

マイクロ交通流シミュレーションによる 車両挙動及び CO2 排出量の再現性比較検証

小根山 裕之¹・松田啓²・大口敬³・鹿田成則⁴

¹正会員 首都大学東京大学院 准教授 都市環境学部都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

²正会員 千葉県香取土木事務所 (〒289-0301 千葉県香取市一ノ分目 5180)

E-mail: s.mtsd26@pref.chiba.lg.jp

³正会員 東京大学生産技術研究所 教授 先進モビリティ研究センター
(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 首都大学東京大学院 助教 都市環境学部都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: shikata@tmu.ac.jp

交通流シミュレーションを用いた CO2 排出量推計や、そのために必要な速度や加速度などの詳細な交通現象については、検証項目や方法は確立されておらず、推計される CO2 排出量の妥当性についても十分な検証はなされていない。そこで本研究では、3 種類のマイクロ交通流シミュレーションを同じ条件で実行させ、集約的な交通状況の再現性が確保された状況下における個別車両挙動や CO2 排出量を比較分析することにより、モデル間の挙動の違いを考慮した検証のあり方を検討することを目的とする。モデルの特性によって車両挙動の再現性が大きく異なり、乱数シードによって集約的な交通状況の再現性も損なわれる場合があること、ある平均速度における CO2 排出量のバラツキはあまり大きくないことなどの特徴が見られた。

Kew Words: CO2 emission, Microscopic Traffic Simulation, Validation

1. はじめに

近年、温暖化問題に対応するため、様々な分野で CO2 等温室効果ガスの排出量低減を目的とした取り組みが進められており、交通分野においても、その重要性はますます大きくなっている。現在、交通施策の適切な評価や分析を行うためのツールとして、複雑な交通現象の変化を動的に再現することが可能な交通流シミュレーションモデルが数多く開発されている。そのため、これらの交通流シミュレーションモデルと CO2 排出量推計モデルを組み合わせることで、上記のような交通施策を実施した際の CO2 排出量の評価を行うことが一般に可能とされている。

一般的な利用場面において、交通流シミュレーションモデルの主たる目的は、交通量・渋滞長・旅行

時間などの集約的な交通現象の再現・評価であり、これらの主要な交通現象については検証のプロセスが提案¹⁾され、研究や実務の場面で活用されている。しかしながら、CO2 排出量や、その推計に必要な速度や加速度などの詳細な交通現象については、検証すべき項目や方法は確立されていない。また、交通流シミュレーションモデルと CO2 排出量推計モデルを組み合わせることで推計される CO2 排出量の妥当性についても、十分な検証はなされていない。

図-1 は、交通流シミュレーションモデルを用いて CO2 排出量を推計する場合に考えられる検証の場面を示したものである。「検証 I」は、シミュレーションの集約的な交通状況の再現性を検証する部分であり、これまでに様々な形で行われてきたものである。また、「検証 III」は与えられた車両挙動に対する CO2 排出モデルの再現性を検証する部分であり、一般に、

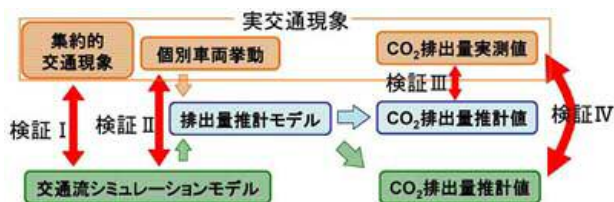


図-1 交通流シミュレーションによるCO2排出量推計の検証の考え方

表-1 プローブ調査の車種・取得情報及び有効トリップ数

車種	取得情報		有効トリップ数
	GPS座標	燃料噴射量	
corollafielder	○	×	4
isis	○	×	6
markX	○	○	6
vellfire	○	○	6
prius	○	○	2

