

広域交通流シミュレータ NETSTREAM

棚橋 巖 北岡 広宣 馬場 美也子 森 博子 寺田 重雄 寺本 英二
(株)豊田中央研究所

渋滞低減や環境改善のための交通施策および ITS 技術の導入効果の事前評価に適用可能な広域交通流シミュレータ NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) を開発した。このシミュレータは、リンクの交通流特性に基づいて個々の車両の挙動を計算し、渋滞の発生、延伸および解消など交通状況を精度良く再現することが出来る。開発したシミュレータを用いて中規模都市の交通流の現況再現を行った。交通量および旅行時間を実測値と比較した結果、広域交通流を精度良く再現できることを確認した。

Wide Area Traffic Flow Simulator NETSTREAM

Iwao Tanahashi Hironobu Kitaoka Miyako Baba Hiroko Mori
Shigeo Terada Eiji Teramoto
Toyota Central R&D Labs., Inc.

Traffic simulator NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) has been developed to estimate the effects of traffic measures and Intelligent Transport Systems that reduce traffic congestion and environmental pollution. This simulator can calculate the action of each vehicle based on the traffic characteristic of each link, and can reproduce traffic conditions, such as generating of traffic congestion, extension, and dissolution, with sufficient accuracy. Reproduction of traffic conditions in a middle-scale city was performed using the developed simulator. As a result of comparing traffic volume and travel time with observed value, it was confirmed that wide-area traffic flow was reproducible with sufficient accuracy.

1. はじめに

自動車による交通社会の発展に伴い、都市部の交通渋滞や排気ガスによる大気汚染、さらに騒音問題など交通環境の悪化が深刻な社会問題となっている。これらの問題に対して、渋滞低減に有効な交通情報提供による経路案内や高速道路の自動料金収受システムなど、交通環境改善を目指した種々の ITS(Intelligent Transport Systems)技術の導入や TDM(交通需要マネジメント)などの交通施策が実施されている。

これらの ITS 技術導入や交通施策を実施した際の効果について、実際の道路での事前評価は実験・試行に必要な期間や費用などの理由から実施が困難な場合が多く、これに代わる事前

評価のツールとして交通流シミュレータが不可欠である¹⁾²⁾。

このような交通環境の改善効果を事前評価する交通流シミュレータは、以下の複数の要求を同時に満たす必要がある。まず、ITS 技術導入効果の評価にはシステム搭載車両と非搭載車両の挙動が異なるため、個々の車両の挙動を計算できる必要がある。次に、対象道路の交通流特性(リンクの交通容量と車両密度および速度の関係)に基づいて渋滞の発生、延伸、更に渋滞の解消を精度よく再現できる必要がある。そして、交通情報提供や交通施策などの効果予測には、都市域全体の交通状況に対する影響を評価する必要があるため、広域道路網を対象とする

交通流計算を実用的な速度で処理できなければならぬ。更に、道路ネットワークの作成や各種入力データの作成、および交通流が容易に把握可能な表示機能を備えていることも重要である。

これらの要求に対してこれまでに開発された交通流シミュレータは、必ずしも充分に対応できるとは言えない。現状では、追従モデルを用いて個々の車両挙動を計算するマイクロシミュレータが多く使われているが³⁾、これらは車両属性やドライバー特性など詳細なパラメータ設定を必要とし、信号管制評価や大規模駐車場周辺の交通流評価など比較的狭い範囲を適用対象としており、都市域全体など広域の交通流計算には計算量が過大になるため対応できない。一方、広域交通流を対象とするシミュレータについては、交通流を流体近似するモデルや複数台の車両をまとめて車両移動計算を行う手法などが用いられているが⁴⁾、これらはITS導入時のシステム搭載車両と非搭載車両の識別や大型車など属性が異なる車両の挙動を個々に計算できないという問題を抱えている。

