

走行特性を考慮した自動車排出係数の検討（その2）

A Study on Vehicle Emission Factor in View of the Driving Conditions (Vol. 2)

馬場 剛* 毛利 雄一** 及川 潤*** 福井 哲央* 高砂子 浩司*

By Tsuyoshi BABA, Yuichi MOHRI, Jun OIKAWA, Tetsuo FUKUI and Koji TAKASAGO

1. はじめに

窒素酸化物 (NO_x) や粒子状物質 (PM) による大気汚染は全体として改善の傾向がみられるものの、大都市圏を中心に環境基準が達成されない地域が残るなど、依然として沿道環境対策は重要な課題である。近年では、浮遊粒子状物質 (SPM) の中でも微小粒子状物質 (PM_{2.5}) と健康影響との関連が懸念されており、先行する欧米の環境基準を日本に当てはめると、大半の地域が環境基準超過になると予想されるなど、今後顕在化する問題も孕んでいる。

NO_x や PM については 2010 年に環境基準を概ね達成することを目指して、自動車 NO_x・PM 法の改正や自動車排出ガス単体規制の強化を推進しており、交通施策の面からも沿道環境対策として交通流の円滑化を図る TDM や ITS の活用などに期待が寄せられている。

ところで、TDM や ITS、渋滞対策などの実施による環境改善効果を評価する場合、通常の排出量推計で使用する排出係数 (平均車速の関数として表す排出係数) は、加減速をはじめとする詳細な車両挙動を考慮できないために、効果を十分に評価できないといった問題がある。このような状況を踏まえ、本研究では速度や加速度、勾配、車両総重量といった交通挙動の変化を反映した排出係数 (走行特性対応排出係数) の作成を進めており、既報¹⁾でディーゼル貨物車重量の NO_x、PM 排出係数を報告した。本稿では、新たに得られた実勾配データを用いた再推定結果と新たに推定した CO₂ 排出係数、排出係数を他車種へ展開した方法及び結果について報告する。

2. ディーゼル貨物車重量の排出係数推定

既報¹⁾では、車載型計測装置で計測した 0.1 秒単

位の走行・排出量データを 1 秒単位に集約して、速度・加速度、車両総重量、勾配を説明変数とする 4 つの式のパラメータを推定した。本稿においても同様に 4 つの式のパラメータ推定を行ったが、前後加速度などから推計していた勾配データは実測の勾配データに変更して推定を行い、かつ、NO_x、PM に加え CO₂ についても排出係数を求めた。

パラメータの推定結果を表-1~表-3 に示す。なお、設定した排出係数の式を用いると排出量が負となるケースがある。このようなケースの大半は加速度が負の状態であり、加速度が正であっても重い車両の急な下り勾配の場合、つまりアクセルを踏んでいない状況であるため、排出量が負となる場合は排出量 = 0 と近似した。

表-1 NO_x 排出係数の推定式

説明変数	排出原単位式(NO _x)	R-sq
速度・加速度	$E_{NOx} = 6.56 \cdot 10^{-3} \cdot v + 5.99 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 1.97 \cdot 10^{-2} \cdot av + 0.819$	0.785
〃・車両総重量	$E_{NOx} = -1.63 \cdot 10^{-6} \cdot Mv + 6.96 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 5.72 \cdot 10^{-6} \cdot Mav - 2.63 \cdot 10^{-3} \cdot av + 1.09$	0.820
〃・勾配	$E_{NOx} = 7.78 \cdot 10^{-3} \cdot v + 1.92 \cdot 10^{-2} \cdot \sin \theta + 5.85 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 1.82 \cdot 10^{-2} \cdot av + 0.818$	0.791
〃・車両総重量・勾配	$E_{NOx} = 1.21 \cdot 10^{-6} \cdot Mv + 3.19 \cdot 10^{-5} \cdot \sin \theta Mv + 6.19 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 2.76 \cdot 10^{-6} \cdot Mav + 4.42 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.772$	0.822

v: 車両走行速度 [km/h], a: 車両加速度 [km/h/sec], M: 車両総重量 [kg], θ: 道路勾配 (正確には tan θ)

