

# 交通流シミュレーションにおける 車両の加減速挙動の検証方法に関する研究

菊池 麻子<sup>1</sup>・桑原 雅夫<sup>2</sup>・小根山 裕之<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 東北大学大学院 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09)  
E-mail:jan14@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東北大学大学院 教授 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09)  
E-mail:kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 首都大学東京 准教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)  
E-mail:oneyama@tmu.ac.jp

本研究では交通流シミュレーションにおける車両の加減速挙動の検証方法に関して手法の提案及びその必要性について示した。車両から発生するCO<sub>2</sub>排出量を推計するモデルにおいて重要な車両の加減速挙動についてはいまだ十分な検証が行われておらず、検証方法を確立する必要がある。そこで本研究では車両の走行データを4つのドライビングモード(停止・加速・定速・減速)に分類して、モード別の検証手法を提案した。また、駒沢通りを走行したプローブカーから得られた走行データと、ミクロ交通流シミュレーションであるVISSIMを用いて得られた車両挙動データを比較した結果、実測値とシミュレーション値では挙動の現れ方に違いがあり、加減速挙動の検証方法の必要性が示された。

**Key Words :** *micro traffic simulation, CO<sub>2</sub> emission, Validation*

## 1. はじめに

### (1) 交通分野における環境問題について

近年、世界各国で自然保護や地球温暖化といった環境問題が叫ばれてきている。環境省による日本の温室効果ガス排出量算定結果によると、エネルギー消費に伴う我が国のCO<sub>2</sub>排出量のうち運輸部門からの発生量は約2億6千万トンにも及び、その9割が自動車由来のものであり圧倒的なシェアとなっている。運輸部門でのエネルギー消費量の改善として走行によるエネルギー消費及びCO<sub>2</sub>排出量を予測し、施策による効果を評価するために信頼できる評価ツールの開発が必要になってきている。

### (2) 本研究の位置づけについて

車両から排出されるCO<sub>2</sub>排出量を推計するモデルはミクロモデルとメソモデルに分類される。ミクロモデルは交通流シミュレーションから車両の加減速挙動を出力し、それを排出量モデルに入力してCO<sub>2</sub>排出量を評価するモデルであり、メソモデルは交通流シミュレーションから車両の位置や速度を出力しそれに基づいて排出量を評価するモデルである。これらのモデルは施策評価にあわせて最適な選択を行った上で適用しなければならないが、

そのためにユーザーがモデルの特性を理解していること、かつモデルが十分な再現性をもっていることが重要である。交通工学研究会では交通流シミュレーションの標準検証マニュアルを提案している<sup>1)</sup>。標準検証マニュアルでは交通流シミュレーションモデルから出力される車両の位置や速度、遅れ時間等については検証方法を提案しているが加減速度の検証は含まれていない。よって本研究では、特に車両の加減速挙動の再現性について検証手法を確立し、実際に観測した数値とシミュレーションで再現された数値にどのくらい差が生じるか、またその差がどの程度CO<sub>2</sub>排出量に影響するかについて検証する。

## 2. 対象エリア及びモデルの概要について

### (1) 調査対象エリアと取得データについて

本研究では、2010年12月1日に行われた、NEDOエネルギーITSプロジェクトによる調査で得られた交通データを用いる。調査エリアは駒沢通り、東京医療センター前交差点からローソン目黒鷹番三丁目店前の交差点迄の全長1.55kmを対象とした(図-1 参照)。このエリアでは7つの信号交差点を含み、下流にはボトルネック交差点が

表-1 シミュレーションで設定した車両挙動の値

	希望加速度	希望減速度	希望速度
	$m/s^2$	$m/s^2$	km/h
Simulation値	2.5~3.5	-3.5~-2.5	35~45
デフォルト値	2.0~3.5	-3.0~-2.5	48~58



図-1 調査対象エリア (○は信号交差点を示す)