排出モデルの作成やパラメータ同定の際に十分に行われている。それに対して、「検証II」は個別車両挙動の再現性の検証であり、個別車両挙動の再現を目的としたモデルの検証としては行われることはあるが、一般的な利用場面においては再現性検証はほとんど行われない。また、トータルとしてのシミュレーションによるCO2排出量の再現性に関する検証である「検証IV」が行われた例はほとんどない。これは、個別車両挙動やCO2排出量をシミュレーションと比較可能な形で計測することが困難であり、データがないからである。今後、CO2排出量の推計精度確保の観点から求められる検証項目や方法についても検討するためには、適切なデータソースを活用しながらシミュレーションのCO2排出量や関連する個別車両挙動についての検証事例を蓄積する必要がある。

本研究では、上記のような問題意識に基づき、集約的な交通状況の再現性が確保された状況下における、個別車両挙動やCO2排出量の検証を行うことを目的とする。特に、本研究では3種類のマイクロ交通流シミュレーションを同じ条件で実行させ、横並びで比較検証することで、モデル間の挙動の違いを考慮した検証のあり方を検討することも目的の一つである。複数のシミュレーションの同一条件下での比較検証は、集約的な交通状況の再現性という観点では事例があるが^{1),2)}、CO2排出量についての比較検証事例はほとんど見られず、そのような点からも貴重な事例であると考えられる。



図-2 対象路線の概要（○で示しているのは信号交差点）

2. 対象路線及びシミュレーションの概要

(1) 対象路線

本研究では、駒沢通りの東京医療センター前交差点を起点、ローソン目黒鷹番3丁目店前交差点を終点とする1.55kmを対象路線とする（図-2）。この区間には起点と終点を含め、全部で7箇所の信号交差点がある。朝の時間帯（概ね7～10時の間）は、ローソン目黒鷹番3丁目店前交差点をボトルネックとする上り方向の渋滞が発生する。

この区間での交通状況及び燃料消費量等のデータを得るため、プローブ調査を含んだ交通調査が実施されており³⁾、本研究ではこのデータを用いる。調査は2010年12月1日の朝6時～10時に行われた。プローブ調査の車種、取得情報、有効トリップ数を表-1に示す。プローブ車両は全車両についてGPS座標が取得されている他、一部の車両については燃料噴射量も計測できるようになっている。平均的には概ね10分に1本程度の走行軌跡が得られている。その他、本調査では信号交差点での信号制御パラメータも調査しており、シミュレーションではこれらの情報も用いているが、設定方法については後述する。

(3) 交通流シミュレーションの実施

本研究で比較分析の対象とするマイクロ交通流シミュレーションとして、「AIMSUN⁴⁾」「NETSIM⁵⁾」「VISSIM⁶⁾」の3つを用いた。いずれも、商用で販売されており全世界的にもシェアが高く、実務や研究などの様々な場面で活用されているマイクロ交通流シミュレーションである。なお、本稿では、上記の順番に「SIMULATION A」「SIMULATION B」「SIMULATION C」と表すこととする。

これらの3つのシミュレーションに対して、交通需要、信号制御パラメータ及び必要なパラメータを設定して、シミュレーションを実行する。本研究では、設定の煩雑さを避けるため、全車両が起点から終点のODを持つと仮定する。その上で、プローブ車両の平均旅行速度を再現できるように、起点から流入する交通需要と信号パラメータを調整する。実

