

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
Micro-Simulation Based Travel Demand Forecasting System for Urban Transportation Planning

飯田祐三¹, 岩辺路由², 菊池輝³, 北村隆一⁴, 佐々木邦明⁵, 白水靖郎⁶, 中川大⁶, 波床正敏⁷, 藤井聡⁸, 森川高行⁸, 山本俊行⁹
Yuzo Iida, Michiyoshi Iwabe, Akira Kikuchi, Ryuichi Kitamura, Kuniaki Sasaki, Yasuo Shiromizu, Dai Nakagawa, Masatoshi Hatoko, Satoshi Fujii, Takayuki Morikawa and Toshiyuki Yamamoto

1. はじめに

交通計画のための交通需要予測手法として一般に用いられる四段階推計法に多くの問題が含まれているとの指摘は、繰り返しなされてきている¹⁾。本質的な問題点としては、行動論的基盤の欠如、交通需要の動的側面の無視等が挙げられる。それに加えて、誘発需要、抑圧需要が需要予測に反映されない、評価対象とする交通政策が限定される、算定される政策感度の信頼性に疑問が残る、といった、行政上の判断を直接的に左右する問題点も挙げられる。

この認識から、四段階推計法に代わる新しい交通需要予測手法の枠組みとして、マイクロシミュレーションによる交通需要予測手法が提案されている²⁾。この手法は、個人の生活行動を再現するアクティビティベースのマイクロシミュレーションモデルPCATS³⁾と道路上の動的な交通流を再現する交通流シミュレータDEBNetS⁴⁾を組み合わせることで、交通需要予測を行うものであり、京都市におけるTDMやTSMの交通政策の短期的な感度分析に適用されている⁵⁾。しかし、的確な需要予測のためには、モデル内のパラメータが対象地域の固有性を十分に反映したものでなければならない。また、交通ネットワークの整備状況と時間、費用等の移動抵抗データとの関係を正確に記述することも必要である。それとと共に、長期的な視点からの政策分析を行うためには、各外生変数、とりわけ、どこに、どのような仕事を持った個人が居住しているのか、という個人データの将来値が必要となる。

本研究では、以上の認識のもと、従来に提案されているシステムの枠組みを拡張、改良し、実際の交通計画に適用可能な、新たな交通需要予測システムの構築を目指すものである。本稿では、システムの概要を述べた後に、大阪市を対象とした適用事例を述べる。

キーワード：交通計画評価、交通行動分析、ネットワーク交通流、公共交通需要

- *1 正員 中央復建コンサルタンツ株式会社
- *2 正員 工修 静岡県庁
- *3 学生員 工修 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
- *4 正員 Ph.D 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
- *5 正員 工博 山梨大学工学部土木環境学部
- *6 正員 工博 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
- *7 正員 工博 大阪産業大学工学部土木工学科
- *8 正員 Ph.D 名古屋大学工学研究科土木工学専攻
- *9 正員 工修 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5136 FAX 075-753-5916)

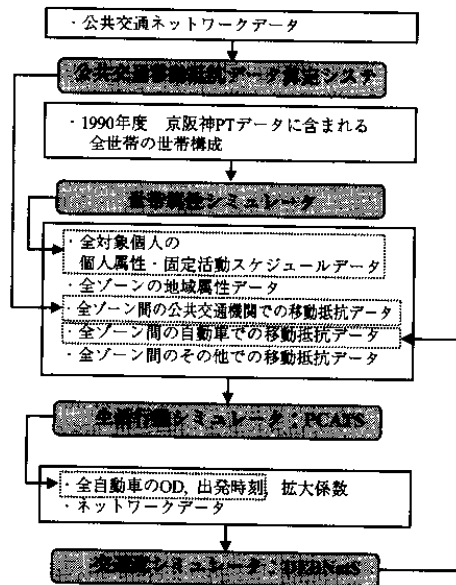


図1 マイクロシミュレーション需要予測システム

2. シミュレーションモデルシステム

(1) システム構成

シミュレーションシステムの構成を図1に示す。このシステムは、四段階推計法の述語を援用すれば、PCATSが発生、分布、分担を、DEBNetSが配分を計算するサブシステムである。当システムは、動的自動車交通流と動的OD交通量との相互作用を予測値に反映するために、PCATSとDEBNetSとが、互いの出力が互いの入力となるいれこ構造となっている。この繰り返し計算は、収束基準が満たされた場合に終了する²⁾。また、公共交通ネットワークデータからPCATSの入力データを加工する公共交通移動抵抗データ算定ツール、現状の非集計データからPCATSが必要とする予測時点での個人情報算定する世帯属性シミュレータもサブシステムとして組み込まれている。以下、各サブシステムについて述べる。

