

交通流シミュレーションを用いた排出量推計手法に関する考察*

Discussion on Estimation Method of Vehicle Emission Using Traffic Simulation *

小根山裕之**・大口敬***・桑原雅夫****

By Hiroyuki ONEYAMA**・Takashi OGUCHI***・Masao KUWAHARA****

1. はじめに

ロードプライシング、広域信号制御など、広域かつ動的に交通状況が変化するような交通施策による大気汚染削減効果を把握するためには、動的な交通状況の変化を再現するとともに、排出量に影響を及ぼす速度変動の要素を的確に捉えた排出量推計を行う必要がある。このような複雑な交通状況を再現するツールとして多くの交通シミュレーションモデルが開発されている。このシミュレーションモデルと排出モデルを組み合わせる様々な交通制御、交通運用施策による環境への影響評価を行うニーズは高く、実務への適用に向けた様々な検討が行われている。特に、個々の車両の詳細な加減速挙動を出力可能なマイクロシミュレーションとそれに対応する詳細な排出モデルの組み合わせにより、詳細な交通状況の変化にも対応した時空間的に詳細な排出状況の出力が容易に行えることが期待されている。

しかし、シミュレーションによる排出量推計手法については、シミュレーションと排出モデル、それぞれの特性を考慮した上で適切なアプローチであるかどうか、また、これらを踏まえた適切なアプローチのあり方については、必ずしも十分に検討がなされているとは言えない状況である。

本稿では、シミュレーションを用いた既往の排出量推計アプローチの問題点を指摘するとともに、これらの問題を踏まえた、シミュレーションの現実的な精度を前提とした新たな排出量推計アプローチを提案し、その有効性を示す。

2. シミュレーションを用いた既往の排出量推計アプローチの問題点

Hot spot などの環境負荷の大きな地点における排出量を的確に捉えるためには、車両の発進停止などによる速度変動の影響を適切に捉える必要がある。以前は、停止回数・遅れ時間・走行距離などの要素に分割して排出量を推計する方法、加速・減速・定速・停止などのモード毎に分けて排出量を推計する方法が多く用いられてきた。これらの方法はいわゆるマクロシミュレーションとも親和性があり、単純な状況下の簡易な推計（非飽和信号交差点における発進挙動など）であれば十分実用的であるが、複雑な交通状況には必ずしも対応できず、速度変動要素の再現、排出量の空間的な分布の再現性は十分ではない。

一方、近年ではマイクロシミュレーションに詳細な排出量モデルを組み合わせた方法が全盛となっている。これは、計算機能力の飛躍的向上により広大なネットワークに対してもマイクロシミュレーションを実用的なレベルで適用できるようになったこと、排出ガス量の計測技術の進展により速度・加速度別の排出率など詳細な排出原単位が整備されつつあることなどによる。しかしながら、これらのアプローチに対しては様々な問題が指摘される。

一つは、シミュレーションの出力としての加速度が、排出量推計の観点から十分な精度を有するか定かではない、ということである。これは、モデルそのものの問題と言うよりは、シミュレーションの実際の利用形態に起因する部分が多い。すなわち、ネットワーク上での各種施策効果の評価に当たっては、まず第1に渋滞現象の変化、つまり旅行時間、リンク速度、断面交通量などのマクロな交通状況が興味の対象となる場合が多い。同時に、それらのマクロな交通状況値が再現性の指標として用いられ、

*キーワード：排出量，交通シミュレーション，速度変動

**正員，博士（工学），国土交通省国土技術政策総合研究所（前・東京大学生産技術研究所）

***正員，博士（工学），東京都立大学大学院

****正員，Ph.D，東京大学生産技術研究所

（連絡先：茨城県つくば市旭1，

TEL029-864-2211, FAX029-864-4322）

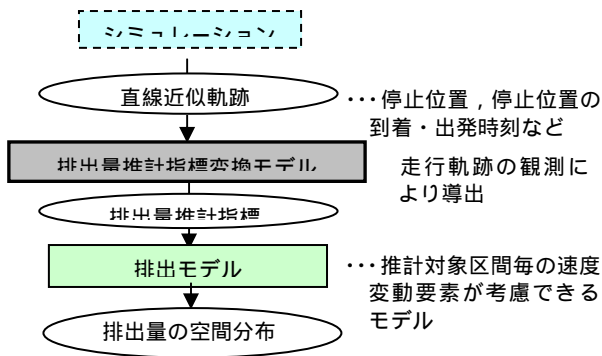


図1 排出量推計の基本的考え方

キャリブレーションもそれらの指標に基づいておこなわれることになる。従って、そのように設定された各種モデルパラメータを用いた場合にミクロな加減速挙動が再現されるか、排出量推計という視点で見た場合に十分に妥当な精度であるか、検証された例はほとんどないし、また各シミュレーション適用事例に対してそれらを検証することは、検証データ獲得困難性の面からも非常に難しい。