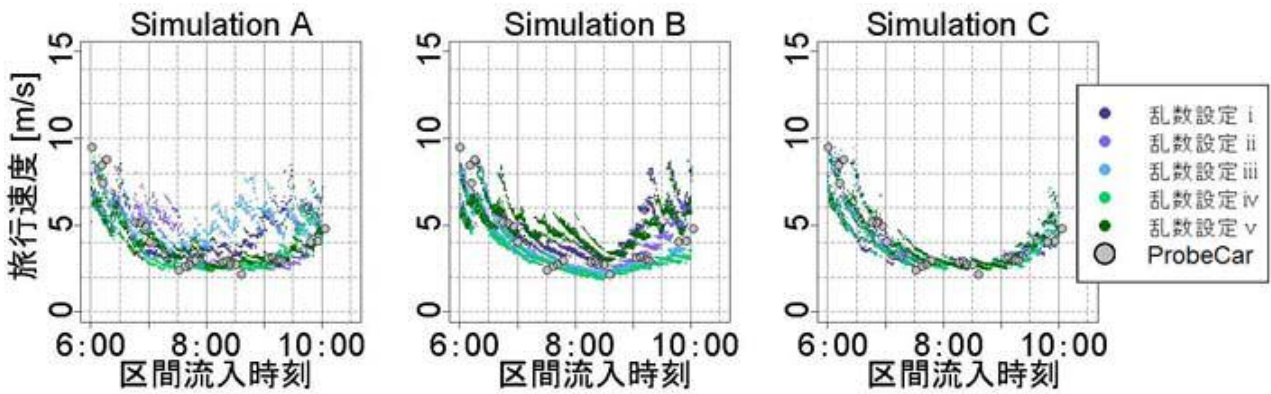


図-4 トリップ毎の旅行速度

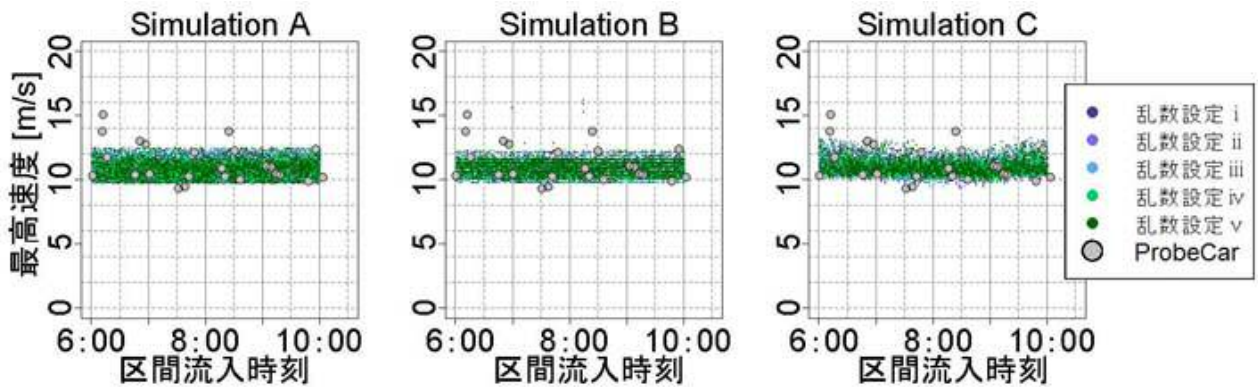


図-5 トリップ毎の最高速度

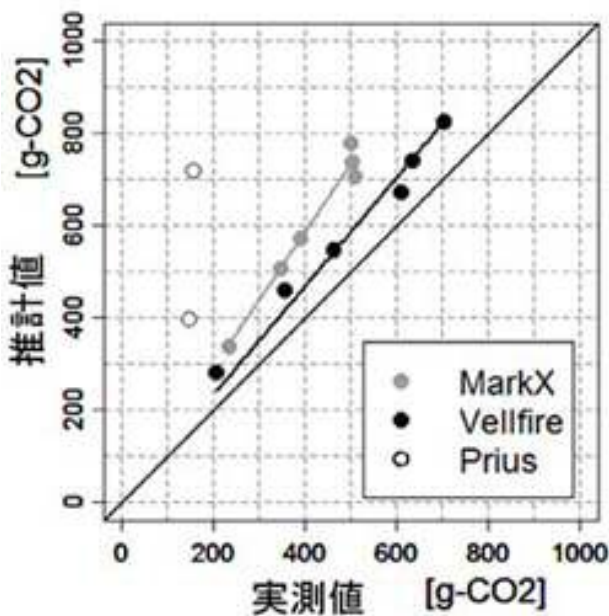


図-3 プローブ車両の実測値と走行軌跡と排出量モデルにより算出したCO2排出量の比較

際には、まず信号パラメータを交通調査の結果に基づき平均的な値を設定し、その後に交通需要を15分単位で調整する。また、平均旅行速度の再現性に希望最高速度が大きく影響することがわかったため、希望最高速度についてもプローブ車両の実態に合うよう、調整する。これらの調整を3つのシミュレー

