | | | | |
| DIC | | | | 40432.9 | | | | |
| サンプル数 | 10,000 | | | 10,000 | | | | |

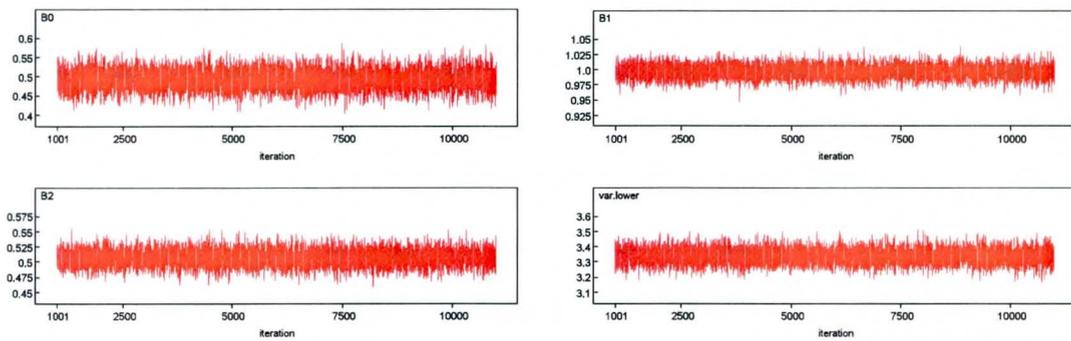


図 B. 1 標本の時系列プロット

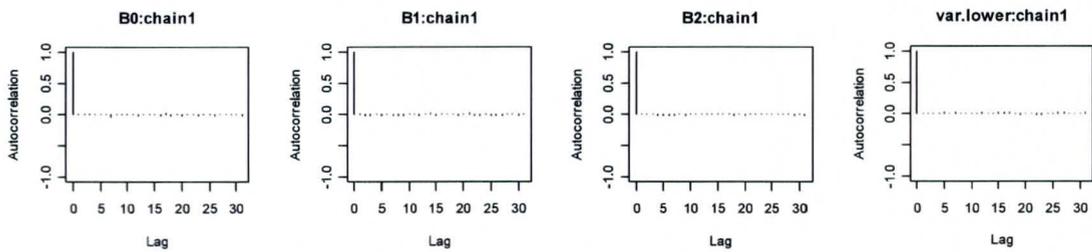


図 B. 2 標本の自己相関係数

2項ロジットモデル

表 B.3 2項ロジットモデル推定結果

| | 最尤推定法 | | | MCMC 法 | | | | |
|------------------------------------|----------|--------|--------|----------|--------|-----------|-------------------------|--------|
| | パラメータ | s.e. | t 値 | mean | s.d. | mean/s.d. | 2.5%,97.5% quantiles | Geweke |
| b_0 | 0.434 | 0.0343 | 12.659 | 0.434 | 0.0331 | 13.113 | (0.368,0.497) | -0.004 |
| b_1 | 0.946 | 0.0210 | 44.994 | 0.946 | 0.0213 | 44.360 | (0.905,0.99) | -0.144 |
| b_2 | 0.464 | 0.0196 | 23.637 | 0.464 | 0.0195 | 23.828 | (0.426,0.504) | 0.149 |
| 最終対数尤度 | -4603.72 | | | | | | | |
| AIC | 9213.43 | | | | | | | |
| $\log[\text{mean}(\pi(x \theta))]$ | | | | -4605.19 | | | | |
| $\log[\pi(x \text{mean}(\theta))]$ | | | | -4603.72 | | | | |
| pD | | | | 2.944 | | | | |
| DIC | | | | 9213.32 | | | | |
| サンプル数 | 10,000 | | | 10,000 | | | | |