我々は、これまでに交通情報提供システムの評価を目的とした広域交通流シミュレータNETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility)を開発し²⁾、交通情報提供による渋滞低減効果の予測や長野オリンピック開催時の交通状況予測に適用した⁵⁾。このシミュレータは、交通流の計算量を抑えるために車の流れを流体近似し密度移動させるブロック密度法を用いており、さらに交通情報提供による車両の経路変更に対応するため、各リンクの流入車両を記憶するFIFO(First In First Out)を備えることにより個々の車両の識別を可能にした。

しかしながら、ブロック密度法に基づいた交通流の計算方法はブロック単位で交通密度の管理がなされるため、上述の広域シミュレータの課題と同様に、車両の属性による挙動の違いを個々に計算できないという問題を抱えており、

長野市の交通状況予測では、実測データとの比較検証を行った結果、渋滞予測の精度向上には大型車の考慮など、個々の車両挙動計算の必要性が明らかになった⁵⁾。

そこで、我々は個々の車両挙動を一台ごとに計算し、かつ広域交通流を精度良く再現し実用的な速度で処理できるシミュレーションモデルを開発しNETSTREAMの新たなモデルとした。

本報告では、はじめにリンクの交通流特性に基づいて個々の車両挙動を計算し、渋滞の発生など実際の交通状況を精度良く再現するシミュレーションモデルを説明し、次に、このモデルを用いた交通流シミュレータNETSTREAMの入出力とユーザインタフェースについて説明する。最後に、NETSTREAMを中規模都市全域に適用し、現状交通流を精度良く再現できることを示す。

2. シミュレーションモデル

2.1 モデルの概要

シミュレーションモデルの基本構造は、図1に示すようにスキャニングインターバルごとに車両を移動させる交通流モデルと、個々の車両の経路選択を行う経路選択モデルから構成される。交通流モデルは、経路選択モデルで確率的に選択された各車両の経路に従って与えられた交通量をネットワーク上で移動させる。そして各リンクの旅行時間を計算し出力する。一方、経路選択モデルは交通流モデルより出力されるリンク旅行時間をもとに各車両の経路選択率を決定し、車両発生時に個々の車両の走行経路を与える。なお、経路は基本的に各車両の発生時

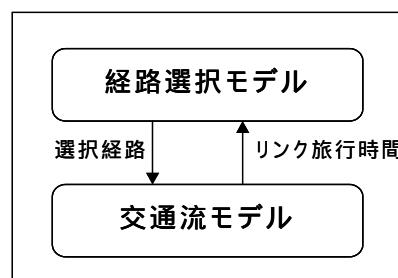


図1 シミュレーションモデルの基本構造

点で確率的に決定されるが、交通情報提供による経路変更や渋滞発生時の迂回経路探索などに対応するため、経路の途中においても経路選択を可能としている。

2.2 交通流モデル

車両の挙動計算は、リンクごとに定義される交通流特性に基づいて、ある時刻の車頭距離から各車の速度を求めて、スキッピングインターバルに走行する距離だけ車両をリンク下流側から順次移動させていく。つまり、車両の走行速度 V は前車との車頭距離 S をもとにして設定される。車頭距離 S は車両密度 K の逆数であり、速度 V は車両密度 K の関数として Greenshields の関数式⁹⁾を用いて

