研究報告

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

NETSTREAM, a Traffic Simulator for Large-scale Road Networks

Iwao Tanahashi, Hironobu Kitaoka, Miyako Baba, Hiroko Mori,
Shigeo Terada, Eiji Teramoto

要　旨

渋滞低減や環境改善のためのITS導入の効果予測や交通施策の事前評価に交通流シミュレータが不可欠である。我々は，交通情報システムの導入効果予測を目的に広域交通流シミュレータNETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) を開発した。初期のNETSTREAM Iでは広域交通流の計算を高速に行うため，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交通情報システムによる渋滞低減効果予測を行い，情報利用車の割合に対する交通状況の変化を推定した。また，1998年の長野オリンピック開催時の交通状況予測を行い，警察庁および長野県警の交通規制や信号制御などの施策検討に貢献した。さらにITS導入評価に必要とされる個々の車両挙動計算が可能な交通流モデルを用いたNETSTREAM IIを開発し，豊田市においてイベント開催時の交通状況予測を行い，パーク＆バスライド実施時のシャトルバス運行計画の検討に活用された。今後，NETSTREAMの特長を生かして，動的経路案内に必要なリアルタイム交通状況予測への応用や大気環境改善を目指す自動車の排出量推計に必要な交通流予測に応用する予定である。

キーワード　交通流，ITS，交通情報システム，経路案内，ブロック密度法，シミュレーション

Abstract

We have developed a wide-area traffic simulator NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) for predicting the introductory effects of ITS for reducing traffic congestion, pollution reduction, and preliminary evaluation of traffic measures. In the early NETSTREAM I, in order to calculate a wide-area traffic flow at high speed, the block density method was used. In this model, the vehicle's movement was calculated by a fluid approximation of the traffic flow. Using NETSTREAM I, prediction of traffic congestion reduction by the traffic information system was performed, and the change in traffic conditions to a guided vehicle rate was estimated. Moreover, prediction of traffic conditions at the time of the Nagano Olympic Games in 1998 was performed. This contributed to an examination of traffic measures such as traffic restriction and signal control by the National Police Agency and the Nagano Prefectural Police. Since then, NETSTREAM II has been developed. It uses a traffic flow model that is capable of calculating each vehicle's movement as is required for ITS introduction. Using NETSTREAM II, prediction of traffic conditions at the time of some public events in Toyota-city was performed, and it was utilized for an examination of a scheme for a shuttle bus service for the park-and-bus-ride system. From now on, NETSTREAM will be applied to the prediction of real-time traffic conditions as required for dynamic route guidance, and to the prediction of traffic flow as required for improvement of air quality.

Keywords　Traffic flow, ITS, Traffic information system, Route guidance, Block density method, Simulation

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) 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]。

我々は，このようなITS導入時の効果予測や交通施策の事前評価，さらに，それらの評価に基づく改善施策の提案を目的に交通流シミュレーション技術の向上に努めてきた。本稿では，はじめに我々が開発した交通流シミュレータNETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) の交通流モデルと入出力およびユーザインタフェースを説明し，次にシミュレーションによる施策評価の適用事例を示し，最後に今後の展開について述べる。

2. 交通流シミュレータNETSTREAM

交通流シミュレータは，一般にミクロモデルとマクロモデルに大別される。前者は個々の車両挙動を詳細に計算するもので，車両特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，信号管制評価や駐車場周辺の交通検討など比較的狭い範囲を適用対象とする[3]。一方，後者は道路上の車両全体の流れを捉えて交通流を計算するもので，都市全体の道路網など広範囲な領域を対象とする[4]。ITS導入や交通施策評価には，単に幹線道路や着目路線のみを対象とするのではなく，都市全体の交通流への影響，例えば総旅行時間や総走行距離の変化などの評価が必要である。そこで，我々は広域交通流を対象とするマクロモデルの交通流シミュレータNETSTREAMを開発した。

