

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
A Micro Simulation Analysis on the Effects of TDM:
An case study in Kyoto City of transportation measures against global warming

藤井 聡*, 菊池輝**, 北村隆一***, 山本俊行****, 藤井宏明*****, 阿部昌幸*****

By Satoshi Fujii, Akira Kikuchi, Ryuichi Kitamura, Toshiyuki Yamamoto, Hiroaki Fujii and Masayuki Abe

1. はじめに

言うまでもなく、行政的政策意思決定を支援するための種々の方法論の存在意義は、現実の行政的必要性に直接的、あるいは、間接的に答えることにある。当然ながら、このことは交通需要解析の方法論に関しても例外ではない。この自明の認識のもと、従来からそれぞれの時代における行政的必要性に答えるべく、様々な交通需要解析手法が提案されてきた。その代表的なものが四段階推計法であるが、近年では四段階推計法が提案された当時とは交通需要解析に求められる内容が異なったものとなってきた。近年になって交通需要予測に求められるようになったものとして、Travel Demand Management (TDM), Transportation Control Measures (TCM), ITS 等の政策の評価や、交通基盤整備を含む交通政策による誘発需要の解析、そして、人口減少や女性の社会進出、高齢化等に伴う長期的な交通需要構造の変質の予測等、様々なものが挙げられる¹⁾。その中でも「交通計画の立場から地球環境問題に対してどのような貢献が可能なのか?」あるいは「持続可能な交通システムとはどのようなものか?」という問いかけに回答を提供することが、非常に重要、かつ、深刻な課題として、交通需要解析に求められているのではなかろうか²⁾。

ところが、この問いかけに回答することは決して容易ではない。仮に、自動車交通からの地球温暖化ガス、すなわち、二酸化炭素の排出量を計算するだけでも、自動車の需要量だけではなく、個々の車両の任意の地点、時点での走行速度を予測することが不可欠である。それとともに、現実的に実行可能な交通政策が TDM や TCM といったソフトウェア的な政策に限られつつある現在、それら

の政策が交通需要の変動を介して上述の自動車の走行速度に及ぼす影響を把握することも必要であろう。それに加えて、二酸化炭素の大気中での拡散過程、ひいては、世帯の自動車の保有状況の経年的変化等、考慮すべき題材は数多く存在する。

この様に考えると、上述の環境問題に関する極めて素朴かつ深刻な問いかけに回答を提供するためには、従来の四段階推計法の枠組みでは対応不可能であると共に、交通需要解析における種々の課題に取り組んだ諸研究の知見、ならびに、その他の種々の知見を総合化し、四段階推計法に代わる新しい需要推計方法を提案することが、強く要請されているものと言えるのではなかろうか。

この認識のもと、本研究は、上述の環境問題に解答を提供するための非常に基礎的な最初の試みとして、短期的な視点、かつ、入手可能なデータの範囲で、という限定された分析ではあるものの、地球温暖化ガスである二酸化炭素(以下、CO₂と表記)の排出量を削減することを目的とした TDM, TCM 等の交通政策について、京都市を対象とした具体的な検討を行ったものである。その際、四段階推計法に代替する新しい枠組みの交通需要推計法として、個人の生活行動軌跡を再現するマイクロシミュレータ PCATS³⁾に、道路網上の交通状態の変化を簡便に再現する解析ツール⁴⁾を組み合わせたマイクロシミュレーション需要解析システムを用いた。この需要解析システムは、TDM や TCM による CO₂ 排出量の推計のために解析することが不可欠な、種々の政策による各個人の誘発需要と抑圧需要、各自動車の任意時点・地点での走行速度、そして、時間軸上で動的に変化する発生・分布・分担・配分交通量、等の解析が可能であるという点において、従来の四段階推計法と本質的に差別化されるものである。

以下、2. で本システムの主要なサブシステムである PCATS と交通流解析ツールについて、3. で本システムを用いた複数の TDM, TCM 政策の CO₂ 排出量の削減効果分析の手順と結果について述べる。