ションに対して順次行い、同じ交通需要、信号パラメータ、希望最高速度の設定で概ね同じような再現性になるまでキャリブレーションを行った。なお、他の車両挙動のパラメータは各モデルのデフォルト値としている。この結果は3(1)で詳しく述べるが、概ね同様の再現性が得られたと考えられる。

上記のキャリブレーションはある乱数シードに対して行うが、シミュレーションは異なる5つの乱数シードを設定して実行し、結果を分析することとした。

(4) CO2排出量の算出

本研究では、交通流シミュレーション及びプローブ車両の走行軌跡からCO2排出量を算出するのに、JCAPII 詳細排出量モデル⁷⁾を用いた。なお、プローブ車両の一部については燃料噴射量を計測しており、単位燃料当たりのCO2排出原単位⁸⁾を乗じることで、CO2排出量が算出できる。そこで、プローブ車両の燃料噴射量から算出したCO2排出量を実測値、プローブ車両の走行軌跡にJCAPIIモデル(2,000cc乗用車)を適用したものを推計値として比較したのが図-3である。車種の違いにより同じ値とはならないものの、相関は高く、走行軌跡からモデルによるCO2排出量を算出することで、実測CO2

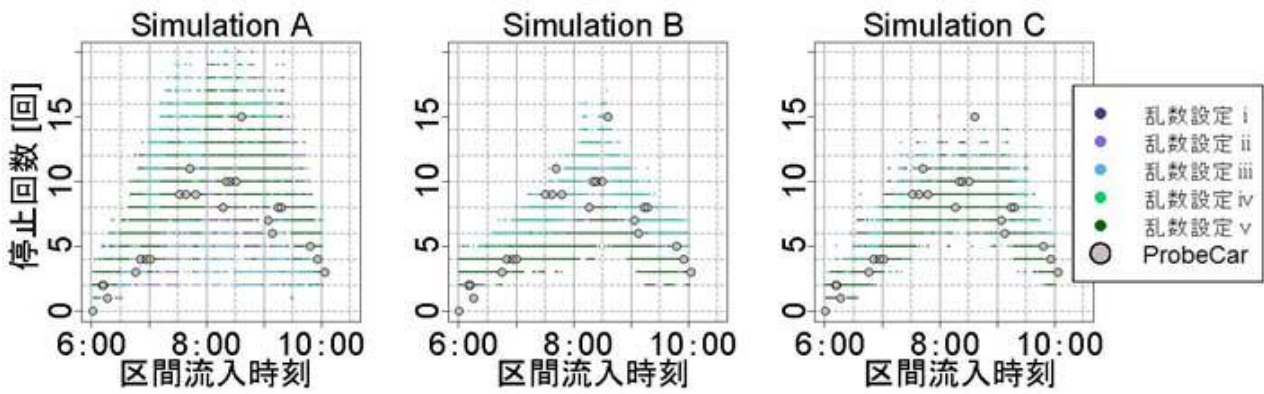


図-6 トリップ毎の停止回数