2. 1 NETSTREAM I

我々は，まず交通情報システムの評価を目的に1996年にNETSTREAM Iを開発した。このシミュレータ開発においては，時々刻々と変化する交通状況を基に最適な経路案内を実現する動的経路案内システムへの適用を目指し，広域交通流の計算を高速に処理することを主眼とした。そこで，広域交通流の計算量を低減するため，交通流を流体近似したブロック密度法を用いて交通流計算を行っている。NETSTREAM Iの交通流モデルを**Fig. 1**に示す。各リンクは複数のブロックに分割されており，リンク内部での交通流の表現は，**Fig. 2**に示す交通量*Q*-車両密度*K*の関係に従って各ブロックの車両密度を下流側から順次更新することにより行われる。*Q*-*K*の関係は，交通量が最も多くなる臨界密度を境に自由流領域と渋滞流領域に大別され，自由流領域では車両密度の増加とともにブロック間を移動する交通量が増加するが，渋滞流領域では逆に交通量は減少する。この関係を用いることによってリンク上の渋滞の発生，延伸，解消が表現される。

2. 2 NETSTREAM II

ITS導入の効果予測では，例えばETC (自動料金収受システム) のように，ETC車載機搭載車両と非搭

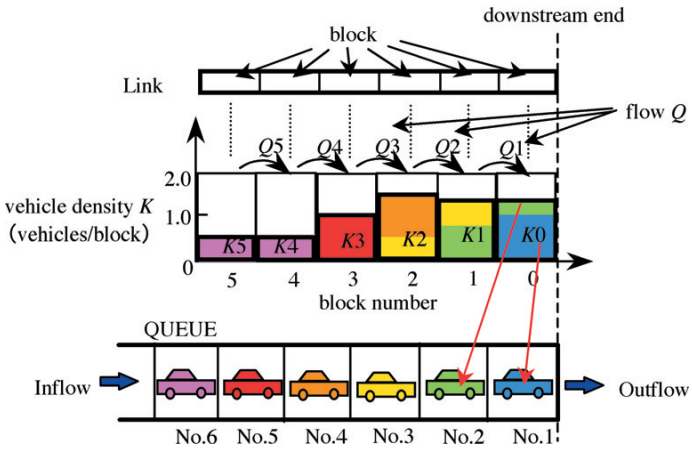


Fig. 1 Correspondence of each vehicle and density in block.

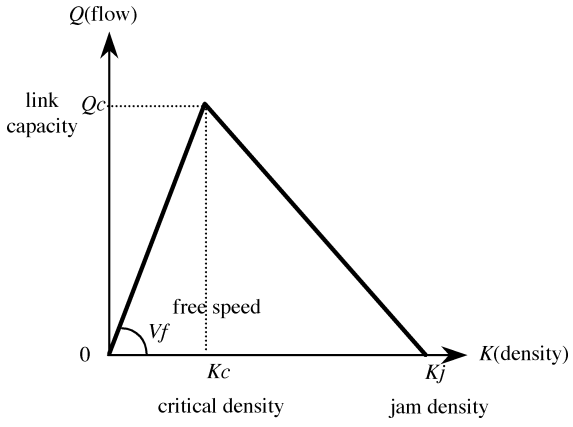


Fig. 2 Flow-density relation used in block density method.

載車両では料金所通過時の挙動が異なるため，シミュレーションには個々の車両の挙動を区別して計算できる交通流モデルが必須とされる。このため，我々は個々の車両の挙動を計算し，かつ広域交通流の計算に適用可能なシミュレーションモデルを用いたNETSTREAM IIを2000年度に開発した。

NETSTREAM IIでは，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，スキャニ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[5]を用いて式(1)で表される。

$$V = V_f(1 - K/K_j) \quad \cdots\cdots(1)$$

ここでV_fは車両密度が0のときの自由走行速度，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から式(2)で表される。

$$Q = K \times V \quad \cdots\cdots(2)$$

これらの関係から交通量Qは，車両密度Kの関数として式(3)で表され，

$$Q = K \times V_f(1 - K/K_j) \quad \cdots\cdots(3)$$

リンクの交通容量をQ_cとするとK_jおよびV_fは式(4)の関係となる。

$$Q_c = (K_j/2) \times (V_f/2) \quad \cdots\cdots(4)$$

これらの関係を**Fig. 3**に示す。

NETSTREAM IではQ-K特性を直線近似したが，本モデルでは交通量Qは車両密度Kの二次関数で表され，実際の交通流特性により近いものである。また，速度Vは車両密度Kの一次関数で表される。

