

交通計画におけるシミュレーション手法の適用可能性について*

A Simulation-based Approach in Transportation Planning*

藤井 聡**

By Satoshi Fujii**

1. はじめに

交通計画が時間的空間内に生ずる様々な現象, すなわち, 個人や世帯の地理平面上, 時間軸上での行動や, 広域地理平面上でのヒトとモノの経時的, あるいは, 経年的な流動状況までも含む, 広義の交通現象を対象とするものである以上, それらを記述することが交通計画にとって極めて重要な課題であることは間違いない。

この認識のもと, 従来から, 様々な観測装置によってデータが収集され, それに基づいた種々の分析がなされてきている一方で, 交通現象を統一的・定量的に表現するための様々な概念装置が考案, 構築されてきている。一般に, 前者は実証的研究, 後者は理論的研究と呼称されるものと思われるが, 当然ながら両者の立場は背反するものではなく, 現象を記述することを目的として相互に補充しあう関係にあるものと言えよう。

本稿は, この認識から, 観測装置と概念装置の双方を用いて, 交通政策評価を目的とした個人の行動の記述方法や, 個人の行動を記述した上で交通需要解析をおこなう方法に関して述べるものであり, その中で, 現象を記述する方法論としてのシミュレーション手法の有効性, ならびに, その限界に関して検討を加える。

以下, 2. では交通計画における現象の記述に関する基本的な考え方に関して述べる。そして, そこでの議論を踏まえて, 3., 4. において交通現象の基本単位である個人の行動の記述方法, ならびに, 行動の累計として現出するマクロな交通現象の記述方法に関してそれぞれ述べる。そして最後に 5. で, 本稿をまとめるとともに, 今後に残された課題に関して述べる。

2. 交通計画における現象記述について

(1) 現象の記述方法について

先述のように, 現象の記述を図る場合に重要な役割を果

たすのが観測装置と概念装置であるが, 当然ながら, いずれも実現現象の情報を完全に抽出しうるものではない。

まず, 観測作業においてはデータ項目を規定するが, それによってそのデータ項目以外の情報が欠落するとともに, そのデータ項目のために同一視された属性内の差異情報も欠落する。また, 部分的に詳細に観測すれば大局的な情報を入手することが, 逆に, 大局的に観測すれば詳細な情報を入手することがそれぞれ困難となる。そして, 現象の背後に潜在的に想定されうる因果関係やその構造を観測することは不可能である。

一方, 概念装置に基づいたモデル化の際にも, 状態変数の定義が必要とされる場合にはデータ化と同様の情報の欠落が生じる。それに加えて, データ化では記述対象とは扱われていなかった現象の背後に想定されうる因果関係やその構造そのものの記述も目指すため, その局面においてもデータ化と同様の情報の欠落が生じることとなる。すなわち, 概念装置が, 観測が対象とする現象内の状態変数に加えて種々の関係性も記述対象とすることから, 明示的に無視しなければならない関係性・事柄の増加を避けることはできないのである。

この様に, いずれの現象記述方法を用いても, 現象を完全に記述することなど不可能であることが改めて分かる。ただし, それぞれの装置が構成する疑似現実の性質は異なり, 概念装置によれば普遍的, 一般的な形で現象を記述することができるものの, 実現現象と乖離した疑似現実を構成してしまう危険性は増大する一方で, 観測装置によれば, その危険性は小さくなるものの, 個別的, 局所的な記述となりがちである。

このように考えると, 図1に示したように, 分析者は限定された状況の中で, 観測と概念という二つの装置を補完的に合わせ用いることで何とか疑似現実を構成しているに過ぎない, と言えるのである。実現現象とはほど遠い疑似現実を前にして分析者ができうることは, 実現現象と疑似現実との間の共通性を, 想像力・思考装置を用いて何とか創出することしか無からう。

それに加えて, 現実問題としては, これら現象記述上の本質的限界に加えて, 費用的な制約や, 計算処理技術の

* キーワード: 交通需要解析, 生活行動シミュレーションモデル, 交通流シミュレーションモデル

** 正員 工博 京都大学工学部助手
(京都市左京区吉田本町 tel: 075-753-5136, fax: 075-753-5916)

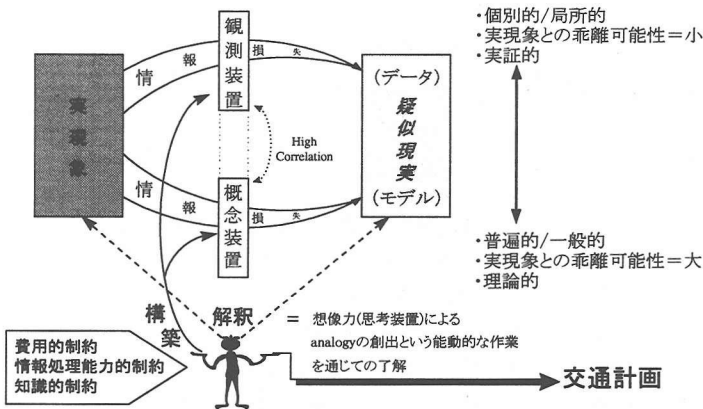


図1 行政計画支援のための現象記述について

限界、さらには、従来からの知的活動によって獲得されてきた知識体系の限界という意味での知識上の制約といった様々な制約の中で、研究作業の遂行を求められている。現実の現象に対峙する分析者は、これらの煩雑な作業を通じて、実現象に関する何らかの知見を抽出し、得られた知見をどうにかこうにか行政判断に直接的・間接的に反映させることを目指している、と言えるのではなかろうか。

さて、このような種々の手順、すなわち、1) 観測装置と概念装置の選択と構築、2) それらの補完的な利用による疑似現実の構成、3) 構成された疑似現実からの行政判断上の意味の検出、といった各段階の作業を、種々の制約の下で整合的に、かつ、効率的に遂行するためには、現象記述の最終的な目的を、常に、明確に意識しておくことが不可欠であろう。

(2) 交通計画における現象記述の目的

交通計画において現象を記述することの具体的な目的としては様々なものが考えられるが、代表的なものとしては、以下の3つを挙げることができるのではなかろうか^[1]。

a) 局所的・個別的な視点からの現象把握

最初に考えられる目的は、局所的、個別的な視点から現象を把握し、これを行政判断のための基礎情報とする、というものである。例えば交通上の問題を検出したり、個人の意識構造や選好特性等の把握がこれに当たる。

このためには、観測装置が不可欠であり、その観測方式は、調査主体の意図や分析方法によって自ずと規定される。なお、分析手法としては、基礎的な集計を含めた様々な統計学的手法が用いられることが多い。

b) 現象の一般的性質の把握

次に考えられる現象記述の目的として、現象の一般的

性質についての知見を検出し、これを行政判断の間接的な支援材料とする、というものが挙げられる。ここに言う一般的知見とは、例えば現象の挙動に支配的な要因の存在やその影響の性質、複数の状態変数間の関係等についての知見である。特に、政策変数が現象の挙動に及ぼす定性的影響についての知見であれば、これを直接的に行政判断を支援することもできる。

この目的のためには、因果関係や現象の状態が満たすべき条件についての何らかの仮定を施した概念装置、理論モデルを想定することが不可欠である。

すなわち、理論モデルに基づいて疑似現実を構成し、その疑似現実の状態や挙動を把握することで、対象とする実現象に関する一般的知見の検出を目指すのである。

ここで注意すべき点は、絶対的な概念装置の存在を想定することは現象記述の上で無意味であり、したがって、一つの現象に関しても複数の代替的な理論モデルを構成可能である、という点である。この主張を単純に拡張すれば、いかなる理論モデルも相対化されるものであり平等である、という平坦な結論に行き着きかねないが、実現象との整合性という考え方を導入することで、ある程度までには優劣を付けることが可能となる。

最も基礎的な実現象との整合性の検査は、分析者の日常経験、あるいは、過去の研究蓄積に裏打ちされた「常識」による検査である。また、より誠実な整合性の検査のために行われるのが、観測装置に基づいて得られた情報を用いた理論モデルの統計学的検定である。ただし、常識も観測装置から得られるデータも、図1にて指摘したように完全に実現象を反映したものではない。したがって完全な相対化も完全な絶対化も不可能であるとの認識が、理論モデルの構築にあたっては不可欠であると言えよう。

c) 政策(実現象への行政的干渉)の定量的効果把握

最後に考えられる現象記述の目的が、政策の定量的効果の把握である。政策を実施した場合、その影響はいかなる対象にどのような因果連鎖で伝播するのか、そして、その影響の程度と質、時間軸上での変化過程はどのようなものなのか、を政策実施以前に把握し、これを直接的に政策判断の直接的な支援材料とするのである。

この目的のためには、a)で必要とされる観測装置と、b)で必要とされる概念装置・理論モデルの双方が必要である。

なぜなら、政策の効果を時間的、空間的、かつ、質的、定量的に把握するためには、その政策によって変化する環境要因の変化を「原因」、そして、その原因によって生じる状態の変化を「結果」とする因果関係を導入した概念装置・理論モデルが不可欠だからである。その一方で、予測される政策効果を行政判断の上で意味あるものとするためには、ある程度の予測の精度を確保することが要請され、そのためには、少なくとも、構築した理論モデルの挙動が観測装置によって得られる情報に適合している、という条件を満たすことが最低限必要である。

すなわち、政策効果を予測するためには、概念装置としての理論モデルを自由度を持つ形で、例えば複数のパラメータを含む形で構築し、観測装置から得られる情報にその理論モデルが適合するように、各パラメータを調整する、というモデル推定作業が不可欠なのである。この点が、必ずしもデータへの適合という条件を満たすことが要請されていない b) の現象の一般的な性質を把握するために用いられる理論モデルとの相違点である。