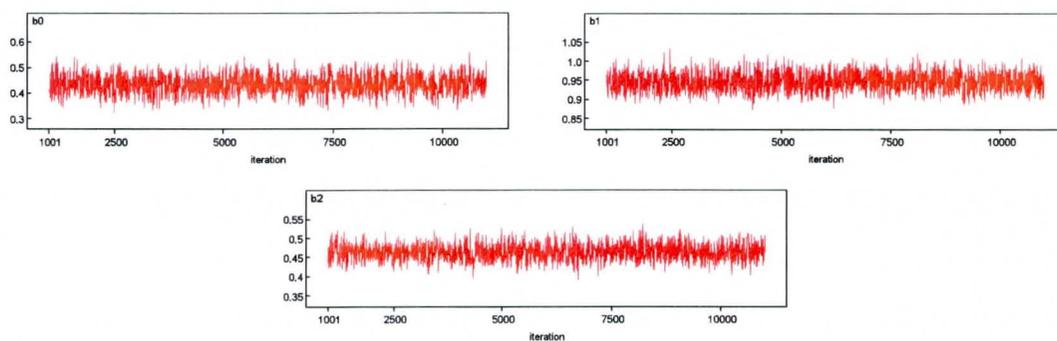


図 B.3 標本の時系列プロット

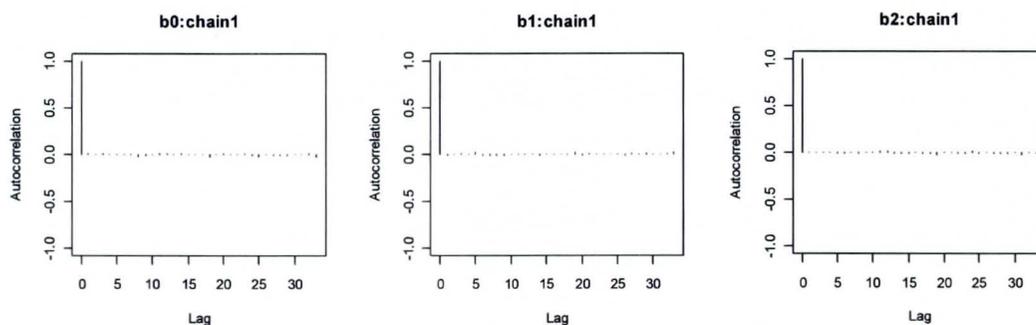


図 B.4 標本の自己相関係数

マルチレベル回帰モデル

表 B.4 マルチレベル回帰モデル推定結果

| | 最尤推定法 | | | MCMC 法 | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|-----------|----------------------|--------|
| | パラメータ | s.e. | t 値 | mean | s.d. | mean/s.d. | 2.5%,97.5% quantiles | Geweke |
| b_0 | 0.464 | 0.0683 | 6.800 | 0.466 | 0.0711 | 6.554 | (0.32,0.604) | -0.397 |
| b_1 | 0.998 | 0.0108 | 92.308 | 0.998 | 0.0107 | 92.924 | (0.977,1.019) | -0.715 |
| b_2 | 0.511 | 0.0132 | 38.715 | 0.511 | 0.0131 | 38.919 | (0.485,0.537) | -0.123 |
| 残差 (分散[標準偏差]) | 3.336[1.826] | | | 3.337[1.827] | 0.0477 | - | (3.244,3.431) | 0.464 |
| 個人間変動 (分散[標準偏差]) | 2.017[1.420] | | | 2.028[1.424] | 0.1387 | - | (1.776,2.318) | -1.464 |
| 最終対数尤度 | -20863 | | | | | | | |
| AIC | 41736 | | | | | | | |
| $\log[\text{mean}(\pi(x \theta))]$ | | | | -20213.5 | | | | |
| $\log[\pi(x \text{mean}(\theta))]$ | | | | -19981.0 | | | | |
| pD | | | | 465.144 | | | | |
| DIC | | | | 40892.2 | | | | |
| サンプル数 | 10,000 | | | 10,000 | | | | |