2. 3 NETSTREAMの入出力

NETSTREAMは**Fig. 4**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。

2. 3. 1 入力項目

(1) 道路ネットワークデータ

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，デジタル道路地図などを基にNETSTREAMのフォーマットに変換して作成する。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。

(2) 信号データ

信号現示パターンおよびパラメータ (サイクル長，スプリット，オフセット) を秒単位で設定可能であり，かつ時間帯によってこれらを切り替えることができる。

(3) OD交通量データ

車両の出発地 (Origin)，目的地 (Destination) および出発時刻を表すOD交通量データを入力する。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OD交通量を入力する。

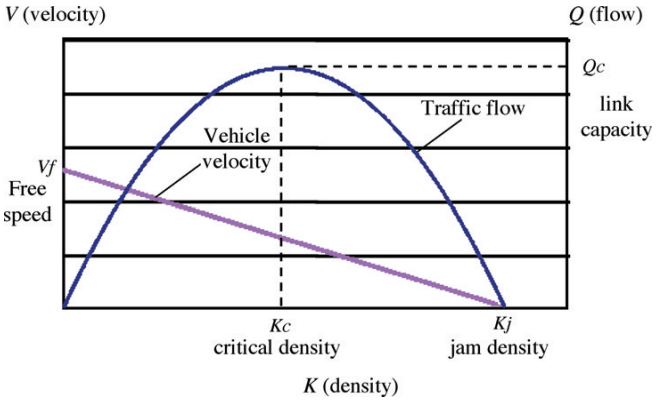


Fig. 3 Flow-Density, Density -Velocity relation used in discrete traffic flow model.

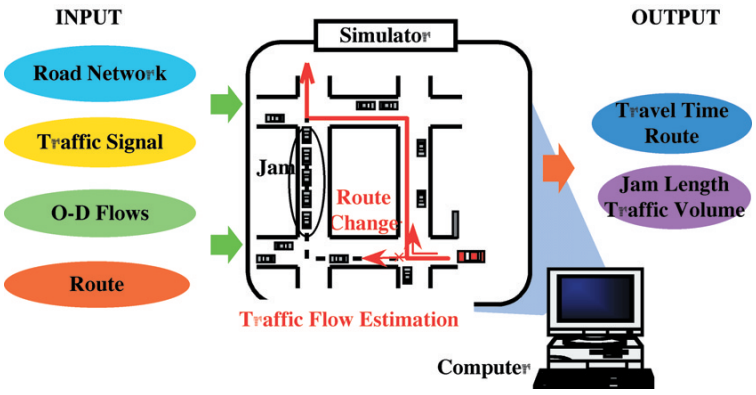


Fig. 4 Input/Output of NETSTREAM.

2. 3. 2 出力項目

各リンクの交通量，旅行時間，渋滞長のファイル出力に加え，指定したOD，経路，区間の平均旅行時間，道路ネットワーク全体の総走行距離，総走行時間などを出力可能である。

2. 3. 3 ユーザインタフェース

NETSTREAMは，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。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，バードビュウ表示など非常に多機能なものとした。実行画面の一例を**Fig. 5**に示す。

3. シミュレーション実施例

開発したNETSTREAMを用いて，交通情報システムの効果予測や交通施策評価を実施した。以下これらの事例について述べる。

3. 1 交通情報提供による渋滞改善効果予測

交通情報システムは，ドライバーに動的な交通情報を提供することによって，個々の車両の旅行時間を短縮するだけでなく，車両が特定の道路へ集中するのを防ぎ交通渋滞を緩和する方策として期待されている。ここでは，**Fig. 6**に示す愛知県豊田市全域の道路ネットワークを対象に交通情報提供による動的経路案内を行った場合の旅行時間短縮効果についてNETSTREAM Iを用いて評価した事例を示す[2)]。この道路ネットワーク中の交差点数は914，リンク数は3,718である。評価対象とした時間は午前6時から正午までの6時間であり，車両発生台数は約220,000台である。

