

変動についての試行的考察*

A Preliminary Study on Variability*

北村 隆一**

By Ryuichi KITAMURA**

1. はじめに

「ゆく河の流れは絶えずして、しかも、もとの水にあらず」とは鴨長明の『方丈記』の書き出しであるが、果たしてこれは道路上の自動車の流れや歩道の歩行者の流れにも当てはまるであろうか。都心部の交通の要所を一日に何度も通過するタクシーの運転手は多いだろうし、通勤に同じ経路を頻繁に用いるドライバーは定期的に特定の地点を通過することになる。「道路上の自動車の流れは絶えずして、しかも、もとの自動車である」のである。しかし、このようなことが重要だろうか。

交通は移ろいやすいものであり、交通現象に変動はつきものである。一日の交通量の変動は広く報告されてきたし、都市生活者として我々は交通量の揺らぎを目にし、ピークの変化を体験している。しかし、ネットワーク配分において交通量の経時的変動は重視されず、近年まで一日交通量を用いリンク交通量が推定されることが支配的であった。時間帯別配分や動的配分が着目され始めたのは比較的最近のことである。同様に、ピーキング減少を掘り下げた分析がなされたのは peak spreading が TDM の一環として語られ、出発時刻選択が解析の対象となったここ 20 年ほどのことである。交通行動分析に関しては、行動の状態に着目するのではなく、行動の経時的変化、特に適応 (adaptation) 過程に着目した解析が必要と主張されて久しいが¹⁾、研究事例は限られたものである²⁾。

これらの例に示されているように、交通現象の経時的変動について掘り下げた分析は決して多くない。逆に、変動は望ましいものではなく、交通流の調査であれアンケート調査であれ、観測方法あるいはデータ処理を工夫することにより、「不安定」な変動を除去し、「安定」した値が得られて始めてそれを解析するという立場が一般的だったと考えられる。これは一体何故であろうか。

ここで関連するのが均衡の概念である。系が自己調整能力を持つかぎり、その系は均衡点に向かって動き続けると考えてよいであろう。外的条件に変化がないならば、究極的に系は「安定」した均衡「状態」に到達すると考えてよい。しかしこのことは、観測された現象が均衡を体現するということを自動的に意味するわけではない。また、ネットワーク上の交通流の挙動であれ、世帯の居住地の分布であれ、巨視的に観測された系の挙動は個々の意思決定主体の挙動が集約されたものである。したがって、個々の意思決定主体が持つ認知的制約ゆえに、理想状態を前提とした均衡状態が現実達成される保証はない。しかし、観測される現象が均衡状態を体現するという前提に立つ解析は極めて頻繁である。

状態が重視されるもう一つの理由は、将来予測の多くが断面データに見出される関係に基づいているためであろう。このことは物理現象のように不変の原則が支配する関係を対象とする場合には何ら問題とならない。しかし交通現象、特に社会的要素が強い交通行動などの現象において、このような不変の原則が存在することを期待することは難しい。さらに、一断面において変数間に見出される関係は、個体間の差異を説明するものであり、直接的に変化を説明するものではない。例えば、世帯収入と衣料品への出費の関係が断面データを用いて分析されたとしよう。この場合、被服費と収入の関係は、断面内での変数の統計的相関に基づいているが、この相関は世帯間の被服費の差異と収入の差異との関係を示すと理解していい¹⁾。この関係を予測に当てはめることは、一段面における世帯間の差異にもとづいて、収入変化に伴う被服費支出の変化を予測することになる。

このように見るとき、これまでに見られる状態の重視は、解析上の、あるいは観測上の便宜性を主たる理由とするのではないかという仮説が浮かび上がる。断面データから導かれるモデルを将来予測に適用することの問題は繰り返し指摘されてきた³⁾。しかしデータの制約やモデル構築上の困難—特に行動変化に関する理論の欠落—ゆえに、断面モデルによる予測が未だ主

* キーワーズ：変動，動的解析

** 正員，Ph.D，京都大学工学研究科土木システム工学専攻

(京都市左京区吉田本町，TEL: 075-753-5134, FAX: 075-753-5916)

E-mail: rkitamura@tem.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

流となっている。

また、任意の時点での観測データが対象とする系の均衡状態を示すと信じる根拠も希薄である。これは土地利用のように変化が緩慢な現象に最も如実といえよう。近年の情報技術 (IT) の進展に伴い交通現象の新たな調査法が考案されつつあるが、これにより、等時間原則が成立していないことを示すデータが提供されつつある⁴⁾。さらに突き詰めれば、IT の進展が旅行時間情報をドライバーに提供することに適用されること自体が、現況における情報の欠落を意味し、均衡の前提条件が満たされていないことを示している。

本稿は、「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という疑念に動機付けられている。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と、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の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。この考えに基づき、本稿では、変動の概念を軸とした新たなアプローチが必要であることを説き、そのための観測法や解析法を開発するための基礎的考察を試みる。本稿は本質的にレビュー論文であり、新たな理論、方法論を提供するものではない。変化・変動の解析に向けての予備的考察と理解していただければ幸いである。

2. 交通解析は何を見ようとしてきたのか

「見る」あるいは「観る」ことは科学的方法の基本である。肉眼で見るができないものを見るべく目の機能を補助する顕微鏡や望遠鏡が古くから考案されてきた。電子化のなか、電子顕微鏡や電子望遠鏡が開発され、人類の「視力」はますます増大している。同様に、計算機能力の向上や IT の進展に伴い、交通現象を観測し記録する能力は飛躍的に増大しつつある。解析の対象となる現象を観測・記録し、理論 (= モデル) の構築、検証を行なうことは科学的方法の基本であり、その意味で、近年の観測・記録能力の向上は我々が持つ現象解析能力の向上を意味している。

観測される交通現象は、交通現象そのものに内在する変動を始め、測定誤差などの不確定要素を含んでいる。これまでの調査・研究では、不確定性の高い測定値は解析に適さないものとみなされ、より「安定」した測定値により置き換えられることが頻繁であった。解析の意図と観測の対象、観測方法は密接に関連したものであるから、このことは、これまでの解析が変動あるいは変化ではなく一時点における系の状態を対象

としたものであり、安定を志向したものであったことを示しているといえよう。本節では、交通現象の分析で「変化」や「変動」がどのように扱われてきたのかを概観する。

(1) 観測における安定の追求

道路の交通量や個人のトリップ生成などの交通現象の観測に際して「典型的な一日」を選ぶことは昔からなされてきたことである。例えば Adiv⁵⁾ はサン・フランシスコ湾岸地域のパーソントリップ (PT) データの分析に基づき、週の中日 (火曜日および水曜日) を調査日として選定することを推奨している⁶⁾。日本の PT 調査でも、休日などのない週の中日を調査日とし、季節も年間の平均交通量に近いとされる秋を選ぶことが一般であった^[註 2]。予算等の制約の下で情報を効率よく取得しようとするれば、最も平均的な結果が得られる期日を選ぶというのは当然のことである。しかし、結果として現象が一週間の間に、あるいは季節間で、どのように変動するかを示すデータは限られたものとなる。

この平均への志向に加え、注目に値するのが「安定」への志向である。Supernak⁸⁾ は「社会現象を再現するモデルは、対象とする現象が安定し一定であるという仮定の上に組み立てられることが頻繁である」とする。そして、例えば Zahavi & Ryan⁹⁾ に見られるような、安定を証明するための研究は、安定の欠落を示そうとするものよりもはるかに多いと見うけられる。

安定への志向は、対象とする現象の安定性仮説のみならず、観測値の安定性の追及にも見られる。観測値に変動が見られる場合、それを可能な限り打ち消すべく策を講じるのが一般であったといえよう。例えば、観測される数値に変動が激しいとき、集計期間を増加させ、「安定」した結果が得られるところで解析を行なうということがなされてきた。その結果、例えば、田中ら¹⁰⁾ が述べるように「OD 交通量がどの程度変動しているのかについては、首都高速道路に限らずほとんどわかっていない状態にある」のが現況である。Bonsall et al.¹¹⁾ は交通行動の変動の重要性を指摘した上で、「交通行動に内在する変動の程度とその起源が他に比べ注目されることのない研究課題であったことは驚くべきことである...。旧来の調査では、行動の経日 (day-to-day) 変動は正当なデータ項目ではなく、調査法を磨き上げることによって消去されるべき問題として捉えられてきた」と述べている。

例外として、岩崎¹²⁾ は 5 秒ごとの観測データにスペクトラム分析を適用し交通流密度の経時的変動特性を示している。また、樗木・姜¹³⁾ は「道路交通流の統計的な性質は、集計時間の長さによって異なる。即

ち、短い集計時間を採用するほど交通流の微細な変動を知ることができるが、その分極端な値が生じ易くなり、また、扱いが複雑になる。逆に、長い集計時間を採用すれば、平均化され安定した値が得られるが、交通流の変動を精度よく知ることができなくなる」という立場から、「交通流の速度分布特性を精度よく理解すること」を目的に1分観測値を用いた交通流の密度-速度 ($k-u$) 関係を分析している。しかしこれらはあくまでも例外で、5分間といったより長い集計時間を用いた解析が大多数を占める。極めて興味深いのは、「平均化され安定した値」を求めた集計でも、交通流に限ってみると理想的な関係の周りのデータのばらつきは極めて大きいという点である^[註3]。

地価変動の解析に当り、安藤ら¹⁵⁾は公示価格に基づき地価関数を推定しているが、この「公示価格は取引事例比較法を基本にした推定値で」とあると指摘している。即ち、ここでも様々な「ノイズ」としての変動を取り除いた上で得られた「観測値」が解析に用いられている。肥田野ら¹⁶⁾も同様のアプローチでアクセシビリティ指標と地点属性を用いた地価関数を作製している。

地価関数にせよ $k-u$ 曲線にせよ、現象を集約的に記述する関係式は、観測値から「好ましくない」ノイズを除去するためのフィルターとして機能していると考えられる。密度-速度データの場合、ノイズを除去し、境界条件などから理論的に導かれた $k-u$ 曲線を検証することに主眼が置かれる。既に述べたように、理論的な $k-u$ 曲線の周りの観測値のばらつきは極めて大きなものであるが、このばらつきはノイズとして捨象されるのが一般的であったと考えられる。

