

Differences of Model Parameters of Emission Index Conversion Model with Vehicle Types and its Effect on Accuracy of the Model*

小根山裕之**・大口敬**・桑原雅夫***

By Hiroyuki ONEYAMA**, Takashi OGUCHI** and 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、動的な交通現象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、交通流シミュレーションと排出モデルを組み合わせた手法が一般に用いられるようになった。このような交通流シミュレーションを用いた排出量の推計の多くは、ミクロなモデルにより個々の車両の詳細な加減速挙動を出力し、速度・加速度別排出率などの詳細な排出量モデルを適用して推計する手法である。しかし、多くの場合、個々の車両の詳細な加減速挙動の再現性までは保証されず、算出される排出量の妥当性についても定かではないなど、排出量推計アプローチとして必ずしも適切ではないと考えられる。

筆者らは、上記の問題に対応した手法として、ラフな車両軌跡の再現性のみを前提とした排出量推計アプローチを提案している¹⁾。これは、排出量推計モデルのインプットとシミュレータのラフな車両軌跡のアウトプットを結びつけるサブモデルとして”排出量推計指標変換モデル”を導入したものである。これまで、実際に車両の走行軌跡データから設定した排出量推計指標変換モデルのパラメータを用いて提案アプローチを適用し、良好な推計結果を得ることを確認している。しかし、本モデルは車両の走行特性を表すものであり、車種によって異なると考えられるにもかかわらず、乗用車のパラメータのみを

設定し、このパラメータを用いて大型貨物車の再現性を検証していた。

そこで本稿では、乗用車に加え、大型貨物車についても実際の走行調査データに基づき排出量推計指標変換モデルのパラメータを設定し、パラメータの違いから乗用車と大型貨物車の走行パターンの違いを考察する。また、新たに推定した大型貨物車のパラメータを用いて排出量の推計を行い、それぞれのパラメータと推計精度の関係を示す。

2. 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の概要

ここでは、提案した排出量推計アプローチの概要を示す。また、排出量推計指標変換モデルにおいて推計すべきモデルパラメータを整理して提示する。

2. 1 基本的考え方

図1に提案アプローチの基本的フローを示す。以下、要素毎にその概要を説明する。

1) 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ともに、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。

2) 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。ここでは推計対象区間における集計量を説明変数（排出量推計指標）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

*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）、首都大学東京都市環境学部

***正員、Ph. D、東京大学産学・共同研究センター

（連絡先：東京都八王子市南大沢1-1

TEL0426-77-2780, FAX0426-77-2772)

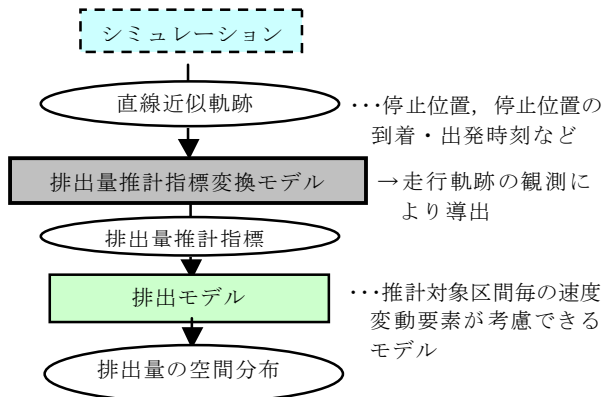


図1 排出量推計の基本的考え方

されたモデル式²⁾を以下に示す。

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

ここで、 Z_v , Z_{v3} , Z_{av} , Z_a , T_{r+} , T_{r-} , T_i がモデルの説明変数である『排出量推計指標』であり、これらを推計対象区間の集計値として導出することにより、その区間における排出量が算出される。

3) 排出量推計指標への変換モデル

2) の「排出量推計指標」は、本来、車両の速度プロファイルから算出される量であるため、1) の車両軌跡からは直接求められない。従って、1) の車両軌跡から2) 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、シミュレーションから与えられた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} …）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。なお、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。

2. 2 排出量推計指標変換モデルで設定すべきモデルパラメータ

排出量推計指標変換モデルは交通流シミュレータと排出量推計モデルを結びつけるものであるから、モデルの構成要素及びモデルパラメータは各モデルに依存するものである。ここでは、2. 1 に示した枠組みを前提とした場合の、モデルの構成要素及び設定すべきモデルパラメータを整理して提示する。