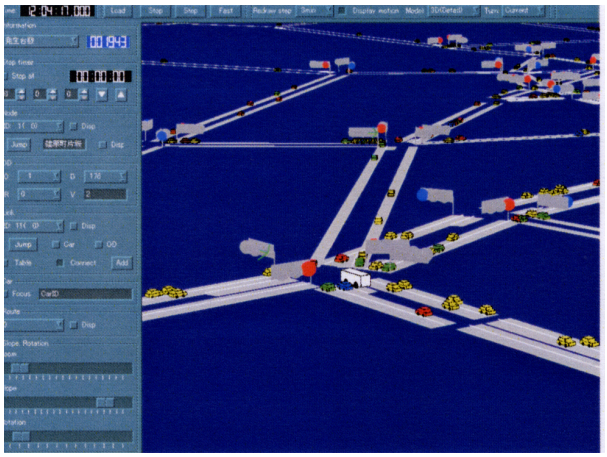


Fig. 5　Screen Sample of NETSTREAM.

評価結果の一例として，情報利用車の割合に対する平均旅行時間の変化を**Fig. 7**に示す。平均旅行時間はシミュレーション実行中に道路ネットワーク内部で発生した全ての情報利用車および一般車の旅行時間を加算し，それぞれの発生台数で除して算出する。実線が情報利用車，破線が一般車の旅行時間をそれぞれ表している。

Fig. 7より，情報利用車の割合が50%以下の範囲において一般車に比べて情報利用車の平均旅行時間が減少しており，最短時間経路案内により旅行時間が短縮されることが判る。また，この範囲では，情報利用車の割合が増加するにつれ，一般車の平均旅行時間が徐々に減少し，50%において双方の平均旅行時間がほぼ一致する。このとき，全体の平均旅行時間は，交通情報システム導入前と比較して約12%短縮されている。これは，特定の道路に集中していた

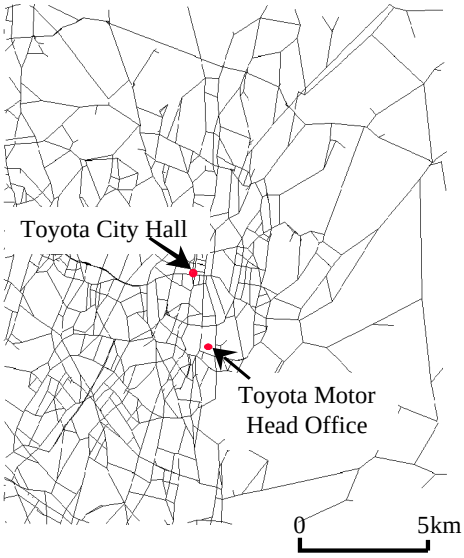


Fig. 6　Road network of Toyota city.

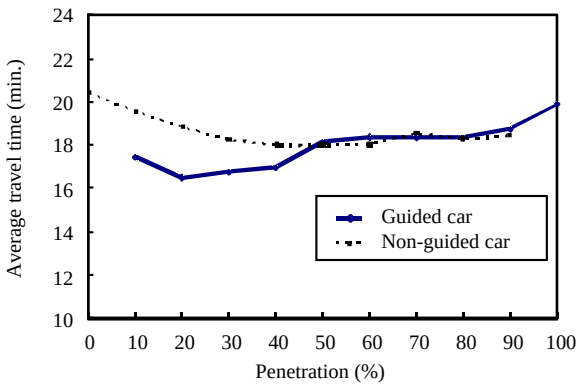


Fig. 7　Average travel time for penetration of guided cars.