(2) 現象の経時的安定性

短期的な変動の場合、現象に間接的に影響を及ぼす要因に変化はないと見なすことができ、比較的少数の要因間の直接的関係に着目することにより変動の分析が可能となると考えられる。長期的な変化の場合、変化の背後に数多くの因果関係が存在すると考えられ、さらに影響要因そのものが変化しているのが一般で、現象を規定する関係に変化が生じたか否かを特定するには困難が伴うことが多いといえる。

例として、個人により一日に生成されるトリップ数を考えよう。当然トリップ数は日から日へと変動するが、これは曜日、天候、習慣（例えば、毎週火曜日に買物に行く）や純粹に偶発的な要因（例えば、クルマが故障）により説明できると考えられる。しかし長期的にトリップ生成を規定する関係式に変化があったか否かを検証するためには、トリップ生成が観測された時点での曜日、天候などの要因値に加え、運転免許証

や自動車の保有、年齢、職業、収入、家族構成などのトリップ生成に影響を与える要因の変化を検討することが不可欠である。また、通信技術の進展や流通形態の変化といった社会的変化もトリップ生成に影響を与えると考えられる。結果として、トリップ生成の長期的変化を検証するためには多数の要因を検討することが必要となるが、これには多大の困難が伴うのが一般である。このことが、以下に見るが、交通行動の安定性やモデルの経時的移転可能性について確固とした結論を文献に見出すことができない理由の一つと考えられる。

交通現象に影響を与える要因のなかでしばしば無視されてきたのが景気である。交通現象の経時的安定の検証に際して景気を考慮することは不可欠と考えられるが、景気と交通の関係に関する研究は限られている。梶川¹⁷⁾は、東名高速道路において「貨物輸送量が景気後退期にはマイナスになっているのに対して、旅客輸送量は景気後退期でもマイナスにはなっていないのが特徴的である」と指摘し、「軽自動車等の交通量の伸びが著しく、．．特に1993年後半から．．最も交通量の多い普通車は微増傾向．．中型車、大型車、特大車は景気の変動に合わせて増減」という傾向を示している^[註4]。

一方山上¹⁸⁾は、高速道路「インターチェンジにおける総取り扱い通行台数」の伸び率を従属変数とし、「昭和60年第I四半期から平成3年第I四半期まで」を分析し、「高速道路の名目料金水準の上昇率1%に対して、交通量は0.36%減少するにすぎないがGNPの伸び率1%に対して交通量は1.4%増加する」ことを示している。また「高速道路の交通量の変動は景気動向に左右されやすく、マクロの経済指標の動きと関連性が高い．．鉱工業生産指数、出荷指数、消費支出」などの動きと密接に関連しているとしている^[註5]。

人口、年齢分布、自動車保有率、免許保有率など交通行動に影響を与える要因の変化については多数の研究が積み重ねられてきた（例えば Cervero¹⁹⁾, Roberts²⁰⁾, Prevedouros & Schofer²¹⁾, van Beek et al.²²⁾）。また、トリップに主眼を置いた分析として、交通行動の安定性を示す Zahavi らの一連の研究（第4節参照）に加え、Cohen & Kocis²³⁾, Kollo & Purvis²⁴⁾ 等が挙げられる。興味深いのは、前者が都市構造や人口構成の変化を強調しているのに対し、後者は交通需要の安定性を強調している点である^[註6]。しかし、Kitamura & Kostiniyik²⁵⁾は1965年と1980年のデトロイト都市圏のPTデータを解析し、交通行動の諸側面を検討した上で、活動の順序付や時刻依存性を除き、交通行動は経時的に安定していないと結論付けている。

交通需要の安定性を検討した研究の問題点は、交通行動の変化がそれに影響を与える要因の変化によるものなのか、諸要因が与えられたときの条件付交通行動そのものが変化しているのが明瞭でない点にある。例えばCohen & Kocis²³⁾は1962年と1973年のバッファロー都市圏のデータを用いて世帯のトリップ生成原単位を検討し、原単位は世帯人員数別に見ると増加しているものの（全体で +19.0%）、自動車保有台数別に見ると逆に減少（全体で -5.8%）、また、地域別に見ても減少していることを示している。これは世帯人員数の減少、自動車保有台数の増加によるものと考えられるが、世帯人員、自動車保有台数が与えられたとして生成率が安定していたか否かは論文からは不明である。

(3) モデルの移転可能性

諸要因と現象を結びつけるモデルは、交通現象の背後にある「構造」を呈示するものと考えられる。構造を正確に表現するモデルが経時的に安定しているためには、構造が安定していることが必要条件であり、モデルはほぼ例外なく構造が安定していることを前提に予測へと適用されてきた。しかし、1976 年時点でYunker²⁶⁾は、「この経時的安定性の仮定は、比較可能なデータが同一の地域から 2 時点にわたり入手可能なことは稀であったため、適切に検証されることはなかった」と述べている。その後、非集計モデル適用に際してのデータ収集コスト削減の可能性を主たる動機として、モデルの経時的、地理的移転可能性 (transferability) に関する研究が積み重ねられてきた^[註 7]。ここではこれら研究を概観する。

モデルの移転可能性についての研究結果は一様ではないものの^{28, 30)}、モデルのパラメータが完全に移転可能であることは望めないとの共通認識は見られるようである²⁸⁾。モデルの安定性は当然のことながらモデルの良し悪しにもより、一般的な結論が見出せる性質のものではないであろう。また、推定データ (estimation data) で最も適合度の高いモデルが応用データ (application data) で最も優れた予測を提供するわけでもない³⁰⁾。さらに、安定性に関してどのような結論が得られるかは用いられた手法、評価基準にもよる。これについていくつか例を見てみよう。

Yunker²⁶⁾はミルオーキーを中心とするウィスコンシン州南東部で 1963 年の PT データを用いて開発されたトリップ・エンド・モデルの交通発生、機関分担、分布の各々のモデルを用い、次の PT 調査がなされた 1972 年の需要を予測し、調査データの観測値を用い予測値を検証している。結果を見ると、総トリップ数は 2.5% 過大に予測されている。特に home-based (HB) 買物トリップは 13.6%、通勤トリップは 8.2% の過大予

測、逆に non-home-based (NHB) トリップは 10.0% の過少予測となっている。機関分担については公共交通トリップが約 10% 過大予測（ミルオーキー地区の改訂モデルでは 6.4% 過少予測）されている。分布モデルの予測性能はトリップ長分布の比較により検証されているが、ここでもトリップ長の過少予測が目につく。この研究の問題点として、段階的 (sequential) なモデル構造の適用に際して、予測誤差が何に起因するのかを特定できない解析となっており、個別モデルが安定しているか否かの結論付けは不可能となっている点が挙げられる。

もう一つの例として Karasmaa & Pursula³⁴⁾を挙げる。この研究では 1981 年と 1988 年のヘルシンキのデータを用い目的地・手段選択モデルの経時的移転可能性が、異なった移転手法^[註 8]の下で検討されている。ここでもモデルパラメータの安定性は統計的に否定されている。しかしモデルは極めて単純で限られたものと見受けられる。徒歩、自動車、公共交通が交通手段の選択肢として挙げられているが、交通手段のサービス水準 (LOS) は総所要時間、総費用および公共交通の乗り換え回数のみで表されており、公共交通への徒歩距離や出発頻度についての情報が含まれていないなど、モデルとして不十分なもので、それが移転不可能性の理由とも考えられる。

数少ない日本での移転可能性についての研究の一つに、高瀬ら³²⁾による空港アクセス交通手段選択モデルに関する研究がある。基本的に地理的移転可能性を検証したものであるが、ここでもモデルの特定が不十分なため移転可能性が見出せなかったと考えられる。自動車で空港へアクセスする場合の費用の主要なものが空港での駐車料金であると考えられ、これは旅行期間の関数となるが、これについての情報が解析に用いられたか否かは不明である。また、自動車利用の場合、一人当たりの費用は同乗人数に依存するが、それについての情報も用いられていないように見受けられる。結果として、旅行期間や同行人数などのトリップの特性分布が空港毎に異なるとすれば、この研究で用いられたモデルが移転可能であることを期待することは難しいといえよう。

ここで見た移転可能性の研究は必ずしも一貫性のある結論を提供するものではなく、また、これらの研究結果から交通行動を規定する構造の経時的安定性を結論付けることは極めて困難である。逆に、これらの研究は、断面データに内在する相関に基づくモデルにより経時的変化を予測することは不可能ではないかという基本的な疑念³⁾を、間接的にではあるが、支持するものである。なぜなら、断面データにおける相関（共分散行列）の経時的安定性は、断面データから導かれ

たモデルによる予測が可能となるための十分条件であるが、少なくともその妥当性は否定されているからである。そしてこの結果は、影響要因の変化に伴い、交通行動が断面における相関とは整合しない形で変容するため、共分散行列が安定しないという仮説に相反するものではない。一方、この仮説を支持するものとして、Meurs et al.³⁵⁾による交通行動における弾力性の分析がある。より広範なデータ分析によりこの仮説を実証することが交通行動の予測の可能性と限界を明らかにする上で必要とされている。

3. 変動について

これまで変動あるいは変化という概念を厳密に定義することなく用いてきたが、これらの概念は過去に様々な意味で用いられてきた。例えば、若林ら³⁶⁾、および朝倉ら³⁷⁾によるネットワーク交通流の経時的变化としての「変動」に着目した研究がある。一方、例えば佐佐木・朝倉³⁸⁾および赤松・松本³⁹⁾は弾力的需要を指して交通需要の「変動」と呼んでいる。このように変動という概念は幅広い概念を抱擁するものとして用いられてきた。本稿での議論を進めるにあたり、まず基礎的概念を明確に定義する必要がある。本節ではまず「差異」、「変化」、「変動」の概念を定義し、さらにそれらについて文献に見られる知見を整理する。

(1) 変動の概念

変動と呼ばれる概念に関連する英語の単語を羅列すると、difference, variance, variation, variability, fluctuation, instability, change, heterogeneity など、様々なものが浮かび上がる。これらを整理し、ここでは以下の三つの概念に集約し、各々を検討しよう：