$$V = V_f (1 - K/K_j) \text{ で表される。}$$

ここで V_f は車両密度が 0 の時の自由速度、 K_j は速度が 0 のときの飽和密度である。

また交通量 Q は速度 V と車両密度 K から $Q = K \times V$ で表される。

これらの関係から交通量 Q は、車両密度 K の関数として

$$Q = K \times V_f (1 - K/K_j) \text{ で表され、}$$

リンクの交通容量を Q_{\max} とすると

$$Q_{\max} = (K_j/2) \times (V_f/2) \text{ となる。}$$

これらの関係を図 2 に示す。交通量 Q は車両密度 K の二次関数で表され、速度 V は車両密度 K の一次関数で表される。

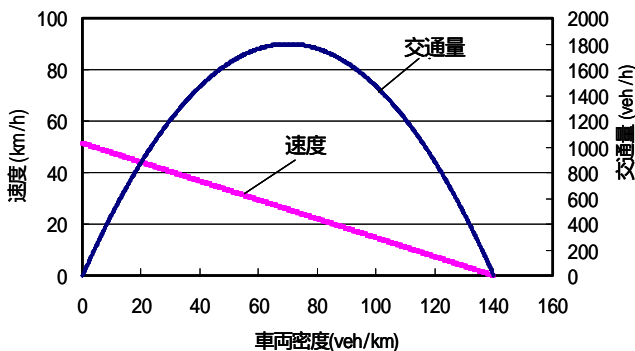


図 2 Q-K 特性および K-V 特性

($Q_{\max} = 1800 \text{ veh/h}$, $K_j = 140 \text{ veh/km}$ の例)

2.3 経路選択モデル

車両の出発地(Origin)、目的地(Destination)を表す OD 交通量データに対して、予め複数の候補経路を作成し車両発生時にどの経路を走行するかを選択する。この経路選択は、交通流モデルから出力される各リンクの旅行時間を基にロジットモデルに従って決定される。

この選択確率は、ある OD 間の候補経路数が k 個ある時、 k 番目の経路の旅行時間を t_k (分) とすると k 番目の経路が選択される確率 p_k は

$$p_k = \exp(-t_k) / \sum_k \exp(-t_k)$$

で表される。

なお、 θ はパラメータで旅行時間の変化に対する経路選択確率の敏感さを表す。

3. 広域交通流シミュレータ NETSTREAM

NETSTREAM は図 3 に示すように道路ネットワーク、信号、OD 交通量および経路データを入力し交通流計算を行う。そして各リンクの交通量、旅行時間、渋滞長などを出力する。これらの入出力データおよびユーザインタフェースについて説明する。

3.1 入力項目

3.1.1 道路ネットワークデータ

対象エリアの道路ネットワークに関するデータを入力する。道路ネットワークはノード(交差点)およびリンク(道路)から構成される。そのためデジタル道路地図などをもとに NETSTREAM のフォーマットに変換して作成する。道路ネットワークに必要なデータはノード位置、リンク区間長、車線構成、ノード・リンク接続情報である。また、リンクの交通流特性を設定する交通容量、自由走行速度、飽和密度および飽和交通流率を併せて入力する。

3.1.2 信号データ

交差点には信号を設置することができる。信号交差点ではサイクル、スプリット、オフセット、信号パターンを秒単位で設定する。

3.1.3 OD 交通量データ

車両の出発地(Origin)、目的地(Destination)

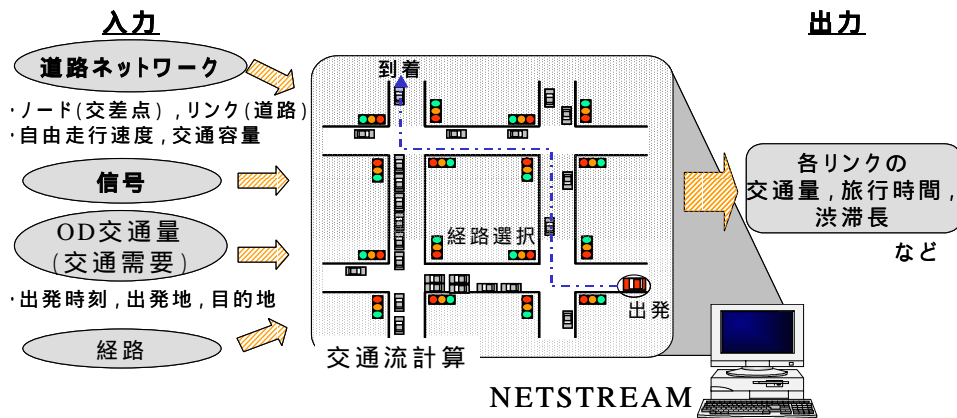


図3 NETSTREAMの入出力

および出発時刻を表す OD 交通量データを入力とする。交通流の時間変化を再現するため単位時間あたりの発生車両データを作成し入力する。この OD 交通量データの作成は、パーソントリップ調査データや道路交通センサスの OD 交通量データを基にして発生車両の時間分布および地域分布を求め、単位時間ごとの車種別、その他の属性別 OD 交通量を入力する。