交通量が経路案内によって分散し，渋滞が減少して一般車の旅行時間にも影響を与えたと考えられる。このことから，交通情報システムは，情報利用車だけでなく，一般車を含む交通全体の旅行時間短縮に寄与すると言える。

一方，情報利用車の割合が50%を越える範囲では，情報利用車の割合が増加するにつれ，情報利用車および一般車の双方の旅行時間が増加する。これは，経路案内された道路に交通量が集中し，新たな渋滞が発生するためと考えられる。従って，将来，交通情報システムの車載機の普及が進んだ段階においては，単なる最短時間経路への案内ではなく，複数経路への配分誘導や，旅行時間予測に基づく経路案内など，新たな方策が必要となることが示唆される。

3. 2 長野オリンピック開催時の交通状況予測

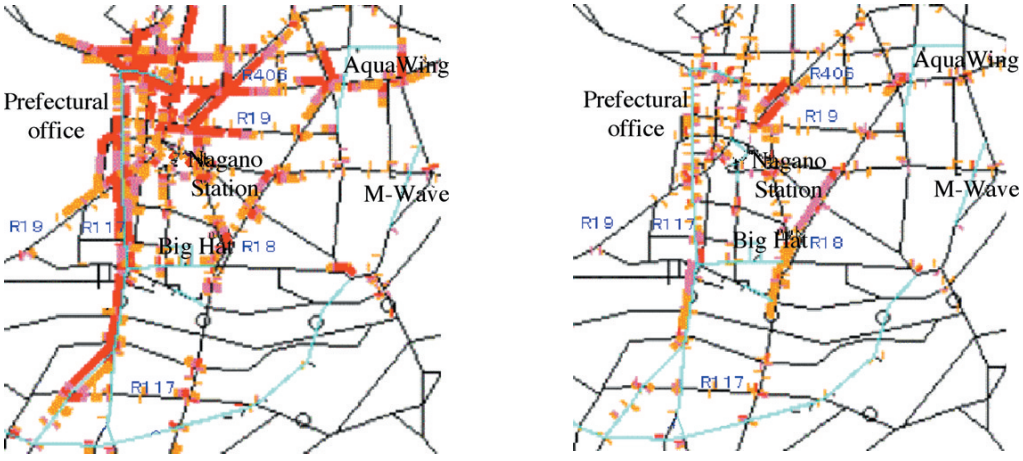
長野オリンピック開催時には，長野地域での日常の交通需要に加え，選手・役員，大会運営要員，観客などの交通需要増により競技会場を含む一帯で深刻な交通渋滞の発生が予想された。そのため大会車両の円滑な運行を目的として，長野市およびその周辺に各種交通対策が実施された。

我々は，交通対策の立案・実施に役立てることを目的として，NETSTREAM Iを用いて事前にオリンピック開催時の交通状況を予測した[6, 7]。予測シミュレーションは，開会式の行われた2月7日(土)と，競技数が最も多く激しい混雑が予想された2月13日(金)を対象に実施した。特に総量抑制による交通流改善効果を予測するため，前年 (1997年) の2月時点を基準に日常OD交通量を–40%から+20%まで10%刻みで一律に変化させてシミュレーションを行い，渋滞状況，旅行時間，地点交通量を予測した。

一例として，総量抑制による長野市中心部の渋滞軽減効果の予測例を示す。2月13日(金)の朝ピーク時間帯において，総量抑制なしの場合の渋滞状況予測を**Fig. 8** (a)に，総量抑制により日常OD交通量が30%減少した場合の渋滞状況予測をFig. 8 (b)に示す。この図では，渋滞の程度に応じて道路が4段階に塗り分けられており，濃い色ほど激しい渋滞を表している。総量抑制なしの場合には，長野駅前を中心に市内の広い範囲にわたり深刻な渋滞発生が予測された。一方，総量抑制30%の場合はほぼ渋滞が解消され，円滑な走行が可能であると予測された。これら予測結果の一部は総量抑制のため新聞等を通じて発表され，長野市民の方々への自家用車利用自粛の呼びかけに用いられた。そして，総量抑制の呼びかけが効を奏した結果，オリンピック期間中は長野市民，観客の自家用車利用自粛が極めて良く浸透し，長野市内には目立った渋滞は殆ど発生しなかった。この結果，大会車両の円滑な運行が確保され，オリンピックは成功裡に終了した。

