

環境影響把握のための交通分析手法の進展

北村隆一*

交通需要予測の代表的な手法である四段階推定法は、交通が環境に及ぼす影響の解析手法としてはきわめて不十分なものである。特に時間軸の欠落のため、得られる道路網上の自動車交通量の推定値は信頼度が低く、汚染物質の排出量や騒音・振動の推定値は不正確なものとなる。本稿では、自動車からの汚染物質の排出に主眼を置き、環境影響の解析に必要な要件を明らかにし、新たなアプローチとして、個人の活動とネットワーク上の交通流のシミュレーションモデル系を提案する。

Development of Transportation Analysis Methods for the Evaluation of Environmental Impacts

Ryuichi KITAMURA*

The four-step demand forecasting procedure, which has been the principal tool for travel demand forecasting, is extremely limited as a methodology for the evaluation of environmental impacts by urban transportation. Lack of the time dimension in the procedure, in particular, makes traffic forecasts it produces quite inaccurate, leading to unreliable estimates of pollutant emissions and noise levels. This article focuses on vehicular pollutant emissions, identifies requirements for proper analysis of environmental impacts, then proposes, as a new tool, a simulation model system of individuals' activities and network flow.

1. はじめに

20世紀は自動車の世紀であった¹⁾。鉄道王国から自動車王国への転換をいち早く遂げた米国では、1930年代に自動車社会の素地が確立し、第二次大戦後直ちに急速な自動車化が展開した²⁾。日本の諸都市も、戦後の高度成長期以降、米国に見られた自動車化と郊外化の流れに追従した³⁾。路面電車はバスに置き換えられ、そのバスも自動車の普及と道路混雑のため機能せず、利用者減少と運賃値上の悪循環に陥っている。日本の自動車保有台数は1996年

現在で1,000人当り373台で、米国の518台には及ばないものの、欧州諸国の水準にある⁴⁾。

世界的に見ると、自動車総台数は人口の増加を遙かに凌ぐ率で増え続けている。1950年に人口100人当り約2台であったものが、1994年には約10台へと激増し、飽和の兆しは全く見えない⁵⁾。大都市圏では自動車が本来持っていた利便性が交通混雑のため相殺され、大気汚染をはじめとする諸問題が誰の目にも明らかとなると同時に、施設拡充により問題を解決することが物理的、財政的、政治的にきわめて困難かつ非効率的となりつつある。

このように交通計画の文脈が変化するとともに、交通分析手法に要請されるものは根本的に異なったものとなった。これまでの交通需要解析の中心的手法であった四段階推定法は本来施設拡充のためのも

* 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻教授
Professor, Dept. of Civil Engineering Systems,
Kyoto University
原稿受理 2000年6月9日

のであり、環境への影響把握、政策評価に適用するにはきわめて不十分なものである。四段階推定法が孕む問題のうち、TDMなどの交通施策評価に関するものについては以前拙稿⁶⁾で論じている。そこで本稿では、自動車交通に焦点を絞り、汚染物質排出、騒音などを高い精度で推定し、環境への影響を的確に把握するためには、交通分析手法に何が必要とされるかを考えたい。

2. 自動車交通が環境に与える影響

交通が環境に与える影響は景観や生態系など、きわめて幅広いものを含むが、本稿では地球温暖化ガスを含む汚染物質排出、騒音などの狭い範囲のものに限定する。騒音・振動については、自動車のみならず超高速鉄道が深刻な発生源である。また、鉄道、バスなどの公共交通機関も環境問題に寄与する。しかし、周知のように旅客人キロあるいは貨物トンキロ当りのエネルギー消費や汚染物質の排出量は自動車において最も高い。また、社会的に適正な水準を超える自動車の利用に伴う公共交通利用の低下が、さらなる道路混雑を招くとともに公共交通機関の効率性を阻害しているという側面がある⁷⁾。これらの点から、本稿では都市内交通を念頭に置き、自動車交通に議論的を絞る。

まず、自動車による汚染物質排出の特性を、雑駁ではあるが、概観することとしよう。一口に汚染物質といっても、環境、人体に異なった影響を与える物質が多種あり、車輛からの排出特性も異なる。二酸化炭素(CO₂)は主要な温室効果ガスで、日本では運輸部門の排出量は全体の約20%である⁸⁾。窒素酸化物(NO_x)は呼吸器に悪影響を与えるとともに、硫酸酸化物(SO_x)と共に酸性雨の原因物質とされる。また、光化学反応によりオゾン(O₃)などの有害な酸化体となる⁹⁾。NOはオゾンによりNO₂となるが、この反応には太陽紫外線強度が影響を与える。したがって光化学反応を孕む大気汚染に関してはNO_x等の化学物質の時刻別排出量を知ることが重要となる。

