

## 排出量推計のための ミクロ交通流シミュレーションモデルの開発 - 2

寺田 重雄<sup>\*1,\*2</sup> 棚橋 巖<sup>\*1,\*2</sup> 林 誠司<sup>\*1,\*3</sup> 國見 均<sup>\*1</sup>

**あらまし** JCAP(Japan Clean Air Program)において、沿道における自動車の排出ガス量を詳細に推計する基礎となる交通流モデルを開発中である。排出量の推計は1台1台の自動車の挙動を元に推計され、用いられるのは速度と駆動力である。駆動力は加速度に依存するため、交通状況の再現に当たっては交通量と平均速度という通常の評価尺度だけではなく、速度と加速度まで含めた評価が必要と考え、この評価尺度として走行モード別の時間比率について検討した。交通流モデルはParamicsをベースに開発し、東京都世田谷区上馬交差点周辺を対象としてシミュレーションを実施した。モデル開発と評価尺度の検討結果について報告する。

**キーワード** 交通流, ミクロモデル, シミュレーション, 排出量推計, 走行モード

## The Development of Traffic Micro Simulation Model for Estimation of Automotive Emissions - 2

Shigeo TERADA<sup>\*1,\*2</sup> Iwao TANAHASHI<sup>\*1,\*2</sup> Seiji HAYASHI<sup>\*1,\*3</sup> and Hitoshi KUNIMI<sup>\*1</sup>

**Abstract** In JCAP (Japan Clean Air Program), the traffic micro simulation model for estimating the amount of automotive emission on the street in detail is under development. The estimation is calculated based on the speed and acceleration of individual vehicle, every second. The micro simulation model Paramics is used, and not only link volume and link speed but also the distribution of speed and acceleration of individual vehicle is evaluated as driving modes. In this paper, we report the status of development and the evaluation measure .

**Keyword** Traffic flow , Micro-model , Simulation , Automotive Emission , driving modes

### 1. はじめに

JCAP(Japan Clean Air Program)は、経済産業省の支援を受け、自動車業界と石油業界の共同研究として、(財)石油産業活性化センターが実施している大気環境改善のための国家プロジェクトである[1]。現在は2001年度に終了したJCAPを引継いでJCAPとして3年目を迎えている。

JCAPでは大気予測シミュレーションモデルの開発を行って、大気環境の再現・予測を行い、様々な大気環境改善施策の効果

予測を行う計画である[2]。

大気環境に影響を及ぼすものとしては、自動車起源のものとして、大きく分けられる。自動車起源のものは道路上において自動車が走行することにより排出される。この排出量は交通状況に大きく依存するが、ミクロに見た場合、1台1台の自動車の挙動、さらにはドライバの運転特性にも依存することになる。交通状況をマクロ的に捉えて交通量と速度から排出量を推計する方法は従来からとられている方

<sup>\*1</sup> (財)石油産業活性化センター Petroleum Energy Center

<sup>\*2</sup> (株)豊田中央研究所 Toyota Central R&D Labs., INC.

<sup>\*3</sup> (財)日本自動車研究所 Japan Automobile Research Institute

法で、JCAP においても広域の排出量推計ではこの方法を用いている。しかしこの方法では交差点近傍と交差点と交差点の間の区域、あるいは後背地などの濃度差を見ることはできない。そこで我々は自動車の挙動を基にした排出量推計を行う方法を検討・開発した[3]。ここで用いる交通流モデルを沿道交通流モデルと呼び、このモデルは個別の車両挙動を再現して出力し、自動車からの排出量ガスを推計する基礎データを与えるものである。

前回の報告[4]では沿道交通流モデルのコンセプトと開発状況について報告した。今回はモデル開発と、モデルにより得られた交通状況の評価尺度を検討した結果について報告する。