3. 3 イベント開催時の交通対策評価

豊田市では2001年7月に豊田スタジアムが完成し，サッカー競技のほか各種のイベントが開催されている。最大45,000人の観客来場が想定されるイベント開催時には，市内全域で激しい交通渋滞が予想された。その対策として自動車利用の来場者に対し，市



(a) Without total traffic demand control　　(b) With total traffic demand control

Fig. 8　Example of predicted traffic conditions during the Nagano Olympic Games. (February 13 (Friday) AM8:00-8:30)

内3ヵ所に設けた臨時駐車場から豊田スタジアムまでシャトルバスを運行し観客を輸送するパーク＆バスライドが実施された。このシャトルバス運行計画を検討するために交通流シミュレータNETSTREAM IIを用いて交通状況を予測し，シャトルバスの運行時間間隔や運行経路について事前評価を行った。

はじめに豊田市全域を対象に交通流の現況再現を行い，交通量および旅行時間について観測値と比較した。その結果，**Fig. 9**および**Fig. 10**に示すように交通量，旅行時間を精度良く再現していることを確認した。また，評価対象の17時から22時30分までの5時間30分の交通流計算に要した時間は，パーソナルコンピュータ(CPU：Pentium III 1GHz, Memory：512MByte) を用いて約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，広域交通流を高速に計算できることを確認した。

つぎに，観客OD交通量データおよびシャトルバスの運行計画を基に作成したシャトルバスOD交通量データを上乗せしてイベント開催時の予測シミュレーションを行った。

シミュレーション結果の一例として，市内西部に設けた臨時駐車場から豊田スタジアムまでのシャトルバスの運行所要時間の予測結果を**Fig. 11**に示す。競技開始は19時で，図中の17～19時台はスタジアムに向かうシャトルバスの所要時間，20～21時台はスタジアムから駐車場に向かうシャトルバスの所要時間を示している。シミュレーションでは17時台において通常の2倍程度の所要時間が予想されるが，目標とする25分以内の運行はほぼ達成できる見込みである。

これらの事前評価に対し，2001年8月のオープニングイベント開催時には，パーク＆バスライドによる渋滞対策が有効に機能し，シャトルバスは概ね予測された時間で運行され，観客輸送は順調に行われた。

4. まとめ

交通環境を改善するITS導入の効果予測や交通施策評価に適用可能な広域交通流シミュレータNETSTREAMを開発した。このシミュレータは都市域全体の広域道路網を対象とする交通流を精度良く高速に計算することができる。開発したシミュレータを用いて交通情報提供による渋滞改善効果予測や長野オリンピック開催時の交通状況予測および豊田市の交通対策評価などを実施し，実際の交通施策検討に活用した。

今後，本シミュレータの特長を生かして，動的経路案内など現在の交通状況を基にリアルタイムに将

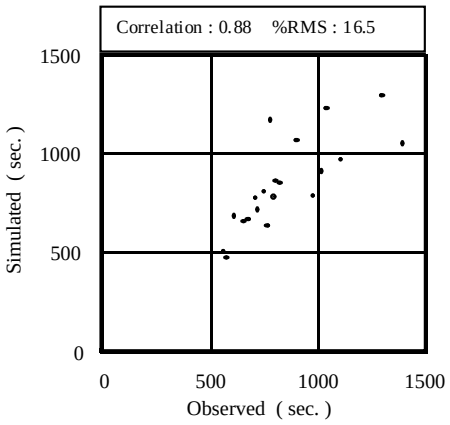


Fig. 10 Comparison of observed and simulated travel time.

