

交通流シミュレータ NETSTREAM

馬場 美也子[†] 棚橋 巖[†] 北岡 広宣[†]
森 博子[†] 寺本 英二[†]

交通渋滞低減や環境改善を目的とした交通施策、および ITS 技術の導入効果評価に役立つ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、広域の交通状況を高速かつ高精度に再現することができる。また、NETSTREAM の交通流モデルは大型車対応機能を備え、大型車混入率が交通流に与える影響をも表現可能である。本論文では、NETSTREAM の概要およびシミュレーションモデルについて述べる。さらに、仮想ネットワークでの基本性能確認結果、および実道路ネットワークでの交通状況再現性の検証結果を示し、本シミュレータの妥当性および有効性を示す。

Traffic Flow Simulator NETSTREAM

Miyako Baba,[†] Iwao Tanahashi,[†] Hironobu Kitaoka,[†]
Hiroko Mori[†] and Eiji Teramoto[†]

Traffic simulator NETSTREAM (NETwork Simulator for TRAffic Efficiency And Mobility) was developed to estimate the effects of traffic measures and Intelligent Transport Systems that reduce traffic congestion and environmental pollution. This simulator can simulate the action of each vehicle based on the traffic characteristics of each link, and can reproduce traffic conditions with sufficient accuracy. A traffic flow model for heavy vehicles was incorporated into NETSTREAM to include the effects of the heavy vehicles on traffic flow. This paper describes NETSTREAM and the traffic flow model. The validity of our simulator was confirmed using a hypothetical road network and a real road network.

1. はじめに

自動車による交通社会の発展にともない、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有料道路における ETC (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を実道路で事前評価することは、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いため、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)}。

この事前評価に用い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を行うためには、①交通情報受信や ETC など評価対象とするシステム搭載車両と非搭載車両の挙動を各々区別して計算できる必要がある。そして、②都市域全体の交通状況に対する交通施策の影響を迅速に評価できるよう、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ない。また、③対象道路の交通流特性 (交通容量、車両密度および速度の関係) に基づいて渋滞の発生、延伸、解消を精度良く再現できる必要がある。さらに、④交通状況が容易に把握可能なユーザインタフェース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、必ずしも十分に対応できるとはいえない。交通流シミュレータにおける車両の移動方法として、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と各車両について個別に車両移動計算を行う手法に分けられる。前者は、

[†] 株式会社豊田中央研究所
Toyota Central R&D Labs., Inc.

個々の車両について計算を行わないため多量の車両を扱う広域交通流を対象として高速に計算を行うことが可能であるが³⁾、各車両を個別に扱っていないため ITS 導入時のシステム搭載車両/非搭載車両の識別や、大型車/普通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かかえている。

一方、後者について、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⁴⁾。このモデルを用いることにより、属性が異なる車両の挙動を個々に計算可能となる。しかしながら、従来の追従モデルは車両属性やドライバ特性などに関する詳細なパラメータを設定し、現実と同様に車両を前車に追従走行させるモデルであるため計算量が非常に多くなる。そのため、このモデルは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、個々の車両の追従挙動表現が必要である評価に適しているが、都市域全体など広域の交通流計算には対応できない。

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いる。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としている。

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かかえていた。また、長野市の交通状況予測を行った際の実測データとの比較検証結果からも、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、ITS 導入時のシステム搭載車両/非搭載車両の識別や、大型車/普通車など属性が異なる車両の挙動の違いを計算可能とするため各車両について個別に車両移動計算を行い、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。本論文では、はじめに 2 章において NETSTREAM の概要および入出力とユーザインタフェースについて説明する。3 章では、車両の属性による個々の車両挙

動の違いを 1 台ごとにかつ高速に計算可能なシミュレーションモデルについて説明する。また、4 章では仮想道路ネットワークを用いた基本性能検証結果、および愛知県豊田市の実道路ネットワークを用いた交通状況の再現性の検証結果を示す。

2. NETSTREAM の概要

NETSTREAM は図 1 に示すように道路ネットワーク、信号、OD 交通量と呼ばれる交通需要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。

2.1 入力項目

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。この入力データは、ナビゲーションシステム等に使用されているデジタル道路地図や現地調査を行って得たデータなどをもとに 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、最大車両密度および飽和交通流率をあわせて入力する。これらの値は国道、県道といった道路種別や現地調査、車両感知器などから得られるデータより設定する。

また、交差点には信号を設置することができる。信号データは、各都道府県の警察により設定されているデータや現地調査を行って得たデータよりサイクル長、信号パターン、オフセット等を秒単位で設定する。

交通需要として、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 交通量データは、各都市圏総合都市交通計画協

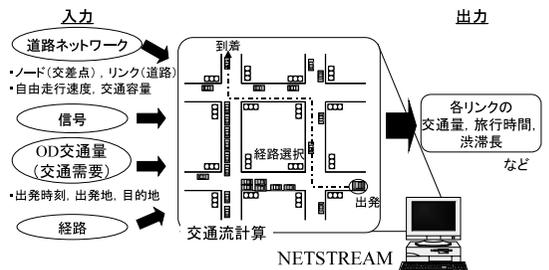


図 1 NETSTREAM の入出力
Fig. 1 Input/Output of NETSTREAM.