これらの排出物は大気中に拡散し環境に影響を及ぼすが、大半が自動車から排出される一酸化炭素(CO)は、交通量の多い交差点などでの局地的集中が問題となる。炭化水素(HC)は、基本的には燃焼していない石油で、多種の化学物質を含んでいるが、ベンゼンなどのアルデハイドが最も有毒である。浮遊粒子状物質(SPM)は気道や肺胞に沈着し、健康

を阻害する¹⁰⁾。これらの物質は、時間的、空間的な集中濃度が問題となる。

一口に自動車と言っても、排出物質により、また重量やエンジンの種類により、その排出特性は異なる。例えば主要な温室効果ガスであるCO₂の場合、ディーゼル乗用車の方がガソリン乗用車より排出量が平均約13%少ない¹¹⁾。一般に、ディーゼル・エンジンはCO、CO₂、HCについて優れているが、SPMとNO_xの排出に関してガソリン・エンジンに劣るとされる^{10),12)}。

自動車の走行状態とこれら汚染物質の排出との関係について見ると、CO₂の場合ディーゼル貨物車からのトン・キロ当りの排出量は、平均車速が70km/h付近で最小となり、速度低下に伴い著しく増加する。さらに急発進や急加速が排出量に大きく影響を与えることも知られている¹¹⁾。NO_xについても、ディーゼル貨物車、バスなどの場合60km/h付近で最小となり、高速での増加が著しい。ガソリン・エンジンの場合には、NO_x排出量が速度とともに増加し^{10),13)}、COやHCの排出は速度に伴い減少する¹⁰⁾。また、CO₂と同様、エンジンに強い負荷のかかる加速状態でNO_x排出量が増加する¹¹⁾。SPMの排出状況についてはデータが不足しているが、発進時に排出量が増大することが知られている¹¹⁾。最後になるが、騒音については、個別車輛からの騒音は速度と共に増大すること、また総騒音量は交通量と共に増大ことが知られている¹⁴⁾。

3. 交通分析手法に必要とされるもの

以上に見たように、自動車の排出物が環境と人体に与える影響とそのメカニズムは多岐多様である。また汚染物質の排出は、自動車の走行状態、車輛の整備状況などとも複雑に関係している。環境への影響を把握するためには、気象学的観点を別にして、

車種、重量、燃料・エンジンの種類
走行速度
加速減速
走行時刻

についての情報が必要とされることは明らかであろう。

四段階推定法に代表されるこれまでの交通需要予測法は、施設計画の支援を念頭に開発されてきたこともあり、自動車交通が環境に与える影響を的確に評価するのに適したものではない。特に問題となるのが、四段階推定法は、交通量の時間的変化を予測

する構造を持っておらず、一日OD交通量のみが出力として得られるに過ぎないという点である。観測リンク交通量に基づく動的OD交通量の推定法が研究されてきたが^{15,16)}、これらは動的交通量の予測に適用し得るものではない。

したがってこれまでに採られてきた方法は、仮定あるいは経験則に基づき日交通量から時間交通量を割り出し、交通量配分に用いるというものである¹⁷⁾。最も一般的には、一日交通量を単純に時間交通量に直し、分割配分あるいは均衡配分が行われている。しかし人々の行動には時間的規則性があり、それに伴い交通流にも時間的規則性が存在することは誰の目にも明らかであろう。環境への影響を把握するためにはより精度の高い交通流特性の推定が必要となり、そのためにはより精度の高い動的OD交通量の推定が不可欠である。これがなされてはじめて、これまでに積み上げられてきた動的配分手法の成果¹⁸⁻²¹⁾の適用が可能となろう。

これに加え、速度をはじめとする交通流特性の推定に際して肝要なのが渋滞の発生および延伸の予測であろう。これについても異なった視点からの研究が積み重ねられてきた²²⁻²⁴⁾。大規模ネットワークへの実用的な適用に向けて、これら手法の実用化が急務である。

次に、道路交通量の予測値が与えられたとして、どのように環境への影響を推定するかという課題に移りたい。道路線形に加え、車輛の特性および加速減速などの走行状態のプロファイルが与えられたとき、燃料消費量を高い精度で推定することは可能であるし、各種の汚染物質の排出量を推定することも不可能ではないであろう。とすれば、微視的に車輛の挙動を再現することが排出量推定のために必要とも考えられる。

