

移流ラグを考慮したブルームモデルによる大気濃度からの ディーゼル車 SPM 排出量推計モデルの推定手法

H02063 橋本浩二
指導教員 岩倉成志

1, 背景と目的

近年、開発途上国における大気汚染が深刻化し、汚染物質の一つである浮遊粒子状物質 SPM(大気中に浮遊している粒径 10 μ m 以下の粒子)の健康への影響が懸念されている。大気汚染改善のための政策評価には交通マイクロシミュレーションに排出量推計モデルを組み込む手法が研究されている。排出量推計モデルとは、被説明変数に SPM 排出量、説明変数に速度や加速度などを設定した回帰式である。先進国において排出量推計モデルを作成する際にはシャーシダイナモ試験により各種データを取得するが、開発途上国では技術的・経済的にその導入が困難である。

そこで本研究室が提案する手法が、路側 SPM 濃度から走行車両の SPM 排出量を逆推定して、排出量推計モデルを作成するという手法である。昨年度までは JEA 線煙源拡散方程式(以下 JEA 式)を用いて排出強度を逆推定してきた。しかし、SPM が車両から排出されて計測されるまでの時間差(移流ラグ)を考慮していない事が問題点として挙げられていた。そこで本研究は、その移流ラグを考慮する事による排出量推計モデルの精度向上を目的とする。

2, 路側 SPM 濃度を用いた排出強度の逆推定

2 - 1 大気拡散モデル

大気拡散モデルとは、汚染物質が排出されて大気中を移流・拡散する際の、排出強度、風向、風速、計測点の座標などを既知として、任意の地点での汚染物質の濃度を求める計算式である。大気拡散モデルは計算が比較的容易で一般的に広く使用されている解析解モデルと、微分方程式で表現され、解析解モデルより複雑な手順を踏む数値解モデルに分類される。走行時の SPM 排出量の逆推定には、解析解モデルに属する JEA 式(式 1)、アイドリング時には同じく解析解モデルに属する正規型ブルーム式(式 2)を使用する。なお(式 1)、(式 2)は計測点での濃度を既知として排出量 Q を求め

る式に変形したものである。また、JEA 式は計測点の風向・風速によって直角風、平行風、無風の 3 パターンに場合分けされ、(式 1)は平行風の式である。

$$Q = \frac{9.415C(x, z)\sqrt{u \cos \theta} \times l}{4.185 \exp\left(-\frac{2.8L}{u \cos \theta}\right) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{0.245}{\sqrt{y_1}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{0.245}{\sqrt{y_2}}\right) \right\}} \quad (\text{式 1})$$

Q: 排出量(g/s) C(x, z): 計測地での濃度(g/m³)
u: 風速(m/s) : 線源と風向の成す角(°) z: 計測地の高さ(m)
x: 計測地と線源までの垂直距離(m) L: 放射収支量(kW/m²)
erf(w): 誤差関数 y₁, y₂: 計算対象区間の両端の座標
l: 単位時間当たりの距離(m)
*(式 1)中のパラメータは浮遊粒子状物質検討会「浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル」を参照

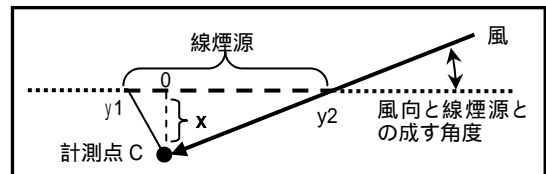


図 1 JEA 式の考え方(平行風)

$$Q = \frac{C(x, y) \pi \sigma_y u}{\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \quad (\text{式 2})$$

Q: 排出量(g/s) C(x, y): 計測地での濃度(g/m³)
x: 計測点の風下距離(m) y: 計測点の水平方向距離(m)
σ_y: 円周率 y: y 軸方向の拡散幅(m)

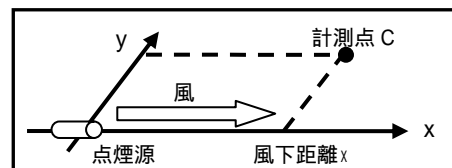


図 2 正規型ブルーム式の考え方

2 - 2 分子の平均速度を利用した移流ラグ補正

JEA 式では SPM が排出されてから計測されるまでの移流ラグを考慮することができない。この問題の解決策として、分子の平均速度(式 3)を利用した移流ラグ補正手法を提案する。

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (\text{式 3})$$

R: 気体定数(8.31451J/mol/K) T: 絶対温度(k)
σ_y: 円周率 M: SPM 粒子のモル質量(kg/mol)

車両のテールパイプから排出された SPM が水平方向に分子の平均速度で移動していると仮定し、y 軸方向のスカラー量「平均速度」と風向 のスカラー量「風速 u」の 2 つのベクトルを合成したものを SPM 移動速度として、計測点まで移動すると仮定する。SPM が計測点まで移動する時間 t を求め、路側 SPM 濃度、速度、加速度などを t 秒後のデータに変換する。