(2) 生活行動シミュレータPCATS

PCATS³⁾は個人についての情報と、対象地域内の全ゾーンの属性と全ゾーン間の移動抵抗データに基づいて、

勤務と就学以外の全時間帯での個人の行動パターンを再現するマイクロシミュレータである。

生活パターンの生成にあたっては、入力データとして扱われる固定活動と自由意思に基づいて決定がなされる自由活動スケジュールを想定する。そして、後者を逐次的、段階的な意思決定過程を仮定した上で、活動内容選択Nested Logit Model、交通機関目的地同時選択Nested Logit Model、活動時間の連続選択と活動の実行の有無の離散選択を同時に記述するSplit Population Survival Model¹¹⁾の3つを組み合わせて、生成する。自由活動生成の際にプリズム制約⁹⁾や公共交通機関の営業時間、自動車の利用可能性を考慮している点も、PCATSの特徴の一つである。PCATSの詳細については、文献3)を参照されたい。

需要予測値に直接的に影響を及ぼすサブモデル内のパラメータの推定に関しては、地域の固有性を十分に反映し、より信頼性の高い政策感度を算定することを目的として、京阪神パーソントリップデータ（以下、PTデータ）を用いた。推定にあたっては、PTデータから大阪市在住の就業者、就学者、就業者就学者以外、の3つのセグメントからそれぞれ1万サンプルをランダムに抽出し、Split Population Survival モデル、活動内容選択Nested Logitモデル、活動場所・交通機関Nested Logitモデルを、それぞれのセグメントについて推定した。活動内容はPTデータで識別可能な3種類の自由活動、交通機関は公共交通機関、自動車、その他の3種類、ゾーンは合計で265ゾーン¹²⁾を考慮した。こうして推定されたモデルは、当該地域で得られた大量の行動データを用いて推定されたものであり、モデル対象地域個人の行動特性を適切に反映したものであると考えられる。推定の詳細は、文献6)を参照されたい。

本研究では、以上の推定で得られたパラメータに加えて、それらパラメータを固定した上で、ゾーンや時刻を表すダミー変数の係数を、性別、年齢別に推定した。推定にあたっては、PTデータの全サンプルを用いて、各サンプルの拡大係数を重みとした重み付き最尤推定を行った。このモデルキャリブレーションを行うことで、上述の推定で用いた説明変数では説明困難な、地域固有の種々の要因を需要予測値に反映することができる。

最後に、PCATSの問題点の一つとして、入力データとして必要とされる各個人の固定活動スケジュールは、予測計算時に特定しづらいという点が挙げられる。この問題を回避するために、PTデータで特定可能である、という理由から、通勤先での勤務、業務先での業務、および、学校での学業、の3つのみを固定活動として取

り扱い、これ以外を全て自由時間帯と定義した。モデル推定にあたっては、この定義のもとで、PTデータから各トリップや活動の選択を特定した。

(3) 交通流解析ツールDEBNetS

DEBNetS (Dynamic Event-Based Network Simulator) は、混雑現象の推移等の交通流の経時的変化を把握し、一日の各時点での交通サービス水準を推定することを目的として開発された動的交通流シミュレータである。PCATSにより生成されたトリップは、DEBNetSに時間軸上で連続的に入力される。各トリップは所要時間に基づいて経路に配分され、各リンクの走行所要時間は、リンクを複数に分割することで得られる各々のセグメントの交通量に基づいてマクロ的に決定されている。DEBNetSでは、車両群をバケットとして取り扱い、イベントベース法により、シミュレーション内で時間を更新させつつ、道路網上の交通状態の変化を再現する。各バケットの利用経路については、一定間隔毎に各ノードから各セントロイドまでの最短経路探索を行い、各バケットがその経路を利用することとした。詳細については文献4)を参照されたい。