## 2. 沿道モデル

大気環境を評価するためのモデルとして、日本列島全体から都市圏レベルまでを扱う広域モデルと、都市内の数 km 四方程度の広さから数交差点程度までを扱う沿道モデルがある。広域モデルが広い範囲の濃度分布を扱うのに対して、沿道モデルは交差点近傍と後背地、あるいは交差点間の排ガス濃度をミクロに比較するためのモデルである。沿道モデルは交通状況の再現を行う交通流モデルと、それに基づいて車両ごとの排出ガスを推計する過渡排出量推計モデルと、道路上に排出されたガスが風などにより移動・拡散の様子を計算する気流拡散モデルの3つのモデルからなる(表1)。

これらのモデルの概要を記述するとともに、下流側の実施内容に基づいて最上流である交通流モデルに要求される機能・要件を明らかにする。

表1 沿道モデルの構成

モデル	入力	出力	概要
交通流 (Paramics)	道路ネットワーク(NW)、車両OD、各種パラメータ	個別車両の1秒ごとの車種、位置、速度、加速度	車両を1台ずつ扱う追従モデル
過渡排出量推計	Paramicsの出力排出係数マップ	道路上の排出量分布	車種・規制年度ごとに異なる排出係数マップを用いる
気流拡散 (STAR-CD)	推計モデルの出力境界における気流分布、濃度データ	沿道における気流、濃度場	1時間平均値を求める

## 2.1 過渡排出量推計モデル

沿道における詳細なガス濃度分布を得るために、排出量推計モデルでは車両1台ごとに排出量を求める方法を取り、そのためのパラメータとして速度と駆動力を用いることとした。

図1上に示す走行パターンを走行すると同時に排出されるガスを計測し(図1下)速度、加速度などの走行条件と排出ガスとの関係を明らかにすることにより、図2に示す排出ガスマップを作成した。このマップと図3に示すような車両1台ごとの走行データ(車種、速度、加速度、位置...)から図4に示す詳細な排出量推計値を得る。

この結果、図5に示すように、道路上における詳細な排出量分布が得られる。

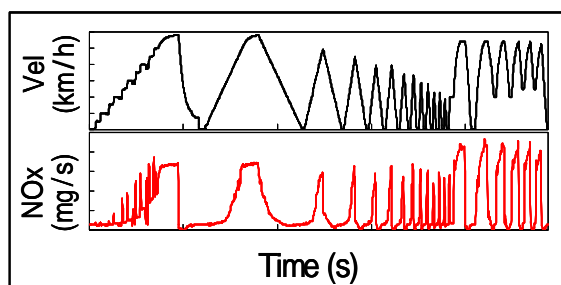


図1 走行パターンと排出ガスの計測値

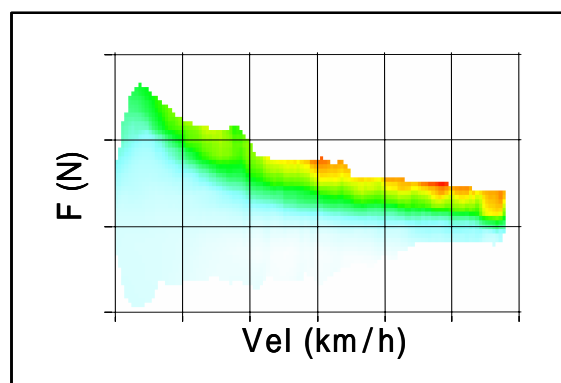


図2 排出ガスマップの一例 (NOx)