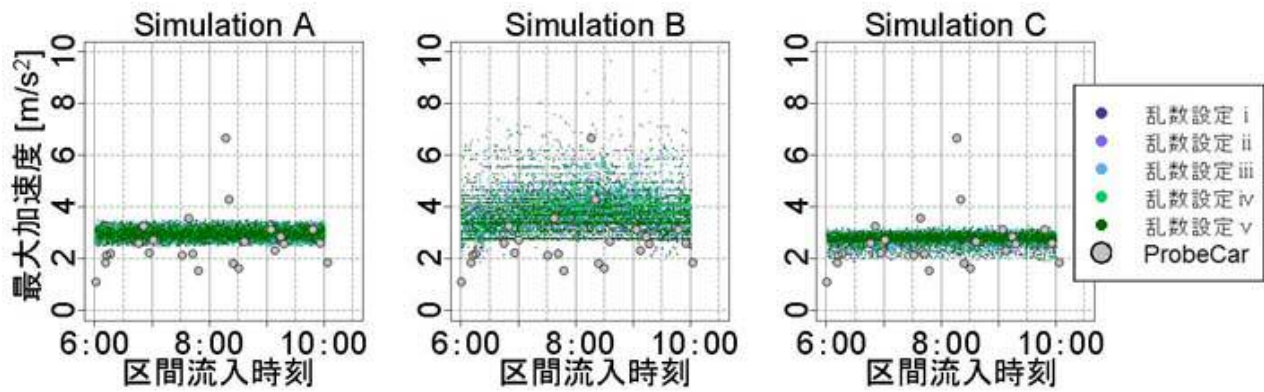


図-7 トリップ毎の最大加速度

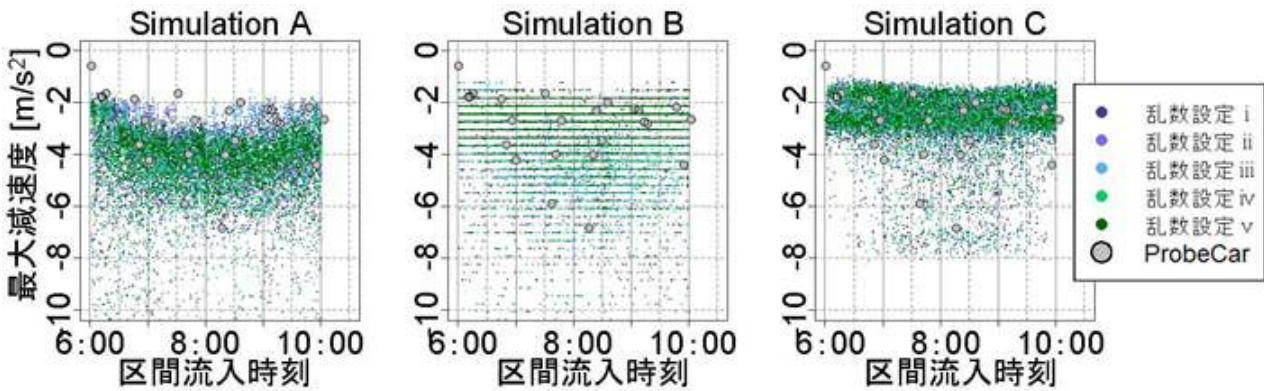


図-8 トリップ毎の最大減速度

排出量の特徴を十分に再現できるものと判断する。

3. 比較分析結果

(1) 旅行速度及び最高速度の再現性

トリップの旅行速度（区間平均速度）については、いずれのモデルにおいても概ね再現している（図-4）。また、トリップの最高速度についても、いずれのモデルにおいても設定した範囲内に分布していることが確認できる（図-5）。これは、今回のシミュレーションにおいて、プローブ車両の区間旅行速度

を概ね再現するように発生需要と最高速度をキャリブレーションしているためである。先に説明した通り、発生需要と最高速度の設定は、いずれのシミュレーションにおいても同じである。また、交通流状態に大きな影響を与える信号制御パラメータについても同じ値を設定している。従って、いずれのシミュレーションにおいても、マクロな交通流状態については概ね類似した再現性を有していることが確認できた。しかし、図-4の旅行速度を見ると、一部のシミュレーションでは、乱数シードの設定によって結果のバラツキが大きくなっていることがわかる。

