

交通流シミュレータ DEBNetS の現況再現性向上と シミュレーションシステムによる交通政策の評価に関する事例研究 Improvement of Dynamic Traffic Flow Simulator "DEBNetS" and an Evaluation of Transportation Policies by a Micro-Simulation System

菊池輝*, 藤井聡**, 白水靖郎***, 北村隆一****

By Akira Kikuchi, Satoshi Fujii, Yasuo Shiromizu and Ryuichi Kitamura

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、行動論の基盤の欠如、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、評価対象としう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、シミュレーションシステム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TCM (Transportation Control Measures) の短期的な感度分析²⁾や大阪市を対象とした総合交通政策の評価⁵⁾に適用されている。

しかしながらこのシミュレーションシステムによる交通需要予測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。特に、モデルシステム全体の挙動・再現性に大きく影響を及ぼすと考えられるDEBNetSの現況再現性は未だ詳細に分析されていない。そこで本研究では、上述のマイクロシミュレーション統合需要予測システムの再現性をさらに向上させるために、大阪市の道路ネットワークと観測リンク交通量を用いて、DEBNetSの現況再現性を分析し、再現性向上のための方法論的検討を行うことにする。さらにDEBNetSとPCATSを統合した交通需要予測システムを用いた事例研究として、大阪市を対象とした将来需要予測および交通施策評価を行う。

2. シミュレーションシステムとその概要

(1) システム構成

本研究で用いるシステムは、動的自動車交通流と動的OD交通量との相互作用を計算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相互依存構造となっており(図1参照)、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構成される。PCATSは個人の一日の交通行動を含む生活パターンそのものを再現し、すべての活動および移動の要素を出力する。その出力から自動車トリップのみを抽出し、自動車交通需要データを作成し、DEBNetSの入力データとする。さらにDEBNetSから出力される各車両の旅行時間を用いて時間帯別自動車OD所要時間を算出し、それを用いてPCATSの入力データを更新する。この2つのシミュレーションの繰り返し計算を、総自動車発生需要量が収束するまで行う。以下、各サブシステムについて述べる。

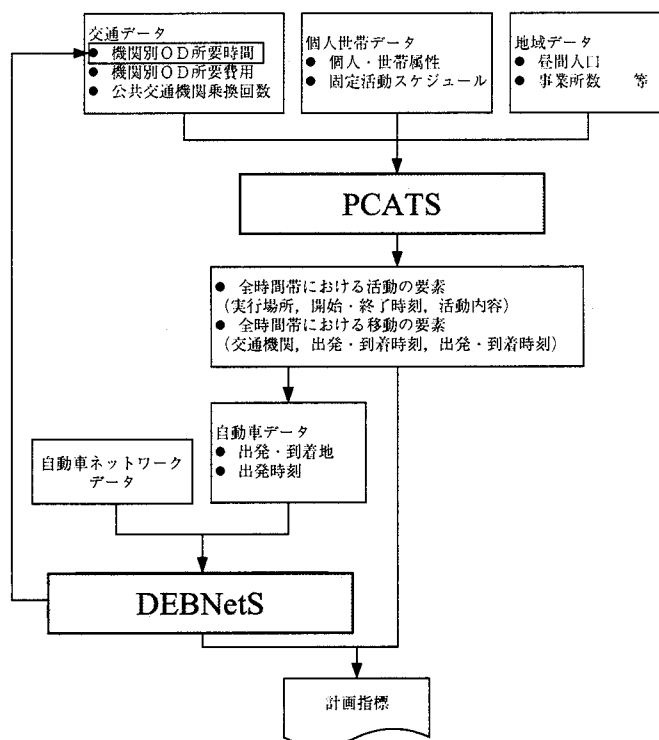


図1 マイクロシミュレーションシステムの構造

(2) 生活行動シミュレータPCATS

PCATS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

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
 * 学生員 工修 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
 ** 正員 工博 京都大学工学研究科土木システム工学専攻
 *** 正員 中央復建コンサルタンツ株式会社
 **** 正員 Ph.D 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)

