

走行特性を考慮した自動車排出係数の検討

A Study on Vehicle Emission Factor in view of the Driving Conditions

馬場 剛* 毛利 雄一** 森尾 淳*** 及川 潤**** 牧村 和彦****

By Tsuyoshi BABA, Yuichi MOHRI, Jun MORIO, Jun OIKAWA and Kazuhiko MAKIMURA

1. はじめに

大都市地域では、窒素酸化物 (NO_x) による大気汚染が依然として深刻な状況が続いており、近年では、粒子状物質 (PM) による汚染も相まって、より深刻な状況となっている。特に工場が集積し、貨物車の交通量が多い幹線道路沿道では、尼崎や川崎、名古屋南部、東京において公害訴訟が提訴された経緯もあり、沿道環境対策は喫緊の課題である。

このような背景を受けて、自動車 NO_x 法の改正や自動車排出ガス単体規制の強化が推進されており、また、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 の活用などがクローズアップされているところである。

一方、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、施策の実施あり・なしにおける排出量の変化で評価を行うわけであるが、この排出量は車種別交通量と平均車速の関数として表す排出係数(平均車速モデル)を乗じて推計することが一般的である。しかしながら、平均車速モデルを用いるこの方法では、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、TDM や ITS 施策による交通円滑化効果、特に交差点部 (HOTSPOT) の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、車両総重量の変化が NO_x、PM 排出量に与える影響を分析し、TDM や ITS、渋滞対策による環境改善効果の予測に有効な排出係数の推計を試みる。

2. 車両挙動を考慮した排出ガス計測調査

(1) 調査の概要

計測では、「車載型」と「リモートセンシング」の

異なる 2 つの計測方法を採用した。各方法の特徴を、排出特性を把握する上で必要な項目とその計測可能性の視点から整理する (表 - 1)。

車載型の計測では、調査対象となる車種が限定されてしまうが、様々な交通条件で走行することが可能であり、多様な速度、加速度、勾配における排出量データが取得可能である。一方、リモートセンシングの計測では、排出ガス濃度と同時に計測した車両登録番号を陸運局のデータと照合することにより、多くの車種について排出濃度データが取得できる。したがって、車載型計測装置による計測結果を用いて 1 車種の詳細な排出係数を作成するとともに、リモートセンシングによる計測結果を用いて他車種へ展開することにより、車種別に速度や加速度、勾配、車両総重量を説明変数とする NO_x、PM 排出係数を作成することが可能となる。

表 - 1 排出特性の把握に必要な項目の計測可能性

	車載型	リモートセンシング
速度・加速度	・詳細なデータが取得可能	・車載型より精度が劣るが取得可能
勾配	・走行ルートのような勾配が取得可能	× ・設置箇所の勾配のみ計測可能
車両総重量	・積載重量を制御しているため把握可能。	・軸重計の利用により、重量車のみ取得可能
車種のバリエーション	× ・計測器を付け替えが必要のため車種は限定。	・車両登録番号より大量の車種データが取得可能

(2) 車載型計測装置による計測

平成 14 年 9 月末～10 月中旬にかけて、朝・夕のピーク時と日中の 1 日 3 回、合計約 6 時間の実走行

* 環境資源研究室 ** 経済社会研究室 *** 交通政策研究室 **** 交通研究室

調査を行った。走行ルートは、様々な速度帯のデータを得るために高速道路と一般道路から構成し、また、勾配のデータを得るために起伏のある道路をルートに加えた。結果、神保町を起点に靖国通り - 内堀通り - 国道 246 号 - 山手通り - 駒沢通り - 環状 7 号 - 中原街道 - 首都高 2 号 - 首都高都心環状を経て神保町に戻る都内ルートと、リモートセンシングとの同時計測を目的とした横浜青葉 IC 周辺ルートの 2 ルートを設定した。

計測車両は H06 規制のいすゞフォワードをベースにした 4t 積みの散水車を使用し、散水車に積み込む水量で積載条件を調整し、空・半・満の積載条件で計測を行った。計測した項目は NOx 濃度、PM の代理指標である不透明度（オパシティ）や、濃度から排出量を算出するために必要な吸気流量などの指標であり、計測の時間間隔は現在取り得る最小の 0.1 秒間隔とした。また、車両挙動と排出ガス量の関係を分析するために、速度・加速度の計測を行った。

なお、PM 排出量は、「車載型」計測器とシャーシダイナモ試験の同時計測を行い推定した、オパシティ（K 値）と PM 排出量の関係式（式 1）より求めている（図 - 1）。

$$PM = (0.2989 \cdot K + 0.0503) \cdot Q \dots\dots\dots(1)$$

PM : PM 排出量 (g/min) K : K 値 (1/m)
Q : 排気流量 (m³)

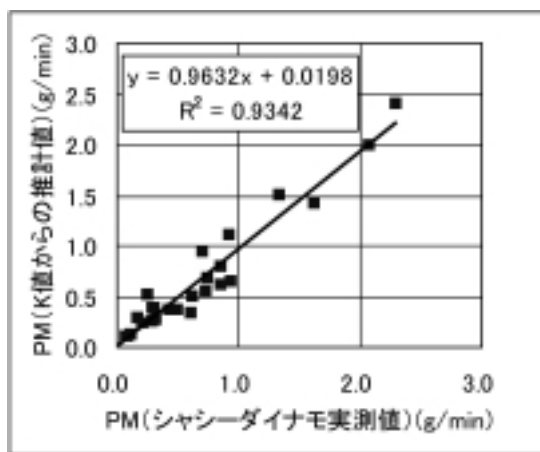


図 - 1 オパシティから求めた PM 排出量と実測値

(3) リモートセンシングによる計測調査

平成 14 年 10 月 2 日から 10 月 4 日の期間に、東名高速道路横浜青葉 IC 入口の第 2 レーンを使用してリモートセンシングによる自動車排出ガスの計測を行った。計測では ESP 社製の RSD 4000 を利用



写真 - 1 リモートセンシングによる計測風景

し、個々の車両の排出ガス成分を計測するとともに、車両挙動と排出ガスの関連性を分析するために排出ガス計測と同時に速度と加速度の計測を行った。また、路側に CCD カメラを設置し、車両のナンバープレート情報を収集することで、自動車登録情報から車種や排ガス規制区分を把握した。さらに、軸重計を使用して車両総重量のデータを取得した。

