

関東圏での PM_{2.5} 濃度の推定とリスク評価

Estimation of PM_{2.5} concentrations in Kanto region and its mortality risk

加藤 一史¹⁾

中西 準子¹⁾²⁾

KATO Hideshi

NAKANISHI Junko

1)横浜国立大学大学院環境情報学府(Yokohama National University)

2)産業技術総合研究所(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

[Abstract]

The recent epidemiological studies have reported that exposure to PM_{2.5} (particulate matters smaller than 2.5 μm in aerodynamic diameter) could cause various adverse health effects. Due to its physicochemical properties and various affecting factors, the quantitative determination of PM_{2.5} in air is considerably difficult and a great task for the purpose of health risk assessment. In this study, we estimated the PM_{2.5} concentrations in Kanto region by individually calculating concentrations of six major components (nitrate, sulfate, chloride, ammonium, elemental carbon (EC) and organic carbon (OC)) of PM_{2.5} using a dispersion model. Furthermore, based on the modeling results, the health risks caused by PM_{2.5} were estimated using a concentration-response function. The modeling results showed that average concentrations of PM_{2.5} for summer and winter in Kanto region were 3.0 and 2.9 μg/m³, respectively. The predicted PM_{2.5} concentrations for the selected cities in Kanto region were approximately one order of magnitude less than that observed. The increased mortality cases over 30 years associated with exposure to PM_{2.5} in Kanto region was estimated to be 438 .

1 . はじめに

近年の研究から PM_{2.5} (粒径 2.5 μm 以下の粒子状物質) の人体への健康影響が危惧されている。PM_{2.5} には多様な発生源から直接粒子として排出される一次粒子と、ガス状物質が大気中で光化学反応等により粒子化した二次粒子がある。また PM_{2.5} は、移流・生成過程で気温や湿度などの環境要因の影響を受けるため、大気中濃度を定量的に把握することが困難である。そこで本研究では PM_{2.5} の 80~90% を占める 6 成分 (EC, OC, Cl⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻) を対象に成分ごとに大気中濃度を推定し、推定した 6 成分を足し合わせることで PM_{2.5} 濃度を推計した。さらに、曝露反応関数を用いて PM_{2.5} による関東圏での死亡者数を推計した。

2 . 方法

2-1 排出量推計方法

PM_{2.5} の一次粒子および二次粒子前駆物質の発生源対象領域を関東圏の東西 180km × 南北 270km とした。主要発生源と対象物質を表 1 に示す。本推計では、全ての発生源について地表面

表 1 . 主要発生源と対象物質

主要発生源	EC	OC	HCl	NH ₃	NO _x	SO _x	NMHC
ごみ焼却場 ¹⁾²⁾			✓				
煤煙発生施設 ³⁾					✓	✓	
商業・住宅 ⁴⁾					✓	✓	
自動車 ⁵⁾⁶⁾⁷⁾	✓	✓			✓	✓	✓
船舶・航空 ⁵⁾⁶⁾⁷⁾	✓	✓			✓	✓	✓
機械 ⁴⁾					✓	✓	
工業・給油所 ⁴⁾							✓
農業 ⁴⁾				✓			✓
人体・自然 ⁴⁾				✓			

排出とし、排出データは主に 1998 年の値を用いた。

2-2 大気中濃度推計方法

(1) 骨格とするモデル

リスク評価で要求されるモデルの性能は、地域の代表値とできる程度の空間解像度を持ち、人の移動を考えた場合の時間帯別曝露を考慮でき、月平均程度の平均値を得られるものである¹⁰⁾¹¹⁾。上記の条件を満たす大気拡散モデルとして産業技術総合研究所で開発された AIST-ADMER を用いることにした。ADMER は 5 × 5km の空間分解能と 4 時間の時間分解能を持ち、月平均値や年平均値などの長期平均濃度が得られる。