「差異」= 個体間の変動 (difference, variance, cross-sectional variation, heterogeneity),

「変化」= 経時変動 (longitudinal variation, variability, change),

「変動」= 確率過程的変動 (variability, fluctuation, instability)。

差異：一断面における個体間の変動 (cross-sectional variation) を「差異」と呼ぼう。典型的なものとして、性別、年齢、職業、免許保有など、個人属性の差異がある。観測の対象となる個体が道路区間などのばあい、時間交通量のばらつきが差異にあたる。多変量間の差異は共分散行列として集約的に表現され、断面データに基づく統計的モデルの多くはこの共分散行列に含まれる情報から導かれている。このようなモデルをもと

に、「変数 X が ΔX 増加すると、変数 Y は ΔY 増加する」といった解釈がしばしばなされるが、既に触れたように、断面データが提供する共分散行列は断面における差異に関する情報は含むものの経時的变化に関する情報は一切含んでおらず、このような解釈は厳密には妥当ではない。

変化：特定の個体の（離散もしくは連続的）状態が時間の経緯のなか異なったものへと推移した場合、これを「変化」と呼ぼう。変化の背後には、現象に影響を与える要因の変化があると考えられる。例えば、個人の平均生成トリップ数が増加するという変化の背景には、自動車の新規購入により自動車利用可能性が高まったという変化があることが考えられる。ここで変化とは一定の方向性を持つもので、ランダムな変動（以下を参照）は変化とは考えないこととする^[註9]。

戦後の交通現象の変化に影響を与えてきた重要な要因にモータリゼーション（自動車保有および利用の増加）、交通施設整備、都市化・郊外化、土地利用の高密度化などがある。今後の動向を大きく規定するものとして、人口学的変化（人口減少、通勤人口減少、高齢化、少子化、小世帯化など）に加え、女性の雇用の増加、産業構造の変化と空洞化、「流通革命」、「IT 革命」など様々な社会経済的構造的変化を挙げることができる。

変動：確率過程的な交通現象の移ろいを「変動」と呼ぼう。もっとも、何が「確率」的であるかは分析の視点、目的に拠るところがあり、例えば天候による交通量の変動を確率的と見なす場合もあれば、その変動を天候が与えられたとして確定的なものとして説明しようとする立場もあろう。天候に加え、事故、工事、イベントなどの偶発的あるいは一過性の事象による現象の移ろいもここでは変動に含めることとする。また、影響要因の特定が困難な変動は純粋な確率変動と見なすことが妥当であろう。

これらの変動に加え、周期をもって繰り返す変動がある。例えば、特定の曜日に出る市への定期的買物トリップがこれにあたる。次節で具体例を示すが、道路交通量は曜日、季節により変化することは周知の事実であろう。小阪ら⁴¹⁾は交通量の変動を「月変動、週変動、曜日変動」の周期的変動に加え「偶然変動」へと分解している。また、飯田・高山⁴⁰⁾は「傾向変動と周期変動および不規則変動」を検討している。偶発変動および不規則変動は純粋な確率変動に近い概念と考えることができる。

差異、変化、変動の概念は現象を規定する構造に対しても適用することができる。例えば個人の選択行動を規定する選好構造の個人間の差異は (unobserved) heterogeneity の一例である。モータリゼーションの進

展に伴い自動車当りの生成トリップ数が低下する傾向にあることは、生成率を規定する構造の経時的変化と見なすことができよう。また、確率過程を規定する構造が変化するとき、観測される変動の様に変化が生じるであろう。構造が経時的に一定であるとき、それが規定する現象は「定常 (stationary)」であると呼ばれる。

(2) 交通量の周期的変動と旅行時間の変動

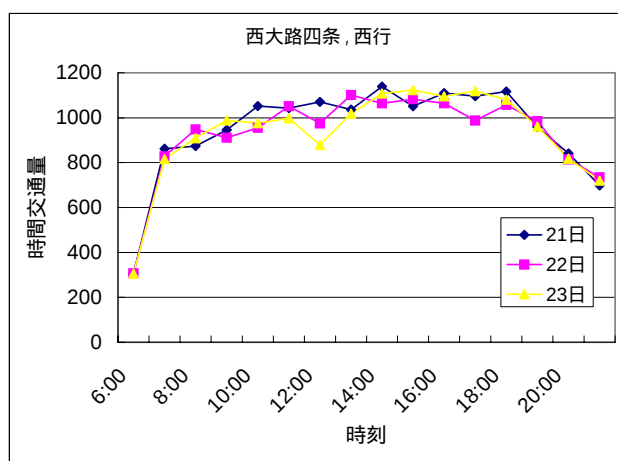
交通量の変動は広く研究の対象とされてきた^[註 10]。飯田ら⁴³⁾は、「一般に、交通量変動は月間変動や曜日変動などのような周期のはっきりした変動と長期間にわたって時系列的に変化する傾向変動、されにそれら以外の不規則な変動（偶然によって起こるランダム変動など）が混合して起こると考えられる」とする。飯田・高山⁴⁰⁾は高速道路の流入交通量を対象として月、週、曜日に関する変動を分析している。純粋にランダムな「不規則変動」が最も大きな分散成分ではあるものの、曜日に関する変動や、月・週の交互作用が大きな分散要素であることが示されている^[註 11]。一方、小阪ら⁴¹⁾は首都高速道路を例にとり、「周期的な変動による交通量の変動は、... 3 割、4 割程度であり、残りの 7 割、6 割は偶然変動によるもの」と報告している。

これに関連して、Herz⁴⁶⁾は交通行動を含む人々の活動のリズムを分析し、説明された変動のうち、季節変動に起因するものは自宅内活動の場合小さく（6%）、交通行動の場合比較的大きい（25%）ことを示している。変動の残りは曜日変動によるものとされる。

交通量の変動そのものの強度について Bonsall et al.¹¹⁾は、「通勤交通に供せられる放射線道路ではピーク時交通量の経日変動は 5 から 10 パーセントであるが、15 分間交通量の経日変動は 30 パーセントを超えることも稀ではない」と英国の状況を報告している。OD 交通量について、田中ら¹⁰⁾は 5 時間 OD 交通量（午前 7～12 時）の変動を検討し、OD 交通量の「平均値が 100 台の場合は、変動係数は 0.4 程度となり、標準偏差は 40 台程度である」としている。

交通量の日変動の例として、京都市の一般道路交差点での午前6時台から午後9時台までの時間交通量を平日3日間連続して観測した結果を図1に示す。交通量が日々変動することは図から明らかである。この場合3日間のデータで分散の推定値は極めて信頼度が低いものの、データから得られる時間交通量の変動係数（標準偏差/平均）は最大値でも12時台の9.8%と、比較的小さなものとなっており、Bonsall et al.¹¹⁾の値と整合したものとなっている。また、日交通量の変動係数は1.21%で、小阪ら⁴¹⁾が報告する首都高速道路の日交通量の変動係数4.96%および幹線道路の3.56%に比べは

るかに安定したものである。



出典：京都府警，「環境にやさしい交通管理」モデル事業幹事会（若林拓史教授ほか）資料，平成12年6月2日

調査日＝平成12年2月21～23日（水～金曜日）

図1．交差点流入交通量の変動：京都市
西大路四条交差点西行の例

曜日別、月別の平均日交通量を阪神高速道路を例にとって表1に示す。全般的傾向として、月曜から金曜にかけ交通量は漸増する。週末、特に日曜日の交通量は少ない。日曜日の落ち込みは大阪地区で最も大きく兵庫地区で少ない。特に兵庫地区の土曜日交通量は月曜日交通量と大差ないことが注目される。曜日間の変動パターンに地域差があることが見て取れる。

月別の平均日交通量では、3地区を通じ11月が最も年平均に近い交通量を持つことが見て取れる。しかし湾岸地区の交通量が4～6月および1月に他地区より小さく、兵庫地区の交通量が8月に大きいことが示されている。平均日交通量の月変動そのものは小さいものの、地区毎に異なった変動パターンを持つことは明らかである。

このような路線間の交通変動の違いを検討したものとして、Gunawardena et al.⁴⁷⁾によるピーク交通の分析がある。この研究ではピーク時・ピーク方向の時間交通量 (directional peak hour volume, DPHV) を、平均日交通量 (ADT)、路線係数 I 、ピーク交通量係数 K およびピーク方向係数 D の関数として $DPHV = ADT \times I \times K \times D$ と表し、係数 K および D の値を算出した上で、それらを午前・午後、道路タイプ別に各々分散分析している。説明変数としては年度、季節、月、および曜日が用いられている。全般に土曜、日曜の午前の K 係数が大きな値を取ることが注目される。逆に D 係数は平日の方が大きいという結果がえられている。

日野ら⁴⁸⁾は大阪府の主要 189 交差点での方向別・

表 1 阪神高速道路ネットワークにおける曜日別、月別交通量

曜日別平均地区交通量（入口交通量）の平均平日交通量に対する割合（%）

	日	月	火	水	木	金	土	平均平日交通量
大阪	68.0	95.2	97.9	97.1	97.7	101.9	83.8	508,133
湾岸	73.1	93.8	96.2	97.3	97.7	102.4	85.0	112,580
兵庫	87.3	96.7	99.0	98.8	99.8	103.3	95.4	249,983

平均地区交通量（入口交通量）の月別推移（年平均 = 100）

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年平均
大阪	99.6	96.2	101.0	102.5	101.5	99.9	100.0	100.9	103.5	90.2	100.2	103.7	465,400
湾岸	95.5	93.5	95.4	102.0	102.9	99.2	97.7	100.4	103.3	86.7	99.1	104.4	105,044
兵庫	99.3	97.9	97.8	102.4	106.9	99.7	98.3	100.3	103.6	91.7	98.3	102.4	242,905
全地区	99.0	96.4	99.3	102.4	103.3	99.8	99.2	100.7	103.5	90.2	99.5	103.4	813,349

註 湾岸地区は中島集約料金所以南の4号、5号湾岸線および2号淀川左岸線よりなる。兵庫地区は尼崎集約料金所以西の3号神戸線、尼崎東海岸出入路以西の5号湾岸線、および7号北神戸線を含む。大阪地区は、残る3号神戸線の一部、11号池田線、12号守口線、13号東大阪線、14号松原線、15号堺線、16号大阪港線、および17号西大阪線を含む。