3. 車両挙動・走行条件と排出ガス量の関係分析

(1) 速度・加速度別の NOx、PM 排出量

都内ルート(積載条件：空)で計測した NOx、PM 排出量を、速度・加速度別に整理したものが図 - 2、図 - 3 である。これらの図を加速度域別に見ると、速度の増加に伴い排出量が単調に増加する傾向を見いだすことができる。

一般に、1 台の車両が 1 km 走行する場合の排出量、すなわち排出係数は、平均車速の関数として式 2 のように表される。したがって、排出係数の推定式を検討する際には、まず、速度を変数として加えることを考えるわけであるが、図 - 2、図 - 3 の整理から、時間分解能の高い瞬時の NOx、PM 排出係数を検討する場合にも、速度を考慮する必要性が示唆される。

$$EF = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot V^2 + a_3 / V \dots\dots\dots(2)$$

EF : 排出係数 (g/km, g/t・km)
a₀ ~ a₃ : 回帰係数 V : 車速 (km/h)

また、加速度と排出量の関係を速度域別にみると、同じ速度域であっても加速度の増加に伴い、排出量

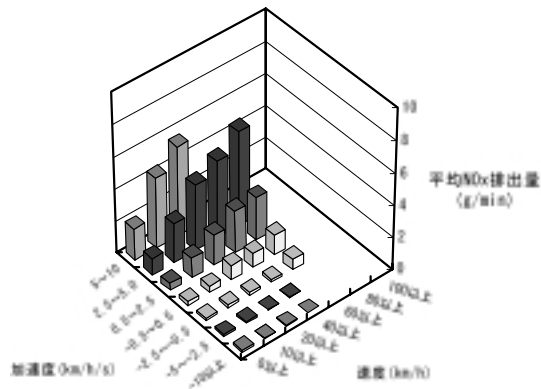


図 - 2 速度・加速度ランク別の平均 NOx 排出量

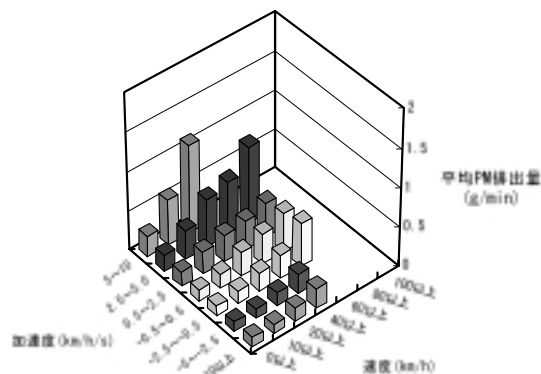


図 - 3 速度・加速度ランク別の平均 PM 排出量

も増加する傾向を示しており、加速度と排出量の間にも関係性を見いだすことができそうである。

図 - 4、図 - 5 は加速度域別に速度と NOx、PM 排出量の関係を式 3 で定式化したものである。

$$EF = a_0 \cdot V^3 + a_1 \cdot V^2 + a_2 \cdot V + a_3 \dots\dots\dots(3)$$

EF : 排出係数 (g/min) $a_0 \sim a_3$: 回帰係数
 V : 車速 (km/h)

式 3 によるパラメータ推定結果は、R sq が NOx で 0.758、PM で 0.8 となり良好な結果が得られている。しかし、ここで着目すべきことは、加速度域で区分していないデータでは R sq が低く、定式化が難しかったことにある。つまり、速度と排出量の関係は、加速度で区分したことにより明瞭となったわけであり、このことは、排出係数を推定するにあたり、なんらかの形で加速度を考慮する必要があることを示唆している。

(2) 積載・勾配条件別の NOx、PM 排出量

(a) 積載条件別の排出量

NOx 排出量を積載条件別に整理したものが図 - 6、図 - 7 である。図 - 6 は横軸に速度をとり、加速度

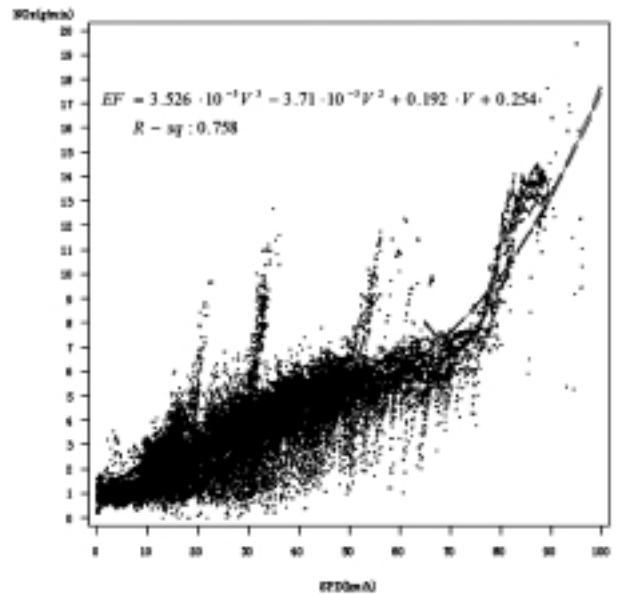


図 - 4 速度と NOx 排出量の関係 (走行条件 = 一般道、積載条件 = 空、加速度 = 2~3 km/h/s)

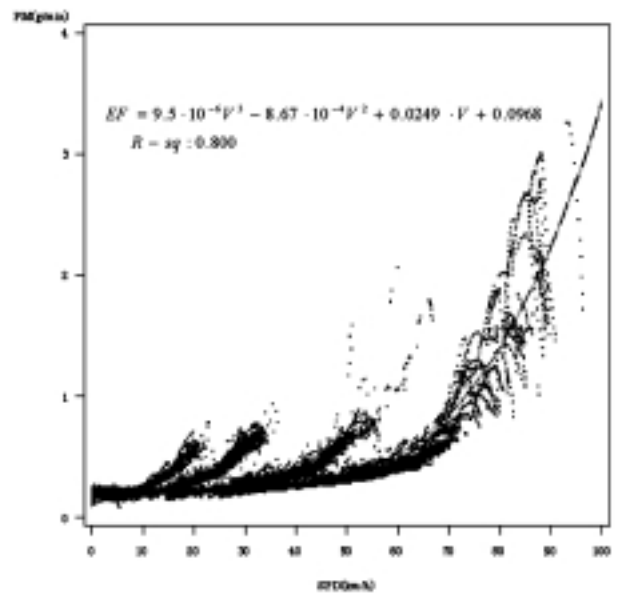


図 - 5 速度と PM 排出量の関係 (走行条件 = 一般道、積載条件 = 空、加速度 = 2~3 km/h/s)