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継続／終了の離散選択を同時に記述するSplit Population Survival Modelの3つを組み合わせ、自由活動を生成する。自由活動生成の際にプリズム制約⁶⁾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。

(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、車両群をパ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。各パ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、各パ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。

3. DEBNetSの現況再現性とキャリブレーション

(1)DEBNetSの現況再現性

本研究でDEBNetSの計算の対象とした道路網は、現況の大阪市および大阪市周縁の道路網であり、一般道（主要地方道以上）と高速道路を含め、リンク数は2994、ノード数は1050、セントロイド数は292（うち36が対象道路網への流入・流出ノード）である。KV曲線にはドゥル型関数⁷⁾を用い、関数内のパラメータをリンク容量から特定した¹⁾。入力車両データは、2.で述べたシミュレーションシステムの構造から、PCATSの出力を用いて加工することになるが、ここではまず、DEBNetS単独での交通流シミュレータとしての再現性を確認するために、PCATSを用いず、1990年の京阪神パーソントリップデータ（以下、PTデータ）に含まれる、自動車トリップで、対象地域にトリップエンドを持つトリップデータから加工した。物流および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（個票データ）に基づきデ

ータを作成した。こうして作成したデータの総トリップ数は990,575トリップ（拡大係数換算後4,712,126トリップ）である。

このようにして加工したデータを入力として、DEBNetSを適用した。計算時間は、24時間のシミュレーションを行ったところ、ベクトルコンピュータ²⁾を用いて、約15分であった。道路交通センサスの平日24時間交通量として観測交通量が与えられているリンクに関して、その観測値と、DEBNetSによる計算値の比較を行ったところ、図2のようになった。このときの観測値と計算値の相関係数は0.54であった。また混雑時（7時・8時・17時・18時台）における平均速度を集計した結果を表1に示す。全体的に計算値の方が速度が高くなっており、特に高速道路に関しては約8km/hも速い。これはDEBNetSでは、最短経路探索において所要時間と料金抵抗（時間価値を76円/分と設定）のみを考慮しているためであると考えられる。すなわち、実際のドライバーは利用のしやすさや車線数、速度、信号の有無等の高速道路を魅力的に評価する選択要因を考慮しているにも関わらず⁸⁾、それらがシミュレーションにおいて考慮されていないため、高速道路の交通量が過小に再現されたものと考えられる。

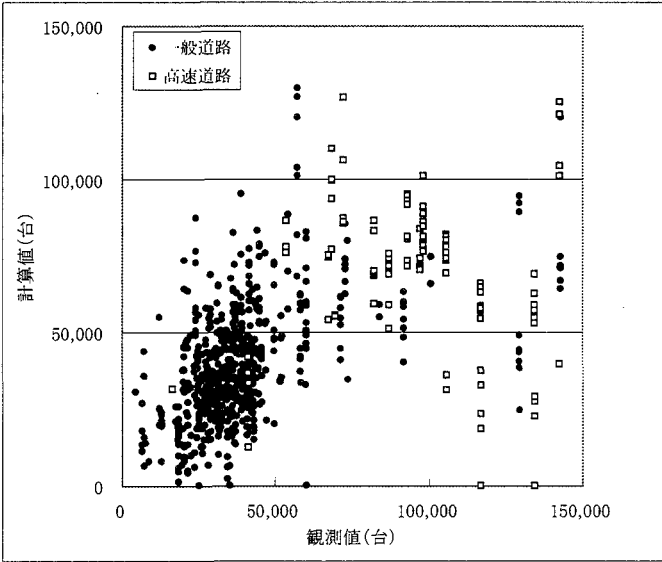


図2 観測交通量と予測交通量の相関

表1 混雑時平均速度の比較

	実績値 ⁵⁾	計算値
高速道路	28.5km/h	36.8km/h
一般道路	18.8km/h	19.7km/h
合計	20.1km/h	21.3km/h

(2)DEBNetSのキャリブレーション

前節の考察から、現況再現性を向上させるためには、所要時間と料金以外の要因を考慮することが必要であることが考えられる。このためには、行動データに基づいた統計的手法によって要因を抽出することが望ましいが、