(2) 二次生成粒子推計モデル

これまで SPM(粒径 10 μm 以下の粒子状物質)の長期平均濃度を求める際に下記の式が用いられてきた¹²⁾。

$$[SO_4^{2-}] = [SO_x] \cdot A_s \{1 - \exp(-K_{ts}t)\} \dots\dots\dots$$

$$[NO_3^-] = [NO_x] \cdot A_N \{1 - \exp(-K_{tN}t)\} \cdot P_{kNO_x} \dots\dots\dots$$

$$[Cl^-] = [HCl] \cdot A_L \cdot P_{kHCl} \dots\dots\dots$$

$$[OC] = [NMHC] \cdot A_c \{1 - \exp(-K_{Nc}t)\} \cdot P_{kNC} \dots\dots\dots$$

A_s, A_N, A_L, A_c : 前駆物質から二次粒子への換算係数

K_{ts}, K_{tN}, K_{NC} : 前駆物質から二次粒子への変換率

\dots, \dots : $SO_x, NO_x, NMHC$ の初期比率

$P_{kNO_x}, P_{kHCl}, P_{kNC}$: 粒子状物質存在率 (二次粒子の前駆物質への昇華率を差し引いた係数)

アンモニアについては同様の推計式が存在しなかったため、下記の式を導入した。

$$[NH_4^+] = [NH_3] \cdot P_{kn}$$

K、P に関しては環境庁のデータ¹³⁾を用いて 4 月～6 月を夏期、11 月～3 月を冬期として算出した。他のパラメータについては既存の値¹²⁾を用いた。

ADMER では化学物質が大気中で拡散する過程で変換時間を考慮していないため、上記の式をさらに単純化した式を ADMER に組み込み大気中濃度を推計した。

$$[\text{二次粒子}] = \dots \cdot [\text{前駆物質}]$$

反応式と一次元ブルーム式により前駆物質と二次粒子の濃度分布を推計した(図1)。図1より前駆物質と二次粒子のピーク濃度はほぼ一致していると考えた。

そのため二次粒子を前駆物質と同様に扱って良いと考えた。図1の0~300km(関東縦断距離)における前駆物質と二次粒子の平均濃度の比を \dots とした。

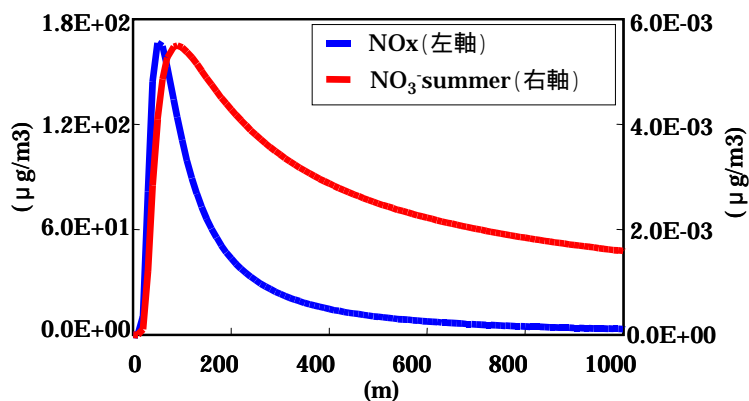


図1 . 前駆物質と二次生成粒子の挙動

(3) 気象モデル

ADMER 内蔵の 2000 年のモデルを用いた。

2-3 死亡数推計方法

曝露反応関数には HEI (Health Effect Institute) で用いられている下記の対数線形モデルを用いた¹⁴⁾。

$$\text{Mortality} = -[y_0\{\exp(-x)-1\}-1]\text{pop}$$

y_0 : 30 歳以上の非事故死亡者数 (平成 13 年)

: $\text{PM}_{2.5}$ の係数 ($=0.0046257=(\ln 1.12)/24.5$)

x : $\text{PM}_{2.5}$ の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

pop : 30 歳以上の人口 (ADMER 内蔵データを平成 13 年の人口割合で補正)

3 . 結果

3-1 排出量推計結果

メッシュごとに推計した関東全域における各物質の排出量の推計結果を表 2 に示す。

表2. $\text{PM}_{2.5}$ の一次粒子と二次粒子前駆物質排出量推計値

推計値(ton/year)	一次粒子		二次粒子前駆物質				
	EC	OC	HCl	NH3	NO _x	SO _x	NMHC
	29536	8301	49224	91192	417839	144125	684927