1) 加速・減速時間モデル

それぞれ初速度 V_1 、終速度 V_2 の関数として設定する。

2) 加速・定常・減速・アイドリング区間別指標値の算出モデル

加速・減速・定常・アイドリングの各区間について、排出量推計指標 (Z_v , Z_{v3} , Z_{av} , Z_a , T_{r+} , T_{r-} , T_i) の算出モデルを設定する。加速・減速区間については、初速度 V_1 、終速度 V_2 の関数として定式化する。また、定常走行区間については定常走行速度 V_c を 1km/h 毎にランク分けして、各区間における平均値として与える。なお、 T_i はアイドリング時の停車時間であり、他の区間では 0 となる。また、加速区間ではほぼ全域で駆動走行、減速区間ではアイドリング走行をすると考えられるならば、 Z_v , Z_{v3} , Z_{av} , Z_a , T_{r+} は減速区間では 0, T_{r-} は加速区間では 0 となる。

3) 加速・減速区間の空間分布モデル

2) で求めた加速・減速区間別の指標値を空間別に配分する。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、さらに加速・減速区間距離及び指標値で正規化し、一定の区間数（ここでは 10 及び 20 等分）で等分した距離帯毎に設定する。加速区間については Z_{v3} , Z_{av} , Z_a , T_{r+} 、減速区間について T_{r-} の空間分布モデルを設定する。

3. モデルパラメータの設定

3. 1 使用データ及び方法

2. 2 で示した排出量推計指標変換モデルで必要とされるモデルパラメータを、走行実態調査の速度プロファイルデータを用いて設定する。用いた調査データは、平成 8～9 年に建設省土木研究所で実施されたものである。対象車両は乗用車 (2,000cc, ガソリン, AT) 及び大型貨物車 (最大積載量 10t, 半積載状態, ディーゼル, MT) である。また、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。対象路線その他調査の概要は文献³⁾を参照されたい。

上記速度プロファイルについて、以下の手順により加速・減速・定常・アイドリング区間に分割する。
①速度=0 となる時間をアイドリング区間として分割。それ以外の区間（発進から停止まで）をショートトリップ (ST) として抽出。

② ST から、連続的に 10km/h 以上速度が上昇している区間を加速区間、連続的に 10km/h 以上速度

が低下している区間を減速区間として抽出。

④残りの区間を定常区間とする。

このようにして各区間に分割した後、初速度、終速度、区間距離、時間、区間内の指標値 (Z_v , Z_{v3} …) を求め、2. 2で示したモデルパラメータを設定する。

3. 2 モデルパラメータの設定結果と車種間の相違

以下では、設定したモデルパラメータのうち、乗用車と大型貨物車で特徴の異なるものを中心に結果及び車種間の比較考察を行う。

1) 加速・減速時間モデル

加速時間 T_A [sec], 減速時間 T_D [sec]は、初速度 V_1 [m/s], 終速度 V_2 [m/s]の関数として以下の通りである。大型貨物車の場合：

$$T_A = (0.165V_1 + 1.64)(V_2 - V_1) \quad (V_1 < V_2) \quad (R=0.734)$$

$$T_D = (0.106V_2 + 1.38)(V_1 - V_2) \quad (V_1 > V_2) \quad (R=0.604)$$

乗用車の場合：

$$T_A = (0.173V_1 + 1.19)(V_2 - V_1) \quad (V_1 < V_2) \quad (R=0.611)$$

$$T_D = (0.101V_2 + 1.24)(V_1 - V_2) \quad (V_1 > V_2) \quad (R=0.557)$$

同一速度間の加減速の場合、大型貨物車の方が加速、減速ともに時間がかかっている。また、その差は減速より加速の方が大きい。加速の場合、大型車の方がエンジン出力に比して重量が大きく、平均的に加速度が小さくなっていることを示している。また、大型貨物車の加速時が最も推定精度が高いが、加速時の特性が交通特性よりもエンジン性能に制限されることにより、バラツキが小さくなるためと考えられる。いずれにしてもモデルの推計精度は高くなく、道路交通特性の要因を考慮するなどの改良が必要である。