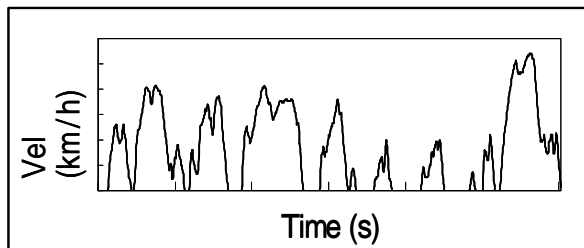


図3 車両の挙動の一例

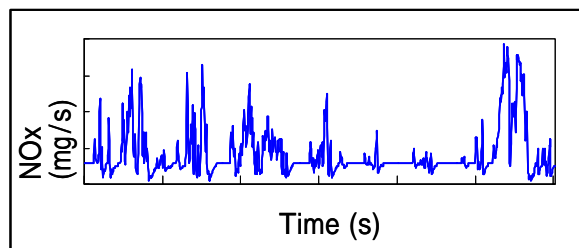


図4 排出ガスの推計例

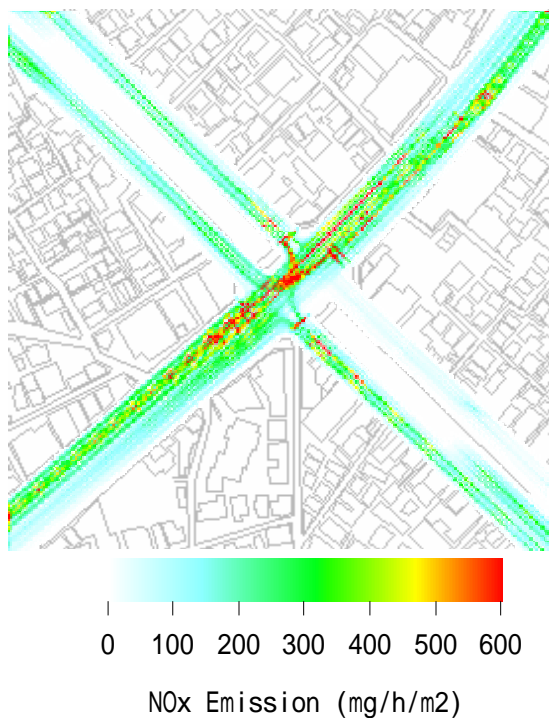


図5 排出量推計結果  
(上馬、NOx、1m単位、1時間累積)

## 2.2 気流拡散モデル

道路上に排出されたガスは車両の走行及び風により拡散される。そのため境界における気流、ガス濃度を別途入力して沿道におけるガス濃度を求めた(図6)。入力データが1時間値であるため、計算結果は1時間平均値である。

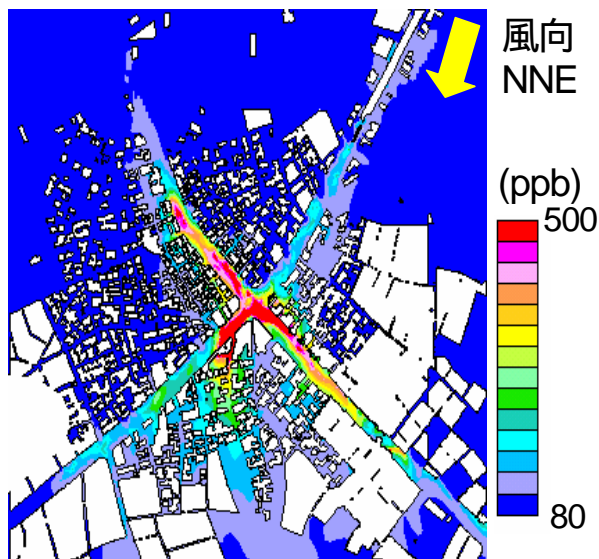


図6 排出ガスの濃度場の推計例

## 3. 沿道交通流モデルへの要求機能

以上のように沿道における自動車排出ガスの濃度を推計するプロセスにおいて、最上流に位置する交通流モデルには様々な機能が要求されることになる。以下に主な点をまとめる。

- 1台1台の車両を扱える。
- 複数の車種を区別して扱える。
- 加速・減速という車両挙動が現実を模擬したものである。
- 加減速などの車両挙動が日本人ドライバーの特性を再現している。
- 加減速に影響する縦断勾配を組み込める。
- 貨物車については積載量を反映しうる。
- 固定経路車両である路線バスを組み込み可能。
- すり抜けなどを含む二輪車を組み込み可能。
- 1つのODに対して複数の経路設定が可能。
- 交通信号、路上駐車、バスレーンなどの交通規制を表現できる。
- 道路、交差点を問わず、位置、速度、加速度などの車両データを1秒ごとに出力可能。
- これに関連して、計算時間の刻みが1