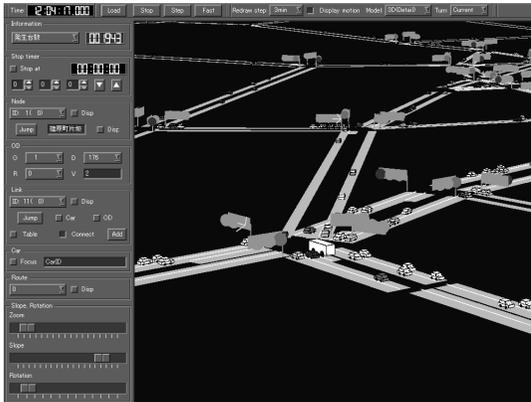


図2 NETSTREAM 実行画面(3D & パードビュー表示時)
Fig. 2 Screen sample of NETSTREAM (3D view).

議会在10年ごとに実施しているパーソントリップ調査データや、国土交通省が5年ごとに実施している道路交通センサスのOD交通量データをもとにして求めた発生車両の時間分布および地域分布より、単位時間ごとの車種別、その他の属性別で作成する。

2.2 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、エリア総走行距離、エリア総走行時間なども出力可能である。

2.3 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範囲の表示や視点の変更、3D表示、パードビュー表示などが可能な非常に多機能なものとした。実行画面の一例を図2に示す。

3. シミュレーションモデル

1章でも述べたように、ITS技術導入や交通施策の事前評価に用いるためのシミュレータは、各車両について個別に車両移動計算を行い、かつ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ない。ここでは、これらを満たすために我々が採用しているシミュレーションモデルについて説明する。

3.1 モデルの概要

シミュレーションモデルの基本構造は、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経路の選択確率を決定し、これに従って車両発生時に個々の車両の走行経路を決定する。なお、経路は基本的に各車両の発生時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探索および変更が可能である。

3.2 経路選択モデル

各OD交通量データに対して、あらかじ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もとにロジットモデルに従って行われる。

この選択確率は、あるOD間の候補経路数が n であるとき、 $k(1 \leq k \leq n)$ 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 は式(1)で表される。

$$P_k = \frac{\exp(-\theta t_k)}{\sum_{i=1}^n \exp(-\theta t_i)} \quad (1)$$

この式は、旅行時間が短いほど選択確率が大きくなることを示している。ここで、 $\theta(0 \leq \theta < \infty)$ はパラメータで旅行時間の変化に対する経路選択確率変化の敏感さを表し、 θ が小さいほど旅行時間差に対する感度が小さくなる。

なお、一般に経路選択モデルとしてロジットモデルが多く使用されているが、本シミュレータではそのほかに、たとえば文献(6)に示す手法など他の経路選択モデルを組み込んでシミュレーションを行うことも可能である。

3.3 交通流モデル

従来の追従モデルは、たとえば自車の加速性能や分布として与えられたドライバの性格等を考慮して前車との距離や速度差などから加速度を決定するという、現実の追従挙動と同様のモデルになっている。しかし、目的とする評価を行うためには、各車両を個別に扱うことや渋滞の発生、延伸、解消を精度良く再現できる必要があるが、車両1台ごとの追従挙動が現実とまったく同様でなくても問題はない。むしろ不要な計算をできるだけ削減し、高速に計算を行うことが重要である。そのためNETSTREAMでは、交通流全体の特性すなわち交通量、密度、速度の関係に従って、スキャニングインターバルごとに各車両の速度を更新し、決

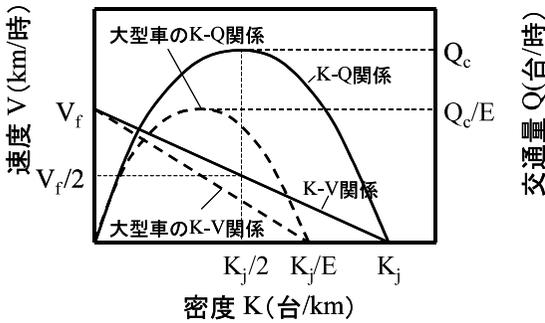


図3 GreenshieldsのK-V関係, K-Q関係
Fig.3 Greenshields' flow-density, density-velocity relation.

定した速度に従ってリンク下流より車両位置を更新するモデルとした。このモデルでは、個々の車両に対する追従挙動は、詳細に見れば個人差によるばらつきや加速度等を考慮していないため現実と同一ではないものの、交通流全体に対しては交通状況を精度良く再現可能かつ高速に計算可能である。また各車両について個別に車両移動計算を行うため、ITS導入時のシステム搭載車両/非搭載車両の識別や、大型車/普通車など属性が異なる車両の挙動を容易に組み込み可能となる。