表-2 PM 排出係数の推定式

説明変数	排出原単位式(PM)	R-sq
速度・加速度	$E_{PM} = -1.71 \cdot 10^{-3} \cdot v + 1.81 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 2.24 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.240$	0.750
〃・車両総重量	$E_{PM} = -2.39 \cdot 10^{-7} \cdot Mv + 1.74 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 1.76 \cdot 10^{-7} \cdot Mav + 1.38 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.230$	0.752
〃・勾配	$E_{PM} = -1.60 \cdot 10^{-3} \cdot v + 1.63 \cdot 10^{-2} \cdot \sin \theta + 1.79 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 2.12 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.240$	0.750
〃・車両総重量・勾配	$E_{PM} = -2.19 \cdot 10^{-7} \cdot Mv + 2.54 \cdot 10^{-6} \cdot \sin \theta Mv + 1.73 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 1.43 \cdot 10^{-7} \cdot Mav + 1.44 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.230$	0.752

v: 車両走行速度 [km/h], a: 車両加速度 [km/h/sec], M: 車両総重量 [kg], θ: 道路勾配 (正確には tan θ)

表-3 CO₂ 排出係数の推定式

説明変数	排出原単位式(CO ₂)	R-sq
速度・加速度	$E_{CO2} = 3.50 \cdot v + 2.67 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 + 3.64 \cdot av + 113.9$	0.886
〃・車両総重量	$E_{CO2} = 1.58 \cdot 10^{-4} \cdot Mv + 5.55 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 + 3.75 \cdot 10^{-4} \cdot Mav + 1.76 \cdot av + 174.2$	0.906
〃・勾配	$E_{CO2} = 3.56 \cdot v + 8.65 \cdot 10^{-2} \cdot \sin \theta + 2.61 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 + 3.58 \cdot av + 113.8$	0.885
〃・車両総重量・勾配	$E_{CO2} = 1.69 \cdot 10^{-4} \cdot Mv + 1.36 \cdot 10^{-5} \cdot \sin \theta Mv + 5.50 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 + 3.57 \cdot 10^{-4} \cdot Mav + 1.80 \cdot av + 174.0$	0.905

v: 車両走行速度 [km/h], a: 車両加速度 [km/h/sec], M: 車両総重量 [kg], θ: 道路勾配 (正確には tan θ)

3. 排出係数の他車種への展開

2.で推定した排出係数はディーゼル貨物車1車両のものであり、実用にあたっては他車種の排出係数を求める必要がある。しかし、車載型計測装置を用いた詳細な調査は多くの時間と費用がかかるため、本稿では旧建設省土木研究所がCD（シャーシダイナモ）試験で計測した9車種43台のデータなどを活用して、他車種への展開方法を検討した。

(1) 他車種への展開

CDデータでは9車種のうちディーゼル貨物車重量の3車種（半積載重量：3.5-5t、5-10t、10t-）のみ、NO_xとCO₂を0.2秒単位で計測した時系列データが得られている。また、国土技術政策総合研究所の委託調査において、ディーゼル貨物車中量、貨物車重量（5-10t、10t-）を車載型計測装置によって0.1秒単位で計測したデータ（NO_x、PM、CO₂）が得られている。そこで、これらの車種・物質については1秒単位にデータを集約し、2.と同様の方法で推定した結果を車種別に平均して排出係数とした。

一方、その他の車種については、走行モード毎の排出量しかわからないため、①走行モードから1秒毎の速度・加速度と車両総重量、勾配のデータを得て、車両別に式-1のパラメータ推定を行い、②ディーゼル貨物車重量（5-10t）を基準とした速度加速度別の車両間比率を求め、③特異なデータを除いた上で車種間比率を平均により求め、④出現頻度の高い速度、加速度の比率と2.で求めた排出係数より、各車種の排出係数を便宜的に推計した（図-1参照）。

$$E = \sum_{t=1}^n c_1 \cdot smv_t + c_2 \cdot v_t^3 + c_3 \cdot a_t v_t \quad \dots\dots\dots \text{式-1}$$

時系列データが得られた車種については排出係数の推定精度をR-sqで検証することが可能である。ディーゼル貨物車重量（車両総重量が3.5-5t、5-10t、10t以上の3車種）をみると、速度、加速度、車両総重量、勾配の4変数を説明変数とする式では、R-sqがNO_xで0.79、PMで0.75、CO₂で0.67~0.93と十分な推定精度が得られた。図-2~4は4変数を説明変数とした排出係数を車種別・加速度別に速度と排出量の関係図として表したものである。