時刻別交通量データを用い、「平日の変動は商業活動の盛んな都心部ほど大きい」、「土曜日の交通量も郊外部では平日より大きい」、「決済日の増加率 . . . は、平日比で 1.02~1.03 と目だって大きくはないが、. . . 実際にはわずかな増加によってもかなりの混雑が惹起されているようである」などの興味深い結果を得ている。また、中村ら⁴⁹⁾は首都圏の幹線道路のデータを用い降雨が交通量に与える影響を検討し、線形モデルにダミー項を導入することにより降雨効果が示されるとしている。

旅行時間の変動の分析には竹内ら⁵⁰⁾ および井料・桑原⁵¹⁾がある。竹内ら⁵⁰⁾は、阪神高速道路松原ジャンクションでのビデオ録画から得られた走行軌跡に基づく「小区間」での旅行時間と、阪和道から西名阪道にかけてAVI（自動車輦認識装置）により得られた「大区間」での旅行時間を時刻の多項式として表し、重回帰分析により旅行時間の経時的変動における傾向を捉えている。また井料・桑原⁵¹⁾は関越自動車道の車輦検知機データを用い、「平成11年7月4日から平成13年12月31日のすべての日曜日から、データに問題が見られた日（3日分）を除外した日（計128日）」を解析の対象とし、「最大旅行時間は広い範囲に分布している。すなわち渋滞の規模は日によって大きく異なる」と報告している。さらに、「渋滞の程度と需要の総量との間の相関関係はそれほど強くない」ため、「何らかの方法で . . . 需要の総量を推定することができても、それだけの情報ではその日に発生する旅行時間の遅れを精度よく推定することはできない」としている。「最大待ち時間」が交通量の線形関数として表されており、渋滞時の旅行時間の変動特性に関する知見を提供している。

(3) 時刻による交通量の変動

交通量の時刻変動やパーソントリップ発生の時刻分布は頻繁に報告されている。例えば椎名ら⁵²⁾は東京都内のいくつかの断面における時間交通量の推移を示し、断面毎の交通特性の違いを指摘している。また、トリップ発生時刻の分布の事例は Ockert et al.⁵³⁾、Kitamura & Kermanshah⁵⁴⁾、飯田ら⁵⁵⁾などに見られる。

Hill et al.⁵⁶⁾は米国諸都市の交通量統計を比較分析し、交通量の時刻変動の特性を要約している。午前のも最も交通量の多い時間帯は7時から8時台で、これらピーク時の時間交通量は日交通量の6.52%から9.52%である。また、一日で最も交通量が多いのは午後4時から5時台で、日交通量の9.09%から10.79%の時間交通量が見られる。また、ピーク時の交通量の集中度は都市規模が小さいほど高くなることが示されている。この結果は前述のGunawardena et al.⁴⁷⁾の解析でも示されている。

高山ら⁵⁷⁾の発生・集中交通量に関する分析では、パーソントリップ調査データより集計した時間発生・集中交通量と人口関連指標の相関分析を基に1時間ごととに個別の重回帰モデルを推定し、ゾーン毎の発生・集中交通量が求められている。また、分布交通量についてはOD分布確率を重力モデルとして定式化し、「トリップ長指数」を時間帯毎に推定している。トリップ長指数の値は通勤トリップが集中する早朝（午前7時から9時）に最も小さく、自由トリップの比重が高いと考えられる昼間時間帯（午前9時から11時、午後1時から5時）に大きいという結果がえられている。

時刻別トリップ生成の安定性を示すものにSupemak⁵⁸⁾がある。この研究では、個人カテゴリー別トリップ生成モデル (person-category trip generation

model⁵⁹⁾を用い、時刻別トリップ発生量の予測を行なうことを提案している。時刻別トリップ生成パターンは個人カテゴリー間で異なっているものの、地理的で安定したものであることが 1973 年のポーランドのデータと 1977 年のバルティモアのデータで検証されている。

当然ながら、トリップ生成パターンは個人の時間利用パターンから決まる。活動への時間配分や時刻別活動タイプの分布については、多地域からのデータを用いた分析が積み重ねられ、共通の時間利用パターンが浮かび上がっている (例えば Kitamura et al.^{60, 61)}, Robinson & Godbey⁶²⁾を参照されたい)。すでに見た交通量の変動のパターンの地域差は、部分的には、安定した時間利用パターンが、都市規模、土地利用分布、交通ネットワークなどの地域差により、異なったトリップ時刻分布を生み出したものとして説明できよう。特に都市規模の影響は、すでに Hill et al.⁵⁶⁾が示しているところであるが、直感的に理解しやすいものである。

(4) 交通行動の変動

比較的安定していると考えられる通勤トリップの出発時刻も、少なくとも自動車が利用された場合には大きな変動を見せる。出発時刻選択に関しては動的均衡の概念を中心に研究が積み重ねられている^[註 12]。しかし、Hatcher & Mahmassani⁶⁶⁾が記したように、実際の出発時刻や経路選択の変動を対象とした研究は実質的に皆無であった。この状況は 10 年経過した今でもさほど変わっていない。

変動個別旅行者の出発時刻変動を検討すると、通勤のように反復性の高いトリップでも、出発時間の変動は極めて高い。例えば、Jou ら⁶⁷⁾が台湾で 48 人の自動車通勤者を対象に行なった調査では、個々のドライバーについて 5 日間の出発時刻の分散を算出すると、その平均は 75.3 分 (標準偏差は 8.68 分) であった^[註 13]。また、5 日間のなかで最も早い出発時刻と最も遅い出発時刻の差を個々のドライバーについて算出すると、その平均は 17.35 分であった。

Hatcher & Mahmassani⁶⁶⁾は、テキサス州オースティンでの 2 週間にわたる帰宅通勤トリップの調査データをもとに、出発時刻の変更 (switching) を伴う通勤トリップの率は、変更がどのように定義されるかにより異なるものの、全体の 50.0%から 85.7%に登ることを示している。また、53.2%のトリップが前日の経路とは異なる経路を採っていることも示されている。Jou & Mahmassani⁶⁸⁾は解析をダラスのデータへと拡張し、トリップ属性の変更がトリップ・チェイニングと密接に関連することに着目し、通勤トリップに付随したサジャーンプ頻度のモデルが移転可能であることを示して

いる。

これらの結果は均衡の概念に基づく現象分析の妥当性に疑念を投げかけるとともに (Goodwin⁶⁹⁾を参照されたい)、Abu-Eisheh & Mannering⁶⁴⁾のように旅行時間を外生的に扱い、到着後仕事開始までの余裕時間の選択という形で出発時刻を決定するモデルの精度は必然的に低いものであることを示唆している。

Bonsall et al.¹¹⁾はナンバープレートの観測に基づき車輦を特定し、特定断面での同一車両の通過再起性を検討している。同一車両の占める割合は、7 日間の間隔を置いた場合で約 50%、2 から 5 週間後では約 40%、1 年後では約 25%とされる。毎日同一地点を通過する確率は、面接調査での回答から推定すると約 80%、運転日誌の記録によれば 74%、ナンバープレートの観測結果では約 50%である。経路が変動する理由として挙げられている主なものは、交通状況、途中での私用、および目先を変えてみたいという欲求である。通勤途中での私用の重要性は Hatcher & Mahmassani⁶⁶⁾でも論じられているところであり、出発時刻、経路選択モデルの開発にあたり考慮されるべき点であろう。

Kitamura and van der Hooft⁷⁰⁾は 6 ヶ月間隔でオランダで実施されたパネル調査の 1 週間長の日誌データを用い、男性就業者の 69.8% と女性就業者の 58.6% が、最初の週の買物活動参加パターン (参加 - 非参加) と同一のパターンを、6 ヶ月後の週のうち 5 日から 6 日について示したと報告している。Huff and Hanson⁷¹⁾は、この結果を同一の行動が繰り返されるタイミングを検討した唯一の例として挙げるとともに、自らの結果との相違を指摘している。Ma & Goulias⁷²⁾は 2 日間の日誌を用いたシアトルでのパネル調査の結果から、同一の活動あるいは交通パターンを示した個人の割合は 35% に過ぎないとしている。

これらの結果が示すように、人々の行動が経日的に変動することは明らかである。また、曜日変動が重要なことは直感的に理解できる。しかし活動の規則性、再起性については、対象とする事象の定義が統一されていないこともあり、結論付けることが難しいのが現状である。

(5) 複数日の行動 (Multi-day Behavior) と経日変動 (Day-to-Day Variability)

これまでの交通行動分析は、ほとんどの場合 1 日 (多くの場合平日) の活動・交通パターンのみを対象にしている点に限界がある、とはしばしば繰り返される議論である。これはデータの多くが 1 日のみの調査から得られたものであることに起因する。このようなデータは、調査日 1 日に観測された行動について、その日がどれほど典型的なものであるか、あるいは異常

なものであったについて何ら情報を提供しない。個人の活動のなかには通勤のように毎日規則的に行われるものが多くあるが、週末の買物のようにより長い周期を持って繰り返されるもの、あるいは特定の周期を持たない活動もある。

行動の経日変動を検討することが重要となるにはいくつかの理由がある。第一に、経日変動に関する情報なしに、行動の個人間変動と個人内変動を峻別することは不可能である (Hanson & Huff⁷³)。第二に、1日のみのデータから行動の過去従属性などを特定することが不可能であり、場合によっては行動の特性を正確に捉えることが不可能となる^[註 14]。第三に、1日データではどれだけ個人が特定の行動を採るかを決定することができない。例えば、1日データの解析により通勤者の15%が公共交通機関を利用することが分かったとしよう。しかしこの結果から、全体のうち15%の通勤者が常に公共交通を利用し、残る通勤者は全く利用しないのか、あるいはすべての通勤者が公共交通を15%の確率で利用するのかを判断することは不可能である。このことは交通サービスが社会構成員にどのように享受されているかを判断する上で、あるいは交通サービスの情宣、情報提供などにおいて重要となろう。さらに、ルーチン行動の多い個人の生活の質は低いという説もあり⁶⁾、政策分析において経日変動を把握することの重要性を示唆している。