もちろん、例えば簡単な物理現象を説明するモデルの様に、一切のパラメータを含まずにデータに適合することが一つの理想とは考えられるが、種々雑多な要素が混在し、かつ、不確実性の高い人間の行動が何らかの形で関わる交通現象を含む社会現象の政策実施後の挙動を、そのような単純な形のモデルで定量的に予測できるとは考え難い。そのようなケースが存在するのならば、それに対応する非複雑なモデルを適用することが強く推奨されるべきであるが、行政的要請・必要性とモデルの対応可能性とが完全に相互依存関係となっている訳ではないのも事実である。

3. 交通現象記述における行動解析について

(1) 交通現象記述における行動解析の重要性

冒頭で述べたように、交通現象として時間的、空間的に様々なレベルのものが考えられ得るが、そのいずれにも共通する特徴として、個人の行動が累計化されて現出するものである、という点が挙げられる。したがって、2.(2) a), b), c) のいずれの目的の現象記述を行うにあたって、行動解析が重要な意味を持つものと考えられる。

特定の個人集合における各個人の行動が把握できるなら彼らが関連する行政判断を行う際に有益な個別的情報が得られるであろうし、現象についての一般的な性質の把握を目指す場合にも各個人の行動に立ち返った視点が有効となるものと考えられる。そして、行政が実施する政策

の多くが意思決定主体の行動に影響を及ぼすことから、政策効果分析をするためにも、行動解析が重要な意味を持つのである。

(2) 効用最大化仮説に基づく離散選択モデルの有効性

従来の研究において、行動解析を行う際に最も頻繁に用いられてきた行動モデルは、ロジットモデルやプロビットモデルに代表される離散選択モデルであろう¹⁾。

離散選択モデルは、概念装置として効用最大化仮説を援用する一方で、観測装置としてトリップダイアリー調査やアクティビティダイアリー調査等の行動調査が用いられる。そして、分析者が対象個人の効用を完全に把握することが不可能であるとの認識から、効用を分析者にとっての確率変数であると見なし(すなわち、ランダム効用という概念を導入して)、その上で統計学的手法を用いて調査で得られたデータにモデルに適合させるという推定手順を経て、効用関数を特定化する。

推定された効用関数形を解釈することで、前章 2.a) の個別的な視点からの対象個人の特徴や、2.b) に述べた行動に関する一般的な性質の把握が可能となる。それに加えて、効用関数に様々な要因を比較的容易に導入可能であることから、政策による環境の変化を効用関数に反映することも容易である。したがって、2.c) に述べた政策効果分析も、行動の変化という視点と効用水準の変化という視点の両方の視点から可能となる。前者の視点から政策効果を評価すると、政策が交通需要に及ぼす影響を直接分析することができる。後者の視点から政策効果を評価すると、その政策が個人の主観的な意識に及ぼす影響を評価することができる。特に、効用関数内に貨幣を意味する項が導入されている場合には、その影響を金銭単位で算定することも可能となる。

このように、ランダム効用最大化仮説に基づいた離散選択モデルは、概念装置と観測装置の双方を用いて構築されるものであり、それ故に、2.(2) a) の部分的な知見から、2.(2) b) の一般的な知見まで、幅広い知見を抽出する能力を持つばかりでなく、2.(2) c) に述べた便益と需要という交通計画、土木計画上極めて重要な2つの指標を用いた政策評価をする能力を持ち合わせているのである。それに加えて、計算機の能力が近年飛躍的に向上したことで、推定計算も非常に容易となってきた。これらを背景として、離散選択モデルは多くの研究者にその有効性が認められ、従来において様々な局面で適用されてきたのである。交通計画、ひいては、土木計画のために役立つ現実的な有

用性の高さ、ならびに、適用範囲の広さの双方の観点において、ランダム効用最大化仮説に基づく行動モデルを同時に超越するような行動モデルは未だかつて提案されていないとさえ言えるのかも知れない。

(3) 離散選択モデルから離散-連続モデルへの拡張

このような背景の下、ランダム効用最大化仮説に基づいた離散選択モデルは、様々な形で拡張されてきている。例えば、不確実性状況下の選択問題に適用したり²⁾、³⁾、選択肢集合⁴⁾や効用関数⁵⁾、選択構造⁶⁾、誤差構造⁷⁾、⁸⁾などの個人間の異質性を考慮したり、といった形の発展が試みられている。

その中で、ランダム効用最大化仮説が離散選択だけでなく、連続変数の選択、あるいは、離散変数と連続変数の同時選択までも取り扱う、という形での拡張が、近年盛んになされてきている。この拡張のために援用された概念装置は、Becker が提案した制約条件下の効用最大化仮説に基づく行動モデル⁹⁾である。この行動理論モデルを実証データに適合する方法論を提案することで、離散選択モデルと同様に現象分析から政策評価まで幅広い目的に活用しようという試みである。

このアプローチに基づいて、個人がある活動を実行する際の時間¹⁰⁾、¹¹⁾、¹²⁾、¹³⁾や、一定期間内における特定の目的地への来訪回数¹⁴⁾、¹⁵⁾、¹⁶⁾といった連続選択に関する行動モデルが提案されている。さらに、連続変数と離散変数の同時選択にランダム効用最大化仮説を適用した、いわゆる離散-連続モデルが、個人の行動パターン¹⁷⁾、¹⁸⁾、¹⁹⁾、²⁰⁾や物流交通における荷主の選択行動²¹⁾、²²⁾、あるいは、混雑料金下の運転者の行動パターンのモデル化²³⁾に適用されている。そして、最近では、連続変数である活動時間の選択と、活動内容、場所、交通機関、および、活動数と活動の順序、という離散変数の選択を全て同時に取り扱うことで、時空間内の生活行動軌跡をランダム効用理論の枠組みで再現する離散-連続モデルも提案されている²⁴⁾、²⁵⁾。

このように、選択変数が離散変数だけでなく、連続変数、あるいは、離散変数と連続変数の双方を取り扱うモデルを開発し、従来の離散選択モデルを一つの特例ケースとして包含する離散-連続モデルを様々な対象に適用していくことで、ランダム効用最大化仮説に基づいた行動モデルの交通計画における現実的有効性はさらに向上するものと期待される。なお、以下、本稿では、ランダム効用最大化仮説に基づいており、かつ、実証データを用いて効用

関数を特定することを前提とした離散選択モデル、連続選択モデル、あるいは、離散-連続モデルなどを総称して、かつこ付きの“離散選択モデル”と呼称することとする。

(4) “離散選択モデル”の限界とその発展

この様に、“離散選択モデル”は、交通計画上、極めて有効性の高い行動モデルであると言える。しかし、2.(1)にも述べたように、いかなるモデルも現象記述上の本質的問題を抱えるものであり、いかにその能力が高かろうとも、「交通計画において行動モデルが必要とされる局面において、“離散選択モデル”を構築しさえすればそれで事足りる」ということには当然ながらならない。交通計画において必要なのは、いかなる局面で“離散選択モデル”が有効であり、いかなる局面でその他の行動モデルの方が有効であるのか、という議論であろう。そして、図1で述べたような立場にある研究者がこのような議論をするにおいて注意すべき点は、研究上の種々の制約条件を明確に意識した現実的・具体的な方法論についての議論でなければならない、という点であろう。すなわち、批判を試みる場合には、新たな方法論を提示する、あるいは、少なくともその可能性を説得力ある形で示唆できなければならないと考えるのである。以下、本稿では、この認識に立った上で、“離散選択モデル”の批判を試みると共に、どのような代替的方法論が提示しうるのかについての検討を加える。

a) 選好特性としての効用関数導出のための課題

効用最大化仮説は、

「個人は、選択可能な全ての選択肢の中から、その個人が最も高い効用を与えると判断した選択肢²⁾を選択する」

と言えるものであろう。この仮説は、

「個人の行動(あるいは、行動データ)は、実行可能性と選好特性の双方に依存している」

ということを主張していることに等しい。したがって、この当然の帰結として、

「実行可能性が行動に及ぼす影響を完全に除去することに成功してはじめて、行動データから選好特性を意味する効用関数を推定できる」 (※1)

のである。効用最大化仮説に基づいて分析が行われるとき、選好特性に関する議論が中心になりがちであるが、実際の人間の行動においては、実行可能性が支配的であるケースも少なくない。ここでは、実行可能性について、検討を加えてみたい³⁾。

個人の行動における実行可能性は、その個人の行動に

対する制約によって規定されるものである。その制約としては多くのものが考えられるが、本稿ではそれらの制約を客観的制約条件と主観的制約条件に大別して議論を進める。前者の客観的制約条件とは、いわゆる時間的な制約やそれをより一般化したプリズム制約²⁶⁾、あるいは、所得制約などの、「そもそも選択すること等、物理的に不可能」といった制約である。この制約条件は、交通ネットワーク特性や固定活動のスケジュールといったある程度客観的に観測可能な条件で特定することができる。一方、後者の主観的制約条件とは、例えば物理的には選択可能な選択肢であっても、「何らかの理由によって選択肢として見なされていない」という制約であり、「選択肢の選別⁴⁾」あるいは「選択肢の認知^{24), 25), 20), 27)}」などと呼称されている。本稿では、認知という述語を用いるが⁴⁾、この選択肢の認知は、先述の客観的制約条件と異なり、個人によって異なるものであると共に、分析者が確定することが極めて困難であるために確率事象として取り扱わざるを得ないものである^{4), 20), 24), 25), 27), 28)}。

さて、以上の考察に基づくと、効用理論最大化仮説の基本的な考え方に基づいて導いた上述の(※1)の主張は、「選択行動をとりまく種々の条件(以下、選択環境と呼称)を観測した上で客観的制約条件を特定化すると共に、各々の選択肢の認知確率を導出した上で、認知の不確実性が存在するという条件を考慮した統計的推定方法を用いることではじめて、行動データから選好特性を意味する効用関数を推定できる」という主張に等しいものとなる。