秒未満である。

1 回のシミュレーション内で時間帯によるパラメータ変更が可能。

必要な時間帯(1日分)のデータを扱える。

## 4. 沿道交通流モデルの開発

### 4.1 モデル開発

以上のような機能を満たすため、ミクロ交通流シミュレータである Paramics をベースとしたモデルを構築した。Paramics はイギリス運輸省の協力でエジンバラ大学で開発されたモデルであり、追従モデルに基づくミクロ交通流シミュレータとして、前記の機能をほぼ満足している。しかしイギリスで開発されたモデルなのでイギリスにおけるドライバー特性を反映していると考えられるため、これを API\*\*により日本人ドライバーのモデルに置換えた[5]。さらに必要に応じて車両位置の出力ルーチンなどを API により作成・使用した。

\*PARAllel MICroscopic traffic Simulator

\*\* Application Programming Interface

### 4.2 対象エリアとシミュレーション

Paramics の適用対象として、JCAP で詳細な観測が行われ、自動車排出ガス測定局が設置されている、東京都世田谷区上馬交差点近傍を選び、現況再現シミュレーションを実施した。気流計算が1時間単位で24時間計算をするため、交通流も24時間分のデータを1時間単位で再現、出力した。

#### (1) 対象道路網・信号データ

上馬で対象とする道路網(ネットワーク以下NW)はR246(玉川通り)と環七の交差点である上馬交差点を中心としたそれぞれ約1.2kmの区間で、61ノード、128リンク、14信号交差点である(図7)。NWデータはDRMを基本として、現地調査も行って作成した。信号データは警視庁殿より入手した。

#### (2) ODデータ

交差点における交通量調査データに基づいて、車種別、1時間ごとのODデータを作成した。この値は実交通量で、需要交通

量ではないため、得られた値に係数をかけるなどしてシミュレーション結果の交通量が実測値と合うように調整した。

#### (3) その他

NW内を走行する路線バスは7系統あり、1日で893本のバスが運行されている。またバス停は25箇所であった。これらについてはバス会社の資料などに基づいて、路線ごとに所定のバス停を経由する固定の経路を設定するとともに、始発のバス停における出発時刻を設定した。

路上駐車は調査データに基づき、リンク単位で第1車線を進入禁止として設定した。

Paramics ではシミュレーションの交通状況データを得るために、感知器をリンクに設置する必要があるため、NW内のすべてのリンクに感知器を設置して交通流データを収集した。



図7 上馬の対象道路網

## 5. 再現性の評価

シミュレーションにより得られた結果の妥当性を評価するためには様々な指標が考えられるが、交通流の場合には交通量と平均速度が通常用いられてきた。これらは交通状況を代表する指標であり、必要な尺度ではあるが、今回検討しているミクロな排出量推計が個々の車両挙動に基づいていることから、他の指標が必要と考えられた。

前回の報告では速度と加速度について出現頻度分布を検討したが、今回は走行モードについて検討した。

### 5.1 評価指標の検討

自動車が走行するときの状態を停止、加速、定常走行、減速の4つの状態に分け、それぞれを走行モードと呼ぶ[6]。それぞれのモードが出現する割合(時間比率)がシミュレーションと実測とで合っていれば、交通状況の再現性は高いと考えられる。

世の中でよく知られているのは10・15モード、11モードなどの規制モードで、燃費、排出ガスの計測などに用いられている。これらは走行調査を通じて一般的な交通状況を代表する走行パターンとして決められたものである。ここでそれぞれのモードを判定する閾値は文献[6]により図8に示す値を用いた。