二つ目は、ミクロな排出モデルから、区間の集計量が適切に再現されるか、という問題である。すなわち、この手法では時々刻々の排出挙動の積分量として推計対象区間における集計量が得られるが、排出モデルはミクロな排出現象に基づいてキャリブレートされたものであるから、集計量が妥当な値となっている保証はない。特に、時々刻々の加減速挙動が十分な精度を有していないならば、なおさらである。

三つ目は、排出要因の論理的説明力の欠如である。ある時空間単位における排出量を評価しようとする場合、算出される排出量は時々刻々算出される排出量の積算である。そのため、得られた集計排出量を直接的かつ論理的に説明できる指標はなく、排出要因を論理的に分析する場合に困難が生ずる。特に、速度・加速度別排出率テーブルなど単に測定データの集計から作成したモデルを用いる場合にはこの問題は大きい。

以上のような問題により、加減速挙動について再現性の検証がなされない状況下で排出量の推計を行っても、単に推計値が得られたというだけで、その妥当性については何ら保証が得られず、場合によっては偏った排出量を推計し、推計したい施策に対して十分な感度がない、あるいは感度が大きすぎるなど、施策評価ツールとして適切な解を与えない可

能性も考えられよう。

その一方、ある程度詳細に速度変動要素を捉えることができる排出モデルは、入力として速度プロファイルが得られていることが前提である。そのため、ここにシミュレーションの現実的な出力と排出モデルで要求される入力との間に gap が存在することとなる。

3. 排出量推計指標変換モデルを用いた排出量推計アプローチ

3.1 基本的考え方

上記の問題点も踏まえて、筆者らは交通流シミュレーションに期待される現実的な出力を踏まえ、求められる時間的・空間的な集計単位に応じて現実的な精度を確保することができる排出量推計アプローチを提案している¹⁾。図1には、提案アプローチのフローを示している。大きな特徴は、交通流シミュレーションモデルと排出モデルの gap を埋め、両モデルを結びつけるために『排出量推計指標変換モデル』というモデルを導入している点である。この詳細は次節に述べるが、シミュレーションのアウトプットとして現実的に再現可能な詳細度の走行軌跡から、排出モデルの入力である排出量推計指標へ変換(算出)するものである。

以下、要素毎にその概要を説明する。

交通流シミュレーションモデル

シミュレーションモデルでは、最低限マクロレベルでの交通状況の再現性ととも、個々の車両について停止位置(又は速度が大きく変化する位置)、停止位置における遅れ時間、停止位置間の平均巡航速度が再現されている状況を前提とする。この際、速度、加速度など詳細な走行軌跡についての再現性は期待しない。なお、上記のような状況を車両の走行軌跡として模式的に描くと直線のみで近似された車両軌跡となる。

排出モデル

排出モデルとしては、ある程度(10~100m)の空間集計距離において、速度変動を考慮した排出量を推計できるモデルである必要がある。しかし、そのようなシミュレーションの出力を対象とすると、速度・加速度別排出率のような詳細なモデルは適用困難であるとともに、2で示したミクロな排出量と集

計量の不整合の問題もある。従って、ここでは推計対象区間における車両軌跡から排出量を説明する要因を複数抽出し、各要素の推計対象区間における集計量を説明変数とするモデルの適用を基本とする。具体的に、エンジン出力と排出量が比例、エンジン回転数一定となるようにギヤ比を設定という仮定に基づき導出されたモデル式²⁾を以下に示す。

$$F = c_1 \cdot Z_v + c_2 \cdot Z_{v3} + c_{3a} \cdot Z_{\alpha v} + c_{3b} \cdot Z_{\alpha} + c_{4r+} T_{r+} + c_{4r-} T_{r-} + c_{4i} T_i \quad (1)$$