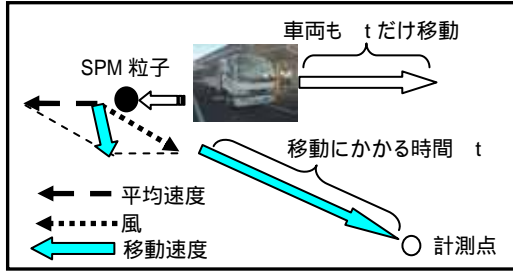


図 3 時間誤差と解決策

3, 調査概要

3 - 1 路側 SPM 濃度計測実験

ディーゼルトラックを神奈川県藤沢にある併用前の道路で走行させ、路側 SPM 濃度、速度、加速度、エンジン回転数、風向、風速などを 1 秒毎に測定する。計測点前を通過する時の走行パターンを加速、等速、減速の 3 通りで行い、通過する速度を 20, 30, 40, 50km/h の 4 パターンで測定した。また、アイドリング時のデータも取得した。

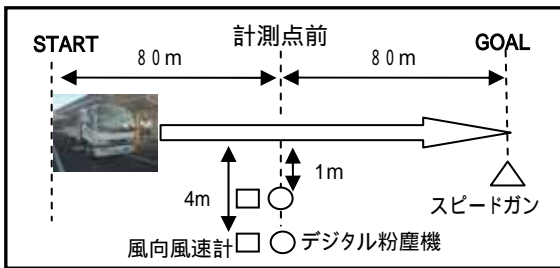


図 4 路側 SPM 濃度計測実験調査概要

3 - 2 車載型 SPM 排出量計測実験

本研究室と財団法人計量計画研究所が 2002 年に共同で行った実験である。路側実験で使用する車両と同型のディーゼルトラックに計測機器を搭載し、一般道走行時の SPM 排出量、速度、加速度などを 0.1 秒毎に測定した。この実験データを用いた排出量推計モデルの結果を、路側実験でのデータを用いた排出量推計モデルの結果の検証として使用する。

4, 排出量推計モデル

路側 SPM 濃度から逆推定した SPM 排出量から排出量推計モデルを構築する。使用する式は速度 v と加速度 A

を変数とする(式 4)と走行抵抗(転がり抵抗 R_r, 空気抵抗 R_a, 加速抵抗 R_i)を考慮した(式 5)である。

$$\ln(SPM) = \alpha_0 + \alpha_1 v + \alpha_2 A + \alpha_3 v A + \alpha_4 Di + \alpha_5 Dd \quad (式 4)$$

v: 速度(km/h) A: 加速度(km/h/s)
Di: アイドリングダミー(v=A=0 のとき 1, それ以外 0)
Dd: 減速走行ダミー(A<0 のとき 1, それ以外 0)

$$\ln(SPM) = \beta_0 R_r N + \beta_1 R_a N + \beta_2 R_i N + \beta_3 D_i N + \beta_4 D_r \quad (式 5)$$

N: エンジン回転数(rpm) R_r: 転がり抵抗(N)
R_a: 空気抵抗(N) R_i: 加速抵抗(N)
D_r: 走行ダミー(=A=0 のとき 0, それ以外 1)

5, 排出量推計モデル分析結果

移流ラグ補正前後の路側データ、検証用である車載型データを用いて、同一の排出量推計モデルを推定した結果を表 1 に示す。今回使用した式は、速度と加速度を変数とする(式 4)のみとした。車載型データによる推定結果と比較すると、 α_2 と α_5 の符号が逆転しており、有意な結果が得られたとは言い難い。原因の一つとして、排出された全ての SPM が計測点まで最短距離で移流するという強い仮定を用いている点が挙げられる。

表 1 排出量推計モデル分析結果

パラメータ (i 値)	車載型データからの推定結果 A	路側データからの推定結果 時間操作なし B	パラメータ比 B/A	路側データからの推定結果 時間操作あり C	パラメータ比 C/A
0	-1.88 -375.9 0.02011	-10.18 -34.9 0.09201	5.4	-9.51 -38.6 0.0714	5.1
1	167.01 0.0975	9.89 -0.199	4.6	8.58 -0.319	3.6
2	63.6 0.00135	-3.43 0.006201	符号の不一致	6.14 0.00848	符号の不一致
3	20.8 -0.219 -38.4	4.301 4.26 13.13	4.6	6.29 3.57 12.5	6.3
4	-0.0694 -12.9	-0.111 -0.408	符号の不一致	-0.5101 -1.87	7.4
相関係数	0.87	0.65		0.63	
サンプル数	31691	578		578	

6, まとめ

分析した結果、車載型データによる SPM 排出量推計モデルのパラメータ、相関に近づけることができなかった。しかし、本研究の移流ラグ補正手法の利点として、高価な実験機器が必要ない点が挙げられる。(式 3)のように、未知数はモル質量 M と絶対温度 T である。モル質量は、分子の構造が推測できれば、手計算で求めることが可能である。絶対温度は気温が分かればよいので、新たに用意する機器は温度計のみとなる。実験機器が安価であることから、本手法の開発途上国への適応可能性は大いにありうる。