そのためには全2994リンクのリンク属性についての詳細なデータ、ならびに、それに対応する経路選択行動データの双方が必要である。しかし、実務において交通流シミュレーション計算を行う場合、それらのデータが必ずしも入手できるとは限らない。そこで、本研究では、以下のような簡便な方法で、観測リンク交通量への適合度を向上する方法を用いる。

DEBNetSでは、運転者は個々のリンクの所要時間と、時間価値に基づいて換算される高速料金抵抗との和（一般化所要時間）を最小化する経路を選択する。本研究では、所要時間と費用以外の、個々のリンク固有の選択要因の効果をDとし、これが以下の式で示すように、観測リンク交通量と予測交通量との乖離から求められると考えた⁹⁾。

$$dV = \frac{V^* - V}{V^*} \quad (1)$$

$$D = \begin{cases} -T^* \times dV & \text{if } (|dV| \leq \alpha) \\ \alpha \times T^* & \text{if } (dV < -\alpha) \\ -\alpha \times T^* & \text{if } (dV > \alpha) \end{cases} \quad (2)$$

V^* : 観測リンク交通量
 V : 予測リンク交通量
 T^* : 観測リンク交通量から算出される
 リンク所要時間
 α : 変動幅を制限するパラメータ

このDを、上述の一般化所要時間に加えた上で、最短経路探索を行った。なお、観測リンク交通量が与えられていないリンクに関してはD=0としている。このキャリブレーションでは、観測値と計算値の差が大きいほどリンク所要時間に加算する常数Dの絶対値は大きくなり、計算値が観測値より大きい場合は正、小さい場合は負の値をとる。ただし、観測値と計算値の差の絶対値が大きすぎると、Dの値が本来のリンク所要時間よりも大きく最短経路探索に影響を及ぼすことにもなるので、変動幅を制限するパラメータ α を導入している。なお本研究における分析では $\alpha=0.05$ とした^[3]。

キャリブレーション後のDEBNetSの現況再現性を検討するために、前節の結果を利用してリンクごとに常数Dを算出し、これをDEBNetSに入力した。その他の道路ネットワークデータや車両データは、3.(2)と同一である。図3に観測値と計算値の相関図を、表2に混雑時の平均速度を示す。ここで観測値と計算値の相関係数は0.72であり、図2と比較しても、散らばりが小さくなっており、特に高速道路に関しては、交通量が過小に評価された問題点が改善され、キャリブレーションの効果が大きくあらわれたと言えるだろう。また混雑時の平均速度も、キ