ここで、 $Z_v, Z_{v3}, Z_{\alpha v}, Z_{\alpha}, T_{r+}, T_{r-}, T_i$ が排出量を説明するために抽出された指標（排出量推計指標）であり、推計対象区間における車両軌跡から算出される。なお、排出量推計指標はそれぞれ論理的な意味づけを有しており、 Z_v, Z_{v3} は走行距離に比例して増加する項（距離項）、 $Z_{\alpha v}, Z_{\alpha}$ は速度変動に伴って増加する項（速度変動項）、 T_{r+}, T_{r-} は走行時間に関係する項（走行時間項）、 T_i は停止時間に関係する項（停止時間項）として整理できる。このような意味づけを有する排出量推計指標に分解することは、速度・加速度別排出モデルを用いる方法に比べて、排出量の要因分析とそれに基づく施策の検討といった観点からも有効であると考えられる。

排出量推計指標変換モデル

の「排出量推計指標」は、車両の走行軌跡から算出される量であるため、の直線近似された車両軌跡からは直接求められない。従って、の車両軌跡からの排出量推計指標を推計するモデルが必要となる。これが、「排出量推計指標変換モデル」である。すなわち、シミュレーションの出力である直線近似された車両軌跡の情報を用いて、排出量推計指標（式(1)のモデルでは Z_v, Z_{v3}, \dots ）それぞれに対して排出量を再現するように空間分布を当てはめる。この操作は、いわば直線近似された車両軌跡に対して“排出量が合うように排出量推計指標をfitting”することであり、速度プロファイルを直接排出モデルに代入して排出量を推計する手法との大きな違いである。

排出量推計指標変換モデルは、実験車等により精度良く観測された走行軌跡データに基づき設定する。これにより、排出量に大きな影響を与える速度・加速度の精度を確保できるとともに、排出量推計指標の推計精度の検証を通して、事前に期待され

る排出量の推計精度を評価できるというメリットもある。

3.2 排出量の具体的な算出手順

ここでは、シミュレーションの出力（直線近似軌跡）から排出量推計指標を算出するモデルの具体的な流れを示す（図2）。

直線近似された車両軌跡から加速範囲、減速範囲を設定し、続いて加速範囲、減速範囲を除いた範囲を定常走行範囲（速度 > 0 の場合）、停止範囲（速度 = 0 の場合）として設定する。なお、加速範囲、減速範囲は直線近似された車両の軌跡の巡航速度が変化する地点において、その前後の速度から設定される。

各範囲毎に、その区間における排出量推計指標値をモデルにより算出する。このモデルは、基本的には初速度、終速度（加速範囲、減速範囲）、巡航速度（定常走行範囲）に基づき設定される。

加速範囲、減速範囲については、別途設定された排出量推計指標の空間分布（この分布も初速度、終速度に基づき設定される）を用いて配分され、排出量推計指標の空間分布が算出される。

この方法により、対象とするすべての排出量推計指標について空間分布を算出し、排出量推計モデルに代入することにより、排出量の空間分布が算出される。

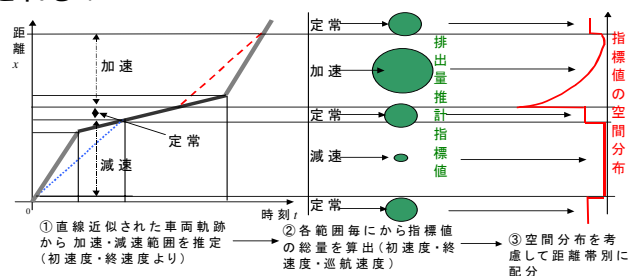


図2 排出量推計指標変換モデルのイメージ

4. 試算例

4.1 モデルパラメータの設定

前節で示した手法により排出量を推計するためには、各ステップにおいて必要なモデル式を設定する必要がある。ここでは、調査車両に速度計などの計測装置を積んで実走行調査³⁾を行い、走行パターンを取得し、それらのデータを用いて変換モデルの

各種パラメータを設定した。なお、分析対象車両は2,000ccの乗用車、走行路線は主に片側2車線以上の国道バイパス等である。

上記データを用いて設定されたモデルは以下の通りである。

加速・減速時間モデル

それぞれ初速度 V_1 、終速度 V_2 [km/h]の関数として設定した。一例として加速時間 T_A [sec]のモデル式を示す。

$$T_A = (0.173V_1 + 1.19)(V_2 - V_1) \quad (2)$$

加速・定常・減速区間別指標値の算出モデル

加速・減速範囲については初速度 V_1 、終速度 V_2 の関数、定常走行区間については定常走行速度 V_c の関数として設定した。一例として、加速時の Z_{av} のモデル式を示す。

$$Z_{av} = (0.0108V_1 + 0.498)(V_c^2 - V_1^2) - (0.000379V_1 + 0.00617)(V_c^2 - V_1^2)^{3/2} \quad (3)$$