経時的変動が重要だとすれば、いかに効率よくそれを把握できるかが重要な課題となる。ここで興味深いのは、「大標本に見られる交通行動の個人間変動は、個々の個人の行動の経時的変動を適切に表現しうるか」という問いかけである⁷⁴⁾。この問に答えるためには個人の交通行動の経時的変動に関する情報が必要となるが、既に述べたようにこのような情報を提供するデータは極めて限られている。さらにデータの欠落に加え、経日変動に関連する概念も十分に整理されていない。文献では habitual, routine, cyclical, typical, usual, random といった表現が頻繁に用いられるが、各々の定義が確立しているわけではない。

Hanson & Huff⁷⁴⁾ は、「人々は最適化をおこなうのではなく満足化 (satisficing) を行っているとすれば、さらに、行動ルーチンを持つことが、恒常的な意思決定の必要性を無くしストレスを減少させる満足化戦略であるとすれば、ほとんどの個人が習慣的な行動パターンを創り上げていると期待できよう。と同時に、交通行動は1日、1週、1月、1年、あるいは2から3日、といった周期を持って繰り返されると信じる根拠も存在する」とする。逆に行動が変動する理由として、リスクの分散、選択肢の探索、および何らかの因果関係が挙げられている。ここで何故習慣性と周期性が背反

するものとして捉えられているのか疑問は残るが、行動の変動が様々な特性を持つことは明らかであろう。

経日変動を記述するに際して Hanson & Huff⁷⁴⁾ は、「『典型的 (typical)』、『通常の (usual)』、あるいは『習慣的 (habitual)』行動パターンがあり、それが微細に変更される」という枠組みを提案している。後に Hanson & Huff⁶⁾ は、「習慣的」あるいは「ルーチン」が同一の意味を持ち、特定の行動が繰り返されること（再起性）を指すと定義した上で、「交通行動の再起的側面をデータから抽出することは我々が期待した異常に困難である」と述べ、さらに、変動を「系統的 (systematic) あるいは予測可能な変動、一度きりの (ephemeral) あるいは非再起性の (non-recurring) 行動側面、および長期的な構造変化」の要素に分解して把握することを提案している⁷¹⁾。系統的変動は周期的行動を含むと考えられるが、これについて、「変動とルーチンの双方を把握すること」の重要性を挙げ、再起性の活動とその活動場所 (“core stops”) が活動パターン全体の骨格を形作ることに着目することを提案している。

Kitamura⁷⁵⁾ のモデルは Hanson と Huff が一連の論文で提案する概念的枠組みに整合したものである。ここでは観測された1日の交通行動パターンは確率過程の実現値であると見なし、まず潜在的 (latent) パターンが確率的に決定され、それが所与として行動パターンの詳細が決定されるという形でモデル化がなされている。潜在的パターンの経日変動はマルコフ・チェーンにより表わされ、その過去従属性が検討されている。これに類似した構造は、週の行動パターンが先ず決定され、次に日々の行動パターンが決定されるという Pas⁷⁶⁾ のモデルにも見られる。

データ分析の結果を見ると、Pas & Koppelman⁷⁷⁾ は社会的役割 (role) に関連した制約や責任が個人の交通行動パターンの変動と関連していることを示している。また Golob⁷⁸⁾ は平日と週末間の変動について、「自宅ベースのツア (“tour” あるいは “home-based trip chains”) の生成率は平日と週末でほぼ変化なく、世帯当たり 3.0 をわずかに下回る程度、また、個人では年齢を問わず 1.33 である」としている。

ここで見たように、交通行動の経時的変動の解析は、適切なデータの稀少性に加え、概念的、解析的枠組みが十分に確立していないという問題を孕んできた。しかしこのことはその研究対象としての重要性をいささか損なうものではない。

(6) 行動の動的特性 (Dynamics)

既に触れたところではあるが、交通行動の分析の多くは行動を静的に捉え、観測された状態に内在する関

係を特定することに努めてきた。また、断面データの解析に当たり、均衡の概念もしばしば援用されてきた。観測された交通現象が均衡状態を表すというのは、各行動主体がそれを取り巻く環境、あるいはそれが持つ嗜好構造に変化が生じたとき、直ちに反応を示すという極めて強い仮定の上のみ成り立つ¹⁾。実際は、変化に対する反応はしばしば時間ずれ (“lag”) を伴う。情報の収集、適応方策の探索、そしてそれら方策の有効性の学習は時間を要する。さらに、当然のことながら、環境の変化の認知そのものが時間ずれを伴い、また、適応策の探索、学習にしても行動主体が動機付けられない限り開始されない。これらは全て時間ずれの要因となる。また、これとは逆に、行動主体の計画行為により、反応が変化に先行し、負の時間ずれ (“lead”) が生じることも缶上げられる。さらに、習慣や行動の慣性により反応が一切生じない場合もある(註15)。

また、変化に対する反応の強度が変化の方向により異なることも示されている^{70, 80)}。例えば、収入の増大は保有自動車数の増大へとつながるが、収入の減少は必ずしも自動車集の減少につながらないということが考えられる。これは自動車購入の初期費用のためとも考えられるし、反応までの時間ずれが収入増加時と減少時で異なるためとも考えられる。結果として、変化への反応は非対称である場合があるろうし、非可逆である場合もあるろう。

交通行動の経日変動についての 3.5 節の議論のいくつかは行動の動的解析にも当てはまる。動的解析に適したデータは稀であり、理論的枠組みは十分に確立されていない。計量経済学や確率過程の分野のモデルが援用可能な問題が数多くあるものの、反応のずれ、学習、習慣などを対象としたモデルは未だ開発途上にあると考えるのが妥当であろう。これらに加え、交通行動の変化の測定に最も頻繁に用いられる離散時点でのパネル調査により行動の変化を解析するに十分なデータが入手可能かという疑問も存在する⁸¹⁾。

同時に、理論的検討と経験的分析が積み重ねられつつあることに疑いはない。既に述べたが、Meurs et al.³⁵⁾ により交通行動の経時的弾力性の推定がこころみられている。また、行動の慣性の事例が Kitamura & van der Hoon⁷⁰⁾ により、学習、習慣に関する分析が Nakayama et al.⁸²⁾、Fujii & Kitamura⁸³⁾、藤井ら⁸⁴⁾ などにより提供されている。これらに加え、Goodwin⁸⁰⁾、Mahmassani, et al.⁸⁵⁾、Golob et al.⁸⁶⁾ が交通行動の様々な動的側面を解明してきた。また、通勤交通行動の動的側面に着目したレビューに Mahmassani⁸⁷⁾ がある。

近年の動向として、交通行動が状態から状態へ遷移する際の経過時間に着目したものが見られる。これは

交通行動の変化が、特にカープールへの参加について、期待されていたよりも頻繁ではないのかという認識に基づく。Beroldo⁸⁸⁾ の調査では、RIDES と呼ばれるサン・フランシスコ湾岸地域の相乗り推奨プログラムを介して相乗りを始めた者のうち、47%が約 2.5 年後にも相乗りを続けていることを示している。Golob et al.⁸⁹⁾ のサン・ディエゴの 2 年間、3 時点での観測結果では、相乗り通勤者が 1 年後に相乗りを続けている確率は 0.74 と推定されており、 $0.74^{2.5} = 0.471$ と、Beroldo の結果と極めて近い値となる。

事象と事象の間の経過時間の分析に有効なのが生存時間モデル (山本⁹⁰⁾ を参照されたい) である。この手法を用い、静的な状態としての世帯の自動車保有の分析から、動的な自動車の購入・買い替え・売却 (廃棄) という取引行為 (transaction behavior) を対象とした分析への転換が可能となる。このような分析の利点については Kitamura⁹¹⁾ を参照されたい。最近の分析には Yamamoto et al.^{92, 93)} がある。もう一つの興味深いのが活動のスケジューリングに関して「動的」とみなせるモデルが提案されてきたことである (文献 94)~102) を参照されたい)。これについては別の機会に詳しく論じたい。

4. 交通現象の変動の解析に向けて

すでに見たように、車輛検知機などを用いた交通量の測定などを例外とすれば、交通現象の調査に際して変動に焦点がおかれることは稀であった。特に交通行動に関しては複数日にわたる調査は世界的に見ても数少ない。パーソントリップ調査も、休日調査や複数日の調査が付带的になされてきたものの、データの大半は各標本世帯について「典型的」な平日 1 日から得られた情報より構成される。恐らくは、平均日交通需要が得られれば、経験則により 30 番目時間交通量を推定することが可能で、交通計画に際してそれで十分であるという考え方が背後にあるのであろう。しかし、すでに見たように交通量の変動パターンは都市内高速道路に限ってみても路線毎に異なったものである。さらに、近年の交通計画に要請されているものが、30 番目時間交通量を推定することによって満たされうとは考え難い。

(1) 安定への志向

極めて興味深いのは、パーソントリップ調査から微視的計測値が入手可能であるにもかかわらず、長年にわたり「安定」した統計量を求めてデータのゾーン単位での集計が図られてきたという点である。集計はと

りもおさず情報の損失を意味するが、パーソントリップ調査が開始された当時のデータ処理能力からすれば、ゾーン集計は不可欠であったと考えられる。微視的計測値が入手可能な場合、 R^2 などの適合度指標が一見劣悪であるにもかかわらず、集計前のデータを用いることにより、より安定したモデル推定が可能となることが広く理解されたのは、非集計モデルが提案された 1970 年代以降であろう。

にもかかわらず、集計統計量に見られる交通現象の安定性は極めて好ましい兆候として人々に受け容れられてきたと考えられる。例えば Zahavi & Ryan⁹⁾ はそのような安定性の存在を極めて雄弁に語っている。個人あるいは世帯の総旅行時間 (travel time budget あるいは travel time expenditure) の概念が着目を浴びたのも、その安定性の故であり、それが普遍的原則の存在を示唆するためと考えられる。