ャリブレーション前は1.29であった再現率（計算値／実績値^[5]）が1.04に抑えられるなど、良好な再現値が得られた。

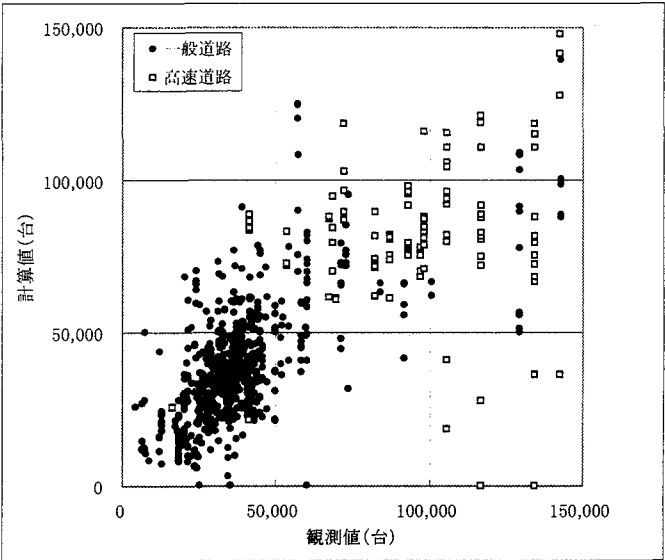


図3 キャリブレート後の観測交通量と予測交通量の相関

表2 キャリブレート後の混雑時平均速度

	計算値	計算値／実績値 ^[5]
高速道路	29.7km/h	1.04
一般道路	19.3km/h	1.03
合計	20.5km/h	1.02

4. 大阪市への適用事例

ここでは、キャリブレート後のDEBNetSとPCATSを統合したシミュレーションシステムを用いて、大阪市の2010年における交通需要予測を行った結果を示す。

(1) 分析対象

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。予測年次は2010年であり、将来人口フレームは、現況人口（約260万人、従業人口約247万人）に既定開発プロジェクトによる増分（約10万人、従業人口約17万人）を足し合わせたものとした。また2010年時点でのゾーン別の土地利用データは、この人口フレーム増分に比例する形で、現況の土地利用データから加工した。道路ネットワークデータに関しては、3. で用いたものを基準に、以下(3)で述べる評価対象施策を反映させている。

(2) シミュレーションシステムの現況再現性

統合需要予測システムの現況再現性を検討するために、現況の道路ネットワーク、土地利用データおよび個人データをシミュレーションシステムへ入力した。実行

時間は、DEBNetSがベクトルコンピュータ^[2]を用いて約15分、PCATSはPentium II (300MHz)のPCで約5分であった。またPCATSとDEBNetSの繰り返し回数は3回とした^[4]。

自動車交通需要の走行台キロを表3に、断面交通量を表4に示す。走行台キロおよび主要断面交通量ともに、計算値の誤差の絶対値が約3%以内に収まっており、DEBNetS内での経路選択行動およびPCATS内での目的地選択行動の再現性は良好であることを示している。これらより、DEBNetSの現況再現性の向上が、マイクロシミュレーション統合需要予測システム全体としての再現性の向上に寄与していると考えられる。

表3 現況再現結果(24時間走行台キロ)

	実績値 ^[5]	計算値	計算値／実績値 ^[5]
一般道路	1,400万台キロ	1,432万台キロ	1.02
高速道路	710万台キロ	706万台キロ	0.99
合計	2,110万台キロ	2,138万台キロ	1.01

表4 現況再現結果(主要断面日交通量)

	実績値 ^[5]	計算値	計算値／実績値 ^[5]
神崎川断面	61.8万台	62.6万台	1.01
淀川断面	68.1万台	70.3万台	1.03
大和川断面	41.5万台	40.8万台	0.98

(3)評価施策

予測年次における導入施策の検討にあたっては、①既定計画で示されている鉄道新線整備および道路整備での対応可能性、②さらなる道路整備および実現性の高いTDM (Travel Demand Management) 施策による対応可能性を考慮し、表5に示すケース1、2の2つのケースを評価対象施策とした。さらにこれらのケースとの比較を行うためにケース0を設定し、3つの代替案に対して評価を行う。

表5 設定した評価対象施策

ケース	考え方と主な施策
0	○現状のまま新たな対応を行わない
1	○既定施策を実施するケース ・道路ネットワーク整備（渋滞対策プログラム、道路整備プログラムに示された施策） ・鉄道新線整備（地下鉄8号線、大阪外環状線、テクノポート線）
2	○ケース1に加え、さらなる道路整備および実現性の高いTDM施策を行うケース ・道路ネットワーク整備（阪神高速左岸線3期・門真線、塚本ランプ等） ・P&R駐車場整備（大阪府交通実験対象駐車場）

(4)シミュレーション結果に基づく考察

以上のような前提のもと、マイクロシミュレーションシステムを用いて、2010年における大阪市の交通需要予測・交通施策評価を行った。

シミュレーション結果より集計したパーソントリップ数を図4に示す。大阪市全体の発生集中量は現況実績値^[5]に比べ微増であるが、自動車分担率が上昇している。これは自動車分担率が比較的高い臨海部等において、大規模プロジェクトにより将来人口が増加しているためと考えられる。