* キーワード: TDM, 公共交通計画, 交通計画評価, マイクロシミュレータ
** 正員, 工博, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
*** 学生員, 工修, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
**** 正員, Ph.D, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
***** 正員, 工修, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
***** 正員, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
(〒606 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5136, Fax 075-753-5916)
***** 正員, 工修, 名古屋鉄道株式会社

2. マイクロシミュレーション需要解析システムの概要

本システムは、従来の四段階推計法の述語を援用すれば、発生、分布、分担の三段階に対応する需要解析を生活行動シミュレータ PCATS で、配分に対応する需要解析を交通流解析ツールを用いた分析を行うものである。以下、それぞれの需要解析ツールについて述べる。

(1) 生活行動シミュレータ PCATS の概要

PCATS は、一日の任意の時点は個人の自由意志で活動の諸要素を決定可能な自由時間帯と諸要素を決定不可能な固定時間帯とのいずれかに帰属するという前提の下で、個人についての情報(年齢、性別、職業、免許保有の有無、世帯自動車台数、世帯収入、および当日の全固定活動の場所、開始・終了時刻、内容)と、活動を実行する可能性のある全てのゾーンの属性(サービス事業所数)、ならびに、全ゾーン間の移動抵抗データ(機関別 OD 所要時間・費用・乗り換え回数)に基づいて、自由時間帯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、逐次的、段階的な意思決定過程を想定する一方で、個々の意思決定の局面を Hazard-Based Duration Model に基づいた活動時間分布モデル、Nested Logit Model に基づいた活動内容の選択モデルと活動場所・交通機関の選択モデルの 3 つのサブモデルを組み合わせて用いることで再現する。なお、交通機関としては、自動車、公共交通機関、徒歩、自転車等の 4 つを、目的地としては近畿 174 市区町村を考慮している。これらのサブモデルは、Diary Activity データに基づいて推定されたものであり、それぞれ良好な適合度が得られている。また、行動制約の条件としては、固定活動スケジュールとゾーン間所要時間とで構成される時空間プリズムの制約、目的地選択肢の認知制約、交通機関制約(営業時間帯以外で公共交通機関を利用することはできない、利用可能な自動車・自転車が現時点に存在しない場合は自動車・自転車を利用できない、自動車・自転車を放置したまま他の交通機関でトリップを実行することはできない)を考慮している。

PCATS の最大の特徴は、ある個人が実行する全てのトリップに関する情報を全て含んだ「生活パターン」そのものを再現するという点であり、それ故に、各種交通政策が、トリップ生成や、個々のトリップの機関選択、目的地選択、出発時刻選択、あるいは、トリップチェーン形態等に及ぼす多面的な影響を、総合的に分析できる。なお、PCTAS

の詳細については文献3)を参照されたい。

(2) 交通流解析ツールの概要

この交通流解析ツールは、PCATS 等の生活行動シミュレータに基づいた総合的な需要解析のためには、道路網上での自動車トリップの干渉現象に伴う移動時間の増加(いわゆる混雑現象)を考慮することが不可欠であるとの認識のもとで開発された交通流シミュレータである。

本シミュレータは、道路網を構成するリンクを複数の道路セグメントに分割した上で、各車両あるいは車両群(以下、これをパケットと呼称する)の道路網上の挙動を、道路網に関する情報(リンク、ノード、セントロイド、セグメントの幾何接続関係データ、各道路セグメントの KV 曲線と長さ)と自動車需要に関するデータ(各パケットの OD と出発時刻)に基づいて、イベントベース法^[1]に基づいて再現するものである。各パケットの道路セグメント内の挙動は、道路セグメント内が一様であると見なした上で、KV 曲線を用いて再現する。また、各パケットの利用経路については、一定間隔(以下の数値計算では 15 分)おき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、各パケットがその経路を利用することとした。なお、詳細については文献4)を参照されたい。