Zahavi & Talvitie¹⁰³⁾ は、「旅行時間および交通費の支出 (travel time and money expenditures) は、世帯の社会経済的属性、交通システム、都市構造などが与えられたとして、安定したものであることをデータ解析は示唆している」と述べる。その根拠として、Szalai¹⁰⁴⁾ から以下が引用されている：

「より効率的な交通体系が普及している場合、平均通勤距離は飛躍的に増加するものの、職場に到達するという目的を達するために費やされる時間は、驚くほど狭い範囲に収まってしまうようである。多数の都市で通勤時間が同様であるという結果は、工業化の影響が同程度であるからでは決してない。実際、工業化の度合いは調査国間で極めて異なっている。

「交通の効率性が向上したとき明らかに好まれるのは、より外延部へと空間的に拡散することで、就業地への距離の最頻値は調査都市間で 15 倍以上異なるものの、通勤時間は極めて狭い範囲で分散している。この傾向は通勤トリップのみならず、トリップ全体についても見られる。自動車の非所有者の旅行時間は所有者より 6% 多いにすぎない。もっとも、自動車所有者ははるかにより多くの距離を移動しているが。」

Zahavi & Talvitie¹⁰³⁾ は、Szalai の時間利用調査プロジェクトは「旅行時間は集計レベルでは安定しており、国間で移転可能であると結論付けている。さらに、旅行速度が向上したとき、節約される旅行時間の殆どはより長距離を移動するために費やされていることが観測されている」と記している。ここでの議論は、断面での差異と経時的な変化を混同したもので、交通システムの変化が交通行動に与える変化を必ずしも示しているものではない。さらに、構造方程式モデルを用い

た断面分析¹⁰⁵⁾ では、「節約される旅行時間の殆どはより長距離を移動するために費やされている」との結果は得られず、節約旅行時間の約 1 割が追加的な移動に割かれるにすぎないという結果が得られている。と同時に、京阪神パーソントリップ調査の結果でも、平均通勤時間は 1980 年、1990 年、2000 年の 3 度の調査で、36 分と極めて安定した値を示していることも確たる事実である。

もちろん、このような安定性は集計レベルでのみ存在する。その点を批判したのが Supernak⁸⁾ で、後に前述の個人カテゴリーに基づくモデルを提案している^{58, 106, 107)}。しかしこれは、個人のセグメントを特定することによりセグメント内での個人間の異質性が削減され、より精度の高い予測を行なうことが可能になることを示しているにすぎず、本質において Zahavi & Talvitie¹⁰³⁾ のアプローチとさして異なるものではない。

(2) 変動解析の重要性

安定への志向を動機付ける要因の一つは、現象を規定する構造の安定性を仮定することなく予測を行なうことは極めて困難であるという事実であろう。しかしながら、経時的変動を解き明かすことが重要となる局面が多々ある。例えば：

- 大気汚染などを考慮するとき、特異事象が極めて重要となる。現象（例えば区間交通量）の分布についての情報の重要性が増し、旧来の経験則に基づく推定の信頼性が問われている。
- すでに見たように、行動の平均的生起確率を集約的に知るだけでは不十分で、特定の個人が特定の行動を示す確率を推定することが交通政策上重要となる。
- 経時的変動に関する情報無しに、現象の不確定性とモデル（解析）の不確定性を峻別することは不可能である。
- 断面における差異に基づく予測から、経時的変化に基づく予測へと推移することが必要である。

これらの多くは、交通計画、政策分析に要請されるものが交通容量の提供による需要の充足というこれまでの方向から、木目細かな需要マネジメント、情報技術 (IT) の活用、参加型の計画立案などへと転換しつつあることから派生している。また、建設プロジェクトや施策の評価が重視され、費用・便益が社会的にどのように分配されているかが重要な課題となりつつあることも背景にあると考えられる。

旧来の静的な、そしてしばしば巨視的な分析によりこれらの新たな要請にこたえることには困難が伴う。これまでの通念では、巨視的現象は計測しやすく、安定しており、逆に微視的現象は観測が困難で不安定で

あり、モデルは複雑となると見なされてきた¹⁰⁸⁾。同様に現象を静的に捉えることは比較的簡単であるが、動的变化を追跡することには困難が伴うとされてきた。しかし、IT がもたらす新たなデータがこの通念を変えつつある。

(3) 展望

変化を測定しようとすれば、経時的な調査が不可欠であることは通念となりつつある（例えば Huff & Hanson⁷¹⁾, Jones & Clarke¹⁰⁵⁾）。しかし北村⁸¹⁾ が指摘するように、離散時点での観測をもとに現象の変化を正確に捉えることは困難であるとともに、対象とする現象のみならず、主要な影響要因の変化をも経時的に測定・記録することには多大の困難がともなう。また、Herz⁴⁶⁾ が指摘するように 1 年といった長い周期を持つ交通行動の安定性を検証することは極めて困難であろう。

しかしながら、新たな計測手法の展開により、少なくとも 1 週間程度の短期間であれば、人あるいは車輛の軌跡を時空間内で追跡することが可能となりつつある^[註 16]。また、コンピュータを回答者に配布し活動スケジュールに関する詳細な認知データを得るという試みもなされているし¹¹⁰⁾、活動日誌データを用いた 6 週間という長期間にわたる調査も成功裡に終わっている¹¹¹⁾。交通現象の動的分析の可能性は広まりつつあると言えよう。

交通現象の動的分析のための調査設計方法と課題、および動的な意思決定過程の分析については、別の機会に論じたい。最後に、極めて散漫な構成で推古されていない論文となったことをお詫びするとともに、最後までお読みいただいた読者に感謝の意を表したい。

謝辞：

阪神高速道路公団計画部調査課の雪本雄彦氏と同業務部交通管制課の大窪剛文氏からデータを提供いただいた。ここに慎んでお礼申し上げる。

註：

- [1] 「平均からの差異」と考えると相関係数の算出過程と合致し、より直感的に理解できる。
- [2] 例えば道路交通情勢調査（道路交通センサス）では、6 月中旬から 7 月下旬、および 8 月下旬から 10 月下旬の火曜日または水曜日に観測がなされる。観測時間は一般に午前 7 時から午後 7 時の 12 時間であるが、夜間交通量についての情報が必要な区間では 24 時間調査がなされる⁷⁾。

- [3] 例えば辻ら¹⁴⁾を参照されたい。後に例を示すが、道路断面での時間帯毎の時間交通量の経日（day-to-day）変動はより安定している。
- [4] 交通量に回帰分析を適用することにより結論が得られているが、分析では複数変数を同時にモデルに導入するのではなく、個別説明変数を順次検討するという方法が採られており、得られた結論の解釈には注意を要する。
- [5] 解析ではトラック輸送トン数が説明変数として用いられているが、これは内生変数としての性格が強い。また、高速道路延長の推移が一定程度の影響を持つと考えられるが、これについては解析対象期間が 10 年不足と短いためか、検討されていない。
- [6] 世帯を単位とした米国の解析で世帯生成原単位が極めて安定していることが報告されているのは極めて興味深い。例えば Kollo & Purvis²⁴⁾ のサン・フランシスコ都市圏での解析では、世帯あたり原単位が 1965 年の 8.777（トリップ/日）に対し、1981 年には 8.713 と、極めて安定した結果が示されている。一方平均世帯人員数は調査標本で 1965 年の 3.12（人）から 1980 年の 2.56 へと、また 1970 年センサスの 2.90 から 80 年センサスの 2.57 へと、大きな減少を見せている。このことは世帯の原単位が安定している一方で、個人の原単位は増加していることを意味している。これが人口構成、自動車および免許保有率の変化によるものかどうかは論文に示された結果からは不明であるが、トリップ生成の解析単位を個人とすべきか世帯とすべきかの検討が重要であることを示唆している。
- [7] Atherton & Ben-Akiva²⁷⁾, Koppelman & Wilmot²⁸⁾, 森地ら²⁹⁾, Badoe & Miller³⁰⁾, Elmi et al.³¹⁾, 高瀬ら³²⁾を参照されたい。Stated preference (SP) データを用いた際のモデルの移転可能性を検討したものとして Fujiwara & Fujie³³⁾がある。
- [8] Transfer scaling, Bayesian updating, combined transfer estimation, および joint context estimation が用いられている。
- [9] ここでの変化は、飯田・高山⁴⁰⁾の「傾向変動」を含むものである。
- [10] 一般的な議論として佐佐木・飯田⁴²⁾を参照されたい。
- [11] 変動のモデル化には他にいくつかのアプローチが見られる。例えば井上⁴⁴⁾は「モデルの定式化において、パーソントリップ調査における標本誤差とまったくの偶然が支配するランダム変動（不規則変動）を考慮の対象としており、季節変動、月間変動、曜日変動などの周期変動については考慮していない」とされる⁴⁵⁾。
- [12] Hendrickson⁶³⁾, Abu-Eisheh & Mannering⁶⁴⁾などが代表的なものである。また、レビュー論文として桑原⁶⁵⁾を参照されたい。

- [13] この値は 5780 分という特異値を示した回答者を除いた平均である。この特異値を含むと平均分散は 194.1 分 (標準偏差は 13.93 分) となる。
- [14] パネル調査の重要性に関連して議論されてきたように、個人間に非観測異質性 (unobserved heterogeneity) が存在し、それが観測された変数と相関を持つとき、断面データからモデルをバイアスすることは不可能となる (Kitamura³⁾を参照されたい)。同様のことが 1 日データについても言える。
- [15] 行動の動的側面の解析に当たり心理学的アプローチが極めて有効なものとなる。心理学の分野を概観したものとして藤井⁷⁹⁾を参照されたい。
- [16] 『交通工学』第 34 巻増刊号、特集「交通調査データの新展開」および第 37 巻 5 号特集号「モデルとデータ (交通現象の理論と観測)」を参照されたい。