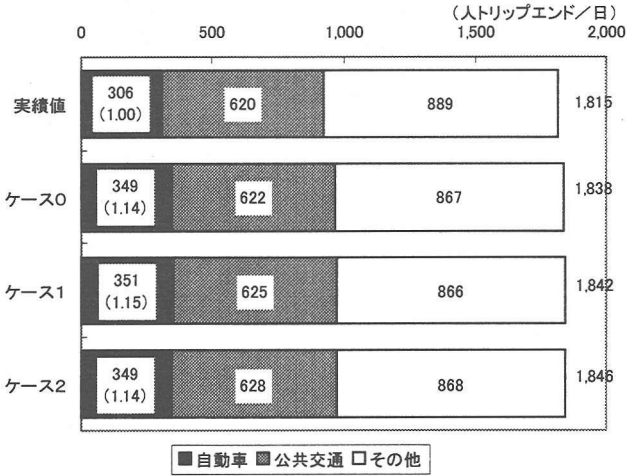


図4 代表交通手段別大阪市発生集中量の計算結果 (パーソントリップ数)

次に、図4より自動車利用パーソントリップのみを抽出し、自家用乗用車台数に換算し、貨物車等その他の車種を加えた自動車交通量を図5に示す。自動車交通量は8~9%増加すると見込まれるが、これは高齢化に伴い免許保有人数が増えるためと思われる。

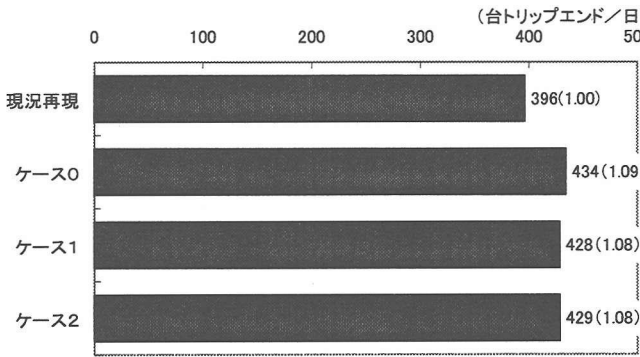


図5 大阪市自動車発生集中量の計算結果^[6]

走行台キロの集計結果を図6に示す。ケース0において、走行台キロは、自動車交通量の伸び(9%増)よりも大きく14%増加している。これは、新たに道路整備を行わないため、混雑道路を避ける迂回交通等が生じるためと考えられる。ケース1では既定計画を実施するため、平面道路を中心に、ケース0と比べて走行台キロが減少する。しかし、高速道路の整備により高速道路の利用量が増加し、走行台キロの総量はケース0に対して微減にとどまる。ケース2では、さらなる道路整備により環状線を経由せずに

市内通過が可能となること等の影響で、高速道路の走行台キロも減少する。この結果、自動車交通量は約8%増加するものの、走行台キロについては、ほぼ現状と同等のレベルに維持することができる。

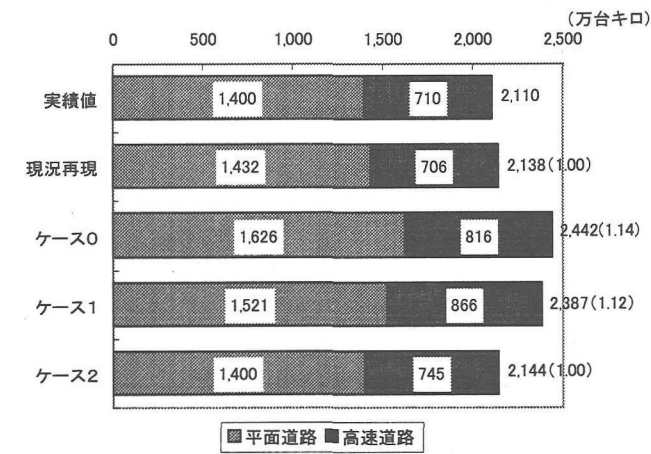


図6 大阪市内の走行台キロのケース比較

図7に混雑時における平均走行速度、図8に時間帯別の走行速度の推移を示す。何も対策を行わないケース0では、現状よりも約1km/h低下し、特に夕方のピーク時には約4km/hほど低下することが分かる。しかし既定計画を実施（ケース1）することにより、ほぼ現状レベルまで回復すると考えられる。これに対し、さらなる道路整備等を実施（ケース2）することにより、現状よりも約2km/h速度の向上が見込まれる。しかしながらその増分は大きいとは言えない。したがって、道路整備や実現性の高いTDM政策を実施していく一方で、自動車の需要を抑制する規制的な施策についても、実行可能性を含めて検討していくことが重要と考えられる。