2) 加速・定常・減速区間別指標値の算出モデル

加速時に排出量への寄与が最も大きい指標である Z_{av} について、初速度 V_1 [m/s], 終速度 V_2 [m/s]で定式化すると以下の通りとなる。

$$\text{大型貨物車: } Z_{av} = (0.00426V_1 + 0.511)(V_2^2 - V_1^2) - 0.00547(V_2^2 - V_1^2)^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{乗用車: } Z_{av} = (0.0108V_1 + 0.498)(V_2^2 - V_1^2) - (0.000379V_1 + 0.00617)(V_2^2 - V_1^2)^{\frac{3}{2}}$$

大型貨物車と乗用車を比較すると、初速度 $V_1=0$ の場合で概ね3%程度大型貨物車の方が大きい。これは、3)で示すように大型貨物車ではギヤチェンジ

時の速度低下及び再加速の影響が大きく、加速終了までに累積的に加算される Z_{av} の値が大きくなるためであると考えられる。加速時の他の指標 (Z_{v3} , Z_a など) についても同様の傾向が見られる。

なお、定常走行時、減速時についても若干の値の違いが見られるが、そもそもデータのバラツキが大きく、意味のある差ではない。

3) 加速・減速区間における空間分布モデル

加速時の Z_{av} の正規化空間分布を初速度 V_1 , 終速度 V_2 別に示す。図2の乗用車の場合、速度によって傾向的な変化が見られるものの、違いは非常に小さい。一方、図3の大型貨物車では、距離が進むに従って大きな振幅が見られ、一見すると終速度別の傾向は見られない。なお、各モデルの%RMSEは、大型貨物車 8.3%, 乗用車 11.5%であり、大型車の方が誤差が小さいにもかかわらず大きく振れていることになる。

ここで、図4のように横軸を実距離に変換すると、いずれの終速度の場合も極大値、極小値を取る距離帯は概ね等しいことがわかる。すなわち、大型貨物車では加速のギヤチェンジにおいてアクセルを緩めた場合の速度低下が大きく一旦 Z_{av} が低下した後、再加速の際に大きな Z_{av} となって現れるものと考えられる。乗用車でもギヤチェンジの影響はあり、個別の走行データからはその傾向も見られるが、AT車でありその影響は極めて小さかったこと、各走行時のバラツキが大きく、平均として相殺されることにより振幅のほとんどない空間分布になっている。

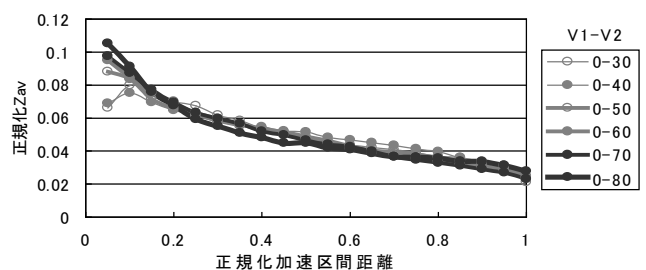


図2 Z_{av} の空間分布 (乗用車)

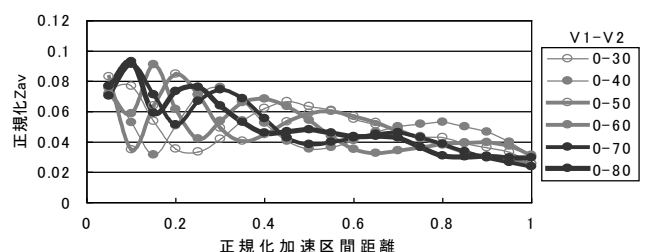


図3 Z_{av} の空間分布 (大型貨物車)