さて、本章(2)でも述べた様に、「離散選択モデル」を構築することの意義の一つとして、個人の選好特性を把握することで主観的な政策効果を分析する、あるいは、政策便益評価を行う、というものが挙げられるが、以上の議論を踏まえると、個人の選好特性を考慮するためには、様々な統計学的なデータ処理が不可欠であることが分かる。この点に着目して、選択肢の実行可能性、ならびに、その不確性を考慮した上で政策効果を分析する方法論も提案されている²⁰⁾ものの、その一方で、認知の観測手法やその確率の誘導方法、あるいは、政策効果を計測するために最低限導入することが必要な変数の効用関数への導入など、様々な課題が残されている。

b) 実行可能性を考慮しない場合の効用関数の解釈: 選択規定要因としての効用

ここで問題となるのが、実行可能性を考慮しないままに特定化された"効用関数"は、一体何を意味するものとして

解釈すべきであるか、という問題であろう。

恐らくは、「個人の行動は、実行可能性と選好特性の双方に依存している」にも関わらず、実行可能性と選好特性を明瞭に区別せずに最尤推定法で推定した帰結として得られる"効用関数"は、

「制約条件を満足する確率が高いためなのか、より好ましいのか、というのいずれの理由によるのかは不明だが、とにかく、結果として選択される可能性が高い」という傾向を定量的に表現する関数なのではなからうか。すなわち、"効用関数"は、分析者が対象個人の選択結果を「当てる」ためには有効な関数として機能しえるのである。このことは、最尤推定法という統計学的手法が、データとして得られている複数の選択結果に適合するように、"効用関数"を調整するものなのである、という事実からして当然のことであるとも言えよう。

この様に考えると、"効用関数"と、効用最大化仮説において仮定される個人の選好特性を意味する「効用関数」とはひとまずは区別すべきであると考えられる。この区別を本稿での議論の上で明確化するためにも、本稿では"効用関数"を「選択規定要因関数」、"効用"を「選択規定要因」と呼称することとする⁵⁾。

しかし、効用関数を選択規定要因関数と解釈したとしても、「離散選択モデル」は、本稿 2.(2)a), b)の目的のために選択行動についての個別的知見や一般的知見の検出にも活用可能であるし、また、2.(2)c)の政策評価のためにも交通需要予測という文脈の中では十分に効力を発揮するものである。ところが、便益計測という文脈の中では、「離散選択モデル」を容易に適用することはできないのであり、適用にあたっては慎重な態度が不可欠であるものと考えられる²⁰⁾。もちろん、選択規定要因と効用水準とは統計的相関を持つものと考えられるが、効用水準の推定量としての選択規定要因が統計的普遍性を持つという保証は無い。

c) 需要解析の文脈における「離散選択モデル」の有効性と限界

さて、上記の議論において、「離散選択モデル」は、需要解析には十分に効力を発揮しうる、と述べたが、ここでは、その限界について考えてみたい。

まず、政策評価のための需要解析ツールに要請される最低限の条件は、観測されている現象にそのモデルが適合している、という条件であろう。すなわち、政策実施以前の各交通手段のシェアや種々の交通量が、観測値とモデル推計値とで一致していることが必要とされるわけである。

"離散選択モデル"では、適切な行動データと適合させるべき集計量が得られているのであれば、その条件を満たすことが可能であり⁶⁾、その意味において需要解析のための最低限の条件を満たす方法論であると言える。この点についてのみ言えば、いかなる選択規定要因関数を仮定しようが、選択肢集合や個人間の異質性を考えようが、"離散選択モデル"はひとまずは現状を再現することが保証されているのである。

しかし、政策評価のための需要解析ツールに求められる本質的な能力は、当然ながら、正確に政策による需要感度を計算しうるか、という能力であろう。ところが、残念ながらこの能力を全ての"離散選択モデル"が持っているという保証はない。この点を保証するためには、

「個人の行動は、選択環境と個人の特性によってのみ規定されており、かつ、選択環境の特性のうち評価対象とする政策によって変化する特性が選択規定要因関数に導入されている」 (※2)

という条件が満たされている必要がある⁷⁾。この条件が満たされうるような選択行動、および、政策であるなら、"離散選択モデル"が需要解析ツールとして効力を発揮する。ところが、個人の行動は選択環境と個人の特性以外にも以前の行動形態に依存しているケースが存在することも十分考えられる。この点を考えた場合、政策感度評価の妥当性を保証するためには、

「ある個人の選択環境がある状態からある状態に遷移した場合、その個人の選択行動の遷移それ自体」を"離散選択モデル"の枠組みでモデル化することが必要である。すなわち、パネルデータを採取し、動的側面そのものをモデル化することで、政策実施後の各個人の行動の変化を予測するのである^{29), 30)}。

しかし、このような方法で需要解析に適用するための"離散選択モデル"を構築するためには、

「評価対象とする政策が誘発する環境変化に伴う行動変化が観測されている」 (※3)

ということが必要条件である。また、それに加えて、

「評価計算時点で政策実施直前の各個人の選択行動が既知である」 (※4)

ということも必要である。

以上より、(※2)の条件がある程度満たされうる場合には非パネルデータによる"離散選択モデル"が、(※2)の条件が満たされなくても(※3)および(※4)の条件が満たされる場合にはパネルデータに基づいた"離散選択モデル"が需要解析上有効なものとして判断できる。しかし逆に言えば、

(※2)～(※4)の条件が満たされないような場合には、"離散選択モデル"の枠組みでは、交通需要の政策感度の妥当性を保証できない、ということも同時に意味している。

d) 経年行動シミュレーション技術の開発の必要性

以上、"離散選択モデル"が有効性を発揮する範囲を議論してきたが、次に議論すべき問題は、"離散選択モデル"が解析困難な政策需要変化を、どのような枠組みのモデルで対応するのか、という問題である。

以上の議論において、(※2)の条件が満たされない場合には、個人の動的な側面を考慮することが必要であるが、そのためには、(※3)、(※4)の条件を克服することが不可欠である、と述べた。このうち、(※4)の条件の克服については、見通しは暗くはないものと考えられる。なぜなら、一つには、各主要都市では、日本固有の大規模交通行動調査であるパーソントリップ(PT)調査が実施されているからであり、パネルデータによって構築された"離散選択モデル"をPTデータで得られている各個人の行動情報に基づいて適用していけばよいからである。また、PTデータで観測されていない個人についても、国勢調査などから得られるその他の統計情報を用いることで、モンテカルロシミュレーション技法を用いて生成することも可能である^{31), 32)}。さらに、近年のITS技術の進歩などから、近い将来に入手可能なデータが飛躍的に増加する可能性もある。そして、将来時点の政策効果の分析を目指す場合においても、現在時点の行動データを初期値としてパネルデータによる"離散選択モデル"を繰り返し適用することで経年的な行動変化をシミュレートしていくことも可能である^{33), 34)}。このように、(※4)の行動データの必要性という条件については、大量データを入手するという方法と、それを補完する形でシミュレーション技法を用いることで、対応できる可能性は高いものと考えられる。

e) 意思決定の直接的なモデル化の努力(その1: "離散選択モデル"の拡張)

ところが、(※3)の条件は、ある程度までは観測技術の進歩等で対応可能であるが、完全に克服することは困難であるものと考えられる。なぜなら、予測時点における選択環境、あるいは、政策そのものが未だかつて存在しなかった場合には、(※3)が要請するようなデータを観測することは不可能だからである。

ここが、"効用関数"を「選択規定要因関数」と解釈した場合における"離散選択モデル"の限界点であろう。この限界点を克服するには、選択規定要因関数を推定するという解釈のもとでの"離散選択モデル"が曖昧にしてきた

「人間の意思決定そのものの記述」を図ることが必要とされるものと考えられる。

人間の意思決定そのものを記述した“思考モデル”があるなら、その“思考モデル”を政策実施前の状況を模擬した環境に放置し、しかる後に擬似的な政策をその模擬した環境にて実施して、その“思考モデル”の擬似的な挙動を分析者が「観測」するのである。いわゆる、疑似現実を創出する「シミュレーション」によって政策評価を行うのである。この方法ならば、分析者が未知の状況において未知の政策が実施されるような場合でも、“思考モデル”が判断し、行動を起こすのであるから、(※3)のデータは不要となるのである。

しかし、本稿 2.(1)で述べた様に、完全な現象記述は不可能なのであり、いかなるシミュレーションモデルを開発しようとも、ここに述べたような理想的な現象記述が可能とはならない。やはり、様々な方法論を具体的に一つずつ検討していくしかないのである。

まず、“離散選択モデル”の枠組みの中で、“思考モデル”の開発を目指すことを考えた場合には、少なくとも本節 3.(4b)で述べた「実行可能性」を明確に意識し、それを選好特性と区別することが不可欠であろう。すなわち、便益計測と同様の問題が、需要解析にも生じるのである。この認識から、実行可能性を考慮した“離散選択モデル”がいくつか提案されている^{4), 28)}が、ある選択行動における実行可能性を規定する客観的制約条件を特定化するためには、その選択行動だけでなくその選択行動に関連する他の選択行動も同時に視野に納めることが重要である。例えば、ある活動の終了時刻はその活動に隣接する後続活動の開始時刻である；ある活動に時間(所得)を使い過ぎればそれ以外の活動の時間(所得)が減少する；一旦自動車で外出すればほとんどの場合はトリップチェーン上で自動車を利用し続ける、等、いくらでも、行動間の自明な相互依存関係を挙げることができる。したがって、ある選択行動の実行可能性を考慮する場合、その選択行動を含むその他の活動を視野に入れることが必要となるのである。

このような、選択行動間の自明の関係性を考慮する必要性から提案されたアプローチが Activity Based アプローチである。このアプローチは、交通需要は活動の派生需要である、という交通需要解析のために極めて重要な自明の関係性を前提としたものであり、一日の生活全般をモデル化しようと試みるものである。