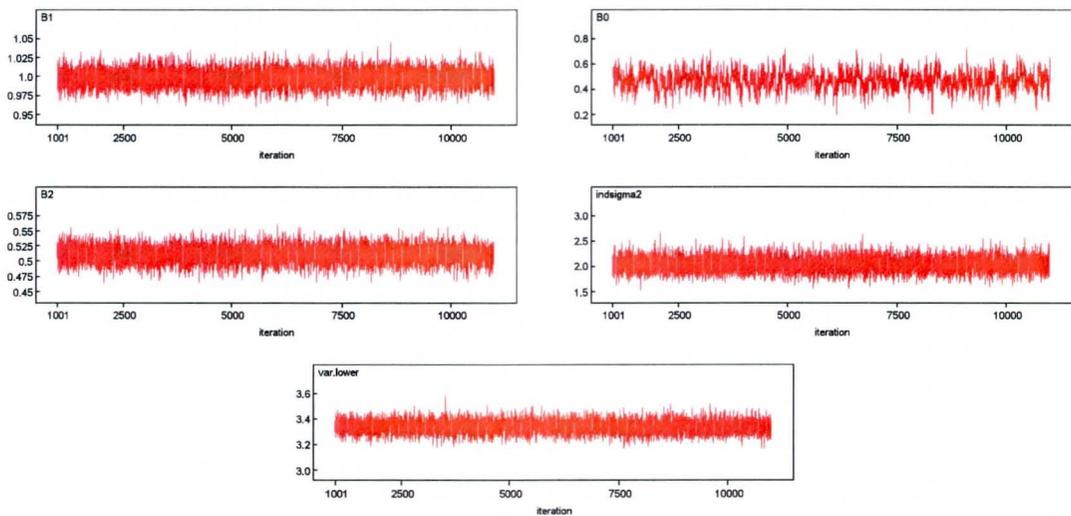


図 B.5 標本の時系列プロット

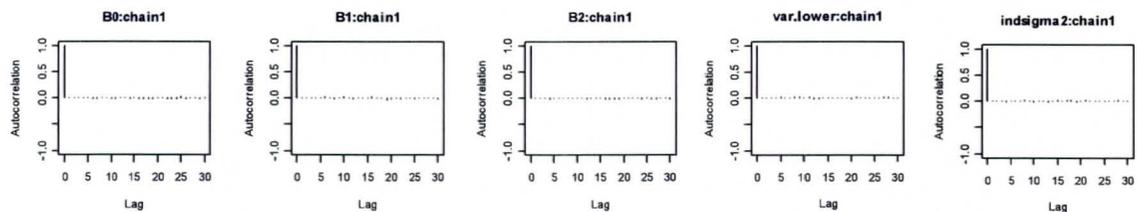


図 B.6 標本の自己相関係数

マルチレベル2項ロジットモデル

表 B.5 マルチレベル2項ロジットモデル推定結果

| | 最尤推定法 | | | MCMC 法 | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|-----------|----------------------|--------|
| | パラメータ | s.e. | t 値 | mean | s.d. | mean/s.d. | 2.5%,97.5% quantiles | Geweke |
| b_0 | 0.419 | 0.0686 | 6.110 | 0.416 | 0.0666 | 6.243 | (0.285,0.554) | 1.021 |
| b_1 | 0.942 | 0.0218 | 43.150 | 0.944 | 0.0229 | 41.129 | (0.899,0.99) | -0.123 |
| b_2 | 0.449 | 0.0208 | 21.560 | 0.450 | 0.0211 | 21.277 | (0.409,0.491) | 0.824 |
| 個人間変動 (分散[標準偏差]) | 1.680[1.296] | | | 1.714[1.309] | 0.1517 | - | (1.437,2.024) | -1.445 |
| 最終対数尤度 | -4597 | | | | | | | |
| AIC | 9202 | | | | | | | |
| $\log[\text{mean}(\pi(x \theta))]$ | | | | -4171.3 | | | | |
| $\log[\pi(x \text{mean}(\theta))]$ | | | | -3965.4 | | | | |
| pD | | | | 411.733 | | | | |
| DIC | | | | 8754.3 | | | | |
| サンプル数 | 10,000 | | | 10,000 | | | | |