(4) 公共交通移動抵抗データ算出システム

本研究で用いた移動抵抗データは、公共交通機関の速度・運行頻度・ダイヤ設定・運行経路・運賃などを詳細に反映したものとなっており、公共交通政策の移動抵抗データへの感度を的確に算定できる点が大きな特徴である。具体的には、公共交通機関のダイヤデータ、ネットワーク接続データ、ならびに、料金データの三者に基づいて、ODごと、各出発時刻（10分刻み）ごとに、待ち時間等を含めた移動に要する時間を実際の公共交通機関の運行ダイヤに基づいて、最短所要時間経路に沿って算出する。また、その際の運賃や乗り換え回数も同時に算出し、これらのデータそれぞれ2時間ごとに集計することにより、その時間帯における目的地までの移動時間数・運賃・乗り換え回数の期待値を求め、PCATSの入力データとする。なお、詳細については、文献7)を参照されたい。

(5) 世帯属性シミュレータ

世帯属性シミュレータは世帯構成分布算出システム、世帯変遷シミュレータ、固定活動スケジュール生成システム、の3つのサブシステムから構成される。世帯構成分布算出システムは、PTデータ、国勢調査データ等から、IPF (Iterative Proportional Fitting)法を用いて現状の各ゾーンに居住する世帯の属性を特定する。世帯変遷シミュレータは、世帯構成分布算出システムで得られた現状世帯の、予測年次までの属性変化プロセスを再現するシミュレーションモデルである。考慮される

事象は、誕生、死亡、結婚、離婚、就職、引っ越しなどであり、これらの発生は確率的にシミュレートされる。これら事象の生起確率は、国勢調査報告書、人口動態統計、大阪市統計書等に基づいて、小子化、晩婚化、女性就業率の将来変化等を加味して特定した。世帯の自動車保有や世帯構成員の免許保有については、予測年次における世帯の就業者数や該当個人の年齢、性別や就業状態を変数とする条件付確率として予測することとした。よって自動車保有率の上昇や免許保有率の増加が内生的に予測される構造となっている。上記2システムの詳細については、文献8)を参照されたい。

固定活動スケジュール生成システムは、世帯変遷シミュレータで算定された各世帯の世帯構成員の固定活動スケジュールを決定するためのシステムである。ここでは勤務と学校での就学のみを固定活動と定義しているため、このシステムで生成するのは、就業者の就業活動スケジュール、就学者の就学活動スケジュールのみである。本研究では、予測時点の就業、就学スケジュールの分布は現況と等しいとの仮定のもと、PTデータにて観測されている固定活動スケジュールを、予測対象個人の属性に応じてランダムに予測対象個人に付与するという方法を用いた⁹⁾。

以上の方法を用いることで、長期需要予測を行うにあたって必要となる個人属性の属性同時分布を、豊富なデータベースを用いて算定することができる。特に、PTデータで得られる非集計情報を、上記の2)のステップにおいて将来の個人データに反映できる点が、集計的なコーホート法等によるアプローチとは大きく異なる点である。

3. 適用事例

ここでは、各サブシステムの現況再現性、ならびに、2020年の大阪市における交通需要予測に適用した結果を示す。分析の対象としたのは、大阪中央環状線内(大阪市の周縁部を含む地域)の住民、ならびに、当該地域以外に居住し、対象地域内に職場、学校を持つ個人である。

(1) DEBNetSの再現性

DEBNetSによる計算の対象とした対象地域内の自動車ネットワークのリンク数は3057、ノード数は1098、セントロイド数は289(うち、36が対象ネットワークへの通過車両の流入・流出ノード)である。物流と通過交通については、現況の道路交通センサスの自動車ODデータに基づきDEBNetSへの入力データを作成した。

DEBNetSの再現性を検証するため、現況の車両データを用いて現況ネットワーク上での交通流を動的に再

現した。計算時間は、並列計算機¹⁰⁾を用いて、約30分であった。出力は、各時刻の各リンクの交通量、各車両のOD所要時間等である。得られた予測値と、集計観測値として得られている断面交通量、リンク交通量と比較しつつ、DEBNetS内のパラメータをキャリブレーションした結果、主要7リンクでの予測誤差の絶対値平均は11.4%、主要8断面での予測誤差の絶対値平均が8.7%であった。ここで、調整に用いたパラメータは、DEBNetS内で最短経路探索に用いる各リンクの所要時間以外の移動抵抗を意味する定数¹¹⁾である。