この発想から開発されたのが米国で連邦道路局などにより開発されているTRANSIMSで、大規模ネットワーク上で個々の車輛の追従挙動を再現しようとするものである²⁵⁾。しかし実際には、cellular automataの適用により車輛の追従挙動を記述しているため、速度は離散的にごく粗く近似されており、汚染物質排出量の算定に耐え得る精度を持つものではない。このことは、現在の計算技術をもってしても、都市圏レベルで微視的に車輛の挙動を再現することにより環境への影響を推定することは非実用的であることを示唆している。さらに、このような微視的な解析により都市圏レベルでの環境への影響を

把握しようとするのが効率的であるとも考えられないし、おそらく必要でもないであろう。

環境への影響の推定にあたり、道路交通によるエネルギー消費、汚染物質排出、さらには騒音・振動を、交通解析手法が提供し得る情報に基づき、如何に正確かつ効率的に予測するかが、中心的な課題となる。これまでネットワーク解析から得られる情報は交通量と平均走行速度として集約されてきたが、環境への影響を把握するためにはこれらに加え、各リンク毎に時間帯別車種構成が不可欠で、車種別交通量配分が必要となる。また、車輛間の速度分散の指標、および速度の変動を表す指標が望まれる。これらの変数を用い、エネルギー消費、汚染物質排出、騒音・振動などの予測モデルを、実験や観測データに基づき統計的に構築していくことが必要とされる。

ここで注意しなければならないのは、実証的に求められた汚染物質排出量のモデルは、個々の車輛の測定値に基づくことが多く、また、速度についての非線型関数であるという点である。このような非線型モデルに平均走行速度を代入し、交通量を乗じることにより総排出量を推定することは、多大の推定誤差につながり得る。交通流からの総排出量を集約的に求める際には、モデルの非線型性および車輛間の速度のばらつきを考慮することが不可欠である。この意味で車輛間の速度の分散指標が重要となる。

汚染物質排出量や騒音・振動の推定の精度向上のために時刻別の交通量の推定が重要となるが、このことはCOの集中(いわゆる“hot spot”)や光化学反応による大気汚染の推定にあたってきわめて重要である。また、触媒コンバーターを搭載した車輛の場合、エンジンが冷えた状態(エンジン停止後1時間以上)で始動した場合(cold start)、エンジンが冷め切っていない状態での再始動(hot start)に比べ多大の汚染物質が排出される¹⁷⁾。さらに、エンジン停止後の冷却期間にも汚染物質が排出される(hot soak)。自動車交通量の時間的変動を捉えるためのみならず、これらの諸現象を反映する形で汚染物質排出の時間、空間的分布を推定し、環境への影響を評価するためにも、各々のトリップの開始・終了時刻の予測が重要となる。交通の環境への影響を解析するに当たって、トリップの時刻属性の予測がきわめて重要となることを強調したい。

既に述べたように汚染物質排出特性は車種によって異なる。環境への影響を把握するに際しては、これまでのように車体のタイプのみならず、動力のタ

イブや燃料に基づいて車種を定義することが必要となる。今後、天然ガス車、ハイブリッド電気自動車、電気自動車、あるいは燃料電池車などが普及すると期待されるが、汚染物質排出特性を適切に表し得る車種の定義が肝要である。さらに、これまで実務レベルでの世帯の自動車保有の予測は保有台数のみを考慮してきたが、微視的な解析の場合は世帯の車種選択を、集計的なアプローチを採る場合には車種構成を予測することが極めて重要となる。また、低公害車の普及を加速させることを目的とした施策の有効性を評価し得る手法の開発、適用が重要となろう。これらの課題を視野に収めた世帯の自動車保有行動の解析とモデル化が進展しつつある²⁶⁻²⁸⁾。

最後に物流交通の需要予測に触れたい。ディーゼル・エンジンからのSPMやNO_xの排出が沿道住民の健康に与える影響が明らかとなり、ディーゼル車の規制、経路誘導が検討されているが、物流交通生成のメカニズムは複雑で、データの整備およびモデルの開発は、人流に比べ遅れているといわざるをえない。同様の事が業務交通についても言える。その一方で「IT革命」は製造、流通、販売の全てにおいて、交通生成のメカニズムを根本的に変えつつある。物流・業務交通生成のメカニズムの行動学的解析とモデルの開発が急務といえよう。また、業務部門での自動車保有、車種選択の解析とモデル化も必要とされている。

4. 新しいアプローチ

環境への影響を把握することが主目的である場合に有効となる交通流の再現手法はシミュレーションであろう²⁹⁻³¹⁾。交通流のシミュレーションモデルは、各々の車輛の挙動がどう再現されているかにより、ミクロなものとマクロなものに大別される。前者は個々の車輛の挙動を個別に再現するもの、後者は一群の車輛の平均的挙動を流体モデルなどを用い集約的に表現するものである。前者を適切な排出モデルと組み合わせることにより、混雑した交差点でのCOの排出や、高速道路合流部の改良あるいはETCの導入に伴う汚染物質排出量の変化などを解析することが可能となる。