が 1~5 km/h/s の範囲にあるデータを、また、図 - 7 は横軸に加速度をとり、速度が 20~30 km/h の範囲にあるデータを積載条件別に図化したものである。各図に描いた実線は、積載条件別の傾向を見るために作成した速度または加速度と排出量との回帰直線である。ここで、積載条件と排出量の関係を速度や加速度を加えて検討した理由は、前述したように排出量が速度や加速度の影響を受けているので、この影響を排除して比較を行うためである。

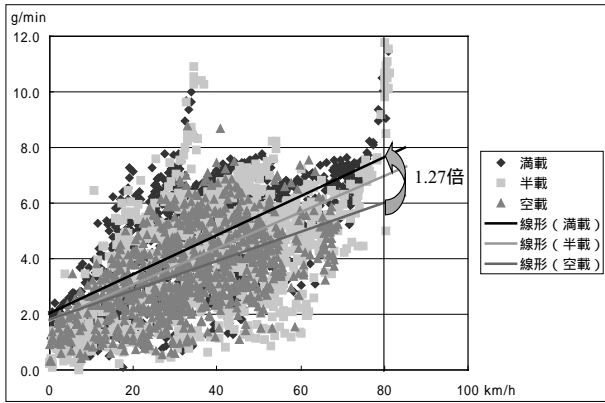


図 - 6 積載条件別の速度と NOx 排出量の関係

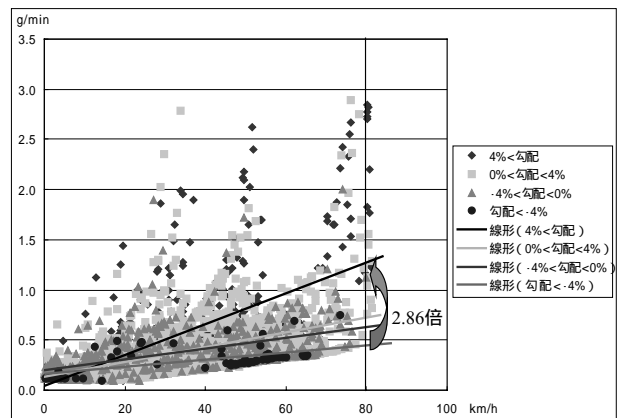


図 - 8 勾配条件別の速度と PM 排出量の関係

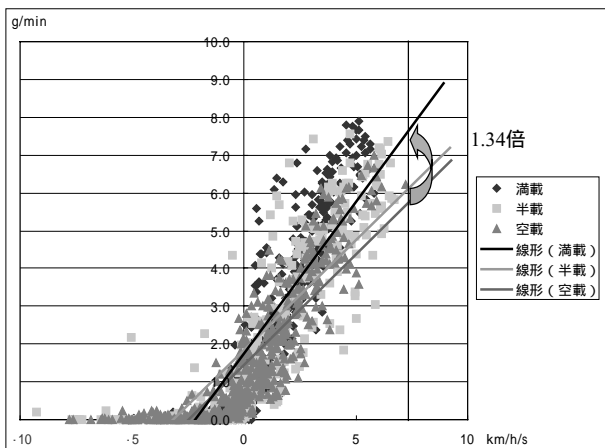


図 - 7 積載条件別の加速度と NOx 排出量の関係

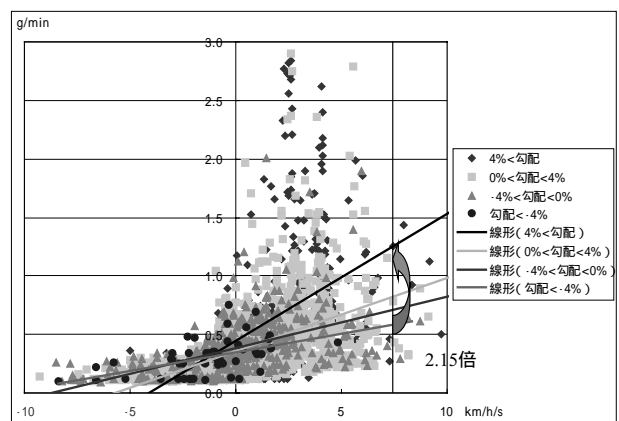


図 - 9 勾配条件別の加速度と PM 排出量の関係

図 - 6、図 - 7 のデータ分布を速度別・加速度別に見ると、データは空載、半載、満載の順にグラフの上方へとシフトしており、積載が増加するほど排出量が多くなる傾向を示している。また回帰直線を積載条件間で比較すると、速度および加速度の増加に伴い、空載、半載、満載の排出量の差が拡大する傾向をみることができる。

(b) 勾配条件別の排出量

PM 排出量を勾配条件別に整理したものが図 - 8、図 - 9 である。図 - 8 は横軸に速度を、図 - 9 は加速度をとり、縦軸は排出量として勾配条件別に図化したものである。各図に描いた実線は、勾配条件別の傾向を見るために作成した速度および加速度と排出量の回帰直線である。

図 - 8、図 - 9 のデータ分布を速度別・加速度別に見ると、勾配が急なデータほどグラフの上方にプロットされており、勾配が急な道路を通過する場合に排出量が多くなる傾向が示されている。また、回

帰直線を勾配レンジ間で比較すると、速度及び加速度の上昇が、勾配レンジ間の排出量の差を拡大している傾向をみることができる。

4 . NOx、PM 排出係数の推定

(1) パラメータの推定

3. の分析により、NOx、PM 排出係数の推定式では、速度や加速度、積載、勾配条件を考慮する必要があると考えられる。排出係数の推定式としては、Lee *et al.*¹⁾が CO₂ の排出係数として式 4 を提案している。

$$\ln(E(t)) = c_0 + c_1 v(t) + c_2 a(t) + c_3 v(t)a(t) + c_4 D_d(t) + c_5 D_s(t) \quad (4)$$

.....(4)

$a(t) < 0$ ならば $D_d(t) = 1$ 、それ以外なら $D_d(t) = 0$
 $v(t) = 0$ かつ $a(t) = 0$ ならば $D_s(t) = 1$ 、それ以外なら $D_s(t) = 0$
 $E_{CO_2}(t)$: 時間当り排出量、 $v(t)$: 速度、 $a(t)$: 加速度

しかし、式 4 は速度と加速度のみを説明変数としており、積載や勾配条件を考慮することができない。そこで、Oneyama *et al.*²⁾が提案するエンジン出力

と排出量の関係から定式化した排出係数（式5）を参考に、速度・加速度、車両総重量、勾配を説明変数とする式を4式設定し、パラメータの推定を行った。パラメータの推定結果を表-2、表-3に示す。なお、推計結果は1秒単位に集約したデータによる分析結果であり、推定式は速度、加速度とも正の符号条件で適用する。