参考文献：

- 1) Goodwin, P., R. Kitamura and H. Meurs: Some principles of dynamic analysis of travel behaviour, In P. Jones (ed.) *Developments in Dynamic and Activity-based Approaches to Travel Analysis*, Avebury, Aldershot, pp. 56-72, 1990.
- 2) Venter, C. and M. Hansen: Flexibility and time dependence in activity scheduling models, *Transportation Research Record*, **1645**, pp. 120-126, 1998.
- 3) Kitamura, R.: Panel analysis in transportation planning: An overview, *Transportation Research A*, **24A**(6), pp. 401-415, 1990.
- 4) Asakura, Y., E. Hato and K. Sugino: Simulating travel behavior using location positioning data collected with mobile phone system. In R. Kitamura and M. Kuwahara (eds.) *The Proceedings of the International Symposium on Transport Simulation*, Yokohama, 2002.
- 5) Adiv, A.: The structure of the work trip based on analysis of trip diaries in the San Francisco Bay Area, In S.M. Carpenter and P.M. Jones (eds.), *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower Publishing, Aldershot, pp. 117-136, 1983.
- 6) Hanson, S. and J. Huff: 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.
- 7) 日本まちづくり協会 (編): 道路工学通論。技術書院, 2001。
- 8) Supernak, J.: Travel-time budget: A critique, *Transportation Research Record*, **879**, pp. 15-25, 1982.
- 9) Zahavi, Yacov and James M. Ryan: Stability of travel components over time, *Transportation Research Record*, **750**, pp. 19-26, 1980.
- 10) 田中芳和・村上康紀・井上浩・桑原雅夫・赤羽弘和・小根山裕之: 首都高速道路における OD 交通量の日変動に関する研究。交通工学, **36**(1), pp. 49-58, 2001。
- 11) Bonsall, P., F. Montgomery and C. Jones: Deriving the constancy of traffic flow composition from vehicle registration data, *Traffic Engineering & Control*, July/August, pp. 386-391, 1984.
- 12) 岩崎征人: 高密度領域における密度変動について。交通工学, **12**(増刊号), pp. 25-29, 1977。
- 13) 樗木武・姜元義: 交通量の変動にもとづいた交通流状態の推定とその速度分布モデルの構築に関する研究。土木学会論文集, No. 470/IV-20, pp. 55-163, 1993。
- 14) 辻光弘・米川英雄・巻上安爾: 高速道路における交通容量の相違に関する一考察。高速道路と自動車, **43**(7), pp. 0-28, 2000。
- 15) 安藤朝夫・内田隆一・吉田克明: 2 大都市圏における地価関数の推定結果を用いた地価変動の時空間分析, 土木学会論文集, No. 49/IV-17, pp. 77-86, 1992。
- 16) 肥田野登・林山泰久・山村能郎: 都市間交通施設整備がもたらす便益と地価変動。土木学会論文集, No. 449/IV-17, pp. 67-76, 1992。
- 17) 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, **42**(12), pp. 43-50, 1999。
- 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, **34**(11), pp. 1-38, 1991。
- 19) Cervero, R.: Intrametropolitan trends in sunbelt and western cities: Transportation implications. *Transportation Research Record*, **1067**, pp. 20-27, 1986.
- 20) Roberts, R.A.: Analysis of demographic trends and travel patterns: Implications for the future of the Portland transit market, *Transportation Research Record*, **1067**, pp. 1-8, 1986.
- 21) Prevedouros, P.D. and J.L. Schofer: Suburban transport behavior as a factor in congestion, *Transportation Research Record*, **1237**, pp. 47-58, 1989.
- 22) Van Beek, P., N. Kalfs and U. Blom: Gender differences in activities and mobility in the Netherlands, 1975 to 1990, *Transportation Research Record*, **1607**, pp. 134-138, 1986.
- 23) Cohen, G.S. and M.A. Kocis: Components of change in urban travel, *Transportation Research Record*, **775**, pp. 42-47, 1980.
- 24) Kollo, H.P.H. & C.L. Purvis: Changes in regional travel characteristics in the San Francisco Bay Area: 1960-1981, *Transportation Research Record*, **987**, pp. 57-66, 1984.
- 25) Kostyniuk, L.P. and R. Kitamura: Trip chains and activity sequences: Test of temporal stability, *Transportation Research Record*, **987**, pp. 29-39, 1984.
- 26) Yunker, K.R.: Tests of the temporal stability of travel simulation models in Southeastern Wisconsin, *Transportation Research Record*, **610**, pp. 1-5, 1976.
- 27) Atherton, T.J. and M.E. Ben-Akiva: Transferability and updating of disaggregate travel-demand models, *Transportation Research Record*, **895**, pp. 12-18, 1976.
- 28) Koppelman, F.S. and C.G. Wilmot: Transferability analysis of disaggregate choice models, *Transportation Research Record*, **895**, pp. 18-24, 1976.
- 29) 森地茂・屋井鉄雄・田村亨: 非集計交通手段選択モデルの地域間移転可能性。土木学会論文集, No. 359/IV-3, pp. 107-115.
- 30) Badoe, D.A. and E.J. Miller: Analysis of the temporal transferability of disaggregate work trip mode choice models, *Transportation Research Record*, **1493**, pp. 1-11, 1995.
- 31) Elmi, A.M., D.A. Badoe and E.J. Miller: Transferability analysis of work-trip-distribution models, *Transportation Research Record*, **1676**, pp. 169-176, 1999.
- 32) 高瀬達夫・森川高行・阿野貴史・長澤貴憲: モデルの移転可能性に焦点をあてた空港アクセス交通の非集計分析, 土木計画学研究・論文集, No. 17, pp. 855-862, 2000。
- 33) Fujiwara, A. and Y. Sugie: Temporal stability of stated preference data, In P. Stopher and M. Lee-Gosselin (eds.) *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Elsevier Science, Oxford, pp. 257-277, 1997.
- 34) Karasmaa, N. and M. Pursula: Empirical studies of transferability of Helsinki metropolitan area travel forecasting models, *Transportation Research Record*, **1607**, pp. 38-44, 1997.
- 35) Meurs, H., T. van Eijk and P. Goodwin: Dynamic estimation of public transport demand elasticities, In P.

- Jones (ed.) *Developments in Dynamic and Activity-based Approaches to Travel Analysis*, Avebury, Aldershot, pp. 371-383, 1990.
- 36) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一: シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法, 土木学会論文集, No. 458/IV-18, pp. 35-44, 1993.
 - 37) 朝倉康夫・柏谷増男・西山晶造: 観測リンク交通量を用いた道路網交通流の日変動推定とその信頼度分析への応用, 土木学会論文集, No.482/IV-22, pp. 17-25, 1994.
 - 38) 佐佐木綱・朝倉康夫: OD 需要の変動を内生化した最適道路網計画モデル, 土木学会論文集, No.383/IV-7, pp. 93-102, 1987.
 - 39) 赤松隆・松本嘉司: 需要変動を考慮した交通ネットワーク: 確率的利用者均衡モデルとその解法, 土木学会論文集, No.401/IV-10, pp. 109-118, 1989.
 - 40) 飯田恭敬・高山純一: 高速道路における交通量変動特性の統計分析, 高速道路と自動車, 24(12), pp. 22-32, 1981.
 - 41) 小坂浩之・曹圭錫・谷下雅義・鹿島茂: 首都高速道路の日交通量の変動分析, 第 19 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 17-20, 1999.
 - 42) 佐佐木綱・飯田恭敬 (監修・編著): 交通工学, 国民科学社, 1992.
 - 43) 飯田恭敬・高山純一・金子信之: 傾向変動を考慮したリンク交通量による OD 交通量推計法, 土木学会論文集, No.383/IV-7, pp. 83-91, 1987.
 - 44) 井上博司: スクリーンライン調査による OD 調査の精度の検定および OD 表の修正法, 交通工学, 12(6), pp. 11-19, 1977.
 - 45) 高山純一・飯田恭敬: 周期変動を考慮した実測交通量による交通需要推計法, 土木計画学研究・論文集, No. 1, pp. 43-58, 1984.
 - 46) Herz, R.: Stability, variability and flexibility in everyday behavior, In S. Carpenter and P. Jones (eds.) *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower, Aldershot, pp. 385-400, 1983.
 - 47) Gunawardena, N.R., K.C. Sinha and J.D. Fricker: Development of peak-hour and peak directional factors for congestion management systems, *Transportation Research Record*, 1552, pp. 8-18, 1996.
 - 48) 日野泰雄・西村昂・西田智一: 変動特性を考慮した簡易交通量予測モデルについて, 第 8 回交通工学研究発表会論文集, pp. 27-29, 1986.
 - 49) 中村一雄・中田明雄・岡崎征・高阪悠二・北村武次・土井陽一・鷲見晴美・青谷年永: 交通量変動特性の統計分析, 第 3 回交通工学研究発表会論文集, pp. 63-66, 1983.
 - 50) 竹内宏文・巻上安爾・清水敬司: 高速道路の交通流動と旅行時間の変動についての調査研究, 第 15 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 1-4, 1995.
 - 51) 井料隆雅・桑原雅夫: 需要の日変動を考慮した高速道路におけるピークロードプライシング政策の評価, 高速道路と自動車, 45(8), pp. 27-34, 2002.
 - 52) 椎名啓雄・細川佳哉・本田和之: 東京都内における主用断面別の交通特性について, 第 21 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 5-8, 2001.
 - 53) Ockert, W., R. Easler and F.L. Spielberg: Analysis of travel peaking, *Highway Research Record*, 369, pp. 159-180, 1971.
 - 54) Kitamura, R. and M. Kermanshah: Identifying time and history dependencies of activity choice, *Transportation Research Record*, 944, pp. 22-30, 1983.
 - 55) 飯田祐三・岩辺路由・菊池輝・北村隆一・佐々木邦明・白水靖郎・中川大・波床正敏・藤井聡・森川高行・山本俊行: マイクロシミュレーションアプローチによる都市交通計画のための交通需要予測システムの提案, 土木計画学研究・論文集, 17, pp. 841-847, 2000.
 - 56) Hill, Donald M., Larry Tittmore and David Gendell: Analysis of urban area travel by time of day, *Highway Research Record*, 472, pp. 108-119, 1973.
 - 57) 高山純一・飯田恭敬・藤本克郎: 交通発生・分布の時間変動推定に関する研究, 第 9 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 85-87, 1988.
 - 58) Suparnak, J.C.: A method for estimating long-term changes in time-of-day travel demand, *Transportation Research Record*, 1138, pp. 18-26, 1987.
 - 59) Suparnak, J., A. Talvitie and A. DeJohn: Person-category trip-generation model, *Transportation Research Record*, 944, pp. 74-83, 1983.
 - 60) Kitamura, R., T.F. Golob, J. Robinson, M. Bradley and T. van der Hoorn: A comparative analysis of time use data in the Netherlands and California: Effects of commute times and store operating hours on travel and activity patterns, *Proceedings of Seminar E, 20th PTRC Summer Annual Meeting*, PTRC Education and Research Services Ltd., London, pp. 127-138, 1992.
 - 61) Kitamura, R.: Time-of-day characteristics of travel: An analysis of 1990 NPTS data, In Special Reports on Trip and Vehicle Attributes, 1990 NPTS Report Series, FHWA-PL-95-003, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., February, 1995.
 - 62) Robinson, J.P. and G. Godbey: *Time for Life: The Surprising Ways Americans Use Their Time*, Pennsylvania State University Press, University Park, 1997.
 - 63) Hendrickson, C. and G. Kocur: Schedule delay and departure time decisions in a deterministic model, *Transportation Science*, 15(1), pp. 62-77, 1981.
 - 64) Abu-Eisheh, S.A. and F.L. Mannering: Discrete/continuous analysis of commuters' route and departure time choices, *Transportation Research Record*, 1138, pp. 27-34, 1987.
 - 65) 桑原雅夫: 道路交通における出発時刻選択に関する研究解説, 土木学会論文集, No. 604/IV-11, pp. 73-84, 1998.
 - 66) Hatcher, S.G. and H.S. Mahmassani: Daily variability of route and trip scheduling decisions for the evening commute, *Transportation Research Record*, 1357, pp. 72-81, 1992.
 - 67) Jou, R.-C. and R. Kitamura: Commuter departure time choice: A reference-point approach. Mimeograph, 2002.
 - 68) Jou, R.-C. and H.S. Mahmassani: Comparative analysis of day-to-day trip-chaining behavior of urban commuters in two cities, *Transportation Research Record*, 1607, pp. 163-170, 1997.
 - 69) Goodwin, P.: The end of equilibrium. In T. Gärling, T. Laitila and K. Westin (eds.) *Theoretical Foundation of Travel Choice Modeling*, Elsevier, Oxford, pp. 103-132, 1998.
 - 70) Kitamura, R. and T. van der Hoorn: Regularity and irreversibility of weekly travel behavior, *Transportation*, 14, pp. 227-251, 1987.
 - 71) Huff, J. and S. Hanson: Measurement of habitual behaviour: Examining systematic variability in repetitive travel, In P. Jones (ed.) *Developments in Dynamic and Activity-based Approaches to Travel Analysis*, Gower, Aldershot, pp. 229-249, 1990.
 - 72) Ma, J. and K.G. Goulias: An analysis of activity and travel patterns in the Puget Sound Transportation Panel, In D.E. Ettema and H.J.P. Timmermans (eds.) *Activity-based Approaches to Travel Analysis*, Elsevier Science, Oxford, pp. 189-207, 1997.
 - 73) Hanson, S. and J. Huff: Classification issues in the analysis of complex travel behavior, *Transportation*, 13, pp. 271-293, 1986.
 - 74) Hanson, S. and J.O. Huff: Assessing day-to-day variability in complex travel patterns, *Transportation Research Record*, 891, pp. 18-891, 1982.
 - 75) Kitamura, R.: An analysis of weekly activity patterns and travel expenditure, In R.G. Golledge and H.J.P. Timmermans (eds.), *Behavioral Modeling Approaches in Geography and Planning*, Croom Helm, London, pp. 399-423, 1988.