加速・減速区間における指標値の空間分布モデル

で求めた加速・減速区間別の指標値を空間別に配分するモデルである。具体的には、実データを初速度 V_1 、終速度 V_2 を10km/h毎にランク分けして、それぞれについて各指標の空間分布を求めた。一例として、加速時の Z_{av} の例を図3に示す。なお、ここでは加速区間距離及び指標値で正規化し、10等分した距離帯毎に算出した。

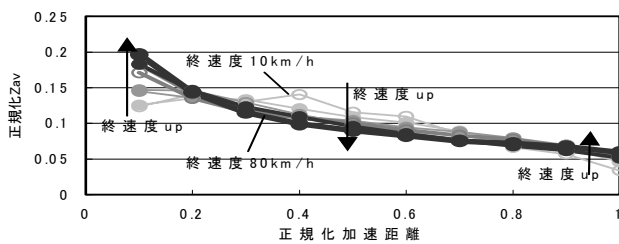


図3 加速時の指標値 Z_{av} の空間分布

(初速度0km/h 終速度ランク別: 10km/h ~ 80km/h, 10km/h 毎)

4.2 排出量の推計例

4.1で設定されたモデルパラメータを用いて、排出量の推計を行った。対象車両は4tディーゼル車、半積載で、式(1)による排出モデルにより比較的精度良く排出量が推計できる車両である。また、シャシダイナモ台上試験により、ある走行モードに対する排出量が測定されている。図4は推計対象とした走行パターンであり、細線(赤)が実軌跡、太線(青)の矩形パターンが停止位置、時刻などが合うように実軌跡から設定されたパターンであり、こ

れが線形近似された軌跡に相当する。

この線形近似軌跡を用いて、これまで提案した手法を適用して排出量の空間分布を算出した結果が図5である。排出量のピーク及びその周辺の空間分布が比較的良く再現されていることがわかる。

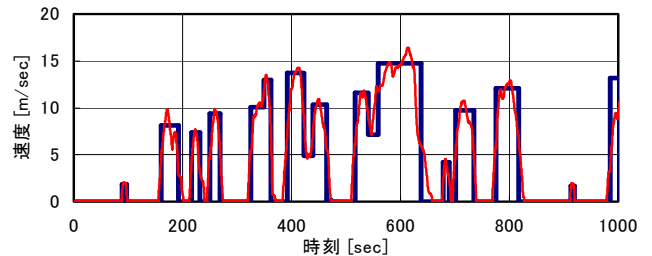


図4 実軌跡(赤細線)と線形近似軌跡(青太線)

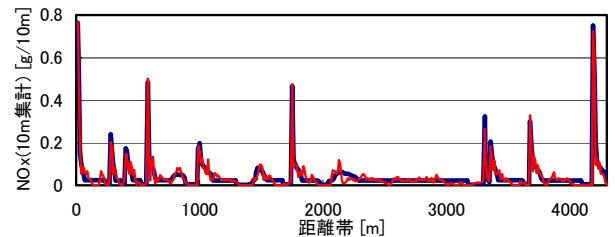


図5 NOx 排出量空間分布の実測値(赤細線)と推計値(青太線) (10m 毎の集計量)

5. 終わりに

本稿では、シミュレーションを用いた既存の排出量推計アプローチの問題点を指摘し、それらを踏まえて、「排出量推計指標変換モデル」を導入した推計アプローチを提案した。提示した推計結果は本アプローチが十分有用であることを示しているものと思われる。但し、提案手法には、加減速範囲の設定方法、変換モデルの詳細構造、車種による違いの考慮など、まだ検討すべき余地が多く残されており、今後これらの課題に取り組むことにより、本アプローチを汎用性の高い強固なものとするとともに、様々な角度から精度の検証を行い、適用可能範囲を明確にする必要がある。

参考文献

- 1) 小根山裕之、大口敬、赤羽弘和、桑原雅夫：直線近似された車両軌跡からの排出量推計手法、土木計画学研究・講演集、No.24, CD-ROM
- 2) Hiroyuki Oneyama, Takashi Oguchi and Masao Kuwahara : Estimation Model of Vehicle Emission Considering Variation of Running Speed, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, No.5, pp.105-117, 2001.10
- 3) 小根山裕之、大西博文、山田俊哉、平井洋：自動車の走行特性を反映した排出係数の設定に用いる実走行モードについて、土木計画学研究・講演集、No.22(2), pp.571-574, 1999