速度、加速度のみを説明変数とする式では、NOxでRsqが0.754、PMで0.6836とまずまずの推定結果である。速度、加速度に加え、車両総重量を説明変数とした式では、NOxのRsqが0.791、SPMは0.6841とNOxで多少高くなり、推定精度の向上が見られる。一方、勾配を説明変数に加えた式では、NOxのRsqは0.756、SPMは0.6840とあまり変わらず、勾配の影響が排出量推計にあまり反映されない排出係数が導かれた。この原因の究明は今後の課題であるが、勾配と速度・加速度の相関が高いことが要因の1つとして考えられる。

$$E_{NOx,PM} = f(\text{エンジン回転数}, \text{エンジン回転数})$$

$$= \text{エンジン回転数} \cdot (a \cdot \text{エンジン回転数}^2 + b \cdot \text{エンジン回転数} + c) + \text{定数}$$

$$= a \cdot (2\pi \cdot R / 60)^3 \cdot (a \cdot M^2 + b \cdot M + c) + (M + m) \cdot (2\pi \cdot R / 60)^3 + C \dots \dots \dots (5)$$

$$= k \cdot (a \cdot \sin^2 \theta + b \cdot \sin \theta + c) + (M + m) \cdot (2\pi \cdot R / 60)^3 + C$$

$$= (k \cdot a \cdot \sin^2 \theta + b \cdot \sin \theta + c) \cdot (M + m) \cdot (2\pi \cdot R / 60)^3 + (M + m) \cdot (2\pi \cdot R / 60)^3 + C$$

v: 車両走行速度 [km/h], a: 車両のギア比に依存した定数, 単位を省略した
 b: 車両のギア比に依存した定数, 単位を省略した
 c: 車両のギア比に依存した定数, 単位を省略した
 M: 車両総重量 [kg]
 m: 空気質量 [kg]
 R: 道路勾配 [正値には tan θ]
 k: 重力加速度 [m/sec²]
 C: 車両のギア比に依存した定数, 単位を省略した
 a: 車両総重量 [kg]

表 - 2 NOx 排出係数の推定式

説明変数	排出原単位式 (NOx)	R-sq
速度・加速度	$E_{NOx} = -7.54 \cdot 10^{-4} \cdot v + 5.68 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 2.75 \cdot 10^{-2} \cdot av + 1.09$	0.754
M・車両総重量	$E_{NOx} = -1.63 \cdot 10^{-6} \cdot Mv + 6.96 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 5.72 \cdot 10^{-6} \cdot Mav + -2.63 \cdot 10^{-2} \cdot av + 1.09$	0.791
M・勾配	$E_{NOx} = -2.65 \cdot 10^{-3} \cdot v + 1.53 \cdot 10^{-3} \cdot \sin \theta v + 5.61 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 2.69 \cdot 10^{-2} \cdot av + 1.10$	0.756
M・車両総重量・勾配	$E_{NOx} = -1.66 \cdot 10^{-6} \cdot Mv + 2.33 \cdot 10^{-6} \cdot \sin \theta Mv + 6.96 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 5.69 \cdot 10^{-6} \cdot Mav + -2.55 \cdot 10^{-3} \cdot av + 1.09$	0.791

1秒集約データの分析結果。速度v, 加速度av

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 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	$E_{PM} = -6.53 \cdot 10^{-3} \cdot v + 2.16 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 4.03 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.25$	0.6836
M・車両総重量	$E_{PM} = -8.25 \cdot 10^{-7} \cdot Mv + 1.96 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 6.42 \cdot 10^{-3} \cdot Mav + 3.84 \cdot 10^{-4} \cdot av + 0.21$	0.6841
M・勾配	$E_{PM} = -6.68 \cdot 10^{-3} \cdot v + 1.19 \cdot 10^{-4} \cdot \sin \theta v + 2.16 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 3.98 \cdot 10^{-3} \cdot av + 0.25$	0.6840
M・車両総重量・勾配	$E_{PM} = -8.42 \cdot 10^{-7} \cdot Mv + 1.03 \cdot 10^{-6} \cdot \sin \theta Mv + 1.96 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 6.31 \cdot 10^{-7} \cdot Mav + 4.21 \cdot 10^{-4} \cdot av + 0.21$	0.6842

1秒集約データの分析結果。速度v, 加速度av

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)

(2) 排出係数の検証

(a) 実測値と予測値の比較

(1)で推定した速度・加速度・勾配・車両総重量を説明変数とする推計式を用いて求めた排出量の予測値と実測値の比較を、NOxについては図-10、

PMは図-11にそれぞれ示す。

NOxの実測値は、速度と加速度のグラフ(図-12、図-13)を重ね合わせた形状をとり、排出量の小刻みな上下動は加速度に、緩やかで大きな上下動は速度の影響を受けているが、どちらかという速度の影響を強く受けている。予測値は、急激な加速度の変動に対して応答性が悪く、実測値よりも上下に抑えられ、特にギアが切り替わる直前のエンジン回転数の高い状態で最大値をとる実測値を再現できない。しかしながら、この他の領域、例えばトップスピード(60 km/h)で加速度の変化が少なく排出量が高止まりしている箇所では、概ね良好な再現性が得られている。一方、PMの実測値もNOxと同様に速度と加速度の影響を受けているが、NOxと異なる点は、速度よりも加速度の影響を強く受けていることにある。予測値は、速度の影響が卓越している領域において比較的良く整合するが、急激に加速度が変動する箇所では、NOx以上に誤差が大きい。NOxと同様、特にギアが切り替わる直前のエンジン回転数が高い状態において、実測値と予測値の差はより拡大している。

(b) 予測誤差の分布

実測値と予測値の誤差(予測誤差)と速度、加速度、勾配、車両総重量との関係を整理した。NOxの予測誤差は、加速度や勾配の影響は受けず、速度や車両総重量の影響を受ける。予測誤差は速度が増加するほど負の方向に拡大し、また、車両総重量が空載から満載へと増加するほど正負両方向、特に正の方向には角状に突出している(図-14、15)。一方、PMの予測誤差は概ねNOxと同様の傾向を示すが、加速度の影響を受ける点のみ異なっている(図-16、17)。加速度が0 km/h/s近辺では誤差が正の方向に大きく、逆に、加速度が1-4 km/h/sでは負の値が多くなる。

