

交通流シミュレータ NETSTREAM の大型車対応

馬場 美也子[†] 北岡 広宣[†] 棚橋 巖[†] 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,交通状況を精度良く再現することができる。NETSTREAM の交通流モデルに大型車対応機能を追加し,大型車混入率が交通流に与える影響を表現可能にした。本報告では,大型車対応の交通流モデルについて述べる。また,仮想ネットワークでの検証および実道路への適用結果より,本モデルの妥当性および有効性を示す。

Traffic Flow Simulator NETSTREAM Including A Model for Heavy Vehicles

Miyako Baba[†] Hironobu Kitaoka[†] Iwao Tanahashi[†] 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 that traffic flow model. The validity of our model was confirmed using a hypothetical road network and a real road network.

1. はじめに

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などは,実際の道路での評価が困難なため,交通流シミュレータを用いた事前評価が有効である。このような目的で使用する交通流シミュレータは,

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こと。
対象道路の交通流特性(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こと。

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ること。

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。

[†] (株)豊田中央研究所

Toyota Central R&D Labs., Inc.

という複数の条件を同時に満たす必要がある。

これまでに開発された交通流シミュレータでは、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¹⁾。しかしながらこれらのシミュレータは、詳細な車両挙動をも計算に取り入れているため、計算量が過大になり、都市域全体など広域には対応できない。一方、広域交通流を対象とするシミュレータでは、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²⁾。そのため、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することができない。

そこで、我々は上述の要求条件を満たし、広域を対象とする様々な施策評価が可能な交通流シミュレータ NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) を開発した³⁾。前報告では、要求条件を満たすために新たに開発した NETSTREAM の交通流モデルおよび中規模都市全域への適用結果について述べた。この交通流モデルでは、車両の属性による挙動の違いを個々に計算可能としているが、実際に大型車の挙動を決定する交通流モデルの組み込みおよび検証は未実施であった。そこで今回は、NETSTREAM の交通流モデルに対し、大型車対応機能を付加し、交通状況再現精度のさらな

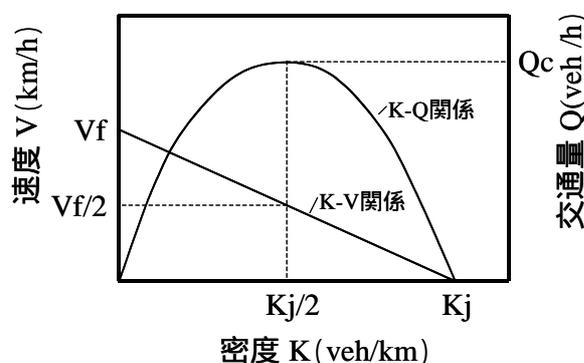


図1 GreenshieldsのK-V関係、K-Q関係

る向上を目指した。

本報告では、大型車の交通流モデルについて説明し、仮想道路ネットワークを用いた大型車混入時の交通流の検証結果について述べる。また、豊田市実道路ネットワークに適用して、実測値との比較を行い、本モデルが交通状況再現精度の向上に有効であることを示す。

2. 交通流モデル

2.1 NETSTREAMの交通流モデル

はじめに我々が開発した交通流シミュレータ NETSTREAM の交通流モデルについて説明する。NETSTREAMでは、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、決定した速度に従ってリンク(道路)下流より車両位置を更新する。車両の速度 V (km/h) は次のように決定する。まず車頭距離 S (km) と車両密度 K (veh/km) の関係式(1)より、自車とその前車との距離 S から密度 K を求める。

$$K = 1/S \quad \dots(1)$$

ここで求めた K と式(2)および図1に示す Greenshieldsの K - V (密度-速度) 関係より速度 V を求める。

$$V = V_f (1 - K/K_j) \quad \dots(2)$$

ここで、 K_j (veh/km) は渋滞時に車両が1kmあたり何台停止できるかを示す最大車両密度であり、 V_f (km/h) 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(3)の関係があることが知られている。

$$Q = K \times V \quad \dots(3)$$

従って式(2)より、交通量 Q は次式および図1で示す密度 K の2次式で与えられる。

$$Q = K \times Vf (1 - K/Kj) \dots(4)$$

ここで、図中の Q_c (veh/h) 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(2)~(4)より次式で求められる。

$$Q_c = (K_j / 2) \times (Vf / 2) \dots(5)$$

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(5)を用いて自由走行速度 Vf を求めることにより、各リンク個別に K - V 関係式(2)を決定する。