3. 交通政策による CO₂ 排出量分析の概要

(1) CO₂ 排出量推計の手順

本研究では、2. (1)に述べた本需要解析システムを用いて現状、および、いくつかの政策実施下での CO₂ 排出量を算定した。推計手順を図 1 に示すとともに、以下に、その概略を述べる。

Step 1) PCATS の入力データの加工

平成 2 年度京阪神パーソントリップ調査データ(以下、PT データ)から、5 才以上の京都市民(21,458 サンプル、拡大後 1,110,920 人相当)、ならびに、PT 調査当日に一度でも京都市に立ち寄った個人(8,246 サンプル、拡大後 323,682 人)、合計 29,804 サンプル(拡大後 1,434,602 人)を抽出する。抽出した個人を対象個人として、各個人について、PCATS の入力データである個人・世帯属性、固定活動スケジュールデータを加工する^[2]。

一方、京都市内については図 2 に示した 51 ゾーン、京都市以外については近畿圏 163 市区町村ゾーンを考慮した上で、PCATS の入力データである地域属性データ、ゾーン間移動抵抗データを PCATS の各サブモデル構築時に用いたデータ^[3]に基づいて加工する。

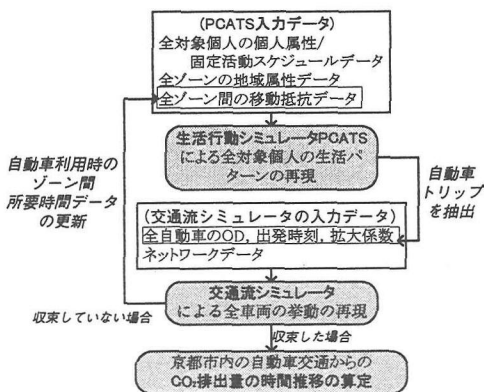


図1 マイクロシミュレータに基づいたCO₂排出量算定手順

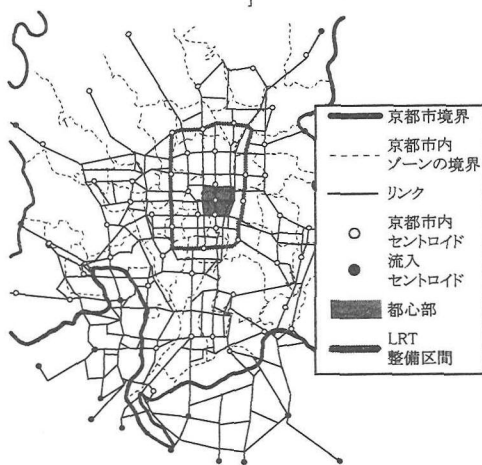


図2 京都市対象地域ゾーン・ネットワーク図

Step 2) PCATS による生活行動の再現

以上のデータに基づいて、PT データから抽出した全個人の生活行動軌跡を再現する^[3]。

Step 3) 交通流シミュレータの入力データの加工

PCATS の出力から自動車トリップを抽出し、各自動車トリップの出発セントロイド、目的セントロイド、出発・流入時刻、車種、ならびに、拡大係数をデータ項目とするデータを、交通流シミュレータの自動車需要データとして作成する。その際、各ゾーンに一つずつセントロイドを定義した^[4]。車種については大型車と小型車の2つを考慮し、H6年度道路交通センサスで得られているトリップ目的別の大型車・小型車比率に基づいて、各自動車トリップについて乱数を用いて車種を決定した。

一方、Step 1)で抽出したPTデータには含まれていない貨物車、京都市通過交通車両の自動車需要データについては、H6年度道路交通センサスで得られている、集計

的な貨物車および乗用車のOD交通量と総交通量の時間推移に基づいて加工した。なお、ネットワークデータとしては、図2に示した各街路についてのデータを整備した。

Step 4) 交通流シミュレータによる各車両の挙動の再現

Step 3)で加工したデータを交通流シミュレータに入力し、自動車需要データにおける各車両データから構成した拡大係数に等しい台数のパケットの挙動、ならびに、道路網の交通状態の時間軸上での変化を再現する。そして、各パケットの各道路セグメントにおける走行速度に基づいて、各パケット、各道路セグメントごとのCO₂排出量を逐一算定する^[5]。