(2) PCATSの現況再現性

PCATSの現況再現性の確認のために、現況のPTデータから上述の対象個人を抽出し、自由活動を削除することで個人データを加工した(ケース数103,462、拡大後5,564,343人)。また、移動抵抗データを上述のDEBNetSと公共交通移動抵抗データ算出システムを用いて現況の移動抵抗データを加工した。なお、自動車、公共交通機関以外の移動抵抗データについては、PTデータで観測されているトリップのOD所要時間を平均することで求めた。ゾーン別の土地利用データも現況のものを用いた。以上の前提で、計算を行い、各個人の生活パターンを再現した。計算時間は、Pentium II(300MHz)のLinuxマシンで約6分と、極めて小さなものであった。PCATSの出力は、PTデータとほぼ同様の情報量を持つものであり、その項目は各活動の内容、場所、開始・終了時刻、各トリップの交通機関等である。出力の集計結果であるが、ここでは紙面の都合上、就業者の集計結果のみを掲載する。なお、ここでの目的は現況再現性の確認であるため、拡大処理を行わずに集計したトリップ数を示す。

図2に示した時間帯別のトリップ数より、概ね交通需要の動的特性が再現されていることが確認できる。1日の平均トリップ数はPT:2.75回、PCATS:2.87回と、概ね一致した。図3に示した目的地別のトリップ数分布より、大阪市以外へのトリップが現況よりも多いという結果となったが、概ね、目的地選択の現況も再現されているものと言える。なお、大阪市外で誤差が生じたのは、大阪市外でゾーン区分を荒く設定したことが一つの原因と考えられる。

(3) 2020年次の将来予測

最後に、システム全体の挙動を確認するために、2020年時点の、(2)で述べた対象個人の生活行動、ならびに(1)で述べたネットワーク上の交通流を再現した。

将来人口のフレームの前提としては、大阪市における各年齢階層において社会移動率をゼロと想定した。なお、既定開発プロジェクトについては、その実現を

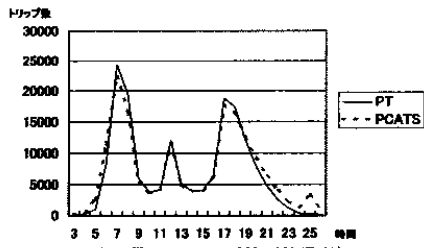


図2 時間帯別トリップ数(就業者)

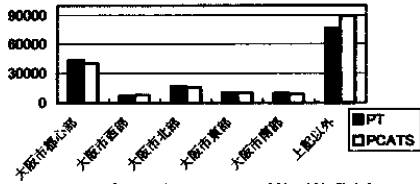


図3 地域別の集中トリップ数(就業者)

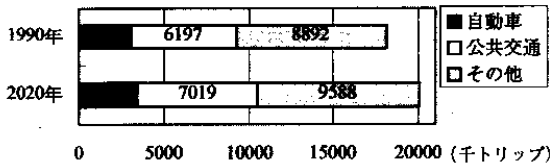


図4 手段別大阪市発生集中交通量

想定した。この想定のもと、予測時点での大阪市の夜間人口は、251万人(現況は260万人)、従業人口は247万人である。大阪市の個人データは、現状のPTデータで得られるデータを用いた。ただし、各個人データの拡大係数を集計的なコーホート法を用いて推定した市区町村人口に基づいて求めた。ゾーン別の土地利用データ(サービス事業所数等)は、上記人口フレームに比例する形で、現況のデータから加工した。また、PCATSとDEBNetSの間の繰り返し計算回数は3回である。

大阪市をトリップエンドに持つトリップ数を交通手段別に集計した結果を図4に示す。図4より、総トリップ数は18,145千トリップから20,088千トリップと11%の増加が予測された他、自動車トリップ数が14%増、公共交通機関によるトリップ数が13%増となった。これは、世帯属性シミュレータで女性就業者や高齢就業者の増加を見込んだパラメータ設定を行ったため、就業者の増加やそれに伴う免許保有者数、自動車保有台数が増加したことによるものと考えられる。