このアプローチに基づいて提案されてきた行動記述モ

デルとして、Hamm¹⁷⁾らのモデルや Ben-Akiva らのモデル^{36), 37)}あるいは STARCHILD^{38), 39)}が挙げられるが、考慮している選択行動と対象個人の範囲、ならびに、考慮している制約条件のいずれもの観点から広範、かつ、一般的なモデルとして、3.(3)でも触れた PCATS^{27), 40)}、および、PCATS-RUM^{24), 25)}が挙げられる。これらの両モデルでは、プリズム制約と交通機関に関する種々の制約、および、選択肢の認知確率を考慮した上で、活動時間、内容、場所、交通機関、活動数と活動の順序、といった種々の変数の選択を考慮して個人の生活行動軌跡の再現を図るシミュレータである。いずれも、“離散選択モデル”をサブモデルとして持つものであるが、PCATS が逐次的意思決定過程を仮定した上で複数の“離散選択モデル”を統合したものである一方で、PCATS-RUM は、全ての選択要素の同時選択を仮定した唯一の“離散選択モデル”をサブモデルとしてもつ、という点が大きく異なるものである。

その他、費用制約や自由時間制約の下での長期間の交通行動頻度を、交通行動以外の活動を考慮することで予測する“離散選択モデル”^{14), 15), 16)}や、行動に大きな制限を加える他者との依存関係を内包した“離散選択モデル”^{41), 42), 43), 44), 13)}も提案されてきている。

f) 意思決定の直接的なモデル化の努力(その 2: “離散選択モデル”からの脱却)

以上、“離散選択モデル”の枠組みの中で、的確な需要解析を行うためには実行可能性を明示的に考慮しなければならない、という認識のもと開発されてきた選択肢集合の不確実性を考慮した行動モデルや Activity Based モデル等について述べた。もちろん、これらのモデルに関しても調査上、あるいは、モデル推定上の様々な課題が存在しているのであるが、このアプローチで実行可能性と選好特性の双方を考慮することが可能であり、その点において、政策が交通需要に及ぼす効果、および、便益計測も適切に行える可能性が十分にあるものと期待される。

しかし、これらのモデルでも、

「政策の実施によって各個人の選好特性が変化する」という局面に対処することはできない。

個人の選好特性は、変化するものである。長期的な観点から過去の各時代における種々の社会的状態を比較すれば、その変化は自明であると言えよう。そして、この歴史における選好特性の変化に、人々の日常生活に深く関わる交通計画が関与している可能性は、否定できない。特に、長期需要予測を行う場合には、選好特性の変化は十分に予想される現実的な問題と言えるであろう。

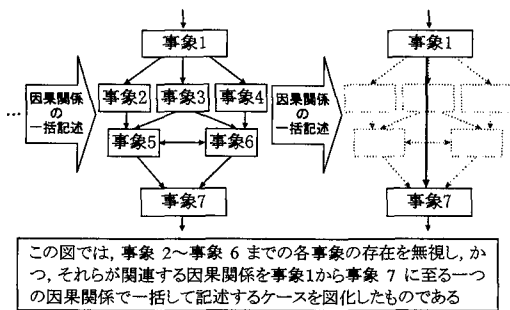


図 2 因果関係の一括記述のイメージ

このように考えると、認識の過誤や経験の蓄積や記憶、およびそれらの意識への影響、あるいは、選択肢認知の決定論的な理由、等の「離散選択モデル」が不問に付し、ブラックボックスとして取り扱ってきた種々の要素を考慮することが、交通計画にとって必要とされているのかも知れない。実際、心理学やマーケティングサイエンスの分野では、このような事象を考慮した行動モデルが提案されており、交通計画においてもこれらの考え方を援用しつつ、「離散選択モデル」とは異なる枠組みの行動モデル^{45), 46)}、あるいは、経験の蓄積や記憶、あるいは、それに応じた態度の変遷等も包含した行動モデルの開発^{47), 48), 49), 50), 51)}も進められている。これらの研究が、交通計画の中でどのような有効性を持ちうるのか、そしてその一方でどのような限界を持つのか、さらなる研究努力を積み重ねていく必要があるものと考えられる。

4. 個人の行動の集積としての交通現象の記述

ここでは、前章での個人行動記述に関する議論を踏まえつつ、地区間の交通流動や交通ネットワーク上の交通流動といった集計的交通現象の記述に関して述べる。以下、本稿では、交通計画にとって、どのような集計的交通現象記述が可能であり、かつ、必要とされているのか、という点に関して述べる。

(1) 費用制約による因果関係の一括記述の必要性

集計的交通現象は、非常に多くの側面から構成される。交通計画を検討するにあたって想定される集計的交通現象を構成する個人数は、少なくとも数万人は存在するであろうし、彼らの一人一人の交通行動の背景には、一人一人の好みがあり、交通を誘発する一日の生活パターンがあり、家族や友人を含む人的ネットワークがあり、そして、記憶や経験の蓄積がある。この様に考えた場合、集計的交通現象内には、無数の因果関係が存在し、それらが複

雑に絡み合った複雑な因果連鎖網を形成しているのが分かる。

さて、このような高度に複雑な因果連鎖網を内包する現象の記述を目指す場合、それらを逐一記述して疑似現実を構成することは、極めて困難であるものと考えられる。なぜなら、図 1 に示した様に研究者には費用的制約が必ず課せられているからである。

このように考えると、費用的制約のもとで研究活動をする現実の研究者にとっては、分析のための所要費用がどの程度のものかという点も、本稿 2.(1) で述べた種々の現象記述上の本質的な限界性に関する問題と同等に重要な問題であることが分かる。

この観点から考えると、より小さな計算費用で計画上重要な現象の挙動を的確に再現しうる理論モデルほど、優秀な概念装置であると見なすことができる。この考え方に基づいて頻繁に行われてきた計算費用削減方法が、実現象内の因果連鎖を細かい単位で詳細に再現した上で対象とする現象全体の因果構造を再現するのではなく、ある程度大雑把な単位で因果連鎖を再現することで対象とする現象全体の因果構造を再現する、という方法である。以下、これを「因果関係の一括記述」と呼称し、図 2 に、そのイメージを図化したものを示す。

(2) 集計的発生・分布・分担交通量モデルの生活行動シミュレータによる代替可能性

交通計画における代表的な因果関係の一括記述は個人の行動とそれに関する因果関係を考慮しないというものであり、その方法に基づいて、四段階推計法等における各種の集計的な交通需要予測モデル(集計モデル)が構築されてきた。しかし、少なくとも、発生交通量モデル、分布交通量モデル、分担交通量モデル等の集計モデルは、従来において開発されてきた種々の非集計交通行動モデル⁵²⁾に代替可能であるものと考えられる。これは、非集計モデルは、集計値に適合させるためのパラメータ補正という手順を踏襲することで、集計モデルを特殊ケースとして包括することができるからである⁸⁾。そして、予測のための計算時間も、現在の計算機の能力においては十分に問題のない程度に小さくなっている。したがって、予測精度の観点からも、計算費用の観点からも、個々人の行動を考慮しない、という意味における因果関係の一括記述は不要となっているものと考えられる。

しかしながら、非集計型の各種交通量モデルも、因果関係の一括記述を行っているのも事実である。それは、

3.(4)e)にも述べた交通行動以外の活動との自明な関係性、すなわち、短期的には一日の他の活動、長期的には所得に基づく消費活動等との自明な関係性も含めた因果関係である。それらの因果関係を考慮した行動モデルとして挙げられるのが、3.(4)e)において紹介したような、Ben-Akivaらのモデル³⁷⁾や、STARCHILD^{38), 39)}、あるいは、PCATS²⁷⁾やPCATS-RUM^{24), 25)}等のActivity Basedモデル、あるいは他者との依存関係を考慮したモデル^{41), 43), 44)}、長期間の非日常的な交通行動頻度を所得制約や自由時間制約の下で予測する行動モデル^{14), 15), 16), 53), 54)}等である。

これらのうち、交通計画のための基礎情報とも言える発生、分布、分担交通量の解析が可能であり、かつ動的な観点を持つモデルとして、生活行動シミュレーションモデルPCATS、ならびに、PCATS-RUMが挙げられる。ここでは、PCATSとPCATS-RUMを取り上げ、交通計画需要解析へのこれらのモデルの適用可能性について検討を加えることとする。

a) 計算費用

モデル適用における重要な問題の一つが、一人一人の生活行動における個々の活動と移動の形態を逐一再現するというレベルまでに因果関係の一括化を緩和したPCATSやPCATS-RUMが、分析者の計算費用制約下で実用可能であるかどうか、という点である。

全ての選択行動の同時選択を仮定しているPCATS-RUMに関しては、現在の計算機能力で、実務計算に適用することが容易であると言いき難いものの⁹⁾、逐次的意思決定過程を仮定しているPCATSについては、十分に実用可能な程度に計算速度が小さいものであることが確認されている。PCATSを適用してPTデータで観測されている京都市内にトリップエンドを1つでも持つ約3万サンプルの一日の生活行動を再現する計算が、大型計算機を利用して約20分であった⁵⁵⁾。現在、さらなる計算の高速化を図っており、京都市程度の都市であれば十分に発生、分布、分担交通量の動的解析、ならびに、個人々の生活パターンや生活時間利用に関する分析が可能である。

b) 現況再現性

PCATSやPCATS-RUM等のActivity-Basedモデルが集計モデルや非集計モデルシステム等の従来の需要解析モデルにおける因果関係の一括記述を緩和したモデルであるという点から、概念装置としては前者は後者を包含するモデルであると言えるものの、需要解析上問題となるのが、PCATSやPCATS-RUMが、従来の需要解析モデルと同様に、現状において観測されている種々の交通