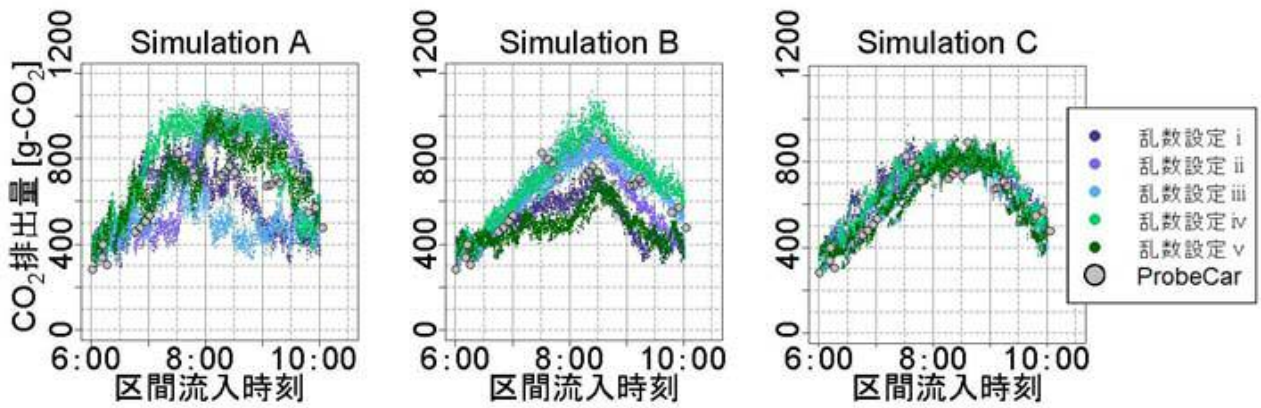


図-10 トリップ毎のCO2 排出量

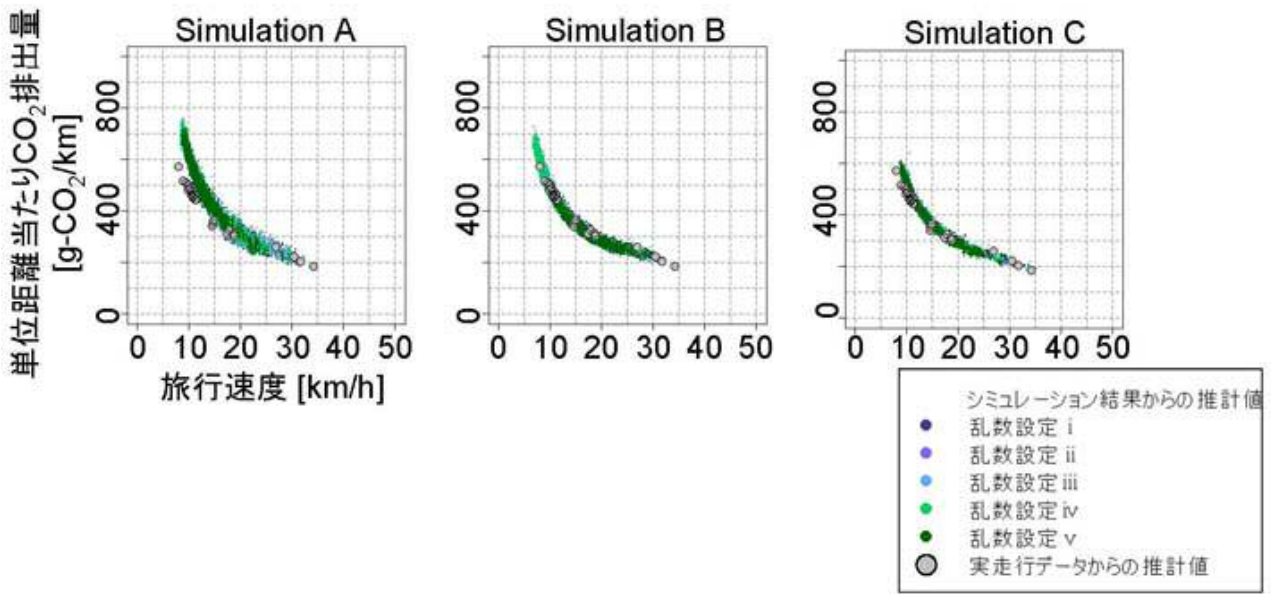


図-11 単位距離当たり CO2 排出量

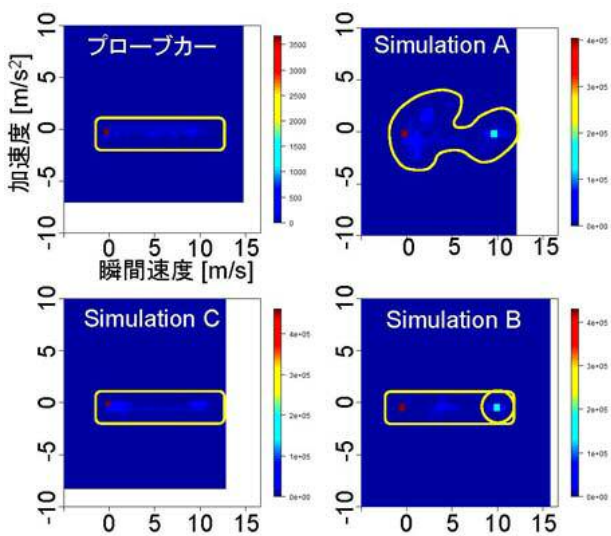


図-9 瞬間の速度別加速度の頻度分布

(2) 停止回数・加減速度の再現性

次に、停止回数、加速度、減速度などの再現性について比較する。これらの項目は、いずれも CO2 排出

量に関係すると考えられている項目である。

まず、停止回数については、いずれのシミュレーションでも概ねプローブ車両の傾向を再現していることが確認できる (図-6)。しかし、特に Simulation A については、乱数に伴うバラツキが大きくなっていることがわかる。

一方、最大加速度についてみると、Simulation A, C では、概ね設定した範囲内ではばらついているのに対し、Simulation B では、高い加速度の値も表れていることがわかる (図-7)。また、最大減速度では、程度の差はあれバラツキが大きく、かなり大きい減速度が表れていることがわかる。特に、Simulation A, B では、 $-9.8\text{m/s}^2 = -1\text{G}$ 前後の現実的でない減速度も少なからず表れている。停止時の挙動が追従モデルで必ずしも適切に表現されておらず、前車に追突しそうになると急減速を行わざるを得ない状況が多く表れているものと想定される。

一方、CO2 の排出量推計という観点からは瞬間の