3.2 出力項目

各リンクの交通量、旅行時間、渋滞長を出力する。また 対象経路および区間平均旅行時間、経路と区間およびエリア総走行距離、エリア総

走行時間などを出力できる。

3.3 ユーザインタフェース

NETSTREAM は、従来よりグラフィカルなユーザインタフェースを備えており、走行中の車両情報やリンク通過台数などの情報を容易に確認することができる。今回の交通流モデルの変更に合わせ、ユーザインタフェースを一新し、交通流の様子を容易に把握できるよう任意の表示範囲や視点の変更、3D 表示、パードビュー表示など非常に多機能なものとした。実行画面の一例を図 4 に示す。

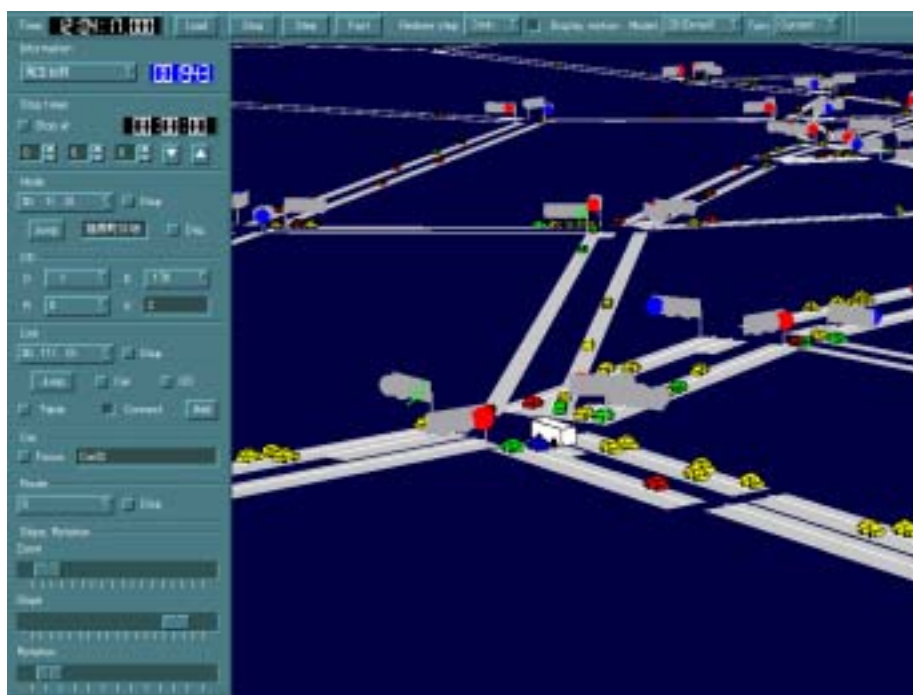


図4 NETSTREAM 実行画面(3D&パードビュー表示時)

