

路側 SPM 濃度計測によるディーゼル車排出係数の逆推定手法に関する研究

— 途上国での適用を念頭に —

建設工学専攻 502135
土木計画学研究 指導教員

こいずみけんいち
小泉 健一
岩倉 成志

1. 研究の背景と目的

マニラやバンコクなど途上国の大都市部では自動車を排出源とする大気汚染が深刻な問題になっている。その原因に自動車の不十分なメンテナンスや、道路容量の不足に伴う慢性的な渋滞があげられる。

現在、我が国や欧米等の先進国では交通マイクロシミュレーションを活用した大気汚染改善施策の調査研究が盛んに行われている。車一台一台のミクロな車両挙動に基づき分析するため、信号サイクルの変更やレーン設定の変更等、局所的な交通政策効果を評価でき、時間分解能も非常に高い。よって SPM 排出係数も秒単位の車両挙動に応じて変動するモデルを構築することができれば、シミュレーションのパフォーマンスを向上させることができる。先進国での排出係数モデルの推定は、シャーシダイナモ試験から得たデータをもとに作成することが一般的である。しかし、途上国での導入は試験装置が非常に高価であること、メンテナンスの負担の大きいことから試験装置の導入の障壁は高いと考える。

このため、本研究では安価な計測方法で、かつ自動車のテールパイプから直接測定した排出係数に極力近似的な値が得られる排出係数モデルの推定方法の検討を目的とする。

具体的には、併用前の道路で一台のディーゼル車を走行させ、車から排出される SPM 濃度を路側に設置したデジタル粉塵計によって計測し、観測された SPM 濃度から風向風速等を考慮して排出係数を逆推定するという試みである。この方法はデジタル粉塵計やその他の計測機材一式をあわせても 150 万円強で準備することができる。

2. 路側 SPM 濃度からの逆推定手法

大気拡散式を利用した排出係数の逆推定手法を考える。大気拡散式は、発生源や気象条件から SPM 排出濃度を関数形として与える解析解モデルと数値で求められる数値解に二分できる。

本研究では計算が容易で、一般的に利用されている解析解モデルである JEA 線源煙拡散式 (環境庁, 1982) により、SPM 排出係数の逆推定を試みた。計算式と説

明図を以下に示す。

$$Ql = \frac{C(x, z) \cdot \sqrt{u \cdot \cos \theta}}{A} \cdot \left[\frac{\sqrt{B}}{W(x; y_1, y_2)} \right] \quad (1)$$

$$A = 4.815 \exp(-2.8 \frac{L}{u \cdot \cos \theta})$$

$$B = (x + x_0)^2 + 50.3 \cdot z^2$$

$$W(x; y_1, y_2) = \text{erf}(0.026 \cdot \sqrt{B} y / \sqrt{y_1}) - \text{erf}(0.026 \cdot \sqrt{B} y / \sqrt{y_2})$$

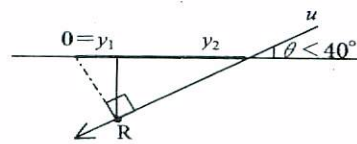


図-1 JEA 線源煙拡散式の概略図

Ql : 線源排出強度 $C(x, z)$: 計測地 R での濃度 u : 風速
 θ : 線源と風向のなす角 x : 計測地と線源までの垂直距離
 z : 計測地の高さ x_0 : 初期拡散(5m) L : 放射収支量
 y_1, y_2 : 計算対象区間の両端の座標。ここでは y_2 を車のテールパイプまでの距離

上記の式 (1) は平行風時 (風速が 1m/s 以上で、線源と風向のなす角度が 40° 未満のとき) に適用されるものである。

式(1)より求められた $Ql(\text{g/m/s})$ に一秒間の走行した距離を乗じて、 $E_{\text{spm}}(\text{g/s})$ とすることで、テールパイプから直接測定した排出量と等価になる。次に E_{spm} を車の速度と加速度とによって表現する排出係数モデルの作成方法について述べる。

SPM 排出量 E_{spm} はエンジン出力 (エンジン回転数 $N \times$ トルク T) に比例することがわかっている。トルク T は全走行抵抗 R (転がり抵抗 R_r , 空気抵抗 R_a , 勾配抵抗 R_g , 加速抵抗 R_i の総和) によって表される。

$$\ln(E_{\text{spm}}) = \alpha NT = C_0 + C_1 NR_r + C_2 NR_a + C_3 NR_g + C_4 NR_i \quad (2)$$

パラメータ: $\alpha, C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$

ただし、アイドリング時 $R_r = 0$

3. 逆推定手法の検証データの収集

3.1 路側調査

他の車両の SPM 排出量の影響を避けるため、開通前

の道路を4tトラック（積載量0）を走行させ、路側に計測機材を設置し、データを1秒毎に計測、記録した。また、渋滞時の走行形態を仮定しているため、車速度を50km/hに限定し、10km/h～50km/hまでを10km/h刻みの定速走行し、同走行形態を反復し、計測を行った。

3. 2車載型データ(検証用)