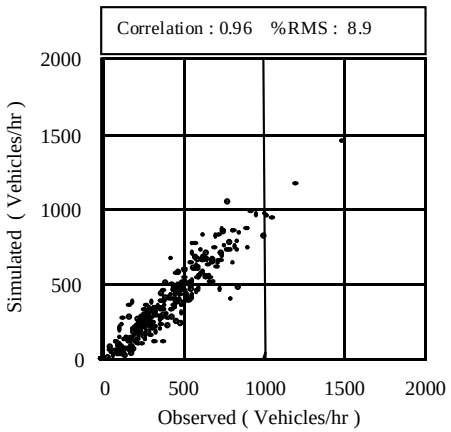


Fig. 9 Comparison of observed and simulated traffic volume.

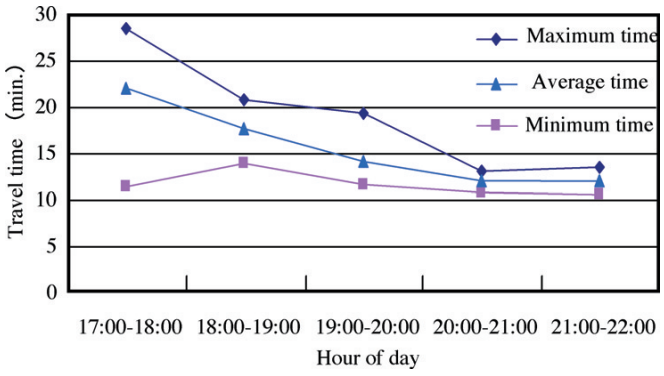


Fig. 11 Prediction of travel time of shuttle buses (West parking lot-Toyota stadium).

来の交通状況を予測するシステムへの応用や，大気環境改善を目指す国家プロジェクトのJCAP (Japan Clean Air Program)[8]に参加し，自動車の排気ガスによる大気環境への影響予測に必要な交通流予測などに応用展開する予定である。

参考文献

1) 堀口良太, ほか3名 : "都市街路網の交通流シミュレーターAVENUEの開発", 第13回交通工学研究発表会論文報告集, (1993), 33-36
2) 平子智明, 馬場美也子, 寺本英二 : "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, (1996), 97-100
3) 羽藤英二, ほか3名 : "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, (1994), 49-52
4) 飯田恭敬, ほか3名 : "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), (1991), 301-308
5) 佐々木綱, 飯田恭敬 : 交通工学, (1992), 126-127, 国民科学社
6) 北岡広宣, ほか3名 : "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, (1998), 29-32
7) Teramoto, E., et al. : "Prediction of Traffic Conditions for the Nagano Olympic Winter Games Using Traffic Simulator: NETSTREAM", Proc. 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul, Korea, (1998)
8) Available from Internet: <http://www.pecj.or.jp/jcap/index-jcap.asp.>

(2002年5月31日原稿受付)

著者紹介

棚橋巌　　Iwao Tanahashi
生年：1954年。
所属：第21研究領域。
分野：交通流シミュレーションおよび交通環境改善施策評価に関する研究。
学会等：電子情報通信学会，交通工学研究会会員。

北岡広宣　　Hironobu Kitaoka
生年：1964年。
所属：第21研究領域。
分野：交通流シミュレーションの研究。
学会等：交通工学研究会，土木学会会員。

馬場美也子　　Miyako Baba
生年：1968年。
所属：第21研究領域。
分野：交通流シミュレーションおよびこれを用いた交通施策評価。
学会等：交通工学研究会，情報処理学会会員。

森博子　　Hiroko Mori
生年：1969年。
所属：第21研究領域。
分野：交通流シミュレーションに関する研究。
学会等：交通工学研究会会員。

寺田重雄　　Shigeo Terada
生年：1949年。
所属：第21研究領域。
分野：自動車排出ガス推定のための道路交通シミュレーション。
学会等：交通工学研究会会員。

寺本英二　　Eiji Teramoto
生年：1959年。
所属：第21研究領域。
分野：交通流シミュレーション，交通状況予測に関する研究。
学会等：電子情報通信学会，土木学会学会，交通工学研究会会員。