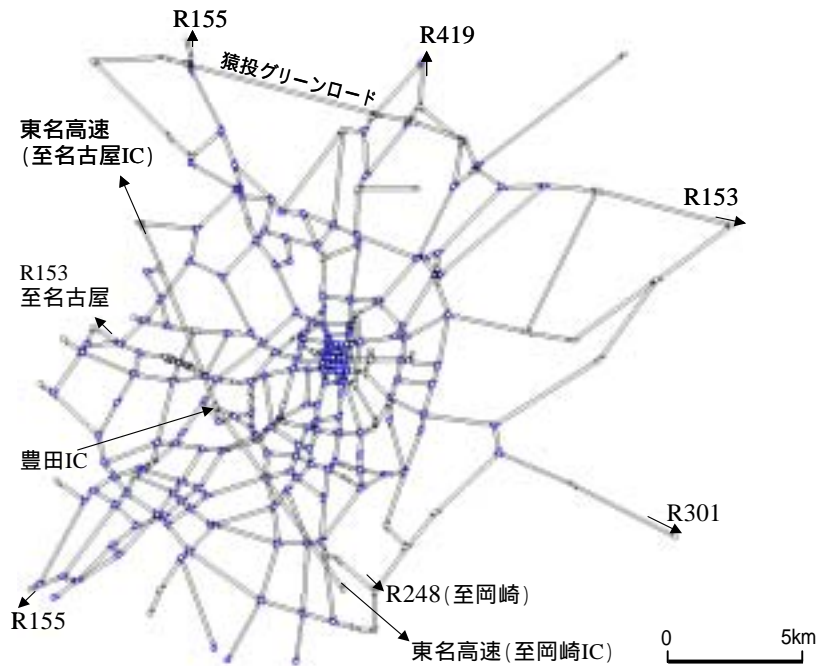


図5 対象とした道路ネットワーク

4. NETSTREAM による交通流再現

開発した交通流シミュレータ NETSTREAM を用いて、中規模都市全域の道路ネットワークを対象として現状交通流を精度良く再現できることを示す。

4.1 交通流の現況再現

シミュレーション対象地域は、図5に示す愛知県豊田市全域の道路ネットワークである。この道路ネットワーク中のノード数は296、リンク数は900である。また、シミュレーションの対象時間は休日の12:00~19:00とした。信号データは2000年10月8日(日)のパターンおよびオフセットデータを設定した。信号交差点数は196である。OD交通量データは平成6年度道路交通センサスの休日カーOD等のデータを基に、別途推計された30分単位での時間帯別OD交通量を用いた。これは対象域内50、域外20の計70ゾーン間のODであるが、シミュレーションおよび経路選択に適用するためにはノード間のOD交通量データが必要であるため、各ゾーン内の全ノードに交通量を等分割するという方法で時間帯別ノード間OD交通量データを作成した。また、経路選択については、我々が先に提案したGAを用いた経路最適化手法⁷⁾

を用いて最適経路データをOD交通量と同じく30分単位で計算した。これらのデータを入力しシミュレーションを行い、主要路線の交通量および旅行時間について実測値との比較を行った。この交通量については1999年11月14日(日)の豊田市内59箇所の感知器データを用い、旅行時間については同日の豊田市内の代表的な20ルートについて15分ごとに1台の車両が走行して計測したデータを用いた。

感知器が設置されているリンクの1時間単位

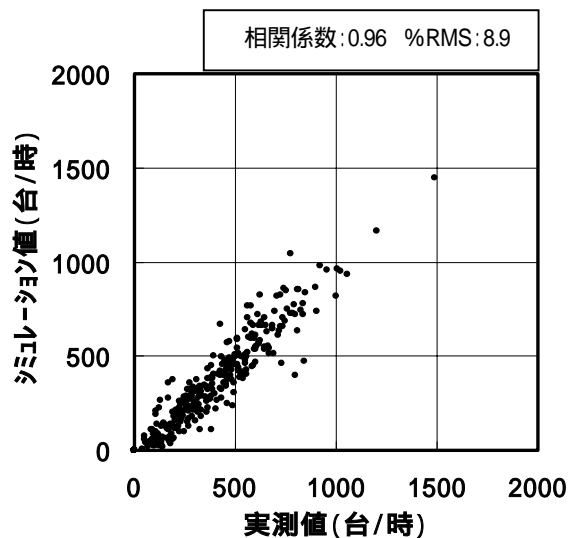


図6 交通量の実測値とシミュレーション値の比較

の交通量について実測値とシミュレーション値の比較を図6に示す。相関係数0.96, %RMS誤差は8.9と高い精度で交通量を再現していることが分かる。また20ルートでの1時間平均の旅行時間について実測値とシミュレーション値の比較を図7に示す。旅行時間についても相関係数0.88, %RMS誤差は16.5と良い値を示しており、交通状況を精度良く再現していることが分かる。