速度・加速度の再現性も重要である。図-9は、あるプローブ車両を取り上げ、それとほぼ同一の走行条件、旅行速度であるシミュレーションの走行軌跡を抽出し、プローブ車両とシミュレーションで速度別加速度の頻度分布を比較したものである。シミュレーションによっていくつか特徴が見られる。Simulation A と B では、10m/sec (概ね 40km/h) 当たりにおいて、強いピークが見られる。これは、定速走行状態になった際に、ほぼ同じ速度で加減速せずに走行する特性を有しているためである。実際には、定速走行でも小刻みに速度を変化させており、プローブ車両でもある一定速度での強いピークは見られない。また、Simulation B, C では、加速度の頻度の高い範囲がプローブ車両と類似しているが、Simulation A では、低速域において、加減速度の広がり大きいことが伺える。これらは、各シミュレーションの追従モデルなどの特性が表れたものである。

(3) CO2 排出量の再現性

次に、CO2 排出量の再現性についてみる。図-10は、トリップ毎の CO2 排出量を示したものである。概ね、プローブ車両の CO2 排出量と傾向が似ているが、Simulation A, B においては乱数シードの設定によりバラツキが大きいことがわかる。これは、旅行速度のバラツキが大きいことでもわかるように、走行状態の再現性が乱数シードによって大きく異なることに起因すると考えられる。

一方、旅行速度と CO2 排出量の間を見比べると、旅行速度と CO2 排出量の間では乱数シードの影響はほとんど見られず、一般に知られているような平均旅行速度が上がると CO2 排出量が小さくなる関係⁹⁾が見られることがわかる(図-11)(なお、図-11では縦軸を単位距離当たり CO2 排出量で表しているが、全ての車両は同じ起終点を持ち、同じ距離を走行するため、トリップ CO2 排出量で表しても同じ傾向になる)。この結果からも、図-10 で示されるトリップ毎の CO2 排出量のバラツキは、旅行速度のバラツキに起因していることがわかる。