ミクロなものであれマクロなものであれ、シミュレーションの大きな利点の一つは時間軸を解析に明示的に導入できるという点にある。シミュレーションでは個々のトリップあるいはトリップ群が生成する度にそれをネットワークに流入させることが可

能である。さらにミクロな解析の場合は、トリップの開始から終了に至るまでの車輛の速度、加速減速などの詳細を時間軸に沿って再現することが可能で、きわめて精度の高い汚染物質排出の推定が可能となる。これに加え、個別経路誘導などのITS施策や、道路料金などのTDM施策への運転者の対応行動をモデルに組み込むことが容易で、幅広い政策評価の可能性を持つ解析法といえることができる。

このようなシミュレーションモデルと、個人による交通生成を時間軸に沿って再現するモデルを組み合わせることにより、広域ネットワーク上の交通流を再現し、CO₂や汚染物質の排出を推定することが可能となる。このような解析の事例として、ここではPCATSと呼ばれる個人の交通行動のシミュレータと、DEBNetSと呼ばれる動的ネットワークシミュレータを組み合わせたモデル系を解説したい。

人間の活動には、時間・空間的に制約されたものと、そのような制約を受けないものがある。これら二種の活動により、活動が先決されている拘束時間帯と、恣意的に活動を選択できる自由時間帯に、一日が分割されると考えよう。PCATS (Prism-Constrained Activity-Travel Simulator) は、拘束的活動が与えられたとして、移動に対する時間・空間的な制約、私的交通手段の利用可能性などを明示的に考慮しつつ、自由時間帯内での個人の交通行動を再現するものである。

PCATSは逐次的構造を持ち、個々人のトリップを時間軸に沿って順次生成する。モデル要素としては、次にどのような活動が営まれるかを決定する活動選択モデル、活動時間モデル、目的地・交通手段選択モデルが含まれる。これらモデルは京阪神パーソントリップ(PT)データなどの観測値に基づき推定されている。活動選択モデルは、個人の属性に加え、時刻、残余自由時間などの関数として諸活動の選択確率を算定し、次の自由活動を確率的に決定する。次に活動時間が時刻などを与件として確率的に決定される。これを受けて諸々の制約条件下で目的地ゾーン、交通手段がシミュレートされる。詳細については文献32)、33)を参照されたい。なお、PCATSのサブモデルで入力として用いられた自動車OD所要時間と、以下に述べるDEBNetSの出力として得られるOD所要時間は一般に一致しないため、モデル系の適用に際してはPCATSとDEBNetSを繰り返し援用し、収束計算を行っている。

DEBNetS (Dynamic Event- Based Network

Simulator) は、PCATSにより生成される自動車トリップを、時間軸に沿って順次広域ネットワークに導入し、交通流の再現を計るものである。ネットワーク上のリンクは各々細かな区間に分割され、各々の区間内では交通流は均一と仮定している。各車輛が区間に流入した時点での区間の交通密度に基づき走行速度を定め、その区間からの流出時刻を定めている。各車輛は最短経路を選択するものとし、分岐点となる各ノードで、一定間隔で更新される経路走行時間に基づき経路選択がなされている。詳細については文献³⁴⁾を参照されたい。

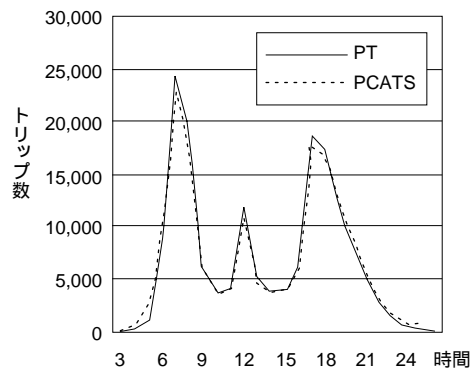
このように、DEBNetSは各車両の走行状態を、加速減速も含めミクロに再現するものではない。以下に述べる適用例では、CO₂の排出量を平均走行速度の関数として表すモデルにDEBNetSから得られるリンク内の区間平均走行速度を代入、得られたCO₂排出量に区間交通量を乗じ単位時間当りの区間排出量を求め、さらにこれらをネットワーク上の全区間について集計することにより、単位時間当りの総CO₂排出量を求めている。したがって、加速減速の影響は排出量関数により間接的に反映されていると考えることができる。しかし、交通流内での車輛間の速度分散は考慮されておらず、これによる誤差がどの程度のものか、さらなる検討が必要とされる。