NOx、PMとも予測誤差が速度の増加につれ負の方向に拡大する理由は、積載条件が満載の際に角状に出現する誤差にある。パラメータの推定は全データで行っていることから、最小二乗を求める際に、これらのデータの影響が大きくなる。図-14、15を比較すると、この角状の誤差は満載時にのみ3箇所で見られる。これは、3速、4速、5速へとギアを切り替える直前のエンジン回転数が高い状態を示している可能性が高く、また、積載負荷が増すほど

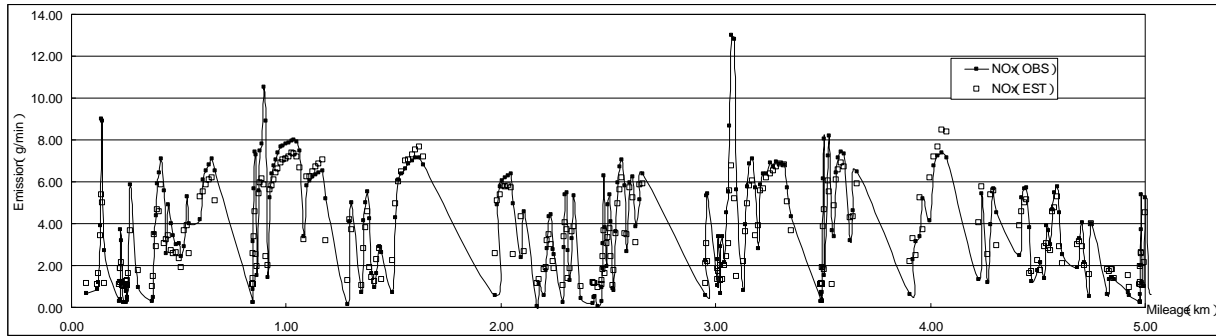


図 - 10 排出係数を用いた予測値と実測値の比較 (NOx)

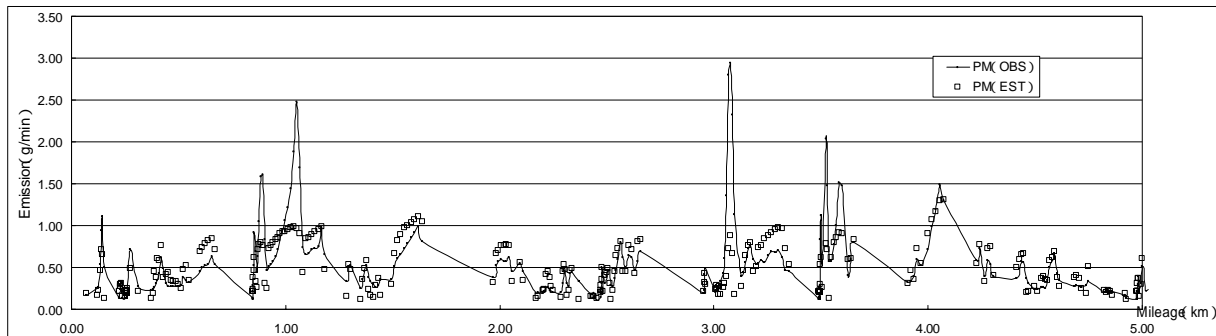


図 - 11 排出係数を用いた予測値と実測値の比較 (PM)

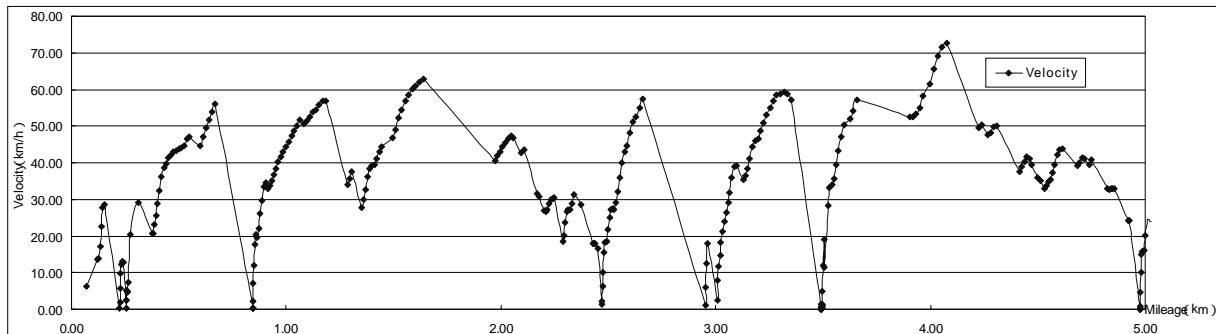


図 - 12 実走行時の速度変化

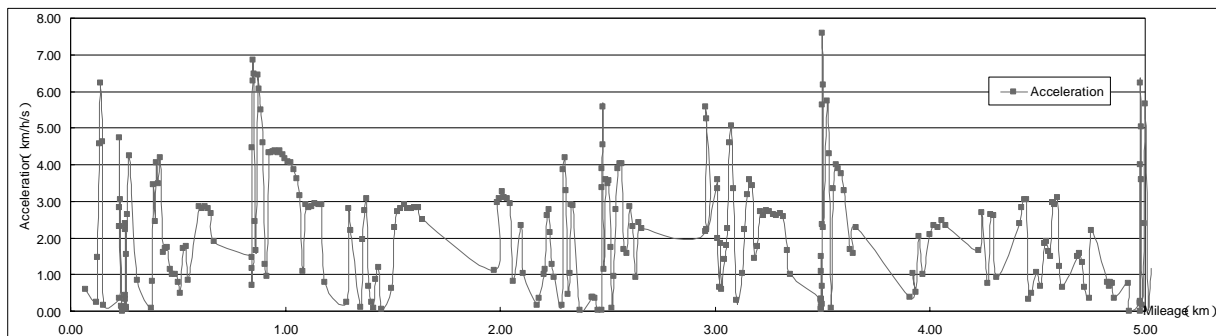


図 - 13 実走行時の加速度変化

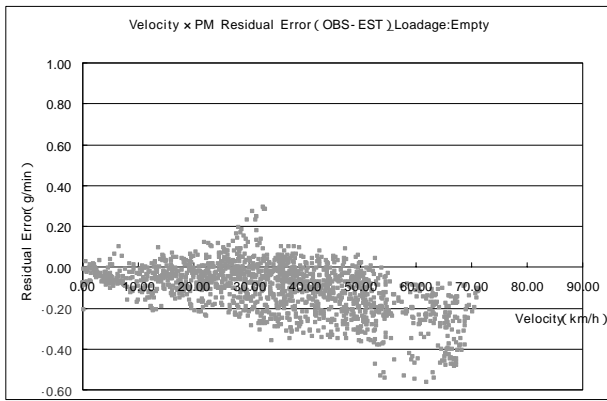


図 - 14 NOx 予測誤差と速度の関係 (空載時)