図-11を見ると、プローブ車両の CO2 排出量を概ね再現しているが、特にシミュレーション A, C では、低速度域において若干過大評価となっていることがわかる。この結果は、低速域において、同じ旅行速度であっても、プローブ車両のデータと比較すると CO2 排出量が大きくなるような走行パターンとなっていることを示している。

なお、低速域において見られるズレは、必ずしもシミュレーションが現実と異なっていることを意味

しない。なぜならば、実走行データは限られた被験者ドライバーの走行の結果に過ぎず、一般ドライバーの走行特性を代表しているとは限らないからである。ただし、Simulation A, C では低速域においてバラツキの中に実走行データが入っていないことから、今回のシミュレーションの挙動と、実走行データの被験者の挙動は低速域で異なる可能性が高いと言える。

4. おわりに

本研究は、3種類のマイクロ交通流シミュレーションを実データに基づく同じ条件で実行させることにより、集約的な交通状況の再現性が確保された状況下における、個別車両挙動や CO2 排出量の比較検証を行ったものである。シミュレーションのモデルによって再現特性が異なり、特に乱数設定に対する結果のバラツキが大きいこと、その結果として推計されるトリップ CO2 排出量もバラツキが大きいこと、その多くは個別の走行パターンのバラツキに起因するというよりもトリップ旅行速度の再現性のバラツキに起因することなどが示された。

今後、これらの結果も踏まえつつ、CO2 排出量の再現性確保の観点から必要とされる検証項目や方法について検討する必要がある。

なお、今回の分析では、プローブ調査の交通状態を再現するために交通需要や信号制御パラメータを調整している。実際の走行パターンと大きく違うことはないと思われるが、厳密にはシミュレーションの条件設定とプローブ調査の交通条件は一致していない。これらについては、実際に調査で得られた交通需要や信号制御パラメータを入力してシミュレーションを実行させ、結果の比較検証を行うことが望ましい。

また、今回の調査においても、計測値として得られているのはプローブ車両の走行軌跡や燃料噴射量(= CO2 排出量)であり、CO2 排出量の総量、あるいはそれを推計するための全車両の走行軌跡については依然として計測値が無いため、総量ベースでの比較は厳密には行えていない。また、速度、加速度は GPS 座標から算出したものであり、精度に問題がある可能性がある。

このようなデータの制約に関しては、計測技術や労力の問題もあり困難も多いが、計測精度にも配慮しつつ、CO2 排出量の総量あるいは全車両の走行軌跡の調査を行い、データを整備していくことが必要である。

謝辞

本研究は、平成 22 年度大林都市研究振興財団研究助成『交通流シミュレーションモデルと CO2 排出量推計モデルの組み合わせ方法に関する比較分析』の助成により実施したものである。また、NEDO のエネルギー ITS プロジェクト『国際的に信頼される効果評価方法の確立』において実施された調査のデータを使用させていただいた。ここに記して謝意を表する。

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) SMARTTEST PROJECT: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/deliv3.html>
- 3) 田中・白石・小宮・花房・林・平井・桑原：交通シミュレーションを利用した CO2 排出量推計手法の検証手続きの構築, , 第 10 回 ITS シンポジウム 2011 論文集, CD-ROM, 2011. 11 (投稿中)
- 4) TSS ホームページ : <http://www.aimsun.com/>
- 5) Federal Highway Administration: " Traffic Software Integrated System User's Guide Version4. 3", 1999. 6
- 6) PTV Vision ホームページ : <http://www.ptv-vision.com/>
- 7) 林：過渡排出量推計モデル+走行風による初期拡散モデル構築, JCAP 技術報告書, PEC-2004AQ-03, 2005
- 8) 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令 第 3 条
- 9) 大城・松下・並河・大西：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数, 土木技術資料, Vol. 43, No. 11, pp. 50-55, 2001

(2011. 8. 5 受付)

COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION IN VIEWPOINT OF REPRODUCIBILITY OF VEHICLE MOVEMENT AND CO2 EMISSION

Hiroyuki ONEYAMA, Satoshi MATSUDA, Takashi OGUCHI and Shigenori SHIKATA