PCATSとDEBNetSを統合したシミュレーション系は、これまでに京都市³⁵⁾、大阪市³⁶⁾および豊田市³⁷⁾に適用されてきた。京都市の適用例では、同市で1997年に開かれた地球温暖化世界会議(COP3)に向けて、同市の数値目標策定の一助として、交通管制施策のCO₂排出削減効果を推定することを目的にシミュレーションがなされた。大阪市の適用例は、交通施設整備・運営政策の長期的評価を目的とするもので、自動車交通優先政策、自動車抑制・公共交通優先政策、自動車・公共交通併存型政策の下でシナリオを作成、2020年までシミュレーションを遂行した。この適用例では、諸非集計モデルの入力となる世帯属性の将来値を世帯レベルで予測するため、世帯属性のシミュレータを開発、適用している³⁸⁾。豊田市での適用例はTDM諸施策の評価を目的としている。

これらの適用例から、モデルの現況再現性を示す結果をかいつままで紹介したい。PCATS/DEBNetSに含まれる諸モデルには完成に向け継続的に改良が加えられている段階で、以下に示す結果の中にはモデルの不完全性を示すものも含まれてい

る。人間行動やネットワーク上の交通流の挙動をモデル化するに当たった問題点を提示するものとして解釈していただければ幸いである。

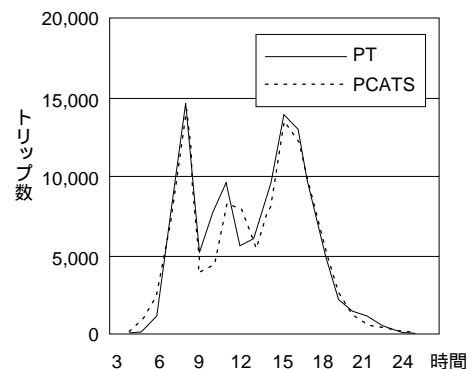
Fig.1は大阪市への適用事例から、PCATSにより推定されたトリップ開始時刻の分布と、1990年に実施された第三回京阪神PT調査データから得られた実測値の分布を、就業者について比較したものである。両者の適合度は高く、PCATSが就業者による交通生成を時間軸上で良好に再現していることが分かる。これに比べて、Fig.2に見られる非就業者(学生を含む)の分布の適合度は低い。自明のことではあるが、就業時間により活動が制約されている就業者に比べ、より自由度が高い活動パターンを持つ非就業者の活動を予測することは、より困難であるこ



注) PT=第3回京阪神パーソントリップ調査データ、PCATS=シミュレーション結果。

出典) 参考文献³⁶⁾。

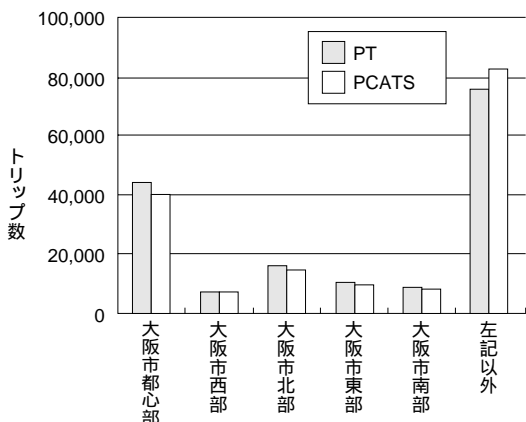
Fig.1 トリップ生成量の時間軸上での分布：就業者についてのシミュレーション結果と観測値の比較



注) PT=第3回京阪神パーソントリップ調査データ、PCATS=シミュレーション結果。

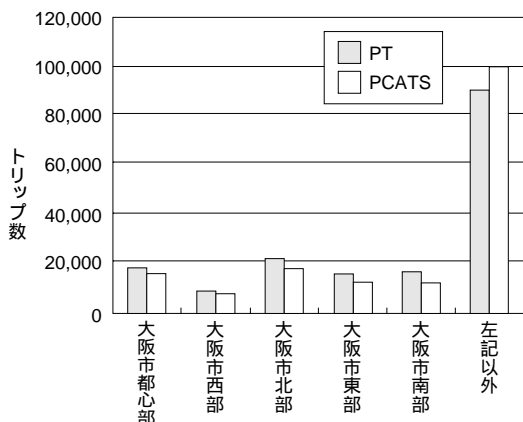
出典) 参考文献³⁶⁾。

Fig.2 トリップ生成量の時間軸上での分布：非就業者についてのシミュレーション結果と観測値の比較



注) PT = 第3回京阪神パーソントリップ調査データ、PCATS = シミュレーション結果。
出典) 参考文献36)。

Fig.3 トリップ目的地の分布：就業者についてのシミュレーション結果と観測値の比較



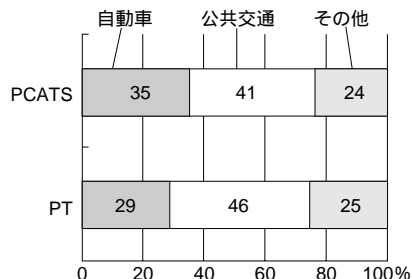
注) PT = 第3回京阪神パーソントリップ調査データ、PCATS = シミュレーション結果。
出典) 参考文献36)。