路側調査と同車種のトラックに車載型計測器を搭載し、東京都内走行時のデータを0.1秒毎に計測、記録した。

4. 分析結果

路側データから逆推定はJEA線源煙拡散式は風向・風速の影響を強く受ける。一秒毎に変化する風向・風速に対応するために計測点Rを通り、風と直角な線が線煙源と交わる区間（図-1の太線部分）にトラックが走行しているときのみの84データを分析対象とした。

SPM排出特性とエンジン負荷とが比例関係にあることが知られている。10月17日の東京都内走行における実走行計測データ（積載量0t）17,068サンプルより、エンジン回転数とSPM排出量をギヤごとに分析した結果、トップギヤ使用時は相関が十分でないため、4速以下のデータでモデルを作成した。パラメータ推定結果を表1に示す。

また、路側データではトラックエンジン回転数の値が得られないため、車速度・加速度から重回帰により推定し、エンジン回転数推定モデルを構築した結果を以下に示す（決定係数 R^2 0.76）。

$$N = 796.5 + 20.12V + 69.43a \quad (3)$$

式(3)で得られる値を式(2)に代入して、路側データからの逆推定の検証用に構築しなおす。結果を表-4に示す。

近似している値もいくつかあるが、大幅にずれている値もある相関が0.66とあまり精度の良い結果は得られなかった。しかし、近似した値も推定しているため、可能性がないとは言えない。

5. まとめと課題

路側データから逆推定したSPM濃度と結果は精度の良いものではなかった。その要因として、計算対象による制約から減少してしまったためサンプル数を増やし、区間内は一律の濃度が出現するという仮定のもとに解析解モデルが構築されていること。また制約外の風向・風速時のデータサンプルを用い、瞬間的なデータの分析を連続的なデータで分析できるよう検討する。

表-1. 路側調査の概要

場所	藤沢厚木線 葛原付近(H17年開通予定) 片側各一車線の約400m
日時	H15年12月14日～17日
計測機材	デジタル粉塵計, 超音波風向風速計, ハイ・ヴォリューム・エアサンプラー, スピードガン, 地表面温度計
計測データ	SPM濃度, 風向, 風速, 車速度・加速度・地表面温度
備考	片車線250m区間を走行を1回とし, 定速度, 加速時の走行形態を計200回

表-2. 車載調査の概要

場所	東京都内 首都高, 246号を含む30km
日時	H14年10月16日～10月18日
計測機材	スモークメータ, カルマン流量計, GPS等
計測データ	SPM濃度, 車速度・加速度, エンジン回転数, 道路勾配
備考	都内ルートを1日に3回計9回

表-3. エンジン出力によるSPM排出決定係

	パラメータ	標準誤差	t値	R^2
C_0	-1.98	2.01×10^{-3}	-983.5	0.89
C_1	1.06×10^{-5}	5.56×10^{-8}	190.9	
C_2	1.18×10^{-3}	1.52×10^{-5}	77.7	
C_3	1.27×10^{-7}	1.73×10^{-8}	7.3	
C_4	2.30×10^{-7}	4.09×10^{-9}	56.2	

表-4. 推定エンジン回転数を組み込んだSPM排出決定係数

	パラメータ	標準誤差	t値	R^2
C_0	-1.91	3.47×10^{-3}	551.2	0.78
C_1	9.17×10^{-6}	8.69×10^{-8}	105.4	
C_2	7.62×10^{-4}	8.60×10^{-6}	88.5	
C_3	8.18×10^{-7}	1.83×10^{-8}	44.64	
C_4	2.55×10^{-7}	5.01×10^{-9}	50.84	

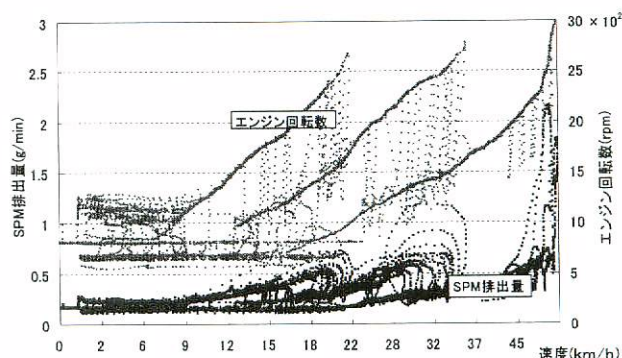


図-2 エンジン回転数とSPM排出量

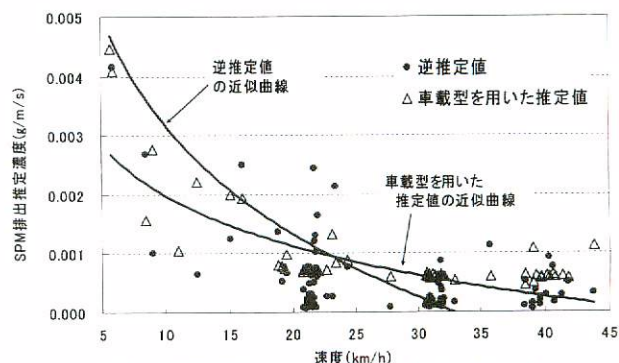


図-3 逆推定値と車載型を用いた推定値の比較