NETSTREAMでは、車両の速度 V (km/時) は次のように決定する。まず車頭距離 S (km) と車両密度 K (台/km) の関係式 (2) より、自車とその前車との距離 S から密度 K を求める。

$$K = \frac{1}{S} \tag{2}$$

ここで求めた K を Greenshields の $K-V$ (密度-速度) 関係に代入して速度 V を求める。Greenshields の $K-V$ 関係は式 (3) および図3で表される。

$$V = V_f \left(1 - \frac{K}{K_j} \right) \tag{3}$$

ここで、 K_j (台/km) は渋滞時に車両が1kmあたり何台停止できるか示す最大車両密度であり、 V_f (km/時) は自由走行速度である。これらの値は各リンクの交通流特性に応じてリンクごとに個別に設定される。

一般に、交通量 Q 、密度 K 、速度 V の間には式 (4) の関係があることが知られている。

$$Q = K \times V \tag{4}$$

したがって、式 (4) の速度 V に式 (3) を代入して交通量 Q は次式および図3で示す密度 K の2次式で与えられる。

$$Q = K \times V_f \left(1 - \frac{K}{K_j} \right) \tag{5}$$

ここで、図中の Q_c (台/時) は、ある道路を時間あたりに流出できる最大交通量、すなわちリンクの交通

容量であり、式 (5) と図3より次式で求められる。

$$Q_c = \left(\frac{K_j}{2} \right) \times \left(\frac{V_f}{2} \right) \tag{6}$$

本モデルでは、各リンクの交通流特性として交通容量 Q_c と最大車両密度 K_j の値をリンクごとに個別に設定しておく。設定された値と式 (6) を用いて自由走行速度 V_f を求めることにより、各リンク個別に $K-V$ 関係式 (3) を決定する。

前にも述べているとおり、交通状況を精度良く再現するためには、大型車の影響を考慮することが不可欠である。NETSTREAMでは、上述の交通流モデルに対し、大型車については以下のように計算を行う。

リンクの交通容量が Q_c 、最大車両密度が K_j である場合、大型車の移動は式 (7)、式 (8) および図3の破線で示すような $K-V$ 関係および $K-Q$ 関係に従って行う。すなわち、車両が大型車である場合には、交通容量 Q_c/E 、最大車両密度 K_j/E である Greenshields の $K-V$ 関係式 (7) により速度を更新する。ここで、 E は大型車の乗用車換算係数であり、大型車1台が普通乗用車何台分に相当するかを示す。今回は、国内での実測結果⁷⁾より1.7、すなわち大型車1台は普通乗用車1.7台分に相当するとして用いている。この計算方法では、大型車に対しても普通車と同様の計算を行うため、計算負荷を増大させることなく異なる車種の車両挙動を個々に計算することができる。

$$V = V_f \left\{ 1 - \frac{K}{\left(\frac{K_j}{E} \right)} \right\} \tag{7}$$

$$Q = K \times V_f \left\{ 1 - \frac{K}{\left(\frac{K_j}{E} \right)} \right\} \tag{8}$$

4. 検 証

ここでは、前章で説明した交通流全体の特性に従って各車両について個別に車両移動計算を行うシミュレーションモデルにより、交通状況を実用的な速度で、かつ精度良く再現できることを検証する。

交通流シミュレーションの検証を行う際には、以下の2段階を経て実施することが重要であるとされている⁸⁾。1つは verification と呼ばれる基本性能の検証である。これは、仮想データを用いて着目する交通現象の再現性を個々に検証するものである。もう1つは validation と呼ばれる実際のデータを用いて現実の交通状況の再現性を検証するものである。この2つの過程を経て、NETSTREAMの検証を行った。

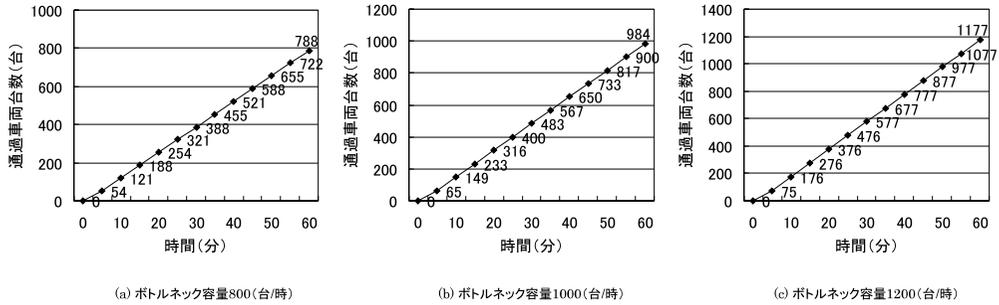


図 4 ボトルネックでの通過車両台数
Fig. 4 Throughput of bottleneck.