状態を再現可能であるかどうか、という点である。

この点については、先述の京都市を対象としたテスト計算では現状を完全に再現するところまでは至っていないものの、PCATSのサブモデルが非集計モデルシステムと同様の"離散選択モデル"であることから、非集計モデルにおけるパラメータ補正の技術が、そのままPCATSにも適用可能である。現在、PCATSを用いた大阪市における2020年における将来需要解析の作業を進めており、その中で、現状で観測されている集計指標を再現することを前提とした分析を行う予定としている。この作業が成功すれば、非集計モデルシステムと同様に、従来の四段階推計法を代替する需要解析ツールとして生活行動シミュレータを使用しても問題は生じないということになるものと期待される。

c) 算定される政策感度の妥当性

そして最後の問題点が、政策評価ツールとしての生活行動シミュレータが妥当な政策感度を算定しうるか、という点である。3.(4)e)、f)で議論したように、政策感度分析の妥当性は、生活行動シミュレータが仮定する意思決定過程が実際の人間の意思決定過程と比較してどの程度妥当なものであるか、という点に依存するものであるが、残念ながら、現状ではこの点について十分な検討はなされていない。しかしながら、少なくとも従来における集計モデルや、Trip Basedの非集計モデルに比べれば、より人間の意思決定過程に忠実であると言えるであろう¹⁰⁾。そのため、シミュレーションモデル内のサブモデルが、Trip Basedの非集計モデルと同様の方法で実証データに適合しているという前提の上では、少なくとも、従来のモデルよりもシミュレーションモデルの方が妥当な政策感度を算定しうる可能性は十分に高いものと期待される。

しかし現状ではPCATS、PCATS-RUM、SCHEDULER、AMOS^{40), 56)}、SMASH等の様々な種類の生活行動シミュレータが個別に開発されているに過ぎないため、今後は、予測結果についての集計的観点に立ったモデル間比較から、一人一人の詳細な意思決定過程についての極めて微細なデータ⁵⁷⁾に基づいたモデル間比較に至るまで、様々なレベルでそれらのモデルを比較することが必要であろう。当然ながら、一人一人の詳細な意思決定過程といった、一見交通計画が対象とするマクロな交通現象からは非常に距離のある現象を対象とした研究を行うにあたっては、その研究が交通計画にどのような貢献を果たすのかという筋書きを、常に意識化しておくことが重要であるものと考えている。

(3) 交通量配分における非集計行動モデルの適用のための交通流シミュレータ

さて、本章(2)においては、本章(1)で述べた「因果関係の一括記述の緩和」という観点から、3.で述べた行動モデルが発生、分布、分担交通量予測のそれぞれの局面においてどのような形で適用しうるかについて述べた。ここでは、交通ネットワーク上の配分交通量を算定するにあたって、因果関係の一括記述の緩和の観点から一人一人の行動を考慮した方法論について述べる。

a) 利用者均衡配分の動学化について

従来における集計的需要解析体系の中で、先述の発生、分布、分担交通量を予測する際には、集計的交通量と政策変数との間の関係を統計的に記述するという方法が多くとられていたが、道路網上の配分交通量についてはそれらとは異なった方法論が用いられてきた。それは、運転者の完全情報仮説が成立し、道路上の交通状態はいわゆる利用者均衡状態に一致しているであろう、という仮定に基づくものであった⁵⁸⁾。

この仮定に基づいた利用者均衡配分は、定常的な交通流を前提とするケースにおいては、様々な理論的發展が図られるとともに、交通量算定のための解法に関して研究が進み、現実の種々の道路網に対して実用計算可能な方法論となっている。また、非定常な交通流を仮定する場合には一日合計(あるいは平均)のリンク交通量からリンクパフォーマンス関数を用いて算定されるリンク所要時間の意味が希薄となる⁵⁸⁾ため、この問題を回避するために均衡配分の動学化に関する研究が進められている。しかし、現時点では、一般的な道路ネットワークにおいて動的均衡配分手法で配分計算をすることは困難であると言われている⁵⁹⁾。なお、時間を離散的に表現した上で擬似的に動学化を図る時間常別均衡配分手法も開発されており⁶⁰⁾、この手法では、一般的な道路ネットワークにも対応した配分計算を行うことができる。

b) 利用者均衡状態の成立について

一方、現実の道路網上で均衡状態が成立するか否かについても、いくつか分析がなされている。

個々の運転者の経験の蓄積と経路選択行動を考慮した day-to-day の仮想交通システムシミュレーション解析を行った結果、必ずしも利用者均衡状態が達成される訳ではない、という結果が示されている⁶¹⁾。また、態度の変遷や、運転者の異質性、ならびに運転者の限界合理性を明確に仮定した day-to-day の仮想交通シミュレーション解析の

結果からは、必ずしも利用者均衡状態が達成されないということに加えて、逆に完全情報仮説が成立していなくても「異なった思いこみを持つ複数のグループの存在」によって利用者均衡状態が達成されることも示されている^{49), 50)}。これらの結果は仮想的な計算結果に過ぎず、均衡成立に関する確たる議論をするために十分な知見が得られているとは言い難いが、少なくとも、均衡状態が成立していない可能性も存在することが示唆されているものと考えられる。

ただし、ここでの議論は、交通需要解析という文脈の中においてのみの議論であり、配分交通に関する一般的な性質を議論するための方法論、あるいは、交通制御等を意識した広義の規範的状态に関する解析手法としては、均衡配分手法が有効な方法論であることは間違いないものと考えられる。

c) 交通量配分手法としての交通流シミュレーションモデル

需要解析のための均衡配分手法の動学化の必要性和動的均衡配分の計算上の限界を一つの動機として、均衡状態の成立に関する議論を留保する形で新たな配分手法として提案されてきたのが大規模道路網上の動的交通流シミュレーションモデルある。

現在までに、内外を問わず交通需要解析を主たる目的とした様々な動的な交通流シミュレーションモデルが提案されており、BOX モデル^{62), 63)}、SOUND モデル⁶⁴⁾、AVENUE モデル⁶⁵⁾、森津らのモデル⁶⁶⁾、井上のモデル⁶⁷⁾などが我が国で開発されてきたモデル例として挙げられる。これらのシミュレーションモデルは、交通の流動を再現するサブモデルと、運転者の経路選択行動を再現するサブモデルとで構成されるものであり、交通流動の再現方法や経路選択行動の再現方法に応じていくつかの種類に分類される。交通流動の再現方法としては、追従理論、あるいは、KQ 曲線や KV 曲線を用いる方法などが、経路選択に関しては経路所要時間を確定値、あるいは、確率変数として取り扱った上で、時間最短経路選択を仮定する、といった方法が採用されている。なお、シミュレーションモデルを開発するにあたっていずれの方法を採用するかは、どの程度の計算機システムがあり、どの程度の詳細さと範囲で道路網を再現し、そして、どのような視点で計算結果を利用するのか、といった点に依存する。

また、構築したシミュレーションモデルを適用する際においても、個々のリンクに関する特性関数や交差点の設定など、設定すべきパラメータは非常に多い。前章で紹介した生活行動シミュレーションにも多くのパラメータが内包さ

れているが、それらパラメータを特定するための調査手法、分析手法、あるいは、補正手法がある程度確立している一方で、交通流シミュレーションモデルについては各パラメータを決定するための整合的方法論は存在しない。この問題意識から、従来においても観測交通量と整合させるための方法的な検討がなされてきており⁶⁸⁾、今後は、システマティックな調整方法の提案も含めて、このような検討を重ねることが必要であるものと考えられる。

d) 経路選択モデルの交通流シミュレーションモデルへの導入

交通流シミュレーションを政策評価に適用し、その結果算定される政策感度の妥当性を確保するためには、交通流シミュレーションモデルに含まれる経路選択モデルについて十分な検討を加えることが必要である。先述のように、現状では最短所要時間経路選択を仮定し、場合によっては認知所要時間という概念を導入して行動を再現するという方法が多く採用されているが、それらの方法が交通需要解析上、適切か否かについては不明な点が多い。

本稿 3.(4)でも述べたように、個人の選択に影響を及ぼすような政策を評価する場合、種々の行動データを採取した上で、3.(4)e)に述べた様に個人の意思決定を直接的にモデル化する、あるいは、3.(4)c)で述べたように行動変化そのものについての離散選択モデルを構築する、等が必要であるものと考えられる。

前者 3.(4)e)に述べたアプローチで行動モデルを構築するためには、所要時間の不確実性を考慮した選択モデルを構築することが必要であるものと考えられる。なぜなら、主要な選択要因と考えられる所要時間が、運転者にとっては不確実なものだからである。また、不確実性に対する態度も様々な条件で異なったものとなる。さらに、不確実性下の選択行動を再現するためには、認知所要時間分布の確率構造に関しても何らかの実証的な知見が必要であろう。さらに、経路選択肢が重複することから、誤差項の共分散を考慮することが重要な課題でもある。

このように、経路選択モデルを構築するためには様々な課題が存在しているのであり、それ故、機関選択や目的地選択といった行動に比べて、実証データに基づいた実用可能な行動モデルの提案が遅れているものと思われる。ただし、これらの課題点に対処するために、不確実性下の経路選択行動モデルが提案されたり⁶⁹⁾、あるいは、面接調査を実施することで認知所要時間分布の確率構造を詳細に分析し、その一方で、不確実性に対する態度と誤差共分散構造との異質性を考慮した経路選択行動が構築され

ている^{3), 70)}。それに加えて、情報や運転者の経験の蓄積と認知の形成に関する実証分析も行われており^{71), 72)}、経路選択行動に関しても様々な知見が蓄積されつつある。

一方、3.(4)c)に述べたアプローチによる行動モデルの構築に関しては、近い将来に大量データが ITS によって採取できる可能性があり、それを前提とした方法的な研究が必要であろう。そして、このアプローチと、先述の選択モデルによるアプローチの双方を補完的に適用していくことが、今後望まれているものと考えられる。

(5) シミュレーションアプローチによる交通需要解析の今日的意義

以上本章では、交通需要解析という文脈の中で、個人の行動の集積として現出する交通現象を記述する方法論に関して述べた。その中で、発生、分布、分担交通量予測に関しては、政策感度分析の妥当性を確保するためには意思決定過程そのものを記述することが必要であり、そのためには、生活行動シミュレーションモデルが有効となることを述べた。一方、交通量配分に関しては、交通流の非正常性を考えることの必要性と、政策感度分析の妥当性を確保するための経路選択行動の記述の必要性、という2つの動機から、交通流シミュレーションが有効となる場合があることを述べた。