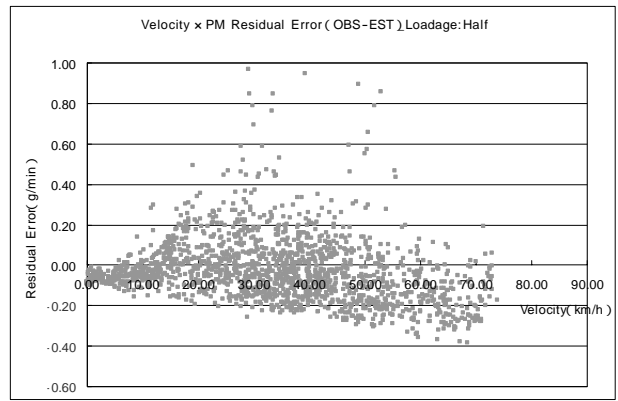


図 - 16 PM 予測誤差と速度の関係 (半載時)

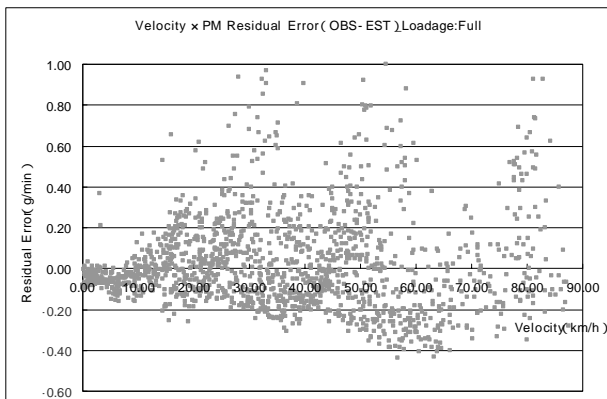


図 - 15 NOx 予測誤差と速度の関係 (満載時)

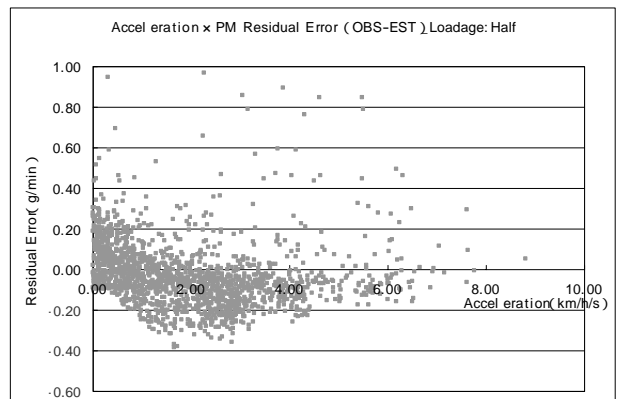


図 - 17 PM 予測誤差と加速度の関係 (半載時)

エンジン回転数が高くなることを示唆している。

(c) 既存の排出係数との比較

東京都³⁾および環境省⁴⁾の排出係数との比較結果を表 - 4、5 に示す。東京都は平成 6 年式のディーゼルトラック直噴 2.5 t 超の原単位を、環境省は平成元年式のディーゼル直噴 5 t 超の原単位を選択し、それぞれ比較対象とした。車両総重量は 5.78 t と設定し、本稿の排出係数推定式への代入が必要な加速度は 0.5 km/h/s とした。

NOx については、10 km/h 以下および 70 km/h 以上で過大な傾向を示すが、20~60 km/h の間では比較的近似した値をとる。PM については全般的に高めに推定され、特に、10 km/h 以下および 70 km/h 以上で過大な傾向である。この原因としては、計測した車両の特性が考えられる。土木研究所⁴⁾において実施した排出量調査では、本稿と同一車両について計測を行っているが、この車両の PM 排出量は、同クラスの重量貨物車と比較して排出量が多くなる傾向を示していた。したがって、本稿の排出

表 - 4 NOx 排出係数の比較

速度 (km/h)	本稿の排出原単位	東京都	環境省	備考 ※環境省の速度区分
10	8.929	4.439	4.046	10~15km/h
20	3.785	3.318	3.352	15~25km/h
30	2.904	2.850	2.890	25~40km/h
40	2.651	2.589	2.890	25~40km/h
50	2.700	2.445	2.428	40~60km/h
60	2.941	2.387	2.428	40~60km/h
70	3.328	2.404	1.965	60~80km/h
80	3.838	2.485	1.965	60~80km/h

表 - 5 PM 排出係数の比較

速度 (km/h)	本稿の排出原単位	東京都	環境省	備考 ※環境省の速度区分
10	1.108	0.358	0.462	10~15km/h
20	0.514	0.272	0.405	15~25km/h
30	0.363	0.237	0.347	25~40km/h
40	0.340	0.214	0.347	25~40km/h
50	0.383	0.202	0.347	40~60km/h
60	0.470	0.191	0.347	40~60km/h
70	0.593	0.185	0.347	60~80km/h
80	0.747	0.179	0.347	60~80km/h

係数が、同クラスの車両の排出量を平均して求める東京都や環境省の排出係数と比較して高くなることは、妥当であるといえる。

以上の分析より、(1)で推定した排出係数の推定

式は概ね良好な再現性を有しており、また、他の排出係数との比較においても、多くの速度域で同様の値をとることから、実用性のある排出係数を得ることができた。

しかし、加速度が急激に変化し、エンジン回転数が高い領域において再現性が低くなる傾向があり、また、低速・高速域で他の排出係数と比較して高めの値となるなど、改良の余地も残されている。今後の課題として、加速度やエンジン回転数の影響が強く配慮されるように説明項を工夫するなど、再現性の高い排出係数推定式を検討することが考えられる。

5．排出原単位その他車種への展開

前述の排出係数推定式は、1車種についてのみ検討したものであり、排出量推計の実用にあたっては、他車種の推定式を求める必要がある。しかし、同様の詳細な調査を行うためには、多くの時間と費用がかかるため、早急に整備するためには他の方策を模索する必要がある。そこで本稿では、リモートセンシングのデータを活用した他車種への展開方法について検討を行った。