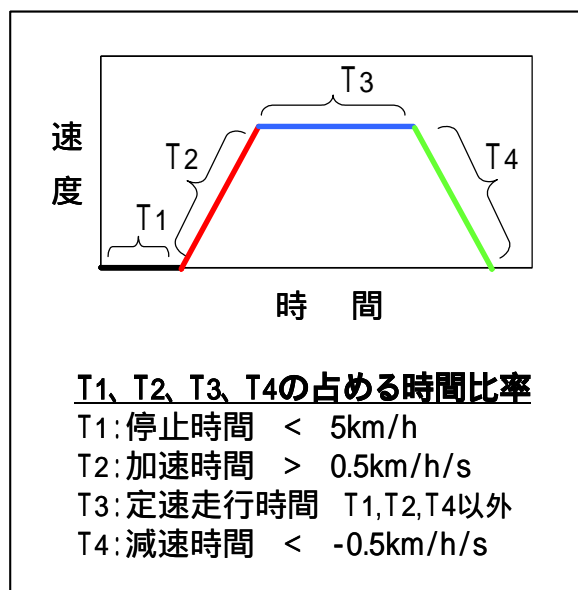


図8 走行モードと閾値

図中に示す閾値を用いて、以下の項目を検討した。まず、シミュレーション結果を同じ場所で計測した実測値と比較した。次に加速時間について、閾値の値を大きい加速度の値で細分化して検討した。また前記した規制モードと実測、シミュレーションの結果と比較した。

### 5.2 再現性の評価(1)

24時間のシミュレーションを1時間単位で行い、交通量、速度について現況再現性を実測値と比較した。

図9、図10には13時台の結果を示すが、各種のパラメータを合せ込むことにより、交通量については概ね相関係数0.99、%RMS誤差10%とほぼ十分な再現が得られた。速度については、相関係数0.90以上、RMS誤差30%以下という結果が得られた。

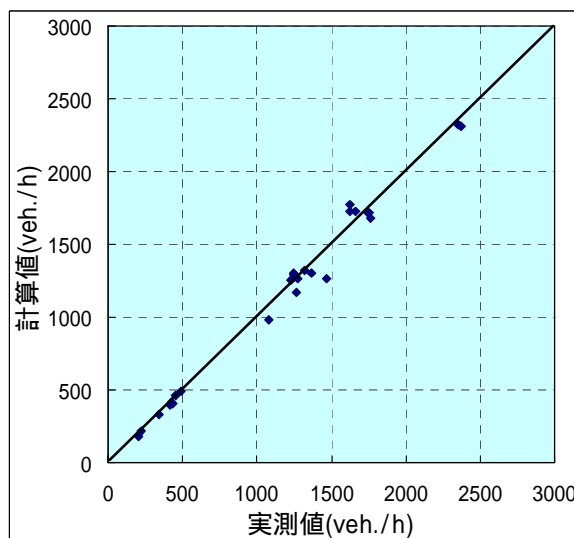


図9 交通量の再現結果(上馬、13時)

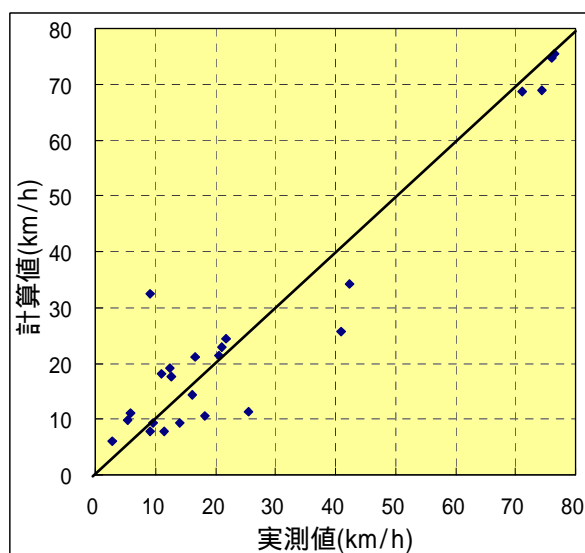


図10 速度の再現結果(上馬、13時)



### 5.3 再現性の評価（2）

排出量推計には上記のようなマクロ的な評価の他に、排出量推計に用いるパラメータ、すなわち速度と加速度に関する評価が重要である。一般的に言われているように交通現象には再現性がないことから、個別の1台1台の車両の速度と加速度をNW内のすべての車両について合わせるという事は現実的ではない。そこで前述した走行モード別の出現時間割合を集計した。