ある。調査時間は渋滞発生前から解消迄の交通状況を含んでいる。この調査では平均的に約10分に1台の割合でプローブ車両の走行軌跡、及び各プローブ車両のGPS座標、速度、時間等の走行データを取得した。(なお、この地図は、国土院発行の5万分の1地形図(東京)を使用したものである。)

### (2) 交通流シミュレーションについて

本研究では、VISSIMを用いて調査結果から得られた交通状況を再現する。マイクロ交通流シミュレーションにおいては、車両の挙動を決める大きな要因となる車両走行モデルが出力結果に大きく影響を及ぼすことが考えられる。本研究では車両挙動モデルとして追従型で街路ネットワークの分析に適しているWeidemann74<sup>2)</sup>を適用し交通状況を再現する。再現するにあたって、本研究では、簡単のために上り方向(図-1参照)において全車両が同じODを持つとし交通需要は実測値から得た値を用いた。また、各信号現示の秒数とオフセットは全調査時間内の平均時間をとる。道路幅や信号位置停止線位置といった道路状況はそれぞれ観測から得られたとおりに再現する。そこで実測値と交通流シミュレーションの平均速度等が一致するように表-1のように車両挙動パラメータを変更した。

### (3) 排出量モデルについて

本研究では詳細な車両挙動も考慮されていると考えられるJCAP IIの排出量モデルを用いる<sup>3)</sup>。JCAP IIにおける沿道大気質モデルは1台1台の自動車の挙動を元に推計され、ある時点の駆動力及び速度を用いている。JCAP IIの車両走行による排出量モデルはマイクロ交通流モデルから得られた個別車両のスペックや時間と瞬間速度の情報を入力条件とし、別途準備された排出ガスマップにある

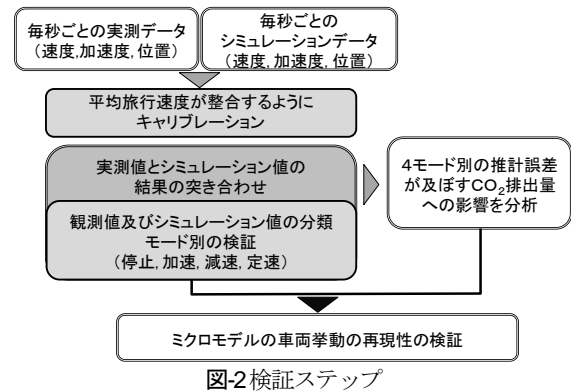


図-2 検証ステップ

時点のエンジン回転数及びトルクを当てはめることにより1秒毎の排出係数(g/s)が推計できる。これを全運転時間に渡って求め、個別車両の排出データを得る。

## 3. 検証ステップについて

実測から得られた結果、及び実測から得られた情報を元に作成したシミュレーションから得た結果の間には相違が発生し、その誤差原因は、入力条件に起因する誤差、実測による誤差、そしてモデル構造による誤差の3つが考えられる。入力条件に起因する誤差では実測から得たデータをシミュレーションのパラメータに変換し入力する際に起こりうる誤差である。しかし、シミュレーションを作成する際に、実測で得られた1台1台の車両流入タイミンングや時々刻々変化する信号現示データを入力条件としシミュレーションに代入することによって、入力データによる誤差を最小限にすることが可能であると考えられる。実測による誤差とは、車両位置を得る際GPS観測における観測誤差が原因となる場合などが考えられる。モデルによる誤差はシミュレーションで用いられている車両挙動モデル(追従モデルなど)や車線変更モデル、経路選択モデルに起因する誤差である。各シミュレーションで用いられているモデルは様々であり特にマイクロ交通流シミュレーションでは挙動に関するパラメータが結果に大きく影響を与えたと考えられる。よってモデルに起因しておこる実測値とシミュレーション値との違いを検証するために図-2に従って本研究を行う。