Fig.4 トリップ目的地の分布：非就業者についてのシミュレーション結果と観測値の比較

とをこの結果は示している。トリップ生成時刻は主として活動選択モデルと活動時間モデルにより決定されるが、これらモデルの非就業者についての適合度をより詳細に検討することが必要である。また、午前9時から午後2時にかけて乖離が特に大きい。これは非就業者による一日の最初のトリップの生成時刻推定に誤差があるためと考えられ、最も早い可能出発時刻の推定誤差が一因と考えられる。これについてはより精緻なモデルが開発されつつある³⁹⁾。

集中トリップ数を比較したのがFig.3とFig.4である。PCATSにより集中トリップ数が概ね良好に再現されているが、大阪市への集中トリップが過少に、その他の地域へのトリップが過大に推定されていることが分かる。また、交通手段選択では、自動車が過大に、公共交通が過少に推定されている (Fig.5)。この適用例では、就業者、学生、非就業者の三グループの各々に特化して目的地・交通手段選択モデルが同定されているが、各々のグループでは単一のモデルが全てのトリップ目的に適用されている。上述の問題点は、目的別に目的地・交通手段選択モデルを推定することにより解決されると期待される。

現行のDEBNetSは、経路選択に際して単一の時間価値 (76円 / 分) を用い道路料金を時間に換算し、最短経路探索により有料道路の利用を決定するという方法を採用している。このため高速道路の利用が過小に推定されるという結果となった。運転者の行動により忠実な経路選択原理を導入することが必須と考えられるが、暫定的な措置として、交通量に基づきネットワークのパラメータを調整し、現況再現性

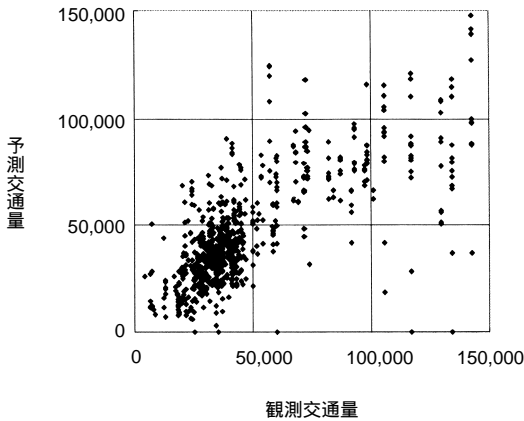


注) PT = 第3回京阪神パーソントリップ調査データ、PCATS = シミュレーション結果。
出典) 参考文献36)。

Fig.5 交通手段分担率：シミュレーション結果と観測値の比較

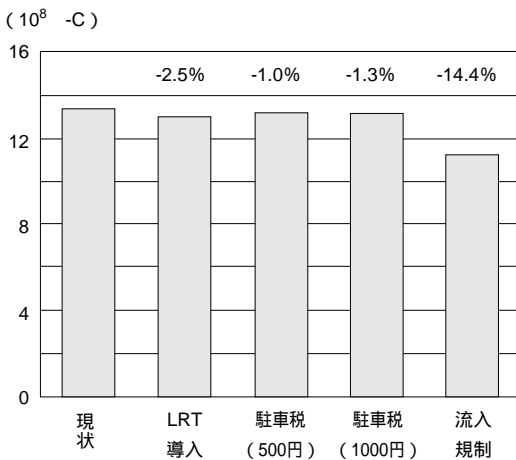
の向上を図った⁴⁰⁾。Fig.6に観測リンク交通量と推定交通量をプロットしたものを示す。観測交通量と推定交通量間の相関係数は0.72で良好な結果といえる。また、平均走行時間は現況を正確に再現するものとなっている。ただし、交通流が大きなリンクで交通量が過小に推定される傾向が未だ見られる。なお、推定交通量が0となっているリンクがいくつか見られるが、これはネットワークコーディング上の問題によるものと考えられる。

最後にCO₂削減に関する結果をFig.7に示す。上述のように、CO₂の排出量は平均走行速度とCO₂排出量との関係を示すモデルに、DEBNetSより得られる走行速度を車種別に代入することにより求められる。この京都市の事例では、1990年のPT調査から得られた京都市民21,458標本、および京都に立ち寄った個人8,246標本、計29,704標本を用いPCATSによるシミュレーションを行い、これを拡