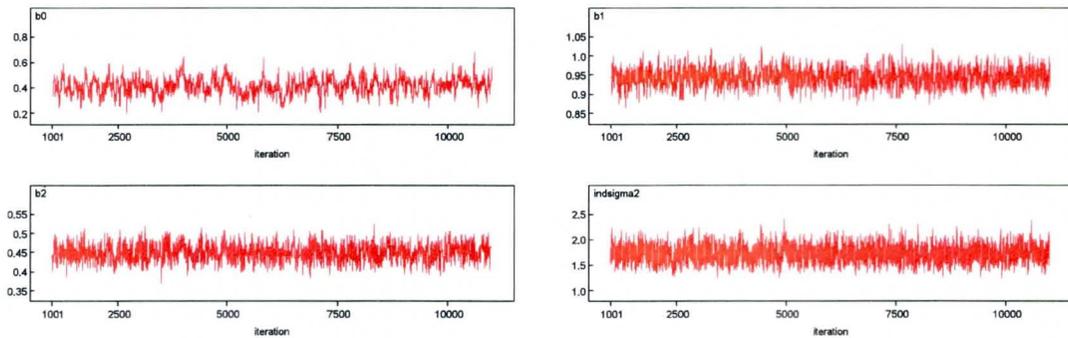


図 B.7 標本の時系列プロット

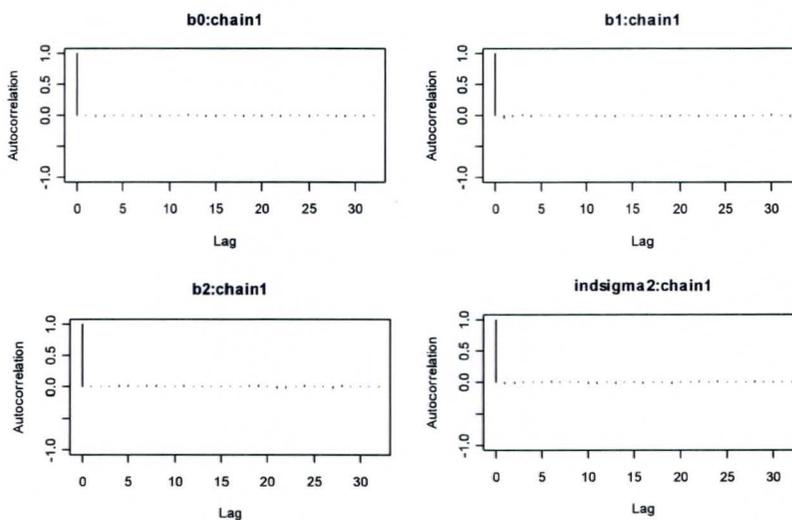


図 B.8 標本の自己相関係数

表 B.6 マルチレベル2項ロジットモデル推定結果

| | MCMC 法 (11,000-1,000) --> 10,000 | | | | | MCMC 法 (110,000-10,000) --> 10,000 | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------|-----------|-------------------------|--------|---------------------------------------|--------|-----------|-------------------------|--------|
| | mean | s.d. | mean/s.d. | 2.5%,97.5% quantiles | Geweke | mean | s.d. | mean/s.d. | 2.5%,97.5% quantiles | Geweke |
| b_0 | 0.416 | 0.0666 | 6.243 | (0.285,0.554) | 1.021 | 0.421 | 0.0697 | 6.040 | (0.235,0.559) | 1.052 |
| b_1 | 0.944 | 0.0229 | 41.129 | (0.899,0.99) | -0.123 | 0.943 | 0.0230 | 40.987 | (0.898,0.989) | -0.686 |
| b_2 | 0.450 | 0.0211 | 21.277 | (0.409,0.491) | 0.824 | 0.449 | 0.0213 | 21.036 | (0.407,0.490) | -0.130 |
| 個人間変動 (分散[標準偏差]) | 1.714[1.309] | 0.1517 | - | (1.437,2.024) | -1.445 | 1.714[1.309] | 0.1510 | - | (1.437,2.029) | -0.661 |
| $\log[\text{mean}(\pi(x \theta))]$ | | | -4171.3 | | | | | -4172.0 | | |
| $\log[\pi(x \text{mean}(\theta))]$ | | | -3965.4 | | | | | -3965.5 | | |
| pD | | | 411.733 | | | | | 412.615 | | |
| DIC | | | 8754.3 | | | | | 8756.3 | | |
| サンプル数 | | | 10,000 | | | | | 10,000 | | |