実測データは前回も報告したように、R246（玉川通り）と環七において実施した5人のドライバーによる走行調査である。

走行モードとしては速度が5km/h以下を停止、速度がそれを上回るときに加速度が0.5km/h/s以上のときを加速、-0.5km/h/s以下のときを減速、それ以外のときを定速走行と分類し、NW内を走行するすべての車両について各モードが出現する時間比率を集計した。

実測とシミュレーションの比較を図11に示す。時間帯、路線などにより、多少の差異はあるものの、全体として走行モードの出現する傾向は同じであることがわかった。また時間比率については実測値で停止の時間比率が多いのに対して、シミュレーション結果ではその比率が小さく、その分加速、減速、定速の比率が多い傾向が見られた。

加速度について細分化して集計した結果を図12に示すが、ここでは実測値とシミュレーション結果はほぼ同じ時間比率となり、シミュレーションの再現性のよいことが示された。

次に規制モードとして知られている10・15モードについて検討した。このモードは一般的な走行状態を代表するモードとして、燃費、排出ガス試験で用いられているが、最大加速度が2.86km/h/s未満と小さく、現在の高性能な車両及び交通状況からみて、若干不十分ではないかとも考えられる。そこで、10・15モードに次ぐモードとして実走行条件に基づくCD34モードについて検討した。

実測値及びシミュレーション結果と、10・15モード、CD34モードとの走行モード別の出現時間比率をまとめて図13に示す。シ

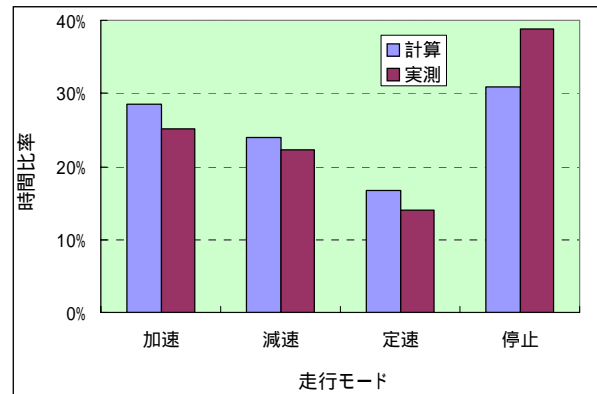


図 11 走行モード別の出現時間比率

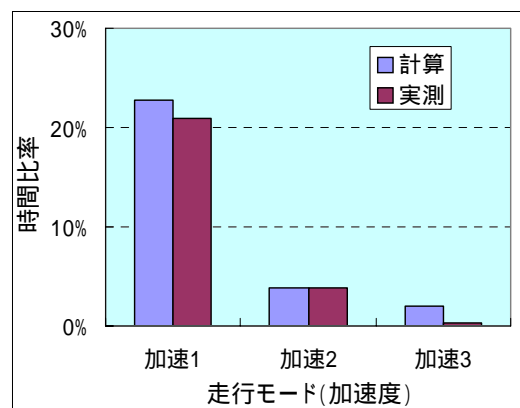


図 1 2 加速度の詳細比較

（加速度詳細

加速 1 : 0.5km/h/s 未満

加速 2 : 0.5 ~ 2.86km/h/s

加速 3 : 6.02km/h/s 以上）

ミュレーション結果の各モードは10・15モードとCD34モードの間に位置しており、一般的な走行状況と合っていると考えられる。実測値は特に停止の時間割合が大きく、混雑した状況だったと考えられる。

加速度について図14で詳細に見ると、加速1（0.5km/h/s未満）ではシミュレーション結果と実測値は10・15モード、CD34モードとよく合っている。それよりも大きい加速2（0.5km/h/s～2.86km/h/s）では出現が0である10・15モードを除くシミュレーション結果と実測値とCD34モードの出現時間比率はよく一致している。さらに大きい加速3（6.02km/h/s以上）では規制モードは出現が0であり、シミュレーション