この様に、本稿では、政策感度分析の妥当性を確保するためには、因果関係の一括記述を緩和せざるを得ない場合が少なからず存在し、そのためには必然的にシミュレーション手法が必要とされる、という流れで議論を進めてきたが、近年の社会的、行政的要請の観点からも、シミュレーションモデル自体の需要は飛躍的に向上しているものと考えられる。

交通政策としての TDM の必要性の向上や、情報技術の進歩による ITS の導入、そして、地球環境問題の関心の高まりといった背景のもと、少なくとも現時点では、シミュレーションモデルしか評価しえない政策や指標が増えつつあるのである。TDM は個人の生活に直接的に影響を及ぼす傾向が強い政策であり、したがって、個人の生活行動を視野に入れた行動モデルが必要である。そして、生活行動自体が時間軸にそって実行されるものである以上、必然的に生活行動モデルがシミュレーションモデルの形態をとらざるを得なくなる。また、ITS は少なくとも動的に変化する交通流動に影響を及ぼすものであると同時に、個々人の政策対応の異質性が大きなものとなりがちである。また、環境問題を交通計画の中で検討するためには、

個々の車両の速度を評価することが最低限必要である。したがって、現実の都市の道路網における交通の流動を時間軸にそって再現する交通流シミュレーションモデルが必然的に必要とされるのである。

このような認識から、2.(2)b)に述べた政策効果に関する一般的な知見の抽出、あるいは、2.(2)c)で述べた政策効果の定量的な把握を目的として、様々な局面でシミュレーションモデルが適用されてきている。

例えば、ITSの導入効果に関しては、仮想的な道路網を対象としたシミュレーション計算によって、車載式情報システムの普及率と道路網の混雑状況の関係や、初期的な混雑状況とシステム普及効果との関係などが議論されている⁶³⁾。また、TDM政策に関しては、公共交通網と道路交通網の相互作用を考慮した上で動的に両者の配分計算を行システムが京都市における共通運賃制度導入政策の評価に⁷³⁾、また、ワシントン D.C.においては AMOS⁵⁶⁾を用いた混雑料金等の TDM 評価シミュレーションが行われている。

さらに、生活行動シミュレータ PCATS と簡便な動的交通流解析ツールを組み合わせた需要解析シミュレーションシステムが、京都市における自動車交通からの二酸化炭素排出量の削減を図るための交通政策の評価に適用されている⁵⁵⁾。このシミュレーションシステムは、従来の四段階推計法に代替することを目指して構築されたものであり、生活行動と動的な交通流、ならびに、TDM や種々の環境政策を評価しうる点が、需要解析ツールとしての大きな特徴である。この京都の事例では、混雑税徴収、環状型の LRT の復活、そして、都心部における流入規制という3つの政策の二酸化炭素排出量削減効果を分析し、やはり、流入規制が一番大きな削減効果が期待できるとの可能性を示唆している。

現在、3.(4)d)で触れたシミュレーションシステムを用いて将来時点での世帯を生成した上で、この需要解析システムを大阪市の将来交通体系の検討に適用することを、また、公共交通網と道路交通網の双方における動的配分システム⁷³⁾と目的地選択を連続的に表現したサブモデルを導入した PCATS を組み合わせた政策評価手法を京都市の TDM 政策の評価に適用することを、そして、豊田市においても上述のシステムを用いて TDM 政策等の評価を行うことを検討中である。

5. おわりに

以上、本稿では、交通政策評価を目的とした個人の行

動の記述方法や、それを前提とした交通需要解析手法に関して述べた。その中で、妥当な政策感度分析を行うためにも、TDM や ITS あるいは環境を考慮した政策を評価するためにも、シミュレーションアプローチの必要性が向上しつつあることを述べた。

種々の政策的要請に対応可能なのはシミュレーションモデルが様々な事象や因果関係を考慮していることが直接的な原因であるが、それ故に、シミュレーションを政策評価に適用する際のいくつかの固有の問題が存在しているのも事実である。

(1) 適用計算のための作業的課題

モデルを実際の政策評価に適用するにあたっては；

- 1) 導入するルールや仮定の選定とプログラミング、
- 2) パラメータ設定・推定のためのデータの収集、
- 3) 各パラメータの設定・推定、
- 4) 必要な外生データの加工、
- 5) シミュレーションの検証とパラメータの調整、

といった様々な段階を踏まねばならない。これらのうち、実際に実用化する場合においては、1)については基本的に固定するものと思われるが、少なくとも2)~5)の作業を行うことが不可欠である。特に、政策評価の信頼性を確保するためには、現況再現が不可欠であり、そのためにも、5)の作業が極めて重要である。この作業を通じて、3)において十分に抽出できなかった対象地域の様々な固有性をモデルに吸収させていくのである。ここで、離散選択モデルを内包するシミュレーションモデルの場合にはパラメータ補正の技術を適用することで現況再現の作業をより効率的に行えるものと考えられるものの、その場合であっても、詳細な現象を取り扱うシミュレーションほど出力する数値が多く、したがって、調整作業がより複雑となる。本文においても指摘したように、この点をいかに効率化するかが、今後重要な課題であろう。

いずれにしても、これらの作業はある程度の時間と費用を伴うものであることは不可避であろう。しかし、これらの作業は、その地域の固有性をシミュレーションモデルに吸収させる(すなわち、「教え込む」)作業であると考えられるなら、致し方ないものとも言えよう。

この様に考えると、地域の固有性を適切に反映可能であるか、という点が、シミュレーションモデルが具備すべき重要な能力の一つであるとも言えよう。この点からすると、多くのパラメータを含むことができる"離散選択モデル"、ならびに、それをサブモデルとして含む PCATS、PCATS-

RUMの有効性は高いものと考えられる。

(2) 微小擾乱項の増幅の可能性

シミュレーションモデルでは、シミュレーション計算の上でサブモデルが繰り返し用いられるため、わずかなサブモデルの推計誤差、あるいは、わずかなデータ入力誤差が増幅され、出力結果が大きく異なる可能性が危惧される。この問題を回避するためには、データや各サブモデルの同定を慎重に行うことは当然として、繰り返し計算終了後の算定結果とそれに対応する観測データとを整合させるような補正、すなわち、前項5)に述べたシミュレーションシステム全体としての整合性を確保するための補正が不可欠であるものと考えられる。

なお、この点は、2.(2)c)の政策効果分析にとっては問題点であるが、2.(2)b)に述べたシステムの挙動を分析することを目的とする場合には、逆にシミュレーションモデルの一つの利点とも解釈できる。なぜなら、実現象においてこのような増幅がしばしば存在し、かつ、わずかな擾乱が増幅してシステムの挙動に多大な影響を及ぼすケースが存在することも考えられるからであり⁵⁰⁾、その点を考慮した上でシステムの挙動についての一般的な知見を抽出するためには、シミュレーションモデル以外の方法論は考えられないからである。この視点にたったシミュレーションを行うことで、現象内のいくつかの指標間の挙動の間に新たな関係性や法則性が検出されるかも知れない。

(3) シミュレーション結果に関する議論と解釈

均衡解析などの様に、複数のマクロな交通状態変数が満たすべき関係式が想定される場合には、条件が一定であるならば同一の分析結果が得られることが保証される。また、政策効果をその政策変数の関数として解析的に定式化することも可能である。そして、特定の理論的共通認識があれば、それらの関係を用いて政策に関する議論を成立させることも容易である。ところが、シミュレーションモデルの場合には、計算結果が単発的な数字としてのみ出力されるのみであり、かつ、出力結果に関する直接的な理論的裏付けがないために、特定の理論的共通認識を土台にした計算結果に関する議論を成立させることが困難である。したがって、計算結果の背景にある種々の前提と仮定、膨大な演算等の全てを無視し、計算結果のみの議論に陥る危険性は少なくない。

しかし、マクロな交通状態変数が満たすべき関係式の自明性が完璧できない限りは、その代替的手法としてのシミュレーション計算の意義を否定することはできない。特に、その自明性が曖昧であればあるほど、シミュレーション計算の意義はより大きなものとなる。

この様に考えた場合、シミュレーション手法の限界性と、シミュレーション以外の現象記述方法の限界性の双方を十分に認識した上で、シミュレーション結果の取り扱い方そのものについてのコンセンサスを形成することが必要となるものと考えられる。そのためには、検証と調整を繰り返してシミュレーションモデルにその地域の固有性を「教え込み」、シミュレーションモデル自体を何らかの形で地域に固定させて検証も含めた適用事例を重ねることで、中長期的な観点から地域ごとにシミュレーション結果の認識に関するコンセンサスを形成していく、ということが必要なのかも知れない。

それと同時に、シミュレーション結果に基づいた議論をする際の共通認識を形成するためにも、様々な前提の下で繰り返しシミュレーション計算を行うことで、シミュレーションの解の性質を、それが対応する実現象における各指標との関係のもとで調べていくことも、今後の重要な課題である。

謝辞

まず、経験の浅い著者に、土木計画学研究発表会において招待論文という機会を与えて頂いた土木計画学研究小委員会に心から感謝いたします。

今回の招待論文の機会の直接の理由となりました土木学会論文奨励賞を頂戴した論文「個人の生活行動と動的な交通流を考慮した交通需要予測手法に関する基礎的研究」は、飯田恭敬教授(京都大学工学部)、北村隆一教授(京都大学工学部)、内田敬助教授(東北大学工学部)との共著論文であり、各先生なくしてはこの論文は生まれなかったに違いありません。

飯田恭敬教授には、筆者がはじめて土木計画学というものに触れた時から、動的道路交通シミュレーションモデルという研究を通じて、交通計画のための現象記述の重要性、ならびに、シミュレーション手法による現象記述方法に関して何度も繰り返しご指導頂きました。この場を借りまして、改めて深謝の意を表します。