4.1 基本性能の検証

これまで、交通流シミュレータの検証について標準的な方法やデータの設定方法が定められておらず、各開発者により様々な方法で検証が行われてきた。しかし近年、交通工学研究会の交通シミュレーション委員会により、シミュレーション利用者が各種の交通流シミュレータの特徴を把握しやすい環境を整え、シミュレータの利用を促進する目的から統一的な検証方法を整備する動きがあり、標準検証マニュアル⁸⁾が策定された。我々もこの趣旨に従い、標準検証マニュアルを用いて NETSTREAM の基本性能の検証を行うこととした。

マニュアルにある基本性能の検証項目は、①車両の発生、②ボトルネックの容量/リンク下流側の飽和交通流率、③信号交差点での対向直進交通による右折容量の低下、④経路選択行動である。我々はこれらについての検証を行い、その結果を文献 9) に示す Web 上に公開している。本論文では、特に渋滞の発生・延伸・解消に深く関係する②および③の検証内容と結果について述べる。また、このマニュアルではまだ大型車混入時の交通流の検証についての項目は定められていないが、マニュアルの検証方法と同様に大型車混入時の検証についても実施したのであわせて結果を示す。

4.1.1 ボトルネック容量と飽和交通流率の検証

ここでは、ボトルネックすなわち上流側の交通容量に対して、それよりも容量が小さくなる下流側の地点を設定した場合の容量と、飽和交通流率すなわち信号が設置されている道路での最大通過交通流率の検証を行った。

はじめに、リンク容量 2,200 (台/時) の道路の下流にリンク容量 800, 1,000, 1,200 (台/時) の 3 種類のボトルネックを設定し、ボトルネック容量を上回る 1,500 (台/時) の需要を与えた場合のシミュレーションを行った。結果を図 4 (a) から (c) に示す。ここで、リンクの通過車両台数が設定よりやや少なめになっ

ているのは、シミュレーション開始時点に発生した車両がボトルネック地点に到着し、通過車両としてカウントされ始めるまでに時間を要するためである。そのため、開始から 5 分後についてのみリンク通過車両台数が少なくなっているが、他の時間帯についてはどのボトルネック容量の場合でも設定した容量が達成されていることが分かる。

同様に、リンク容量 2,200 (台/時) のリンクの下流端にサイクル長 120 秒、青時間 55 秒の信号を設定し、飽和交通流率を 1,400, 1,600, 1,800 (台/有効青 1 時間) の 3 種類、需要を 600, 800, 1,000 (台/時) の 3 種類に設定してシミュレーションを行った。信号 5 サイクル分を観測し、サイクルごとに青時間の始まりからのリンク通過車両台数を記録した。そして、設定した飽和交通流率と需要によって過飽和または非飽和が再現されているか、また設定した飽和交通流率が達成されているかを確認した。過飽和とは青現示が終わるまでに信号待ち車両をすべて捌けない状態、非飽和とは青現示が終わる前に信号待ち車両が捌けてしまう状態を表す。捌け量は飽和交通流率に信号スプリット (青時間/サイクル長) を掛けたものである。需要が捌け量よりも多いとき過飽和、少ないとき非飽和となる。

飽和交通流率 1,600 (台/有効青 1 時間) で需要 600 (台/時) の場合の結果を図 5 に、需要 800 (台/時) の場合の結果を図 6 に示す。図 5 は非飽和の設定、図 6 は過飽和の設定である。図 5 では、青現示のはじめのうちは破線で示す飽和交通流率の設定値で通過し、車がすべて捌けると到着する流量に従って通過していることが分かる。また図 6 の場合は過飽和であるため、青現示の間は飽和交通流率に従い車両が通過していることが分かる。同様に、飽和交通流率と需要の各組合せについて、設定した過飽和、非飽和の状態を再現し、設定した飽和交通流率が達成されていることを確認した。

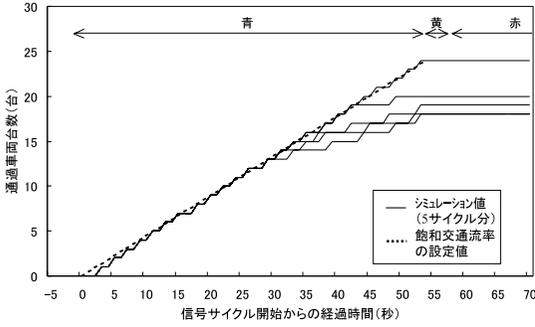


図 5 1 サイクルあたりのリンク通過車両台数 (飽和交通流率 1,600 台/有効青 1 時間, 需要 600 台/時)

Fig. 5 Discharge from link (Saturation flow rate = 1,600 veh./hr., Demand = 600 veh./hr.).

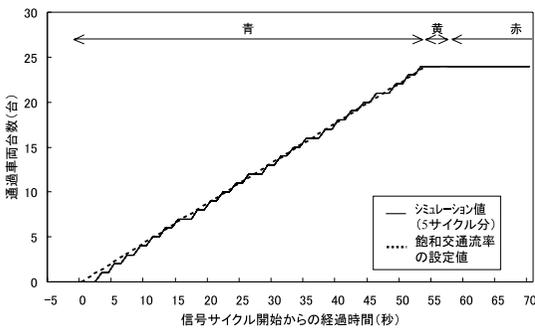


図 6 1 サイクルあたりのリンク通過車両台数 (飽和交通流率 1,600 台/有効青 1 時間, 需要 800 台/時)

Fig. 6 Discharge from link (Saturation flow rate = 1,600 veh./hr., Demand = 800 veh./hr.).

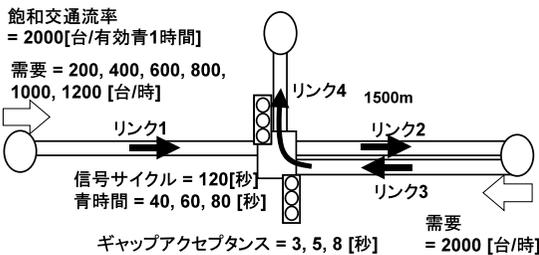


図 7 交差点での右折容量の検証に用いた設定

Fig. 7 Road network and settings used for verification.