自動車交通需要の変化に伴う道路ネットワーク上の交通状況の変化としては、大阪市内の総走行台キロの予測結果が2384万台キロ/日となり、1990年の値である2090万台キロ/日から増加する結果となった。

なお、大阪市の2020年時点に向けての代替政策パッケージの評価を目的とした将来需要予測が本システムを用いて行われている。その詳細については、文献9)を参照されたい。

4. おわりに

本研究では、マイクロシミュレーションアプローチに基づく、四段階推計法に変わる新しい交通需要予測手法の構築を目指した。交通計画の分野では新しい概念である人間行動のマイクロシミュレーションを用い、現存するデータに基づき、都市圏レベルでの長期需要予測及び政策分析が可能であることを示した点に、この研究の意義が求められると考える。本稿では紙面の都合上例示できなかったが、シミュレーション出力は極めて豊かな情報を含み、時間帯別の交通特性等、交通計画に有用なデータを幅広く提供することが可能である。また個人あるいは世帯レベルでの解析が可能のため、地区計画あるいは計画作成時の合意形成に向けて適用することも可能である。しかしながら本システムは開発の途上にあり、幾つもの課題が残されている。本研究で示したアプローチが交通需要予測・政策分析の新たな手法として確立することを目指し、これら課題に対処するための努力を重ねると共に、シミュレーション予測の特性をより細かに検討し、更なる応用例を積み重ねていきたい。

謝辞:本研究は大阪市の全面的協力を得た。ここに記して、深謝の意を表します。

- [1] このモデルの詳細については文献10)を、また、このモデルを用いた生活行動生成の詳細については、文献6)を参照されたい。
- [2] 大阪市内が135ゾーン、中央環状線に含まれる大阪市以外の地域が92ゾーンである。これらは、PTデータにおけるいわゆる5桁ゾーンを基本としたものである。中央環状線以外の京阪神地域は、PTデータにおけるいわゆる中ゾーンを用いて36ゾーンに分割した。
- [3] PTデータを用いて推定した勤務地選択、就学選択モデルを用いて、就業者、就学者の通勤・通学ODを決定する。就業者については、職業選択も同じくモデル化する。こうして推定された通勤・通学OD別、職業別にPTデータから固定活動スケジュールを検出し、それを予測対象個人に付与した。
- [4] 並列型ベクトルコンピュータFujitsu VPP-500(15台のPE(Processing unit)から構成される並列型ベクトルコンピュータ。各PEが1つのスカラユニットとベクトルユニットと256MBの主記憶から構成され、各PEの最大演算処理能力は1.6GFLOPS)。ただし、今回の計算では、IPEのみを利用したベクトル演算を行っている。
- [5] DebNetsでは、最短経路探索の際、交通量から算定されるリンク所要時間に、リンク別に常数を加え、その和を最小とする経路を探索することとしている。

参考文献

- 1) 北村隆一:交通需要予測の課題一次世代手法の構築にむけて、土木学会論文集, No. 530/IV-30, pp. 17-30, 1996.
- 2) 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(2), pp. 301-304, 1998.
- 3) 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.
- 4) 藤井聡, 奥嶋政嗣, 菊池輝, 北村隆一: Event-Based Approachに基づく簡便なマイクロ交通流シミュレータの開発:生活行動と動的交通流を考慮した実用的な交通政策評価手法の構築を目指して, 土木学会第53回年次学術講演会講演要録集第4部, pp. 694-695, 1998.
- 5) Hagerstrand, T.: What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 23, pp. 7-21, 1970.
- 6) 岩辺路由:大都市圏における交通政策評価のためのマイクロシミュレーション分析, 名古屋大学修士論文, 1999.
- 7) 波床正敏・中川大:公共交通利用における都市間の所要時間指標算出システム, 土木情報システム論文, Vol.7, pp.169-176, 1998.
- 8) 西田悟史, 山本俊行, 藤井聡, 北村隆一:将来交通需要予測のための世帯属性生成システムの構築, 土木計画学研究・講演集, No. 22, 1999. (発表予定)
- 9) 川田均・飯田祐三・白水靖郎:総合交通政策の評価に関する事例研究, 土木計画学研究・講演集, No. 22, 1999. (発表予定)
- 10) Schmidt, P. and Witte, A.: Predicting criminal recidivism using split population survival time models, *Journal of Econometrics*, 40, pp. 141-159, 1989.