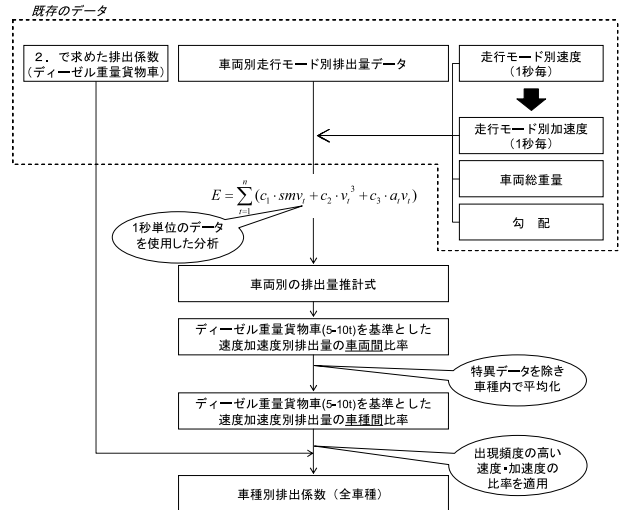


図-1 他車種への展開方法

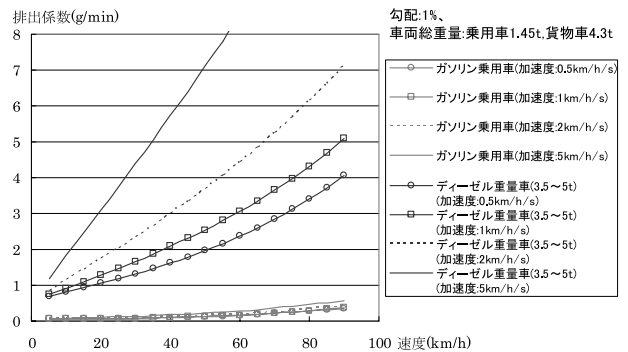


図-2 NO_x 排出係数 (g/min)

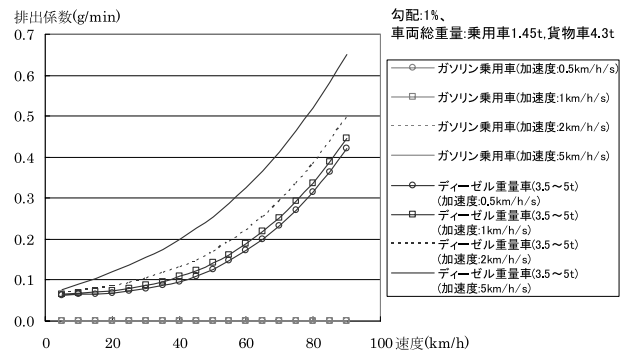


図-3 PM 排出係数 (g/min)

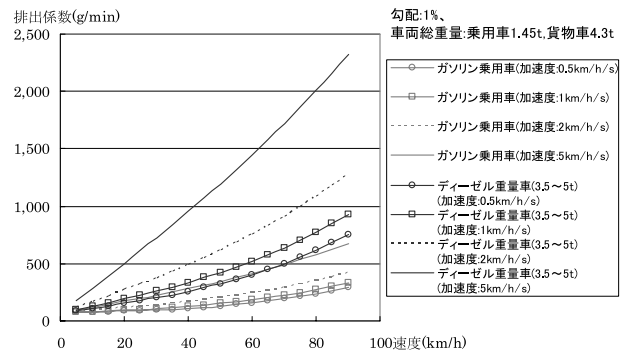


図-4 CO₂ 排出係数 (g/min)

(2) 排出係数の適用範囲

(1) で設定した排出係数は使用したデータの計測範囲や再現性の観点から、安全側で使用可能な速度や加速度、勾配の適用範囲がある。研究では4つの式別・車種別に適用範囲を設定したが、本稿では要約して以下の表に整理した。この範囲から多少外れても、再現性を著しく損なうわけではないが、シミュレーション結果などを用いて推計する際には特に注意が必要である。なぜなら、例えば実走行には、低速時と比較して高速時に大きな加速度が出現しない傾向にあったとしても、シミュレーションでは容易に大きな加速度も出現するからである。

表一4 排出係数の適用範囲

NOx, CO ₂			
車種		セット①速度・加速度	セット②速度・加速度・車両総重量・勾配
乗用車	ガソリン	速度: 0~100km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速)	速度: 0~100km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速)
	ディーゼル	速度: -9~6km/h/s (中速) -6~5km/h/s (中高速) -3~4km/h/s (高速)	速度: -9~6km/h/s (中速) -6~5km/h/s (中高速) -3~4km/h/s (高速)
貨物車	ディーゼル	軽量	速度: 0~60km/h 加速度: -7~8km/h/s (低速) -7~6km/h/s (中速)
		中量	速度: 0~90km/h 加速度: -9~7km/h/s (低速) -8~3km/h/s (中速) -5~2km/h/s (中高速) -3~2km/h/s (高速)
	重量	3.5~5t	速度: 0~80km/h 加速度: -8~7km/h/s (低速) -7~5km/h/s (中速) -5~3km/h/s (中高速) -2~1km/h/s (高速)
		5~10t	速度: 0~80km/h 加速度: -8~7km/h/s (低速) -7~5km/h/s (中速) -5~3km/h/s (中高速) -2~1km/h/s (高速)
10t~	速度: 0~80km/h 加速度: -8~7km/h/s (低速) -7~5km/h/s (中速) -5~3km/h/s (中高速) -2~1km/h/s (高速)		