2.2 大型車対応交通流モデル

前節で説明した交通流モデルを大型車対応に拡張した。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、大型車の移動は図2のような K - Q 関係および K - V 関係に従って行うこととした。すなわち、車両が大型車である場合には、速度を更新する際、交通容量 Q_c/E 、最大車両密度 K_j/E である Greenshields の K - V 関係を用いる。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⁴⁾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。

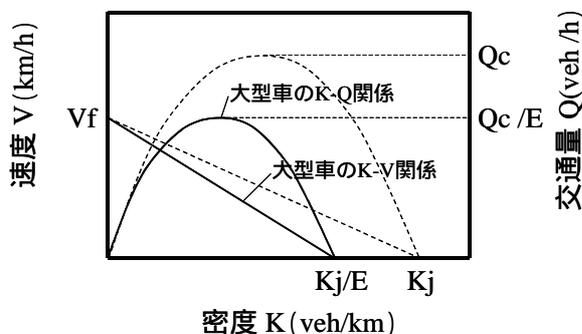


図2 大型車の K - V 関係, K - Q 関係

3. 検証

3.1 仮想道路ネットワークでの検証

前章で説明したモデルにより大型車と普通車を混在走行させた時のリンク通過車両台数を理論値と比較することにより、モデルの妥当性の確認を行った。確認に用いたのは、図3に示すような単純な道路ネットワークである。車両は、ノード(交差点) Na から発生し、ノード Nc で消滅する。はじめに、ノード Nb に信号が設置されていないときのリンク La を通過可能な車両台数の確認を行った。リンク La の容量は1400, 1800, 2200 (veh/h) の3通りに設定した。また、最大車両密度は交通工学ハンドブック⁴⁾を参考にしてすべて140 (veh/km) とした。大型車混入率は0から1まで0.1ずつ変化させた。大型車混入率が T のときのリンク通過車両台数はリンクの容量に式(6)で表される大型車混入による補正率を掛けたものとなる。ここで、 E は大型車の乗用車換算係数である。

$$\alpha = \frac{1}{(1-T) + E \times T} \dots(6)$$

例えば、リンク容量1800、大型車混入率0.3のとき、 $\alpha = 0.8264$ となり、大型車混入時の通過車両台数は $1800 \times 0.8264 = 1488$ 台となる。また、大型車混入パターンのばらつきによる通過台数への影響を考慮して、24時間分のシミュレーションを行い、計算開始時に車両が

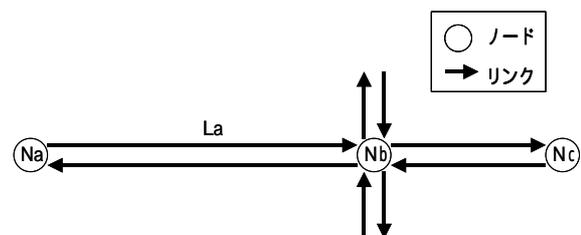


図3 検証に用いた仮想道路ネットワーク

リンク上に存在していない初めの 1 時間を除いた 23 時間分の平均通過車両台数を理論値と比較することとした。リンク容量 1800 (veh/h) のときの結果を図 4 に示す。他のリンク容量についても同様の結果が得られたことから、どのリンク容量の場合についても、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良く一致していると言える。

次に、ノード Nb に信号が設置されているときのリンク La の通過車両台数を確認した。信号のサイクル長は 120 秒、青時間は 55 秒とした。リンクの流出部に信号が設置されている場合は、交通容量ではなく飽和交通流率を用いる。飽和交通流率とは、有効青 1 時間あたりに交差点を通過可能な最大車両台数を示し、(veh/有効青 1 時間) で表される。設定された飽和交通流率に前述の式(6)で表される大型車混入による補正率、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。例えば、飽和交通流率 1800、大型車混入率 0.3 のとき、 $\alpha = 0.8264$ となり、大型車混入時の 1 時間あたりの通過車両台数の理論値は $1800 \times 0.8264 \times 55/120 = 682$ 台となる。