Step 5) 収束判定

収束判定条件^[6]を満たせば計算終了、満たさないならStep 2)に再び戻る。その際、Step 4)で算定された各パケットの旅行時間に基づいて、時間帯ごと^[7]の平均を求めて、PCATS入力データをその値に更新する。

(2) 評価対象となるTDM、TCM政策

本研究では、CO₂排出量削減方策として、以下のTDM、TCM政策を想定した。

①LRTの導入: 図2に示した街路上空間を利用してLRTを導入。当該街路の道路容量は半分になり、LRTは平均速度25km/hと仮定し、それらの効果を、交通流シミュレーションのためのネットワークデータとPCATSのためのゾーン間移動抵抗データの中の公共交通利用時のOD所要時間に反映させた。

②都心部での駐車税の導入: 図2に示した都心部に駐車する車両から混雑税として料金を徴収。料金としては、500円と1000円の二種類を想定し、PCATSのためのゾーン間移動抵抗データの中の自動車利用時のOD所要費用に反映させた。

③都心部への自動車流入規制: 図2に示した都心部への自動車の流入を一切禁止。PCATSでの目的地・交通機関選択モデルにおいて、自動車で都心部を目的地とするという選択肢を削除。それとともに、交通流シミュレーションのためのネットワークデータから都心部を通過するリンクを全て削除。また、都心部をトリップエンドとする貨物車トリップは、都心部近辺のセントロイドをトリップエンドとするように自動車需要データを再加工した。

(3) 推計計算の結果

以上の前提に基づいて算定した京都市内道路交通に関するいくつかの指標を図3に、一台あたりの平均旅行時間を表1に示す。まず、図3(A)より、いずれの政策も

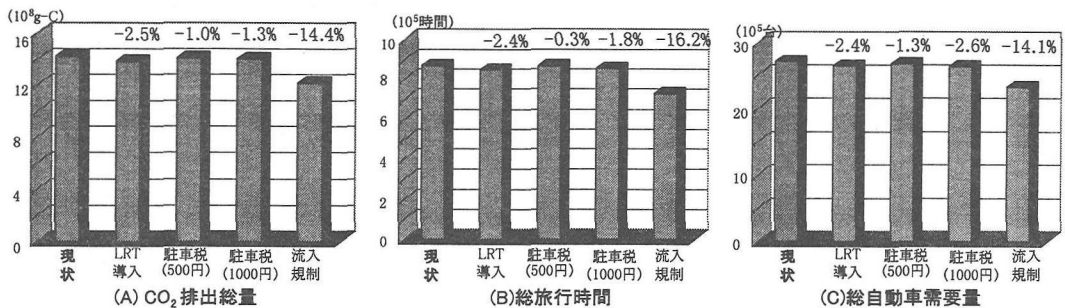


図3 政策別の京都市内道路網におけるCO₂排出総量・総旅行時間・総自動車需要量

CO₂ 排出量削減効果はあるものの、最も大きな効果を持つのは、図2に示した京都市全域の一部分に過ぎない都心部への流入規制であることが分かる。この傾向は、総旅行時間にも総自動車需要量についても伺える。なお、都心部への来訪者数は現状で34.5万人、都心部流入規制後では32.3万人と、流入規制によって減少する結果となったが、その減少量は6.3%と大幅な減少量とは言い難い。また、表1より、流入規制時には、道路網全体の容量が減少しているにも関わらず、一台あたりの旅行時間が減少することが分かる。これは、自動車需要の減少(図3(C)参照)による混雑緩和に加えて、都心部を目的地としたトリップがより出発地に近い目的地に向かうようになったためであると考えられる。また、LRT導入についても道路容量が削減されるにも関わらず一台あたりの旅行時間が微減することが表1より分かる。