(1) 車種別排出量と速度・初度登録年度との関係

本節と次節では、他車種への展開に先立ち行ったリモートセンシングの精度検証について述べる。

リモートセンシングの計測結果から推計したディーゼル貨物車のNO排出量と速度の関係を図-18に整理する。2本の折れ線は、東京都³⁾や環境省⁴⁾の平均車速モデルによる排出係数から求めたものである。データが20~30 km/hの速度域に集中していることもあり、速度と排出量の間には他の排出係数のように明瞭な関係は見えてこない。しかしながら、多くのデータが東京都や環境省の排出係数を挟んで分布しており、リモートセンシングの計測結果による排出量推計値は、これらの排出係数と同じオーダーで計測されていることがわかる。また、PM排出量と初度登録年（排ガス規制年）の関係をみると（図-19）、初度登録年が古いほど排出量が多く、偏差が大きい傾向が見られ、時間の経過とともに維持管理の程度や走行距離の違いを反映して排出量が大きく異なるという一般的な見解と合致した結果が得られている。

しかし、図-18を再度みると、オーダーが同じ

とは言え、同一の車種・速度において排出量に幅がある。この幅は、実際の排出量の差であるのか、それとも計測機器の精度の問題なのか、このデータだけでは判断が難しい。そこで、リモートセンシングと車載型計測装置を同時に計測することで、リモートセンシングの精度を検証した。

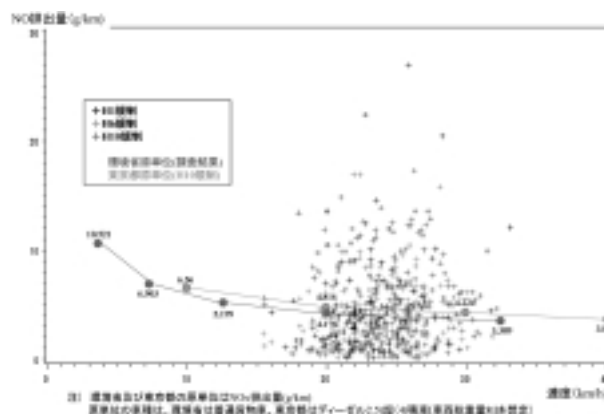


図 - 18 NO 排出量と速度の関係

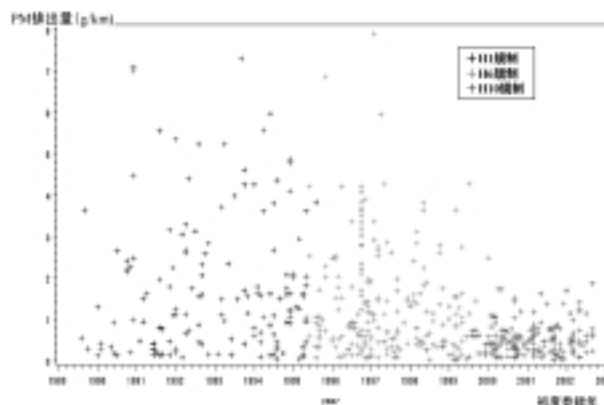


図 - 19 PM 排出量と初度登録年度の関係

(2) 車載型計測装置との同時計測による精度検証

様々な速度・加速度におけるリモートセンシングの計測精度を確認するため、車載型計測装置で排ガス濃度を計測している車両をリモートセンシングの前を通過させ、両者の排ガス濃度を比較した。速度や加速度は、走行開始位置とアクセル開度を調節することで、5~80 km/hの8通りの速度と、5通りの加速度を設定した。なお、リモートセンシングは燃焼方程式を用いてNO分子モル数(分子数)を測定しており、過剰空気存在を考慮していない。一方、車載型計測装置は過剰空気希釈された排ガス濃度を測定している。したがって、両者の比較にあたっては、車載型計測装置から得られる濃度を空燃比で

「過剰空気を除いた濃度」に換算して比較している。

図 - 20 は全計測データを対象として両者を比較したものである。多くのデータが原点を通る傾き 1 の直線の周辺に集まっており、回帰直線の傾きも 0.75、R sq も 0.6 と両者に相関性が見られる。加速度別に比較を行ったところ、アクセル開度が大きい（加速度が大きい）場合には相関性が低いものの、小さい（加速度が小さい）場合は R sq が 0.85 と高く、高い相関性が確認された（図 - 21）。したがって、リモートセンシングの計測精度は、加速度が大きい状況では不確かな部分も残るが、概ね良好であることを確認した。