4.1.2 信号交差点での右折容量の検証

図 7 に示すネットワークと信号パラメータを用い、リンク 1 からリンク 2 への直進交通量を変化させ、リンク 3 からリンク 4 に右折する車両台数を観測し、対向直進や信号パラメータによる右折容量の変化を確認した。

検証では、式 (9) に示す交通工学研究会による右折容量の算定式から算出した値とシミュレーションで観測された交通量の比較を行った。NETSTREAM では、対向直進車に対し、設定したギャップアクセプタ

ンス (秒) の余裕があれば右折を行うことができる。たとえば、ギャップアクセプタンスを 5 秒と設定した場合、対向直進車が交差点に到着するまでの時間が 5 秒以上であれば、車両は右折することができる。

$$SR = \frac{1800f(S \times G - q \times C)}{(S - q)C} + \frac{3600K}{C} \quad (9)$$

SR: 右折専用車線の交通容量 (台/時)。

S: 対向直進流入部の飽和交通流率 (台/有効青 1 時間)。

q: 対向直進流入部の交通量 (台/時)。

C: サイクル長 (秒)。

G: 有効青時間 (秒)。

K: 信号の変わり目で捌ける台数 (台/サイクル)。

f: 次の関係で与えられるギャップアクセプタンス確率。

f = 1.00 (q = 0), 0.81 (q = 200), 0.65 (q = 400), 0.54 (q = 600), 0.45 (q = 800), 0.37 (q = 1000), 0.0 (q > 1000), 中間の q の値については補間する。

図 8(a) から (c) に右折容量の検証結果を示す。NETSTREAM の対向直進交通量に対する右折交通量の変化は、算定式から算出した値の傾向とほぼ一致しており、対向直進交通量の増加にともない右折交通量が低下していることが分かる。これらの図から、どの信号パラメータの場合でも、特にギャップアクセプタンスが 3~5 秒の場合、算定式からの算出結果と比較的近い値を示していることを確認した。

4.1.3 大型車混入時の交通容量と飽和交通流率の検証

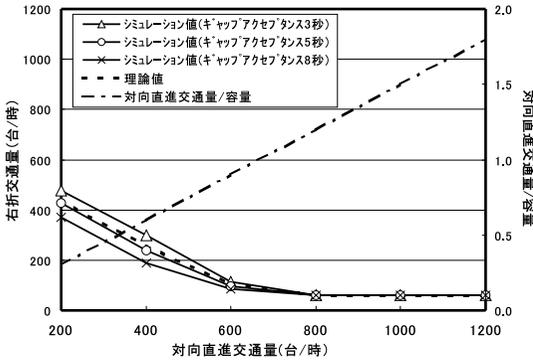
ここでは大型車混入時における、信号が設置されていない道路での交通容量と、信号が設置されている道路での飽和交通流率の検証を行った。

下流側に信号が設置されていない交差点が存在するネットワークに対し、大型車混入率が 0 から 1 まで 0.1 ずつ変化したときのリンクの通過車両台数を理論値と比較した。リンク容量は 1,400, 1,800, 2,200 (台/時) とした。比較を行ったリンク通過車両台数の理論値は、大型車混入率が T のとき、リンク容量に式 (10) で表される大型車混入による補正率 α を掛けたものである⁷⁾。

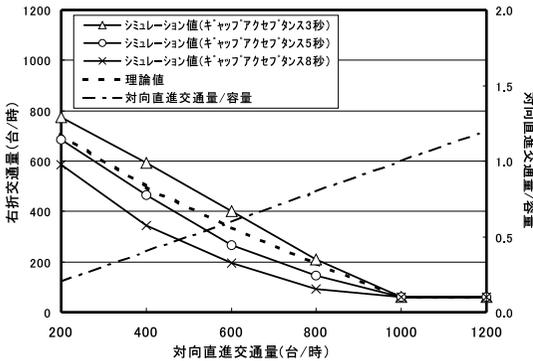
$$\alpha = \frac{1}{(1 - T) + E \times T} \quad (10)$$

検証の結果を図 9 に示す。どの交通容量についても、また大型車混入率が変化してもシミュレーション値と理論値がよく一致していることが分かる。

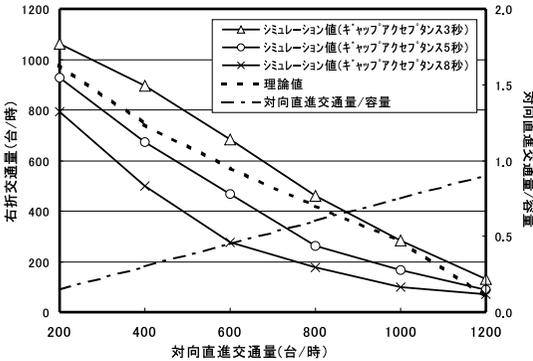
次にリンクの下流側に信号を設置して、同様の設定で飽和交通流率の検証を行った。飽和交通流率は 1,400, 1,800, 2,200 (台/有効青 1 時間)、信号パラ



(a) 青時間40秒の場合



(b) 青時間60秒の場合



(c) 青時間80秒の場合

図 8 右折交通量のシミュレーション値と理論値の比較

Fig. 8 Comparison between calculated and simulated throughput of yield turn.