出典) 参考文献40)。

Fig.6 観測リンク交通量と予測交通量の比較



出典) 参考文献35)。

Fig.7 交通制御施策別CO₂排出量推定値

大し(1,434,600人に相当)生成されたトリップをDEBNetSに導入している。検討された交通制御施策は、京都市の都心部を取り巻く延長約23kmの路面電車(LRT)を導入、都心部(約1.8km×1.6km)での駐車賦課金の導入、および自動車の都心部流入規制、である。シミュレーション結果は、これら施策に伴う交通手段利用や目的地の変化のみならず、トリップ生成量の変化、さらにはトリップチェーンのパターンの変化などを反映するものとなっている。

PCATS/DEBNetSを適用し、京都市全体でのCO₂排出量を推定した結果、都心部における500円あるいは1,000円の駐車賦課金は、CO₂削減にさほど効果を持たないが、LRTの導入と都心部への自動車流入規制は共に自動車分担率の減少をもたらし、

より大きなCO₂削減をもたらすことが示された。特に、約2.9km²と都市圏全体から見ると小さな地域であるが、都心部への自動車流入規制で大幅なCO₂排出の削減が可能であることが示されている。ここでの解析はパーク&ライドや、規制地区外で駐車し徒歩で最終目的地に向かうといった対応行動を考慮しておらず、暫定的なものといわざるを得ない。しかしながら、時刻別に動的に推定された交通量に基づきCO₂の排出量が推定されていること、また、目的地や交通手段選択にとどまらず、トリップチェーンなどの一日の交通行動全体に交通施策が及ぼす影響を把握したものであること、という二点において、四段階推定法に代表される従来の解析法の弱点を克服するものと考えられる。

5. おわりに

これまでの交通需要予測、施策分析の中心的な手法であった四段階推定法は、交通が環境に及ぼす影響の解析手法としてはきわめて不十分なものである。特に時間軸の欠落のため、この手法により得られる道路網上の自動車交通量の推定値は信頼度の低いものでしかありえない。結果として、走行速度などの交通流特性の推定の精度が低下し、汚染物質の排出量や騒音・振動の推定値は不正確なものとならざるを得ない。

本稿では、環境影響の解析に必要な要件を明らかにし、それらを満たすものとして個人の活動とネットワーク上の交通流のシミュレーションモデル系を提案した。これは交通需要予測、政策分析における斬新な試みであり、改良すべき点を多々含んでいる。しかし、このようなアプローチが必要とされていることは理論的に明白であると同時に、本稿で紹介した事例は、トリップの生成を時間軸を追って再現し、ネットワーク流を動的にシミュレートすることが実用的な交通分析手法であることを示すものである。このような新たな手法が今後より幅広く適用され、より精緻な需要予測、環境影響の把握、政策分析がなされることを期待する次第である。

参考文献

- 1) 折口透『自動車の世紀』岩波書店、1997年
- 2) 北村隆一「省エネルギーに向けての交通施策」『エネルギー・資源』19巻
- 3) 角本良平「車と道路から見た20世紀の東京」『運輸と経済』60巻4号(1998年)、5号(2000年)