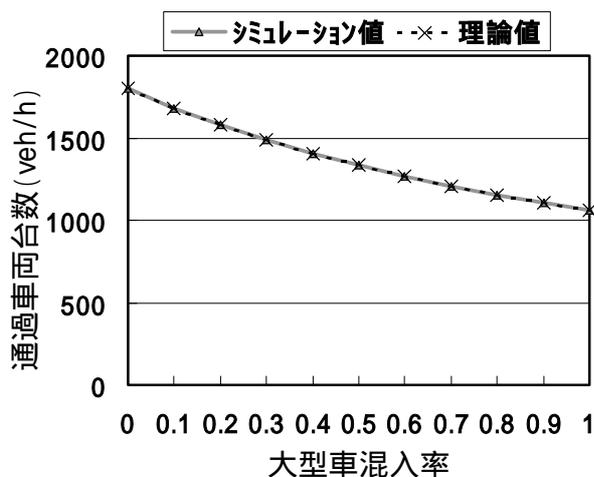


図 4 大型車混入率別 通過車両台数のシミュレーション値と実測値の比較 (信号なし, 交通容量 1800veh/h)

リンク La の飽和交通流率が 1800 (veh/有効青 1 時間) のときの大型車混入率別 通過車両台数のシミュレーション値と理論値の比較を図 5 に示す。この図で、大型車混入率が小さいときは理論値とシミュレーション値がほぼ一致しているのに対し、大型車混入率が大きくなるとシミュレーション値が理論値より大きくなっているのは、次のような理由からであると考えられる。

車両が交差点を通過できるかどうかは、車両の最前部が通過できるかどうかで決まる。青信号の間に通過した車両のうち、最後に通過した車両が大型車であった場合、大型車は普通車 1.7 台分に相当するとしているため、最後が普通車であった場合に比べて 0.7 台分多く通過することになる。大型車混入率が大きくなればなるほど、最後に通過する車両が大型車である確率は高くなり、そのため通過車両台数が多くなっていくと考えられる。しかしながら、どのケースもシミュレーション値と理論値の差は 30 (veh/h) 未満、すなわち 1 信号サイクルあたり 1 台未満であったことから、離散誤差も考慮すれば許容範囲内の誤差であると言える。従って、今回開発した大型車対応機能により理論

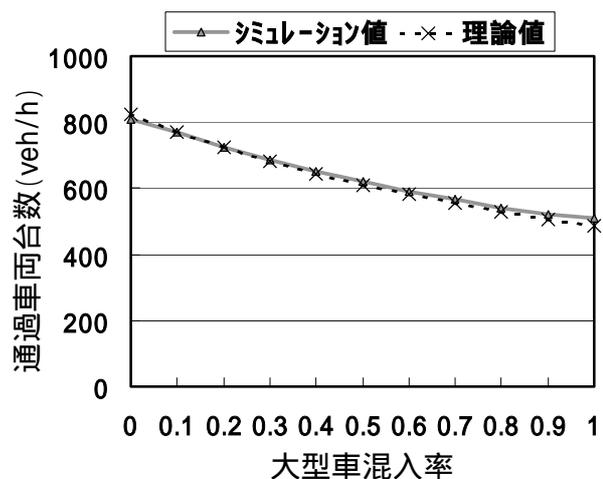


図 5 大型車混入率別 通過車両台数のシミュレーション値と実測値の比較 (信号あり, 飽和交通流率 1800veh/有効青 1 時間)

値どおりの通過車両台数が得られたと考える。

3.2 実道路ネットワークでの検証

次に豊田市の道路ネットワークに本モデルを適用した。対象とした道路ネットワークを図6に示す。ノード数1319,リンク数3474である。ある時間帯における車両の出発地(Origin),目的地(Destination)を表す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⁵⁾を用いて,実測値に適合するよう精度の向上を図った。シミュレーションの対象時間は平日の朝6:00~10:00の4時間とした。

シミュレーションの結果と実測値の比較を行うことにより,本モデルの検証を行った。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。本モデル,すなわち大型車と普通車を区別した交通流モデルを適用した場合と,本モデル開発以前の

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の比較を行った。図7に結果を示す。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,実測値と良く一致していることがわかる。

次に,旅行時間について比較を行った。シミュレーションでは,実測値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。交通量と同様に本モデルを適用し大型車を設定した場合,本モデル開発以前の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,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8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の出発時刻別の旅行時間変化を示す。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伴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,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,本モデルを適用し大型車設定を行った場合は,実測値と良く一致している。