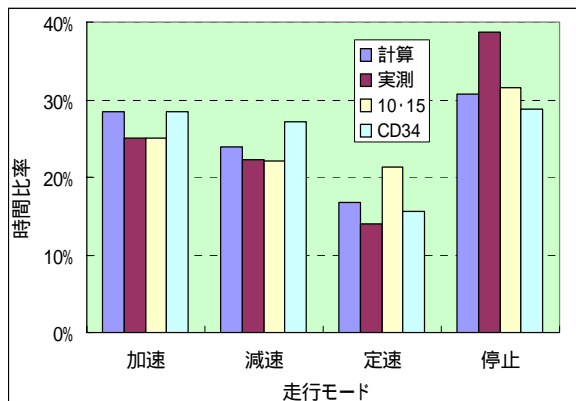


図 1.3 シミュレーション結果と実測値の規制モードとの比較

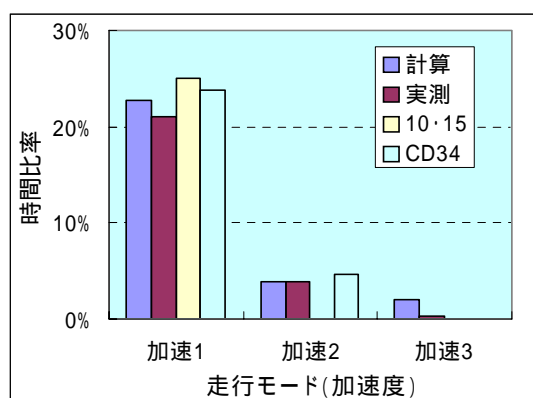


図 1.4 シミュレーション結果と実測値の規制モードとの比較(加速度)

結果が実測値に比べ大きくなっている。

図 1.1、図 1.2 の結果も含めて、シミュレーション結果は実測値と比較し全体としては合っているが、停止の割合が小さいこと、大きな加速度の出現比率が大きいことから、排出量推計に当たってはこれらの点を勘案することが必要と考えられた。

以上、交通量と平均速度といういわばマクロ的な評価尺度についてはミクロ交通流シミュレータの様々なパラメータを最適化することにより高い現況再現ができた。またそれによりミクロな排出量推計に直接影響する速度、加速度についても、走行モードの時間比率について再現できる見通しが得られた。

## 6. まとめ

JCAP において、道路上における自動車

排出ガスのミクロな排出量推計に必要な要件を検討し、それを満たすミクロ交通流シミュレータを開発した。これを用いて上馬周辺のNWを対象として交通状況の再現を行い、交通状況再現性の評価尺度を検討した。従来のリンク交通量と平均速度に加えて、加速、減速、定速走行、停止という走行モード別の出現時間比率を検討し、評価尺度として用いることが妥当であることを見出した。またその交通状況の再現結果を用いて、排出量推計と気流計算を行い沿道におけるガス濃度の推計を行った。

本研究は経済産業省の補助金等をもって、(財)石油産業活性化センターの研究事業として行われたものである。本報告の内容は、JCAP 大気企画WGで検討・評価されたものであり、WG委員各位に感謝の意を表します。

また、JCAP 排出量グループメンバー始め関係者各位の多大な協力を得たことに謝意を表します。

## 文 献

- [1] [http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap2/index\\_jcap2.html](http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap2/index_jcap2.html)
- [2] 國見均, “JCAP における大気シミュレーションの全体概要,” 第44回大気環境学会年会講演要旨集, pp.528, 2003
- [3] 林誠司, “自動車排出量予測の現状と課題,” 第44回大気環境学会年会講演要旨集, pp.232, 2003
- [4] 寺田重雄, 他, “排出量推計のためのミクロ交通流シミュレーションモデルの開発,” 信学技法 ITS2003-129(2004-03)
- [5] 鈴木宏典, 他, “道路環境シミュレーションのための車両追従モデルの構築,” 自動車研究, V.26, p.231, 2004
- [6] 足立義雄, 他, “一般国道における自動車の走行特性,” 土木技術資料 22-3, 1980