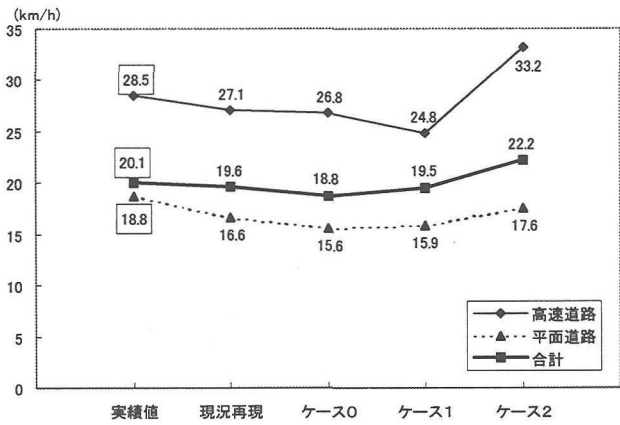


図7 混雑時平均走行速度のケース比較

表5は一日あたりの平均自由活動時間を示したものであるが、ケース2の場合は現状よりも2%ほど自由活動を行う時間が増えている。これは、本研究で用いたシミュレーションシステムは交通流と生活行動の相互影響を考

慮しているため、上述のように速度が高くなったことが原因と思われる。

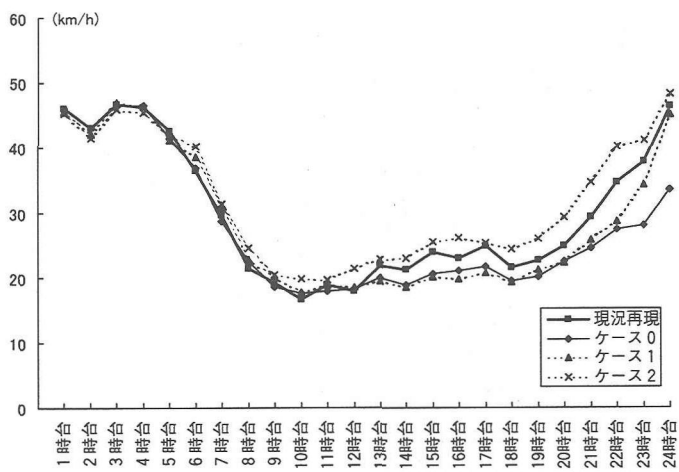


図8 時刻帯別走行速度(平面・高速計)のケース比較⁶⁾

表5 一日あたりの平均自由活動時間

(単位:分)

	現況再現	ケース2
買物	124.7	127.7
社交・娯楽等	37.2	37.6
その他の私用	129.9	131.3

5. おわりに

本研究では、生活行動シミュレータPCATSと交通流解析ツールDEBNetSを統合したシミュレーションによる交通需要予測システムの一つの課題であったモデルシステム全体の再現性を向上させるために、DEBNetSのキャリブレーションを行った。さらにこの需要予測システムを用いて大阪市への事例研究を行った。本研究におけるマイクロシミュレーションシステムは、従来の交通需要予測手法・政策分析手法と比較して、時間軸に沿ったダイナミックな予測ができるほか、個人単位の活動を予測しているため、よりミクロな視点での多様な評価指標を算出できるといった特長があり、今後の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。しかしながら、DEBNetSにおいて渋滞の延伸現象が再現されていないといった問題点のほか、KV曲線の特定方法の検討、更にはより微視的な視点から交通現象を捉えるために目的をゾーン単位ではなく連続平面上で表現すべき¹⁰⁾であり、今後さらなる改良が必要であるとともに、交通流シミュレーションとしての検証 (verificationおよび validation) ¹¹⁾を行う必要がある。