メータは検証マニュアルを参考にしてサイクル長 120 秒，青時間 55 秒とした．設定された飽和交通流率に前述の式 (10) で表される大型車混入による補正率 α ，および信号スプリット（青時間/サイクル長）を乗じたものが通過車両台数の理論値となる．

図 10 にシミュレーション値と理論値の比較結果を示す．大型車混入率が変化してもシミュレーション値と理論値がほぼ一致していることが分かる．

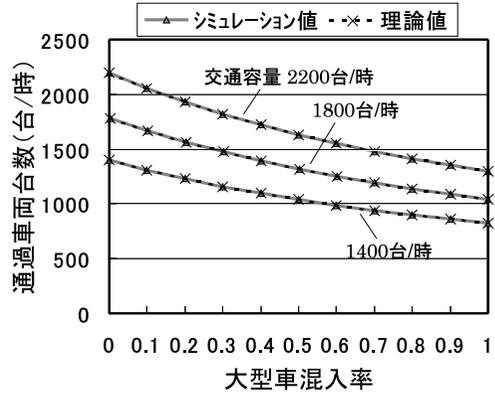


図 9 大型車混入率別 通過車両台数のシミュレーション値と理論値の比較（信号なし）

Fig. 9 Comparison between calculated and simulated traffic volume (no signal).

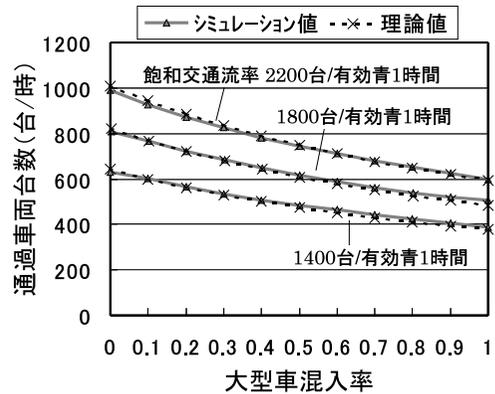


図 10 大型車混入率別 通過車両台数のシミュレーション値と理論値の比較（信号あり）

Fig. 10 Comparison between calculated and simulated traffic volume (with signal).

4.2 実道路ネットワークでの検証

愛知県豊田市の実データセットを用いて，NET-STREAM の交通状況の再現性を検証した．対象とした道路ネットワークを図 11 に示す．ノード数 1,319，リンク数 3,474 である．OD 交通量データは，1991 年パーソントリップ調査の基本ゾーン単位の OD 交通量データおよび個人別トリップ調査データをもとに，普通車・大型車の 2 車種に分類して作成したものをを用いた．さらに，以前に開発した OD 交通量推定手法¹⁰⁾を用いて，実測値に適合するよう OD 交通量データの精度向上を図った．シミュレーションの対象時間は朝ピーク時間帯を含む平日の朝 6:00 ~ 10:00 の 4 時間とした．

検証では，シミュレーションの結果と実測値の比較を行った．実測値は，2001 年 6 月 19 日に豊田市内で実測された 60 リンクの時間交通量，および 4 ルート

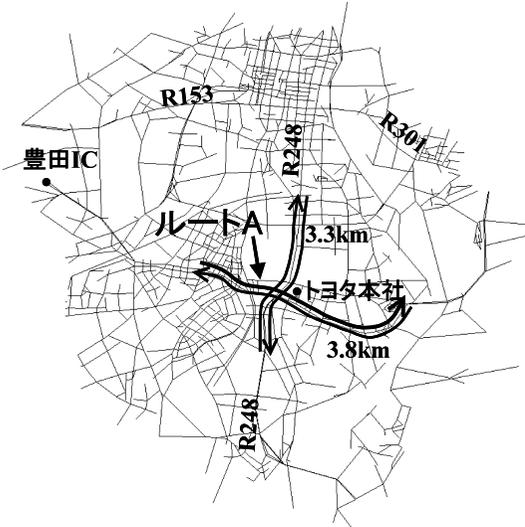


図 11 検証に用いた豊田市道路ネットワーク
Fig. 11 Road network of Toyota city.

- 大型車設定(相関係数:0.95 %RMS:12.6)
- × 大型車なし(相関係数:0.95 %RMS:13.5)

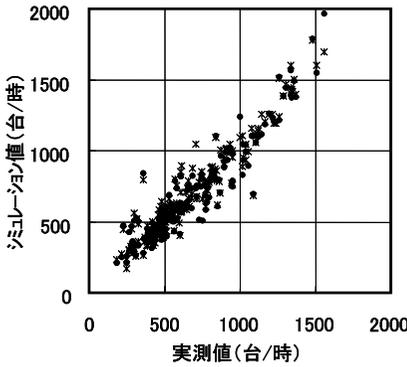


図 12 交通量のシミュレーション値と実測値の比較
Fig. 12 Comparison between observed and simulated traffic volume.