## 4. モード別挙動・排出量の検証について

### (1) モード分類と定義について

検証ステップ(図-2参照)にて、得られた実測値とシミュレーション値を4つのモードに分類し、それぞれのモードについて検証を行う。データは表-2の4つのモー

表-2モード分類の定義

モード	速度	加速度	その他
停止	0km/h		
加速		0.14m/s <sup>2</sup> 以上	停止後
減速		-0.14m/s <sup>2</sup> 以下	停止前
定速	20-40km/hが10秒以上継続		

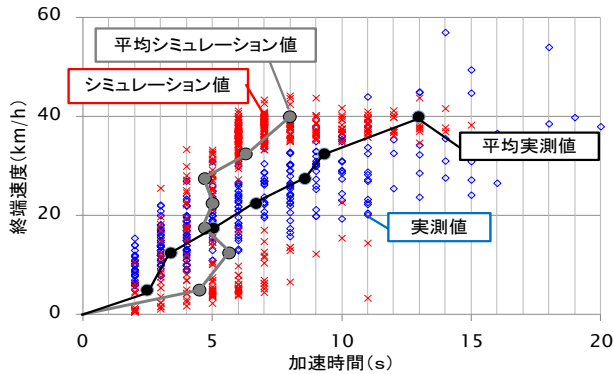


図-3加速時間に対する終端速度

ドの定義に基づき分類する。本節では、各モード別に実測値とシミュレーション値で比較をし、また結果の違いが排出量にどのように影響を及ぼすか検証する。

## (2) 加速モード

### a) 加速モードにおける挙動の違いについて

加速モードでは停止後に加速度が0.14m/s<sup>2</sup>以上の連続したデータのみを抽出し実測値とシミュレーション値の加速時間と終端速度の分布について検証した(図-3)。ここで、加速時間とは停止後加速を始めてから加速モードが終わる時点までの時間とし、終端速度とは加速モードが終わる時点での速度とする。停止については速度が0km/h全てのデータを対象とした。終端速度が大きい場合、実測値及びシミュレーション値共に終端速度が大きくなれば加速時間が長くなる傾向は同様であるが、実測値は値のばらつきが大きい。これは各ドライバーがそれぞれに応じた希望速度をもっているためである。VISSIMの場合車両のもつ希望速度はある一定幅で決まるために終端速度がほぼ一定になる傾向がある。また終端速度が低い場合、シミュレーション値のばらつきが大きく現れている。図-3からシミュレーションの速度パターンは大きく分けて2種類に分類できる。一つは実測値と同様の加速パターンである。もう一つは終端速度が低く加速時間の長いデータであり、実測では観測されなかった。これはシミュレーション内のモデルに起因していると考えられ、例えば追従している前の車両が発進後すぐに渋滞末尾にさしかかる場合は終端速度が小さくなり加速時間は長くなるものと考えられる。本研究で用いたVISSIMでは、先行車両を認知する迄は希望速度で走行を行うために加速が行われる。しかし実際ドライバー