謝辞
本研究は大阪市計画調整局の全面的協力を得た。ここに記して、深謝の意を表します。

註

- [1] KV曲線は、まず現況再現性を確認する段階で、数種類設定し、最も相関が高かったドゥルー型を採用した。リンク容量は道路交通センサスデータにおいて与えられる「可能容量」に設定した。
- [2] 超高速ベクトル並列コンピュータFujitsu VPP800/63. 63台のベクトルプロセッサおよび 504GByteのメモリを搭載し、504Gflopsのベクトル性能を発揮する。
- [3] 本稿に報告する数値計算を行う前に、パラメータ α を無限大、すなわち、制約を加えずにキャリブレーションを行った所、十分に高い適合度は得られなかった。これは、極端に大きな補正値が加えられるリンクが存在し、それによって、そのリンクを利用する交通量が非常に減少した事などが原因であった。こうした試行を加えた後、 α を設けた数値計算を行った。 α の値として、いくつかの水準を設けたが、上記問題を回避するには、比較的小さい値の方が良好な適合度を与えた。この試行を経て、本研究では、リンク種別等に関係なく一律5%とした上で、計算を行った。
- [4] 繰り返し回数 n 回目の総自動車発生需要量から $n+1$ 回目の総自動車発生需要量の変動が1%以下なら収束していると判断した。
- [5] 道路交通センサス(1994年)より算出した。
- [6] 実績値は得られていない。

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：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, Vol. 35, No. 4, pp. 11-18, 2000.
- 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.
- 5) 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(1), pp. 511-514, 1999.
- 6) Hagerstrand, T.: What about people in regional science? Papers of the Regional Science Association, 23, pp. 7-21, 1970.
- 7) Drew, D.R.: Deterministic Aspects of Freeway Operations and Control, Texas Transportation Institute, Research Report, pp. 24-4, 1969.
- 8) 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交通需要予測のための経路選択モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 569-576, 1999.
- 9) 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の現況再現について, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 49-52, 2000.
- 10) 菊池 輝, 小畑篤史, 藤井 聡, 北村隆一：GISを用いた交通機関・目的地点選択モデル：ゾーンシステムから座標システムへの地理空間表現手法の移行に向けて, 土木計画学研究・論文集, 17, pp. 605-612, 2000.
- 11) URL: <http://trans1.ce.it-chiba.ac.jp/>

交通流シミュレータDEBNetSの現況再現性向上とシミュレーションシステムによる交通政策の評価に関する事例研究

菊池 輝, 藤井 聡, 白水 靖郎, 北村 隆一

本研究では、集計的かつ動的な交通流と個々人の生活行動、交通行動との相互作用を考慮した需要予測システムを構築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DEBNetSの現況再現性を検証するとともに、DEBNetSの交通流シミュレータとしての枠組みの中で、簡便な方法でその現況再現性を向上させる方策を検討した。その結果、観測リンク交通量と予測リンク交通量の相関を高めたばかりでなく、乖離が大きかった高速道路利用者の平均走行速度も実績値に近い値となった。さらに生活行動シミュレータPCATSとの統合による需要予測も良好な結果が得られた。

Improvement of Dynamic Traffic Flow Simulator “DEBNetS” and an Evaluation of Transportation Policies by a Micro-Simulation System

Akira Kikuchi, Satoshi Fujii, Yasuo Shiromizu and Ryuichi Kitamura

The strategy to improve reproducibility of dynamic traffic flow simulator DEBNetS, which is developed for a micro simulation travel demand forecasting system, is examined. As a result of the improvement, the correlation between observed traffic volume and predicted traffic volume is improved, and predicted average speeds become almost identical with the observation. From the results of the simulation by the PCATS-DEBNetS system, improvement of the system is confirmed.