PM			
車種		セット①速度・加速度	セット②速度・加速度・車両総重量・勾配
乗用車	ガソリン	速度: 0~100km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速)	速度: 0~100km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速)
	ディーゼル	速度: -9~6km/h/s (中速) -6~5km/h/s (中高速) -3~4km/h/s (高速)	速度: -9~6km/h/s (中速) -6~5km/h/s (中高速) -3~4km/h/s (高速)
貨物車	ディーゼル	軽量	速度: 0~70km/h 加速度: -7~8km/h/s (低速) -7~6km/h/s (中速) -5~4km/h/s (中高速)
		中量	速度: 0~90km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速) -9~6km/h/s (中速) -6~4km/h/s (中高速) -3~3km/h/s (高速)
	重量	3.5~5t	速度: 0~90km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速) -9~6km/h/s (中速) -6~4km/h/s (中高速) -3~3km/h/s (高速)
		5~10t	速度: 0~90km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速) -9~6km/h/s (中速) -6~4km/h/s (中高速) -3~3km/h/s (高速)
10t~	速度: 0~90km/h 加速度: -11~9km/h/s (低速) -9~6km/h/s (中速) -6~4km/h/s (中高速) -3~3km/h/s (高速)		

速度領域: 低速(0~30km/h)、中速(30~60km/h)、中高速(60~80km/h)、高速(80~100km/h)

実走行の計測データを増やし排出係数を更新していくことが望まれる。また、本排出係数は特定の排出ガス規制対応の車両についてのみ作成されているため(例えばディーゼル貨物車重量については平成6年規制車)、アセスと同様の考えで適用する場合には問題ないが、施策の対象年度を設定して評価する場合には年次補正が必要である。年次毎の排出係数については、今後整理を進めていきたいと考えている。

走行特性排出係数と交通マイクロシミュレータを用いた排出量推計方法とその適用事例については、本レポート(マイクロシミュレーションの交通計画への活用)や他の論文^{5) 6)}で紹介しているので参照されたい。今後も適用事例を増やし、機会を見つけて報告していきたいと考えている。

TDM や ITS、渋滞対策による環境改善効果の予測は今後益々、その必要性が高まる。本排出係数が政策立案・施策検討の一助となれば幸いである。

本稿をまとめるにあたっては、国土交通省国土技術政策総合研究所、他関係各位にご協力頂いた。ここに感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 馬場剛・毛利雄一・森尾淳・及川潤・牧村和彦: 走行特性を考慮した自動車排出係数の検討, IBS Annual Report 研究活動報告 2004
- 2) 馬場剛・大城温・並河良治: 走行条件及び道路条件の影響を踏まえた交通挙動と大気汚染物質排出特性の分析, 第44回大気環境学会年会講演要旨集, pp. 372, 2003
- 3) 馬場剛・及川潤・森尾淳・牧村和彦・毛利雄一: ITを活用した環境計測と政策評価, 土木計画学研究・講演集, Vol. 27, 2003
- 4) 馬場剛・高井嘉親: 実走行時排出ガス計測データを用いた排出量推計結果に関する考察, 第45回大気環境学会年会講演要旨集, pp. 698, 2004
- 5) 馬場剛・小川智宏: 走行特性対応排出係数を用いた交差点における環境改善施策の評価, 第47回大気環境学会年会講演要旨集, 2006
- 6) 馬場剛・小川智弘・瀧本真理: 走行特性対応排出係数を用いた交差点における環境改善施策の評価(その2), pp. 330, 第48回大気環境学会年会講演要旨集, 2007

4. おわりに

本稿では、これまでの排出係数とは異なり、細かな走行条件を考慮したNOx、PM、CO₂排出係数の推定式を提案した。この排出係数を9車種用意することで交通マイクロシミュレータと組み合わせた排出量推計が可能となり、TDM や ITS、渋滞対策などの実施による環境改善効果の評価方法に一応の目処がついたと考えている。しかしながら、本稿で作成した排出係数にはいくつかの課題がある。その1つは、排出係数の作成に使用した実走行の計測データが少ないといった課題である。他車種への展開で示した方法はあくまで暫定的なものであり、今後は