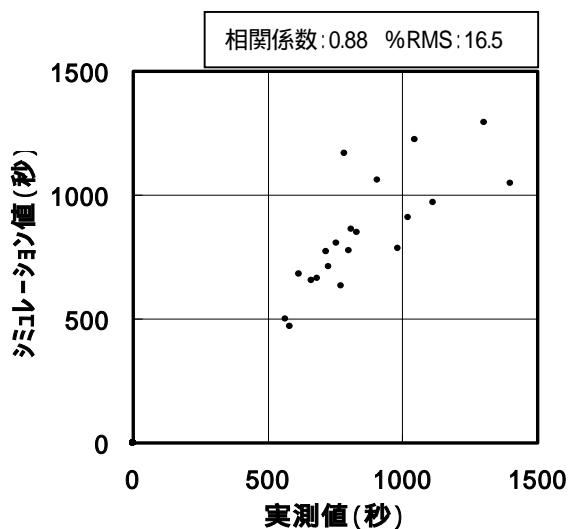


図7 旅行時間の実測値とシミュレーション値の比較

4.2 実行速度

上記の現況再現においてパーソナルコンピュータ(CPU: Pentium 1GHz, Memory:512MByte)を用い、スキャンニングインターバルを1秒として7時間の交通流を計算した。その計算に要した時間は約15分である。この計算速度はブロック密度法を用いた場合と比較して同等であり、今回開発した交通流モデルが広域の交通流を高速に計算できることが確認された。

5. まとめ

開発した交通流シミュレータ NETSTREAM について、はじめにリンクの交通流特性に基づく個々の車両の挙動をもとに広域交通流を計算する交通流モデルを示し、次に、この交通流モデルを用いた NETSTREAM の入出力とユーザインタフェースについて説明した。そして最後

に、中規模都市である愛知県豊田市全域約900リンクの広域な道路ネットワークを対象にシミュレーションを行い、現状交通流を精度良く再現できることを確認した。

謝辞

本研究を行うにあたり、豊田工業高等専門学校荻野弘教授、国土交通省中部地方整備局、愛知県警察、豊田市、(財)豊田都市交通研究所、トヨタ自動車(株)で構成される豊田市交通シミュレーション研究会よりデータの提供や貴重な助言を頂いた。さらに、シミュレーション実施にあたり豊田中央研究所 ITS モデリング・評価メンバー各位の多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 堀口, 片倉, 赤羽, 桑原: “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報告集, pp.33-36, 1993.
- 平子, 馬場, 寺本: “交通情報システム評価用広域交通流シミュレータ”, 第16回交通工学研究発表会論文報告集, pp.97-100, 1996.
- 羽藤, 香月, 貴志, 矢尾谷: “シミュレーションによる交通制御の最適化とそれに伴う交通流の変化”, 第14回交通工学研究発表会論文報告集, pp.49-52, 1994.
- 飯田, 内田, 藤井, 鷹尾: “渋滞の延伸を考慮した動的交通流シミュレーション”, 土木計画学研究講演集, No.14(1), pp.301-308, 1991.
- 北岡, 寺本, 滝澤, 齋藤: “交通流シミュレータ NETSTREAM を用いた長野オリンピック開催時の交通状況予測”, 第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp.29-32, 1998.
- 佐々木, 飯田: 交通工学, pp.126-127, 1992.
- 馬場, 北岡, 棚橋: “GAを用いた経路最適化による広域交通流シミュレータ NETSTREAM での交通状況再現手法”, 情報処理学会研究報告 2001-ITS-7, pp.67-73, 2001.