- 76) Pas, E.I.: Weekly travel-activity behavior, *Transportation*, **15**, pp. 89-109, 1988.
- 77) Pas, E.I. and F.S. Koppelman: An examination of the determinants of day-to-day variability in individual's urban travel behavior, *Transportation*, **14**(1), pp. 3-20, 1987.
- 78) Golob, T.F.: A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation, *Transportation Research B*, **34**, pp. 355-376, 2000.
- 79) 藤井聡: 交通行動分析の社会心理学的アプローチ. 北村隆一・森川高行(編著)交通行動の分析とモデリング—理論/モデル/調査/応用, 技報堂出版社, pp. 35-51, 2002.
- 80) Goodwin, P.B.: Habit and hysteresis in mode choice, *Urban Studies*, **14**, pp. 95-98, 1977.
- 81) 北村隆一・藤井聡・山本俊行: 離散時間パネル調査の調査機関, 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.
- 82) Nakayama, S., R. Kitamura and S. Fujii: Drivers' learning and network behavior: Dynamic analysis of driver-network system as a complex system, *Transportation Research Record*, **1676**, pp. 30-36, 1999.
- 83) Fujii, S. and R. Kitamura: Anticipated travel time, information acquisition and actual experience: The case of Hanshin Expressway route closure, *Transportation Research Record*, **1725**, pp. 79-85, 2000.
- 84) 藤井聡・中山晶一郎・北村隆一: 習慣解凍と交通政策: 道路交通シミュレーションによる考察, 土木学会論文集, No.667/IV-50, pp. 85-101, 2001.
- 85) Mahmassani, H.S., G. Hatcher and C.G. Caplice: Daily variation of trip chaining, scheduling, and path selection behaviour of work commuters. In P. Stopher and M. Lee-Gosselin (eds.) *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Elsevier Science, Oxford, pp. 351-379, 1997.
- 86) Golob, T.F., R. Kitamura and J. Supernak: A panel-based evaluation of the San Diego I-15 carpool lanes project, In T.F. Golob, R. Kitamura and L. Long (eds.) *Panels for Transportation Planning: Methods and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 97-128, 1997.
- 87) Mahmassani, H.S.: Dynamics of commuter behaviour: Recent research and continuing challenges, In P. Stopher and M. Lee-Gosselin (eds.) *Understanding Travel Behavior in an Era of Change*. Pergamon, Oxford, pp. 279-313, 1997.
- 88) Beroldo, S.J.: Duration of carpool and vanpool usage by clients of RIDES, *Transportation Research Record*, **1130**, pp. 6-8, 1987.
- 89) Golob, T.F., R. Kitamura and L. Long (eds.): *Panels for Transportation Planning: Methods and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997.
- 90) 山本俊行: 生存時間モデル. 北村隆一・森川高行(編著)交通行動の分析とモデリング—理論/モデル/調査/応用, 技報堂出版社, pp. 190-203, 2002.
- 91) Kitamura, R.: A review of dynamic vehicle holdings models and a proposal for a vehicle transactions model, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, 440/IV 16, pp. 13-29, 1992.
- 92) Yamamoto, T., R. Kitamura and S. Kimura: Competing risks duration model of household vehicle transactions that accounts for the effects of the occurrences of changes in explanatory variables, *Transportation Research Record*, **1676**, pp. 116-123, 1999.
- 93) Yamamoto, T., R. Kitamura and H. Fujii: Modelling the effects of a periodical vehicle inspection program on household vehicle ownership, In D. Hensher (ed.) *Travel Behaviour Research: The Leading Edge*, Elsevier Science, Oxford, pp. 465-479, 2001.
- 94) Hirsh, M., J.N. Prashker and M.E. Ben-Akiva: Dynamic model of weekly activity pattern, *Transportation Science*, **20**(1), pp. 24-36, 1986.
- 95) Gärling, T.: Processing of time constraints on sequence decisions in a planning task, *European Journal of Cognitive Psychology*, **6**, pp. 399-416, 1994.
- 96) Ettema, D.: Activity-Based Travel Demand Modeling, Ph.D. dissertation, Faculteit Bouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 1996.
- 97) Doherty, S. T.: The Household Activity-Travel Scheduling Process: Computerized Survey Data Collection and the Development of a Unified Modeling Framework, Ph.D. Dissertation, University of Toronto, Toronto, Canada, 1998.
- 98) Chen, C.: An Exploration of Activity Scheduling and Rescheduling Processes, Ph.D. Dissertation, University of California, Davis, California, 2001.
- 99) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans: Simulation model of activity scheduling behavior, *Transportation Research Record*, **1413**, pp. 1-11, 1993.
- 100) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans: Using interactive computer experiments for identifying activity scheduling heuristics, Paper presented at the Seventh International Conference on Travel Behaviour. Valle Nevada, Santiago, Chile, pp. 13-16, June, 1994.
- 101) Nakayama, S., R. Kitamura and S. Fujii: Drivers' route choice rules and network behavior: Do drivers become rational and homogeneous through learning?, *Transportation Research Record*, **1752**, pp. 62-68, 2001.
- 102) Timmermans, H., T. Arentze and C.H. Joh: Modeling learning and evolutionary adaptation processes in activity settings, *Transportation Research Record*, **1718**, pp. 27-33, 2000.
- 103) Zahavi, Yacov and Antti Talvitie: Regularities in travel time and money expenditures, *Transportation Research Record*, **750**, pp. 13-19, 1980.
- 104) Szalai, A. (ed.): *The Use of Time*, Mouton, The Hague, 1972.
- 105) Kitamura, R., S. Fujii and E.I. Pas: Time-use data, analysis and modeling: Toward the next generation of transportation planning methodologies, *Transport Policy*, **4**(4), pp. 225-235, 1997.
- 106) Supernak, J.: Travel regularities and their interpretations: A discussion paper, *Transportation Research Record*, **987**, pp. 48-57, 1984.
- 107) Supernak, J. and D. Schoendorfer: Automobile availability and its application in transportation studies, *Transportation Research Record*, **1037**, pp. 73-81, 1985.
- 108) 北村隆一: モデルに関する通念と新たなデータが与える可能性. 交通工学, **37**(5), pp. 1-3, 2002.
- 109) Jones, P.M. and M.I. Clarke: The significance and measurement of variability in travel behavior. *Transportation*, **15**(1), pp. 65-87, 1988.
- 110) Doherty, S.T. and E.J. Miller: A computerized household activity scheduling survey, *Transportation*, **27**(1), pp. 75-97, 2000.
- 111) Axhausen, K.W., A. Zimmermann, S. Schönfelder, G. Rindsfuser and T. Haupt: Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, *Transportation*, **29**(2), pp.95-124, 2002.