北村隆一教授には、個人の交通行動を含む生活行動全般を交通計画のために記述する方法論、とりわけ、統計的、理論的な個人行動に関する深い理解を下地としたシミュレーションによる行動記述方法を徹底的にご教授いただきました。心より、深く感謝いたします。

また、内田敬助教授には、現象記述に関する様々な知識について適切なご教示を頂くと共に、数え切れないくらいの議論を通

じて筆者の理解を深めて頂きました。心より感謝いたします。

最後に、様々な勉強会や学会などでご議論頂いた先生方、そして、様々な形で幾度も議論して頂いた飯田研究室、北村研究室の関係諸氏に、心から感謝の意を表します。

注

- [1] 当然ながら、これら3つの目的はそれぞれが独立したものではなく、1つの分析が複数の目的を同時に持つことが、あるいは、1つの目的を達成するためには、その他の目的の下での分析が必要とされる、等も考えられる。
- [2] 選択肢という述語は離散的なものを喚起させるものと思われるが、ここでは、連続的な選択肢、あるいは、離散変数と連続変数の組み合わせとしての選択肢も含めた概念として選択肢という述語を用いている。
- [3] 従来の効用理論を批判する際に、限界合理性と無限合理性という概念が用いられることが頻繁にあるが⁷⁴⁾、効用理論の本質的な理念の中に、限界合理性の理念が既に含まれているものと考えられる。ただし、本文でも論述しているような、「選好特性に関する議論が中心になりがちである」という風潮そのものを批判するにあたって、限界合理性という概念が効力を発揮するものであると思われる。本稿における議論も、この限界合理性という概念を用いて行われた批判方式と基本的に同一の立場をとっている。
- [4] 事物の認識形態は文化的背景に大きく依存するものであり(例えば、虹の色が文化によっては5色、3色と言われる)、したがって、選択肢の認知を単なる情報量にのみ依存するものと考えすることはできない。ただし、このような広義の認知を定義すると、選好特性と実行可能性との間には相互依存関係が存在することが分かる。なぜなら、長期的な視点から考えた場合、人間は自らの選好特性にとって都合の良い形に認識形態を徐々に変化させていく、という潜在意識下の努力をするものだからである。
- [5] このように解釈した場合、ロジットモデルやプロビットモデル等が「個人の行動原理を考え、個人の意思決定そのものを再現した行動モデル」であり、重回帰モデルやLISRELモデル等が「個人の行動原理を考えずに、意思決定の結果を記述するに過ぎない現象記述モデルである」とは単純には言えなくなる。すなわち、いずれのモデルも、単なる変数間の統計的関係を記述する統計モデルに過ぎないのである。ただし、行動原理を考慮したモデルか否かの判断は、いずれの統計モデルを用いようとも、統計学的に特定された関数が、どのような形で理論解釈が可能であるか、という点にのみ依存するものであると考えられる。この意味において、ロジットモデルやプロビットモデルにおいて推定された“効用関数”を経済学的な効用関数として解釈できる可能性が存在するのである。
- [6] 頻繁に用いられる方法が、行動データからモデルを推計した後に、集計値に合致させるために効用関数に補正を加える、という方法である。この方法は、パラメータ推計後に、推計したパラメータを固定した上で一部のパラメータを自由に調整することで集計データに適合させる、という段階推計をする、というものである。また、その二段階推計を同時化する方法として、重み付き最尤推計法を用いるという方法も考えられる。いずれにしても、適合させるべき情報が、需要解析時点で得られていれば、統計学的にその情報に完全に適合させることは可能なのである。
- [7] 厳密には、個人の行動は過去の自らの行動と無関係ではあり得ず、したがって、(※2)の条件を完全に満たしうる状況はあり得ない。しかし、その過去の行動の影響が、誤差として見なし得る程度に十分小さければ、“離散選択モデル”を需要解析に適用することの有効性は高い。

- [8] 集計モデルの多くは、観測されている集計指標間の統計的関係を用いて将来の集計指標を予測しようとするものである。このモデルが需要解析モデルとして活用可能であったのは、本文3.(4)c)に述べた「少なくとも現状をモデルで再現できる」という条件を満たしているからである。したがって、集計モデルに代替する需要解析モデルを提案するためには、政策変数が外生変数として入っているという前提の下で、この条件さえ満たす、ということが必要とされる。
- [9] 現在、一個人の5時間の生活パターンを再現するのに、大型計算機で約20秒ほどの計算時間が必要である。仮に、この速度で3万サンプルを計算したとすると、約7日の計算時間が必要である。現在、計算速度の高速化を検討中であり、かつ、将来的な計算機の能力向上を考えると、近い将来に実用可能となるものと期待される。
- [10] 図1にて示したように、人間の行動を完全に記述することなどできないが、ここでは因果関係の一括記述がどのようになされているのか、という点から行動モデル間の包括関係(いずれが、特殊ケースとして一方のモデルに包括されるか)を考え、それによっていずれがより忠実に個人の意思決定を記述しているか、という考え方で議論を進めている。なお、その際には「一括記述の緩和」によって考慮される因果関係が「自明」である、という前提に立っている。

参考文献

- 1) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.; *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 56-57, 1985.
- 2) 多々納裕一, 小林深司, 喜多秀行: 危険回避選好を考慮した2段階離散選択モデルに関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 13, pp. 553-562, 1996.
- 3) 藤井 聡, 守田武史, 北村隆一, 杉山守久: 不確実性に対する態度の差異を考慮した需要予測のための経路選択モデルについての実証的研究, 土木計画学研究・講演集, 印刷中-, 1998.
- 4) 森川高行, 竹内博史, 加古裕二郎; 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp117-124, 1991.
- 5) 佐々木邦明, 森川高行, 杉本 直: 潜在セグメントを考慮した動的な休日買物目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 397-404, 1995.
- 6) Fujii, S., Kitamura, R.: Analysis of Personal Action Space Using a Model System with Multiple Choice Structures, In D. Hensher, J. King and T. Oum (eds), *World Transport Research, Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol 1, Travel Behavior*, Elsevier Science, Oxford, pp. 165-180, 1996.
- 7) 西井和夫, 北村隆一, 近藤勝直 他: 観測されていない異質性を考慮した繰り返しデータに関するパラメータ推定法: Mass Point Model and Mixing Distribution Model, 土木学会論文集, No. 506/IV-26, pp. 25-33, 1995.
- 8) 屋井鉄雄, 中川隆広: 構造化プロビットモデルの発展性, 土木計画学研究・論文集, No. 13, pp. 563-570, 1996.
- 9) Becker, G.: A Theory of the Allocation of Time, *Economic Journal*, 75, pp. 493-517, 1965.
- 10) Kitamura, R.: A model of daily time allocation to discretionary out-of-home activities and trips, *Transportation Research*, 18B(3), pp. 255-266, 1984.
- 11) Kitamura, R., Yamamoto, T., Fujii, S. and Sampath, S.: A discrete-continuous analysis of time allocation to two types of discretionary activities which accounts for unobserved heterogeneity. In J.-B. Lesort (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp. 431-453, 1996.