表1 一台あたりの平均旅行時間

現状	LRT導入	駐車税 (500円)	駐車税 (1000円)	流入規制
19.30分	19.28分	19.49分	19.44分	18.81分

4. おわりに

本研究では、環境問題に解答を提供するための非常に基礎的な試みとして、CO₂排出量を削減するためのTDM、TCM政策の効果分析を、マイクロシミュレータ需要解析システムを用いて、京都市を対象として行ったものである。この解析を通じて、公共交通機関のLOS向上政策や混雑税の導入等のTDM政策がCO₂排出量の削減に貢献するが、やはり、最も大きな効果が得られるのが、都心部への流入規制であることが示された。ただし、都心部流入規制政策下においては、都心部への来訪者数は減少はするものの、その減少率は小さなものであることが示された。また、必ずしも、道路容量の削減が道路混雑の増加を招くとも言い難いことも示された。

ただし、より適切に、そして、本稿で取り上げた政策以外

の種々の政策を評価するためには、長期的な視点からの需要構造の変質を加味した解析や、物流需要への政策効果のモデル化、あるいは、個人の空間内の移動を連続平面上で再現するモデルの開発等、様々な課題にこれらも対処していかなければならない。それに加えて、本需要解析システムのシステム全体としての適合度に関する検討も重ねていくことが必要である。

最後に、本研究の推進にあたり、京都市公害防止研究会に全面的な協力を頂戴した。ここに、記して深謝の意を表します。

注

- [1] 本シミュレータで採用したイベントベース法とは、1)シミュレーションクロックVTを定義し、一方で、各パケットの発生、および、セグメントからの流出をイベントとして定義し、2)各イベントの生起時刻を算定することでVTに最も近い未生起イベントを検出し、3)そのイベントに対応した道路セグメント内の車両台数を更新する一方で、VTをそのイベントの生起時刻に更新する、という方法で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していく、というものである。
- [2] PTデータには含まれない、世帯収入や就寝/起床時刻については、PCATSのサブモデル構築のために用いたデータを用いて、別途回帰モデルを構築してそれらの生起確率分布を誘導し、それに基づいて加工した。
- [3] 京都市に自由トリップで立ち寄ったという条件でPTデータから抽出された個人については、京都市へ立ち寄る生活パターンがPCATSで再現されるまで計算を繰り返した。
- [4] 京都市以外をトリップエンドとするカートリップについては、図1に示した流入セントロイドから流入/流出することとした。その際の流入/流出時刻は、PCATSで出力される出発/到着時刻に、道路交通センサ等に基づいて時間帯別に求めた流入セントロイドと京都市以外市区町村間の自動車所要時間データを加えたものとした。
- [5] H2京都市窒素酸化物高濃度出現解析調査報告書とH7環境庁地球温暖化対策技術評価調査(運輸部門)報告書から、大型車小型車別に走行速度・排出CO₂量関数を求め、これを用いた。
- [6] n回目の繰り返し計算における京都市の道路網についての総CO₂排出量と総自動車需要が、n-1回目の繰り返し計算におけるそれらの値との比率が99%以上101%未満の場合、計算終了。なお、今回は、繰り返し回数3回で収束した。
- [7] 6:00-9:00, 9:00-17:00, 17:00-23:00, 23:00-6:00の4つを設定した。

参考文献

- 1) 北村隆一:交通需要予測の課題—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) Kitamura, R. S. Fujii, A. Kikuchi and T. Yamamoto (1998) Can TDM Make Urban Transportation Sustainable? A Micro-Simulation Study, presented at International Symposium on Travel Demand Management, Newcastle, UK.
- 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に基づく簡便なミクロ交通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概要集第4部, -印刷中-, 1998.