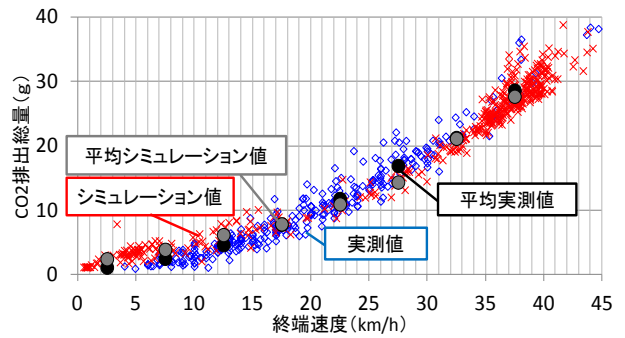


図-4(加速モード)終端速度に対するCO<sub>2</sub>排出総量

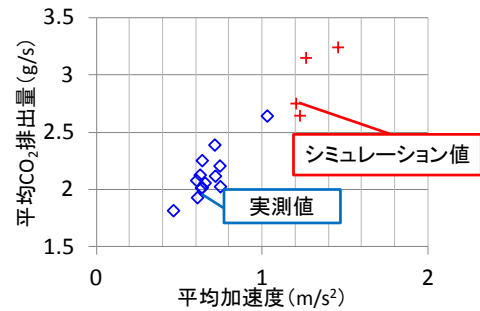


図-5(加速モード)終端速度30km/hにおける平均加速度に対する平均CO<sub>2</sub>排出量

は前方の渋滞を確認した上で状況に応じたアクセル運動をするものと考えられるのでそのような場合においては再現性があまりよくないと考えられる。

### b) 加速の違いが及ぼす排出量への影響について

ここでは加速挙動の違いが排出量にどの程度影響するかを明らかにするために加速時間と排出量の関係、終端速度と加速モード全体での排出量との関係を見る。図-4から、実測値とシミュレーション値では終端速度に対するCO<sub>2</sub>総量はほぼその傾向が一致することが分かる。つまり加速モードにおいては加速挙動の違いがCO<sub>2</sub>排出量に大きく影響を及ぼすことはないと考えられる。これはCO<sub>2</sub>排出総量をエネルギー消費量と捉えたと、加速に要するエネルギーの増分はV<sup>2</sup>に比例する。よって、終端速度が決まればそれに伴うエネルギーは加速モード内での挙動に関わらず一定であるためにCO<sub>2</sub>排出総量に大きな差がでなかったものと考えられる。しかし、局所的に排出量をみてみると図-5から明らかなように同じ終端速度であっても平均加速度が違くとCO<sub>2</sub>排出量に影響があり、また傾向は同じであるものの実測値とシミュレーション値で現れ方に違いがあった。

## (3) 減速モード

減速モードにおいても加速モードと同様、挙動の違いと排出量に与える影響について分析を行った結果、図-6のように、挙動は違っても排出量には大きな差がないことが分かった。