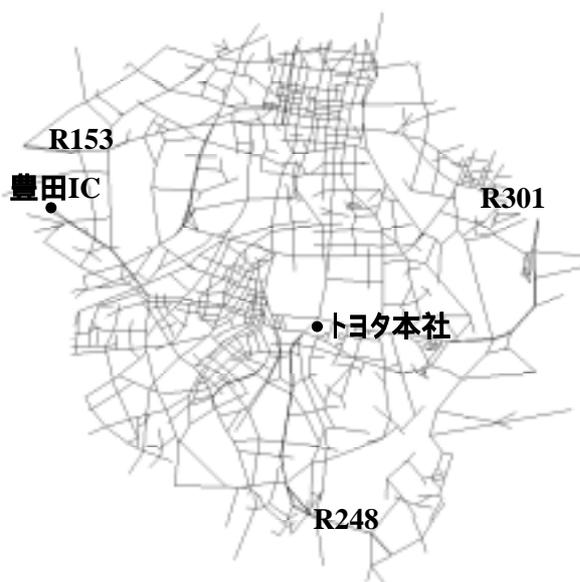


図6 検証に用いた豊田市道路ネットワーク

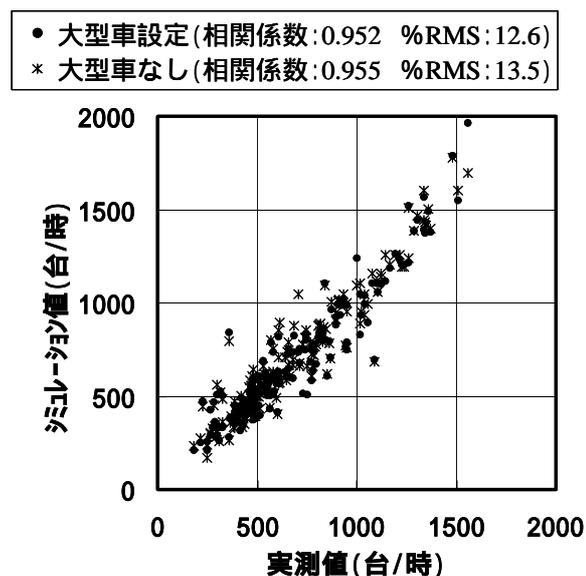


図7 交通量のシミュレーション値と実測値の比較

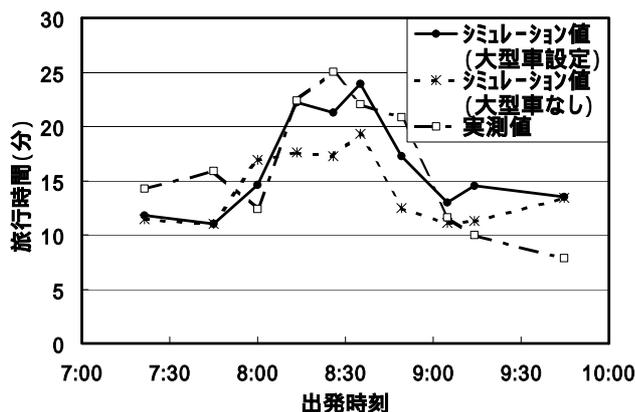


図 8 旅行時間のシミュレーション値と実測値の比較

これは、本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。以上より、交通量については、本モデルを適用した場合、適用しない場合ともに精度良く再現可能であるが、旅行時間については本モデルにより大型車を普通車と明確に区別して取り入れることにより、より渋滞の再現精度が向上することが明らかになった。

4. 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。NETSTREAM の交通流モデルに対し、大型車対応機能を付加し、仮想道路ネットワークを用いて大型車混入時の交通流についての検証を行った。その結果、設定した交通流モデルおよび大型車への拡張方法により理論値どおりのリンク通過車両台数が得られ、モデルの妥当性が示された。また、豊田市実道路ネットワークに適用して、本モデルにより大型車と普通車を区別した交通流モデルを適用した場合と、本モデル開発以前の大型車設定なしの交通流モデルを適用した場合

のシミュレーション値と実測値との比較を行った。交通量については本モデルを適用した場合、適用しない場合ともに精度良く再現可能であったが、旅行時間については本モデルを用いることにより、大型車が混入することによる混雑の増加が表現可能となり、渋滞の再現精度が向上することが明らかになった。

謝辞

本研究を行うにあたり、トヨタ自動車(株) ITS 企画部 石川主査、池上氏、IT エンジニアリング部 今村氏より貴重なデータを提供して頂いた。さらに、シミュレーション実施にあたり(株)豊田中央研究所 第 21 研究領域 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>

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 棚橋，北岡，馬場，森，寺田，寺本：“広域交通流シミュレータ NETSTREAM”，情報処理学会研究報告，2002-ITS-9，pp.9-14，2002.
- 4) 交通工学研究会編：“交通工学ハンドブック”，技報堂出版，1984.
- 5) 北岡，寺本，小根山，桑原：“OD 交通量推定手法による現況再現”，土木計画学研究発表会 講演資料，2002.