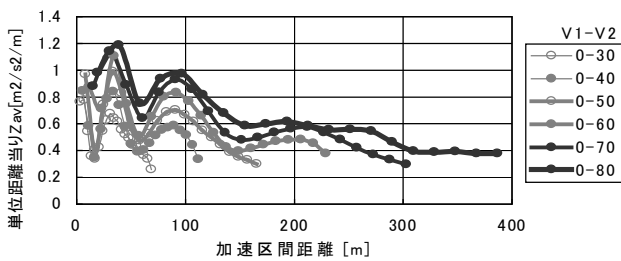


図4 Z_{av} の空間分布（大型貨物車）
（距離， Z_{av} を実数値に換算）

表1 ケース設定及び推計結果

	使用パラメータ ¹⁾²⁾			R	RMSE ³⁾ [g/100m]	PRMSE ⁴⁾	平均[g/100m]	
	加速・減速時間	指標値	空間分布				観測値	推計値
Case1	大型	大型	大型	0.895	0.095	35.0%	0.272	0.270
Case2	大型	乗用	乗用	0.886	0.099	36.4%	0.272	0.272
Case3	乗用	大型	大型	0.884	0.103	37.9%	0.272	0.275
Case4	乗用	乗用	乗用	0.873	0.106	38.9%	0.272	0.277

※推計結果を100m区間に分割し、それを1データとして比較。データ数(100m区間数)=16,026。

1)「加速・減速時間」、「指標値」、「空間分布」はそれぞれ本文2.2の1), 2), 3)に示すパラメータが対応。

2)大型:大型貨物車のパラメータを使用, 乗用:乗用車のパラメータを使用。

3)RMSE= $\sqrt{\sum(\text{推計値}-\text{観測値})^2/\text{データ数}}$, 4)PRMSE=RMSE/推計値の平均。

4. 排出量の試算

4.1 方法

上記のモデルパラメータを用いて、排出量の推計精度の検討を行った。3.1で用いた大型貨物車の速度プロファイルデータから、停止位置・時間が等しくなるように停止と定速からなる走行軌跡を作成し、それを交通シミュレーションのアウトプットと見なして2.で示した流れで排出量推計指標の算出及び排出量推計を行った（以下“推計値”とする）。一方、速度プロファイルデータから直接、排出量推計指標の算出及び排出量推計を行ったものを“観測値”とみなし、観測値に対する推計値の精度を分析した。なお、当該車種に直接対応する排出量推計モデルのパラメータがないため、便宜的ではあるが4tonディーゼル車のもの¹⁾を用いた。

ここで、車種別のモデルパラメータの違いがどの程度最終的な排出量の推計結果に影響するか見るため、表1に示すパラメータの組み合わせによりケースを設定する。

4.2 結果

結果は表1に示す通りである。観測値と推計値の差を表す指標として相関係数 R, RMSE, PRMSEを算出した。Case1が最も誤差が小さくなっているが、パラメータを設定したのと同じ車両軌跡からの算出結果であるため、本推計手法において適切なパ

ラメータを用いた場合の最大性能を表すものと考えられる。

一方、Case2~4は異なる走行特性を表すパラメータを用いた場合の推計精度に対する感度を示すものと捉えられる。異なるパラメータを用いることによる精度の低下はわずかである。強いて特徴を挙げると「加速・減速時間」の影響が他の2つと比較して大きい。また、「加速・減速時間」について乗用車のパラメータを用いた場合、わずかではあるが過大推計する傾向にある。これは推計値の平均値からも示される。3で示したとおり乗用車の方が加速度、減速度が大きいため、加速・減速区間がより短く、定常走行区間がより長く設定される。一方、加速区間の排出量に関する指標値は初速度・終速度で決まるため、定常走行区間が長く設定される分だけ過大推計となるものと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、ラフに再現された走行軌跡からでも排出量の推計を可能とする排出量推計手法について、その中心となる排出量推計指標変換モデルのパラメータを異なる車種（大型貨物車、乗用車）で推計し、特徴を分析した。また、それらのパラメータを用いて排出量の推計精度との関係を示した。さほど顕著ではないものの、パラメータの違いによる排出量推計値への影響はあり、その中でも加速・減速時間のモデルが比較的影響が大きいことが示された。

今回は各々の排出量推計指標の精度については触れていない。また、個別のデータについては十分に分析がなされていない。これらの分析をすすめることで、精度が低下する条件を明らかにし、本手法の適用範囲より明確にする必要がある。

参考文献

- 1) 小根山, 大口, 桑原: 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, 土木計画学研究・講演集, No.27, CD-ROM, 2003
- 2) Oneyama, Oguchi and 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, 大西, 山田, 平井: 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