- 12) 小林深司, 喜多秀行, 後藤忠博: ランダム限界効用に基づく滞在時間モデルに関する理論的研究, 土木学会論文集, No. 576/IV-37, pp. 43-54, 1997.
- 13) 岸澤桂子, 藤井 聡, 北村隆一: ダイアリーデータを用いた交通計画のための同伴活動についてのモデル分析, 土木計画学研究・講演集, No. 21, 印刷中-1997.
- 14) 藤井 聡, 池田泰敏, 北村隆一: ランダム効用理論に基づく所得制約下での国内・海外旅行行動の連続・離散選択モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 15, 印刷中-, 1998.
- 15) 藤井 聡, 北村隆一, 熊田喜亮: 所得制約・自由時間制約下での消費行動のモデル化: 新しい交通需要解析手法に関する一考察, 土木学会論文集, 投稿中-, 1998.
- 16) 熊田喜亮, 藤井 聡, 北村隆一: 個人の費用と時間の消費行動を考慮した生活圏の離散・連続モデル分析, 土木学会第52年回次学術講演会講演概要集第4部, pp. 142-143, 1997.
- 17) Hamed, M.M and F.L. Mannering: Modeling Travelers' Postwork Activity Involvement: Toward A New Methodology, *Transportation Science*, Vol. 27, No. 4, pp. 381-394, 1993.
- 18) 室町泰徳: 離散連続モデルを利用した買い物トリップ発生に関する基礎的分析, 土木計画学研究・論文集, No. 10, pp. 47-54, 1992.
- 19) 藤井 聡・北村隆一・瀬戸公平: 生活行動に伴う個人の効用を考慮した生活行動-交通行動モデルシステムの開発, 土木学会論文集, No. 562/IV-35, pp. 83-96, 1997.
- 20) 藤井 聡, 北村隆一, 長沢圭介: 選択枝集合の不確実性を考慮した生活行動モデルに基づく居住地域評価・政策評価指標の開発, 土木学会論文集, 印刷中-, 1998.
- 21) McFadden, D., C. Winston and A. Boersch-Supan, Joint Estimation of Freight Transportation Decisions under Nonrandom Sampling, In Daughety, A.F. (ed.): *Analytical Studies in Transport Economics*, pp. 137-157, 1985.
- 22) 溝上章志・柿本竜治・竹村秀基: 地域間物流の輸送手段/ロットサイズ同時予測への離散選択モデルの適用可能性, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 535-542, 1997.
- 23) 山本俊行, 吉田洋, 藤井 聡, 北村隆一: ロードプライシング導入時における経路・出発時刻選択行動分析, 第17回交通工学研究発表会論文報告集, pp.201-204, 1996.
- 24) Fujii, S., R. Kitamura and T. Monma: A Utility-Based Micro-Simulation Model System of Individual's Activity-Travel Patterns, *Transportation* (submitted).
- 25) 藤井 聡, 門間俊幸, 北村隆一, 藤井宏明: ランダム効用理論に基づく生活行動シミュレーションモデルの構築, 土木計画学研究・講演集, No. 20(2), pp. 189-192, 1997.
- 26) Hagarstrand, T.: What about People in Regional Science?, *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp.7-21, 1970.
- 27) 藤井 聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp. 643-652, 1997.
- 28) Swait, J. and Ben-Akiva, M.: Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation, *Transportation Research B2*, pp. 91-102, 1987.
- 29) 北村隆一, 飯田恭敬, 杉志頼肇, 石田東生, 西井和夫, 屋井鉄雄, 兵藤哲朗, 内田 敬, 張 峻屹, 宇野伸宏, 佐々木邦明, 伊藤雅, 古屋秀樹, 藤井 聡, 清水哲夫, 倉内文孝, 山本俊行: 交通計画におけるパネル調査の方法論およびパネルデータ解析手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No. 19, pp. 617-624, 1996.
- 30) 西井和夫, 北村隆一, 飯田恭敬, 杉志頼肇, 石田東生, 屋井鉄雄, 森川高行, 内田敬, 藤原章正, 張峻屹, 宇野伸宏, 佐々木邦明, 伊藤雅, 藤井聡, 清水哲夫, 倉内文孝, 山本俊行: これからの交通需要分析・予測のための交通調査手法の課題, 土木計画学研究・講演集, No. 20 (1), pp. 529-534, 1997.
- 31) 北村隆一: やさしい交通流シミュレーション-TDM 評価シミュレーション(その1)-: 交通工学, Vol. 33, No. 2, pp. 79-92, 1998.
- 32) 北村隆一: やさしい交通流シミュレーション-TDM 評価シミュレーション(その2)-: 交通工学, Vol. 33, No. 3, pp. 87-108, 1998.
- 33) 河上省吾, 三島康生: 通勤・通学交通手段選択行動における動的特性の分析, 土木学会論文集, No. 470/IV-20, pp. 57-66, 1993.
- 34) 杉志頼肇, 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.
- 35) 藤井 聡, 米田和也, 北村隆一, 山本俊行: パネルデータを用いた連続時間上の個人の離散選択行動の動的モデル化: 均衡状態を仮定しない動的な需要変動解析に向けて, 土木計画学研究・論文集, No. 15, 印刷中-, 1998.
- 36) Adler T. and Ben-Akiva, M.: A Theoretical and Empirical Model of Trip Chaining Behavior, *Transportation Research*, **13B**, No. 3, pp. 243-257, 1979.
- 37) Ben-Akiva, M. and J. Bowman: An Activity Based Disaggregate Travel Demand Model System with Daily Activity Schedules, *Transportation Research* (forthcoming)
- 38) Recker, W.W., M.G. McNally and G.S. Root: A Model of Complex Travel Behavior. Part 1: Theoretical Development, *Transportation Research*, **20A**, pp. 307-318, 1986.
- 39) Recker, W.W., M.G. McNally and G.S. Root: A Model of Complex Travel Behavior. Part 2: An Operational Model, *Transportation Research*, **20A**, pp. 319-330, 1986.
- 40) Kitamura, R. and S. Fujii: Two computational process models of activity-travel behavior. In T. Garling, T. Laitila and K. Westin (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling* -forthcoming-, 1998.
- 41) 山本俊行, 藤井 聡, 吉田洋, 北村隆一: 世帯構成員間の関係に基づいた自動車利用確率を考慮した機関選択モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp. 535-542, 1996.
- 42) 森川高行, 田中小百合, 荻野成康: 社会的相互作用を取り入れた個人選択モデル-自動車利用自発行動への適用-, 土木学会論文集, No. 569/IV-36, pp. 53-64, 1997.
- 43) 小林深司, 喜多秀行, 多々納裕一: 送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 49-58, 1996.
- 44) 小林深司, 福山敬, 松島格也, 1998, フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究, 土木学会論文集, No. 590/IV-39, pp.11-22.
- 45) 坪井兵太, 秋山孝正: 交通行動記述のためのファジィ・ニューロモデル, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 567-574, 1997.
- 46) 岡田良幸・倉内慎也・森川高行・佐々木邦明: グループインタビュー調査に基づく交通選択の意思決定プロセスに関する基礎的考察-都心商業地訪問行動を対象として-, 土木計画学研究・講演集, No. 19(2), pp. 261-264, 1996.
- 47) Garling, T., K. Brannas, J.Garvill, R.G. Golledge, S. Gopal, E. Holm and E. Lindberg: Household Activity Scheduling. Paper presented at the Fifth World Conference on Transport Research, Yokohama, 1989.
- 48) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans, SMASH (Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics): Some Simulations, *Transportation Research Record*, **1551**, pp. 88-94, 1996.
- 49) 中山晶一郎, 藤井 聡, 北村隆一, 山本俊行: ドライバーの

- 学習課程を考慮した道路交通システム解析, 土木計画学研究・講演集, No. 20(2), pp. 899-902, 1996.
- 50) 中山晶一朗, 藤井 聡, 北村隆一: ドライバーの学習課程を考慮した道路交通の動的解析-複雑系としての道路交通システム解析に向けて-, 土木計画学研究・講演集, No. 21, -印刷中- 1998.
- 51) 小林深司, 都明植, 樺村吾郎: 交通流が非定常な環境下でのドライバーの経済学習行動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 20 (2), pp. 619-622, 1997.
- 52) 土木学会: 非集計行動モデルの理論と実際, 1995.
- 53) 森杉壽芳, 上田孝行, 小池淳司, 小森俊文: 古典的消費者行動に基づく交通行動モデルの地域間旅客需要予測への適用, 土木計画学研究・講演集, No. 19(1), pp. 451-454, 1996.
- 54) 森川高行, 山本尚央: 離散連続モデルによる年間観光日数・旅行形態の分析と観光行動の地域差に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 20 (1), pp. 323-326, 1997.
- 55) 藤井聡, 菊池輝, 北村隆一, 山本俊行, 藤井宏明, 阿部昌幸: マイクロシミュレーションアプローチによる TDM・TCM 政策の効果分析-京都市における交通政策による地球環境問題への対策の検討-, 土木計画学研究・講演集, No. 21, -印刷中- 1998.
- 56) Kitamura, R., Pendyala, R.M., Pas, E.I.: Application of AMOS, An Activity-Based TCM Evaluation Tool to the Washington, D.C., Metropolitan Area, *Proceedings of Seminar E held at the PTRC European Transport Forum*, Vol. P392, pp. 177-190, 1995.
- 57) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans: Using interactive computer experiments for investigating activity scheduling behavior, In *Proceedings of the PTRC Annual Meeting*, University of Manchester, U.K., P-336, pp. 267-283, 1993.
- 58) 土木学会: 交通ネットワークの均衡配分-最新の理論と解法-, 1998.
- 59) 赤松隆, 桑原雅夫: 渋滞ネットワークにおける動的利用者均衡配分; 1起点・多終点および多起点・1終点ODペアの場合, 土木学会論文集, No. 488 /IV-23, pp. 21-30, 1994.
- 60) 藤田素弘, 山本幸司, 松井寛: 渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発, 土木学会論文集, No. 407 /IV-11, pp. 129-138, 1989.
- 61) 飯田恭敬, 内田敬, 宇野伸宏: 経路選択行動の動態変化に関するシミュレーション分析, 土木計画学・講演集, No.12, pp.29-36, 1989.
- 62) 飯田恭敬, 藤井 聡, 内田敬: 道路網における経路選択を考慮した動的な交通流シミュレーション, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 37-47, 1996.
- 63) 飯田恭敬, 藤井 聡, 内田敬: 動的な交通流シミュレーションを用いた道路網における情報提供効果に関する分析, 交通工学, No. 6, Vol. 31, pp. 19-29, 1996.
- 64) 古井稔雄, 桑原雅夫, 森田禎之: 都市内高速道路における過飽和ネットワークシミュレーションモデルの開発, 交通工学, Vol. 30, No. 1, pp. 33-41, 1995.
- 65) 堀口良太, 片岡正彦, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 都市街路網の交通流シミュレータ-AVENUE-の開発, 第13回交通工学研究発表会論文集, pp. 33-36, 1993.
- 66) 森津秀夫, 大原竜也, 多田典史 他: 経路誘導による交通ネットワークフローの変化に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 37-44, 1991.
- 67) 井上博司: 道路網における交通流動の動的シミュレーション手法, 土木学会論文集, No. 470 /IV-20, pp. 87-95, 1993.
- 68) 赤羽弘和, 大口敬, 古井稔雄, 堀口良太: 交通シミュレーションモデルの実用化に向けての課題, 土木計画学研究・講演集, No. 20 (1), pp. 521-528, 1997.
- 69) 山下智志, 黒田勝彦: 交通機関の定時性と遅刻回避型効用関数, 土木学会論文集, No. 536 /IV-31, pp. 59-68, 1996.
- 70) 林成卓, 藤井 聡, 北村隆一, 大窪鋼文: ドライバーの認知所要時間の確率構造に関する実証的研究, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部, -印刷中-, 1998.
- 71) 飯田恭敬, 内田敬, 宇野伸宏: 交通情報の効果を考慮した経路選択行動の動的解析, 土木学会論文集, No. 470 /IV-20, pp. 77-86, 1993.
- 72) 宇野伸宏, 飯田恭敬, 久保篤史: 旅行時間情報提供下での逐次経路選択行動に関する実験分析, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 923-934, 1997.
- 73) 西尾健司・中川大・松中亮治・伊藤雅: 共通運賃精度の導入による所要時間短縮効果に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 21, 1998. (印刷中)
- 74) Simon, H.A: Invariants of human behavior, *Annual Review of Psychology*, 41 (1), pp. 1-19, 1990.