の走行調査による旅行時間である。はじめに交通量についての比較結果を示す。今回開発した大型車/普通車の車両の挙動を個々に計算する交通流モデルを適用した場合と、比較のため大型車設定なしの交通流モデルを適用した場合について、時間交通量の実測値とシミュレーション値を図 12 に示す。ここで示している %RMS 誤差は式 (11) により算出している。%RMS 誤差は、実測値に対する実測値とシミュレーション値の誤差の平均を示している。どちらの場合も相関係数、%RMS 誤差ともに良好な値を示しており、実測値とシミュレーション値がよく一致していることが分かる。

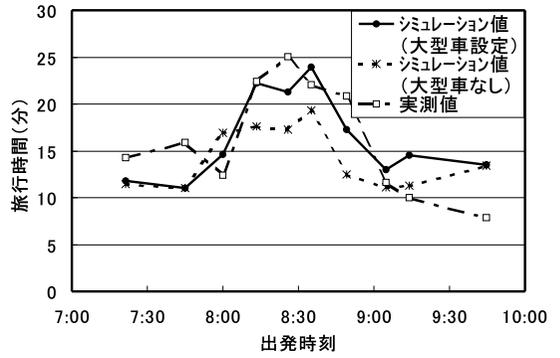


図 13 旅行時間のシミュレーション値と実測値の比較 (ルート A)
Fig. 13 Comparison between observed and simulated travel time (route A).

$$E = \frac{\sqrt{\sum \frac{(P_i - A_i)^2}{n}}}{A_{ave}} \tag{11}$$

- E : %RMS 誤差 .
- n : サンプル数 .
- P_i : シミュレーション値 .
- A_i : 実測値 .
- A_{ave} : 実測値の平均 .

次に、旅行時間について比較を行った。交通状況の再現性を検証する場合、交通量のシミュレーション値が現実の値と一致することはもちろん重要であるが、交通量が一致したうえでさらに旅行時間が一致していることが特に重要である。これは、同じ交通量の場合でも、たとえば需要が少ないために交通量が少ない状況と、需要が過多となり渋滞が起きている結果、通過できる交通量が少ない状況が存在する、すなわち交通量だけでは交通状況を表せないという交通流の性質による。また、交通量の実測値が入手できる場所も限られていることから、交通量と同時に主要なルートの旅行時間により交通状況の再現性を確認することが必要となる。

シミュレーションでは、旅行時間の実測時と同時刻に同ルートを走行するよう設定したプローブカーの旅行時間を比較値とした。交通量と同様に今回開発した交通流モデルを適用し大型車を設定した場合、大型車設定なしの交通流モデルを適用した場合について、図 11 に示す 4 ルートの実測値とシミュレーション値の比較を行った。

図 13 に 4 ルート中最も渋滞が激しい豊田インター方面からトヨタ自動車方面へ向かうルート A の出発時刻別の旅行時間変化を示す。入手可能な実測データの都合上、各プロットが 1 台の車両のみに対応しているため、同様の交通状況であっても、信号の通過タ

イミングによっては2~3分のずれが生じる場合があることを考慮して比較を行う必要がある。図13より、シミュレーションではどちらの場合も8:00~9:00の間に発生する渋滞にともなう旅行時間の増加が再現されている。しかしながら、大型車設定なしの場合は、上述のことを考慮しても渋滞時の旅行時間が実測値よりも少なめになっているのに対し、今回開発した交通流モデルを適用した場合は、実測値とよく一致している。これは、開発した交通流モデルでは大型車が混入することによる混雑の増加が表現可能であり、その結果、現実と同様に大型車混入時の交通状況が再現できていることを示している。以前に実施したブロック密度法を用いた長野オリンピック開催時の交通流シミュレーションでは、特に大型車が多く走行する国道において渋滞の再現が十分になされていないことが明らかになった⁵⁾。しかしながら、本モデルを用いることによりこの問題が解決され、渋滞の再現性が向上することが期待できる。

以上より、今回開発した交通流モデルを用いることにより、交通量、旅行時間の両者が実測値と一致する、すなわち開発したNETSTREAMを用いて交通状況を精度良く再現可能であることを確認した。ここで、渋滞の前後すなわち8:00以前と9:00以降において、どちらのシミュレーション結果も実測値と差があるのは、以下の理由からである。今回使用しているOD交通量データは30分単位で作成したものである。しかしながら、実際の交通の需要は刻々変化しており、特に渋滞が発生する時間帯とその前後では30分間同じ需要が続くことはない。したがって、設定したOD交通量データでは渋滞時間帯の直前の急激な需要増加が表現できないため、旅行時間の実測値よりもシミュレーション値が小さくなる。また渋滞解消時の急激な需要減少が表現できないため、渋滞時間帯後にも旅行時間の実測値よりもシミュレーション値が大きくなり、渋滞の解消がわずかに遅れていることを示している。しかしながら、OD交通量作成のための入手可能なデータに限界があるため、現状ではこのように粗い時間帯でのOD交通量データをシミュレーションに用いざるをえない。この点については今後、より高精度な渋滞の再現を行う際の課題と考える。