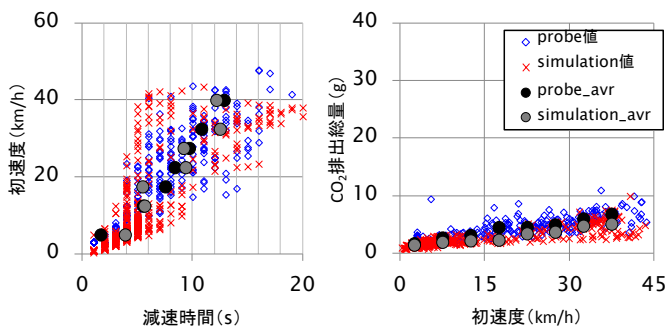


図-6 (減速モード) 減速時間に対する初速度及び初速度に対するCO<sub>2</sub>排出総量

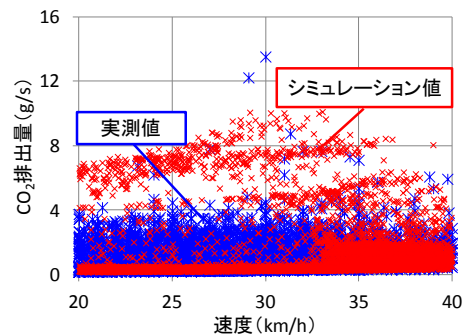


図-8 (定速モード) 毎秒における速度とCO<sub>2</sub>排出量

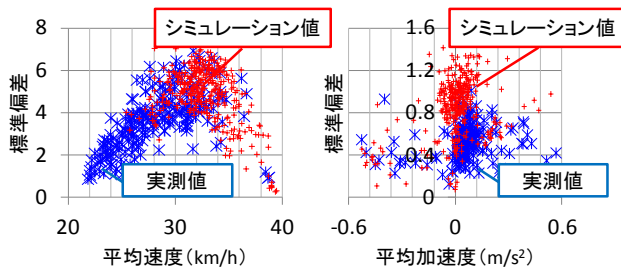


図-7 (定速モード) 20-40km/hの速度帯における平均速度及び加速度とその標準偏差

#### (4) 定速モード

##### a) 定速モードにおける挙動の違いについて

定速モードでは、ある速度帯が長く続いた場合のみのデータを定速モードと定義し分析を行った。特に本研究で用いたシミュレーションにおいては自由流時は希望速度で走行し、追従時はWeidemann74での追従理論における“unconscious reaction”の領域で走行している。その領域では一定の振動を伴って走行しており実測値とシミュレーション値で違いが生じると考えられる。ここではある一定の速度帯が連続して続いたデータを抽出し、抽出したトリップ内での平均速度と標準偏差をみる。20-40km/hの速度幅でみると、平均速度の現れ方に違いがあることが分かる(図-7)。実測値では平均速度があがるにつれてばらつきが大きくなるがシミュレーション値では逆にばらつきが小さくなる。データの分布にも大きな違いがありシミュレーションでは平均速度が概ね30-40km/h付近で現れるものの実測値では小さく現れている。このことはシミュレーションが車両の持つ希望速度に従って走行するという制御が大きくはたらいっているものと考えられる。需要の少ない時間帯では、加速モードでの分析同様に、実測では各ドライバー個人の希望速度や希望加速度で走行をする一方、シミュレーションでは、交通制御や信号制御以外では速度を低下させるもしくは増加させる要素がないために希望速度を保つように走行するものと考えられる。希望速度より低い速度帯の場合は車両は自らの持つ希望速度を目指して走行しようとするために加速度が大きくなり、結果平均加速度幅に

違いが見られたものと考えられる。

##### b) 定速走行の違いが及ぼす排出量への影響について

抽出したデータから、瞬間の排出量と速度の関係について(図-8)に示した。低速度域において実測値とシミュレーション値に大きな差が現れている。このことは前で述べた定速走行挙動の差が瞬間の排出量の結果に影響しており、高い速度域と比較すると再現性の低さが伺える。

#### 5. おわりに

本研究では交通流シミュレーションを用いたCO<sub>2</sub>排出量の再現性確保の観点から必要とされる検証項目として、集約的な交通状況の再現性が担保された状況下における車両挙動やCO<sub>2</sub>排出量の比較検証を行った。CO<sub>2</sub>排出量に影響を及ぼすと考えられる車両の加減速挙動をモード別に分析することで詳細な検証を行うことの必要性を明らかにした。また、実際に施策評価を行う観点から各モード別の挙動の違いが排出量に及ぼす影響を評価し、モデルの特性が結果に及ぼす影響について検討した。結果、モード単位での排出量に大きな傾向のずれはみられなかったものの加速度の違いにより排出量に違いがあることが分かった。よって加減速挙動の違いがCO<sub>2</sub>排出量に影響を及ぼすために、加減速挙動に関するモデル検証を十分に行うべきことを主張するとともに、検証に用いる実測データの一層の整備が必要と考える。

#### 参考文献

- 1) (一社)交通工学研究会: 交通流シミュレーションクリアリングハウス,  
(<http://www.jste.or.jp/sim/index.html>)
- 2) Wiedemann, R.: Simulation des Strassenverkehrsflusses(in German),University Karlsruhe, 1974
- 3) ミクロスケール自動車排出量推計モデルの開発, JCAP 技術報告書, (財)石油エネルギー技術センター, 2005

(2012.5.7受付)

## A STUDY ON VALIDATION METHODOLOGY FOR VEHICLE ACCELERATION BEHAVIOR BY MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION MODEL

Asako KIKUCHI, Masao KUWAHARA and Hiroyuki ONEYAMA

This study proposes a validation method for vehicle acceleration behavior by microscopic traffic simulation models to evaluate traffic CO<sub>2</sub> emissions. Although the validation method for more macroscopic vehicle motion such as vehicle positions and speeds was proposed, a validation method for the acceleration behavior has not been well defined. In this study, probe vehicle data in Komazawadori and simulation output are classified 4 driving modes on the basis of vehicle behavior and validated in each mode. The result indicates that the difference in acceleration behavior between probe vehicle data and simulation output indeed influences on CO<sub>2</sub> emission.