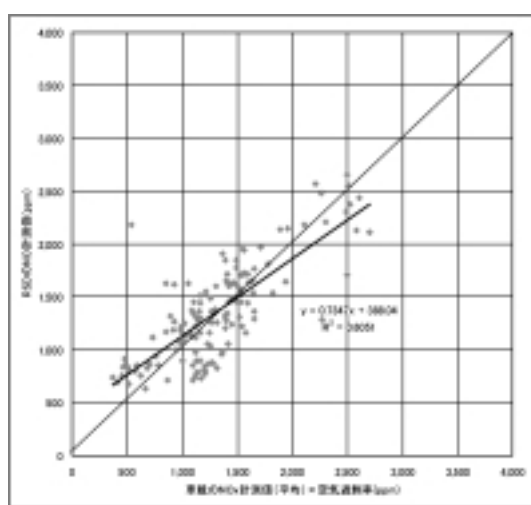


図 - 20 両計測装置の比較（全サンプル）

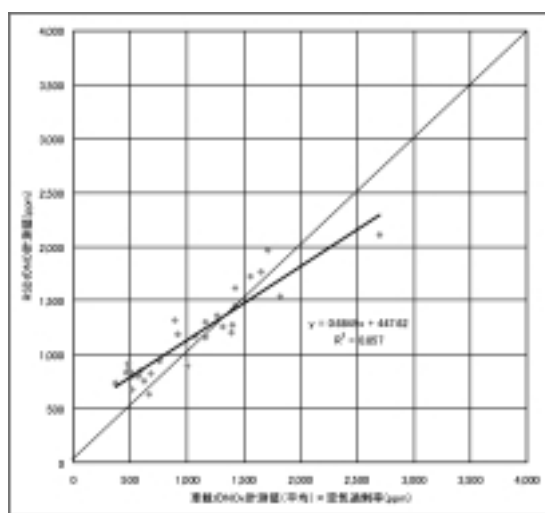


図 - 21 両計測装置の比較（加速度 0）

(3) 他車種への展開

前節の分析で、リモートセンシングの精度は検証されたので、(1)の分析に用いたデータを利用して、

ディーゼル貨物車の排出量を基準とした他の車種の比率を求めた。本稿では、まずガソリン乗用車について検討を試みた。

ディーゼル貨物車の NO 排出量とガソリン乗用車の NO 排出量の比率を、速度・加速度別に求めたものが表 - 6 である。表 - 6 は速度・加速度別の両者の平均値から比率を求めたものである。ただし、乗用車の平均値は排出量分布に偏りが見られるため、上位 25% のデータを除外して平均を求めた。速度が 20 km/h 台、加速度が 0~7 km/h/s では、ガソリン乗用車はディーゼル貨物車の 0.13~0.20 倍となり、30 km/h 台（加速度 4~6 km/h/s）では 0.20~0.27 倍となる。したがって、20 km/h 台での比率をおおよそ 0.175 倍程度と考えると、ガソリン乗用車の NO 排出係数推定式は式 6 と表すことができる。しかし、表 - 7 に示すように各速度・加速度域の値は幅があり、例えば、ガソリン乗用車の速度 20 km/h、加速度 5 km/h/s では平均値を基準に 0.1%~300% の幅があり、平均値の比率を適用することについては、今後も妥当性の検証に加え、異なる推計方法の検討も必要である。

$$E_{NOx} = -2.91 \cdot 10^{-7} \cdot Mv + 4.08 \cdot 10^{-8} \cdot \sin \theta Mv + 1.22 \cdot 10^{-6} \cdot v^3 + 1.00 \cdot 10^{-6} \cdot Mav - 4.46 \cdot 10^{-4} av + 0.19 \dots \dots \dots (6)$$

E_{NOx} : 排出係数 (g/min) v : 車速 (km/h) a : 加速度 (km/h/s)
 M : 車両総重量 (kg) θ : 道路勾配

表 - 6 ガソリン乗用車とディーゼル貨物車の比

		[g/km]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
		km/h/s	km/h/s	km/h/s	km/h/s	km/h/s	km/h/s	km/h/s	km/h/s
ガソリン乗用車 ^{a)}	20km/h	0.12	0.25	0.41	0.65	0.89	1.14	1.01	1.47
	30km/h					0.61	1.01	1.30	1.47
ディーゼル貨物車 ^{b)}	20km/h	0.83	1.87	2.33	3.93	4.74	5.73	6.56	8.52
	30km/h					3.07	3.68	5.05	6.53
比率 a)/b)		0.15	0.13	0.18	0.16	0.19	0.20	0.15	0.17
						0.20	0.27	0.26	0.22

表 - 7 排出係数の範囲（ガソリン乗用車、NOx）

		[g/km]						
速度	加速度	N	平均	最小	最大	中央	標準偏差	
20km/h	0km/h/s	26	0.124	0.004	0.402	0.077	0.111	
	1km/h/s	19	0.248	0.001	0.629	0.212	0.188	
	2km/h/s	54	0.409	0.002	1.253	0.294	0.348	
	3km/h/s	127	0.646	0.006	1.878	0.481	0.530	
	4km/h/s	300	0.887	0.004	2.700	0.617	0.783	
	5km/h/s	322	1.138	0.001	3.513	0.753	1.015	
	6km/h/s	168	1.005	0.003	3.275	0.750	0.867	
7km/h/s	51	1.469	0.024	4.055	1.037	1.071		

6. 推計した排出係数の適用事例

ここでは、横浜青葉 IC のランプ部分における排

出係数の適用事例を示す。ランプ部を図 - 22 に示す区間に分け、本稿の排出係数と環境影響評価の排出係数を用いて排出量を推計し、実測値と比較した。環境影響評価の排出係数を用いた推計では、実測した速度から分割区間の平均速度を推計し排出係数を求めている。表 - 8 に結果を示す。NO_x、PM とともに本稿の排出係数を用いた方がより実測に近い値をとり、IC や交差点など加速走行区間を含む排出量推計では本稿の排出係数が有用であることが確認された。



図 - 22 東名横浜青葉 IC の区間分割

表 - 8 推計方法による排出量推計結果の比較

	区間				(単位:g)
	0→a	a→b	b→c	c→d	区間計
NO _x 実測値	1.81	0.61	0.19	0.89	3.49
NO _x 本稿の排出係数	1.37	0.93	0.45	0.76	3.52
NO _x アセス排出係数	0.90	0.63	0.17	0.49	2.20
PM 実測値	0.37	0.18	0.06	0.18	0.79
PM 本稿の排出係数	0.23	0.19	0.08	0.16	0.66
PM アセス排出係数	0.23	0.15	0.04	0.10	0.51

7. 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 NO_x、PM 排出係数の推定式を提案した。ディーゼル貨物車 1 車種については、いくつかの課題があるものの、実用に耐えうる排出係数が提案できたと考えている。一方、その他の車種については、リモートセンシングを用いた簡易式の推計を試みたが、前述のように課題が多く、今後の更なる検討が必要である。他車種への展開については、現在、シャーシダイナモ試験で計測した 7 車種 41 台のデータを用いた展開方法を模索している

ところであり、今後の研究成果に期待されたい。

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。車両の詳細な走行状態は交通マイクロシミュレータを用いた予測が可能となるが、この予測結果に対応し得る排出係数がなく、環境改善効果の正確な推計は困難である。この課題に対応するために、当面は多くの車種について排出係数を簡易に推定し、精緻な排出係数は時間をかけて計測・分析を行う 2 段階の研究フレームが有効であると考えられる。

本稿は、土木学会道路利用の効率化及び環境負荷軽減のための ITS 研究小委員会 WG 2.1 の活動の一部として行った筆者らの研究⁵⁾⁻⁸⁾をまとめたものであり、計測・分析にあたっては(社)土木学会、国土交通省国土技術政策総合研究所、(株)数理計画、(株)堀場製作所、イー・エス・ピージャパン(株)他関係各位にご協力頂いた。ここに感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) Lee *et al.* : A Microsimulation Model of CO₂ Emissions from Passenger Cars - Model Framework and Applications - , *Proceedings of the 80th Transportation Research Board Annual Meeting*, Paper No.01 - 2231, CD - ROM 2001
- 2) Oneyama *et al.* : Estimation model of vehicle emission considering variation of running speed, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 4, No. 5, October, 2001
- 3) 計量計画研究所：都内自動車走行量及び自動車排出ガス量算出調査報告書（東京都委託），2001．
- 4) 野村総合研究所：自動車排出ガス原単位および総量に関する調査（環境省委託），1998．
- 5) 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．
- 6) 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．
- 7) 馬場剛・高井嘉親：リモートセンシングデバイスによる排ガス計測の検証，第 45 回大気環境学会年会講演要旨集，pp 697，2004．
- 8) 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．