なお、上記の検証ではパーソナルコンピュータ(CPU: PentiumIII 1 GHz, Memory: 512 Mbyte)を用い、スキャンニングインターバルを1秒として4時間の交通流を計算した。その計算に要した時間は約8分である。この計算速度はブロック密度法を用いた場合⁵⁾と比較して同等であり、今回開発した交通流モ

デルにより広域の交通流を高速に計算できることを確認した。

5. ま と め

交通渋滞の低減や環境改善を目的とした交通施策実施、およびITS技術導入時の効果予測が可能な広域交通流シミュレータNETSTREAMを開発した。本論文では、はじめにNETSTREAMの概要、およびリンクの交通流特性に基づいて大型車/普通車など属性が異なる個々の車両挙動を高速に計算する交通流モデルについて述べた。このように個々の車両挙動を個別に計算可能なモデルを用いることにより、交通情報受信やETCなど評価対象とするシステム搭載車両と非搭載車両の挙動を各々区別して計算可能となる。続いて、仮想道路ネットワークを用いた基本性能の検証を行い、個々の交通現象について理論値とほぼ一致することを確認した。最後に、豊田市の実道路ネットワークを用いた検証を行い、NETSTREAMにより交通状況を精度良く再現できることを確認した。

今後は、システム搭載車両/非搭載車両の挙動を具体的に定義してシミュレーションを行い、ITS技術導入や交通施策の事前評価に本シミュレータを役立てていきたい。

謝辞 本研究を行うにあたり、トヨタ自動車(株)IT・ITS企画部石川主査、池上氏、生産物流システム生技部今村氏より貴重なデータを提供していただいた。さらに(株)豊田中央研究所車両・安全・ITSセンター西川特命主査はじめ、関係各位より貴重な助言と多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 堀口良太, 片倉正彦, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 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).
- 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, pp.97-100 (1996).
- 3) 飯田恭敬, 内田 敬, 藤井 聡, 鷹尾和享: 渋滞の延伸を考慮した動的な交通流シミュレーション, 土木計画学研究講演集, Vol.14, No.1, pp.301-308 (1991).
- 4) 羽藤英二, 香月伸一, 貴志泰久, 矢尾谷雄司: 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).
- 5) 北岡広宣, 寺本英二, 滝澤依子, 齋藤 威: 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).
- 6) 馬場美也子，北岡広宣，棚橋 巖：GA を用いた経路最適化による広域交通流シミュレータ上での交通状況再現手法，情報処理学会論文誌，Vol.43，No.12，pp.3794-3800 (2002).
- 7) 交通工学研究会（編）：交通工学ハンドブック，技報堂出版 (1984).
- 8) 交通工学研究会交通シミュレーション自主研究委員会：交通流シミュレーションの標準検証プロセス Verification マニュアル (第 2 版) (2002). <http://www.jste.or.jp/sim/manuals/index.html>
- 9) 豊田中央研究所：開発技術交通流シミュレータ NETSTREAM (2003). http://www.tytlabs.co.jp/office/library/lib_01/netstream/index.html
- 10) 北岡広宣，寺本英二，小根山裕之，桑原雅夫：交通状況予測のための OD 交通量推定手法の開発，第 1 回 ITS シンポジウム 2002 Proceedings，pp.143-148，ITS Japan (2002).
(平成 16 年 1 月 26 日受付)
(平成 16 年 11 月 1 日採録)



馬場美也子 (正会員)

1968 年生．1991 年愛知教育大学教育学部数学科卒業．同年 (株) 豊田中央研究所入社．以来，交通流シミュレーションおよび交通施策評価に関する研究に従事．現在，車両・安全・ITS センター走行支援センシング研究室に所属．

交通工学研究会会員．



棚橋 巖

1954 年生．1977 年名古屋大学工学部電子工学科卒業．1989 年 (株) 豊田中央研究所入社．以来，路車間通信システムおよび交通流シミュレーションに関する研究に従事．現在，

車両・安全・ITS センター ITS 第 1 研究室に所属．電子情報通信学会，交通工学研究会各会員．



北岡 広宣

1964 年生．1990 年千葉大学工学部電子工学科卒業．1992 年千葉大学大学院電子工学専攻修士課程修了．同年 (株) 豊田中央研究所入社．以来，交通流シミュレーション，交通状況予測に関する研究に従事．現在，車両・安全・ITS センター ITS 第 1 研究室に所属．交通工学研究会，土木学会各会員．



森 博子

1969 年生．1991 年筑波大学第 3 学群社会学類卒業．1993 年筑波大学大学院社会学研究科修士取得．同年 (株) 豊田中央研究所入社．以来，交通流シミュレーション，交通状況予測に関する研究に従事．現在，車両・安全・ITS センター ITS 第 1 研究室に所属．交通工学研究会会員．



寺本 英二

1959 年生．1982 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業．1990 年 (株) 豊田中央研究所入社．以来，移動通信システム，測位システムおよび交通流シミュレーションに関する

研究に従事．現在，車両・安全・ITS センター ITS 第 1 研究室に所属．交通工学研究会，土木学会各会員．