- 年)
- 4) 総務庁統計局(編)『世界の統計1999』1999年
 - 5) Sperling, D.: Future Drive, Electric Vehicles and Sustainable Transportation. Island Press, Washington, D.C., 1995
 - 6) 北村隆一「やさしい交通シミュレーション5. 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年、「やさしい交通シミュレーション6. 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年
 - 7) Kitamura, R., Nakayama, S., and Yamamoto, T.: Self-reinforcing motorization: Can TDM take us out of the social trap? Journal of Transport Policy, Vol. 6, No. 3, pp. 135-145, 1999.
 - 8) 環境庁(編)『平成4年版環境白書、総説』1992年
 - 9) Small, K. A. and Kazimi, C.: On the costs of air pollution from motor vehicles. Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 29, No. 1, pp. 7-32, 1995
 - 10) Wright, P. H. and Ashford, N. J.: Transportation Engineering: Planning and Design. Third Edition, John Wiley & Sons, 1989
 - 11) 環境にやさしい交通体の形成のための調査委員会(編)『環境と運輸・交通: 環境にやさしい交通体系を目指して』運輸経済研究センター、1994年
 - 12) Nieuwenhuis, P. and Wells, P.: The Death of Motoring?: Car Making and Automobility in the 21st Century. John Wiley & Sons, Chichester, 1997
 - 13) 京都市衛生局環境保全室『自動車公害関係資料集』1997年
 - 14) 道路投資の評価に関する指針検討委員会(編)『道路投資の評価に関する指針(案)』(財)日本総合研究所、1998年
 - 15) 楊海、飯田恭敬、佐佐木綱「観測リンク交通量をを用いた時間OD交通量の動的推定法」『土木計画学研究・講演集』No. 13, pp. 599-606, 1990年
 - 16) 松本幸正、藤田素弘、松井寛「交通量観測値に基づく動的OD交通量の再帰的推定に関する研究」『土木学会論文集』No. 590 / IV-39, pp. 63-78, 1998年
 - 17) 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年
 - 18) 藤田素弘、松井寛、溝上章志「時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究」『土木学会論文集』No. 389, pp. 111-119, 1988年
 - 19) 宮城俊彦、牧村和彦「時間帯別交通配分手法に関する研究」『交通工学』Vol. 26, No. 2, pp. 17-27, 1991年
 - 20) 土木学会土木計画学研究委員会「交通ネットワーク」出版小委員会(編)『交通ネットワークの均衡分析 最新の理論と解法』土木学会、1998年
 - 21) 赤松隆「交通流の予測・誘導・制御と動的なネットワーク配分理論」『土木計画学研究・論文集』No. 13, pp. 23-48, 1996年
 - 22) 桑原雅夫、赤松隆「多起点多終点ODにおける渋滞延伸を考慮したリアクティブ動的利用者最適交通量配分」『土木学会論文集』No. 555 / IV-34, pp. 91-102, 1997年
 - 23) 赤松隆「時間帯別OD需要とリンクでの渋滞を内生化した準動的交通配分」『土木計画学研究・論文集』No. 15, pp. 535-545, 1998年
 - 24) 桑原雅夫「ネットワーク交通流の動的な解析待ち行列モデルの応用」『土木計画学研究・論文集』No. 16, pp. 1-17, 1999年
 - 25) Smith, L., Beckman, R., Baggerly, K., Anson, D. and Williams, M.: Overview of TRANSIMS, the Transportation Analysis and Simulation Systems. LA-UR-95-1641, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 1995
 - 26) 山本俊行『連続時間軸上における世帯の自動車保有更新行動及び世帯内での配分・利用行動に関する研究』京都大学博士(工学)学位論文、2000年
 - 27) Yamamoto, T., Kitamura, R. and Fujii, H.: An Analysis of the Effects of a Periodical Vehicle Inspection Program on Household Vehicle Ownership. To be presented at the 9th Conference of the International Association for Travel Behavior Research, Gold Coast, Queensland, Australia, July, 2000
 - 28) Golob, T., Brownstone, D., Bunch, D. and

- Kitamura, R. : Forecasting Electric Vehicle Ownership and Use in the California South Coast Air Basin ,final report submitted to the Southern California Edison Company ,1995
- 29) May, A. D. :Traffic Flow Fundamentals . Prentice Hall , Englewood Cliffs ,1990
- 30) 桑原雅夫「やさしい交通シミュレーション2 . 広域ネットワークシミュレーション」『交通工学』Vol .32 No .5、pp .25-31、1997年
- 31) 尾崎晴男「やさしい交通シミュレーション3 . 交通流のミクロシミュレーション」『交通工学』Vol .32 No .6、pp .61-68、1997年
- 32) 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年
- 33) Kitamura, R. and Fujii, S. : Two computational process models of activity-travel behavior . In Garling, T., Laitila, T. and Westin, K. (eds.), Theoretical Foundations of Travel Choice Modelling, Elsevier, New York, pp 251-279, 1998
- 34) 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概要集第4部』pp 694-695、1998年
- 35) 藤井聡、菊池輝、北村隆一「マイクロシミュレーションによるCO₂排出量削減に向けた交通施策の検討：京都市の事例」『交通工学』2000年（印刷中）
- 36) 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』2000年（印刷中）
- 37) 菊池輝、北村隆一、倉内慎也、佐々木邦明、花井卓也、藤井聡、森川高行、山本俊行「豊田市を対象とした交通政策導入効果のマイクロシミュレーションを用いた分析」『土木計画学研究・講演集』No .22(2) pp .817-820、1999年
- 38) 西田悟史、山本俊行、藤井聡、北村隆一「非集計交通需要分析のための将来世帯属性生成システムの構築」『土木計画学研究・論文集』2000年（印刷中）
- 39) Kitamura, R., Yamamoto, T. and Kishizawa, K. : Stochastic frontier models of prism vertices . Transportation Research Record, 2000 (forthcoming)
- 40) 菊池輝、藤井聡、白水靖郎、北村隆一「大規模ネットワークにおける交通流シミュレータDEBNetSの現況再現性について」『第20回交通工学研究発表会論文報告集』2000年（印刷中）