3-2 大気中濃度推計結果

表 2 の値を用い、 $\text{PM}_{2.5}$ に対する湿度の影響を考慮して大気中濃度の推計を夏期と冬期に分けて行った。 $\text{PM}_{2.5}$ の大気中濃度推計結果を図 2 に示す。夏期の平均濃度は $3.0(0.014\sim 23) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期の平均濃度は $2.9(0.008\sim 22) \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。関東 8 地点における $\text{PM}_{2.5}$ の夏期及び冬期の結果と実測データ¹⁵⁾との比較を図 3 に、夏期及び冬期の成分ごとの推計結果と実測データ¹⁵⁾との比較を図 4 に示す。 $\text{PM}_{2.5}$ の推計値は実測値よりも約 2~10 倍過小推計となった。夏期及び冬期において OC、 NH_4^+ は推計値と実測値が比較的良好に一致したが、EC はほぼ全地点で過小推計となった。夏期の SO_4^{2-} は 7~160 倍、冬期の NO_3^- は 2~100 倍過小推計となった。夏期の Cl は 3~70 倍過大推計となった。

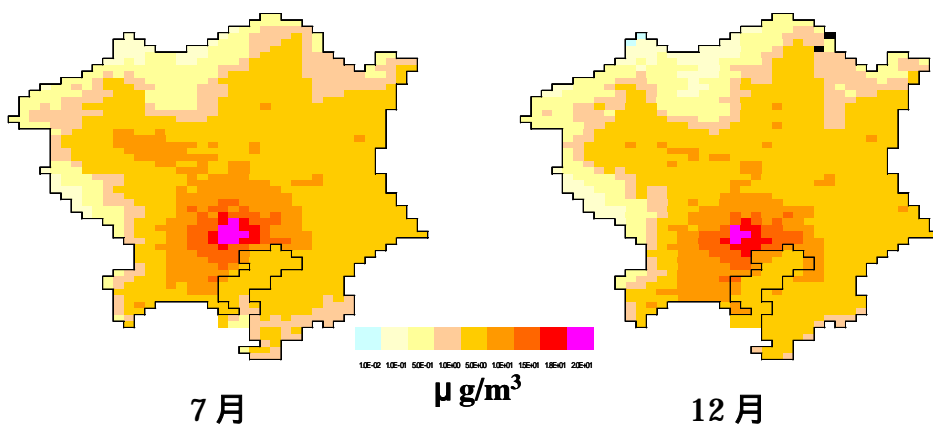


図 2 .関東圏の $\text{PM}_{2.5}$ 大気中濃度推計結果(1998 年度)

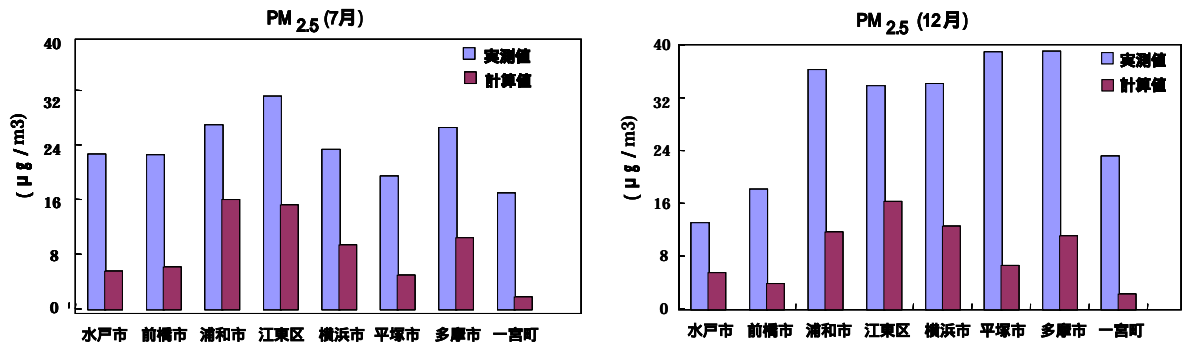


図3 . PM_{2.5}の実測値と推計値の比較(夏期と冬期)

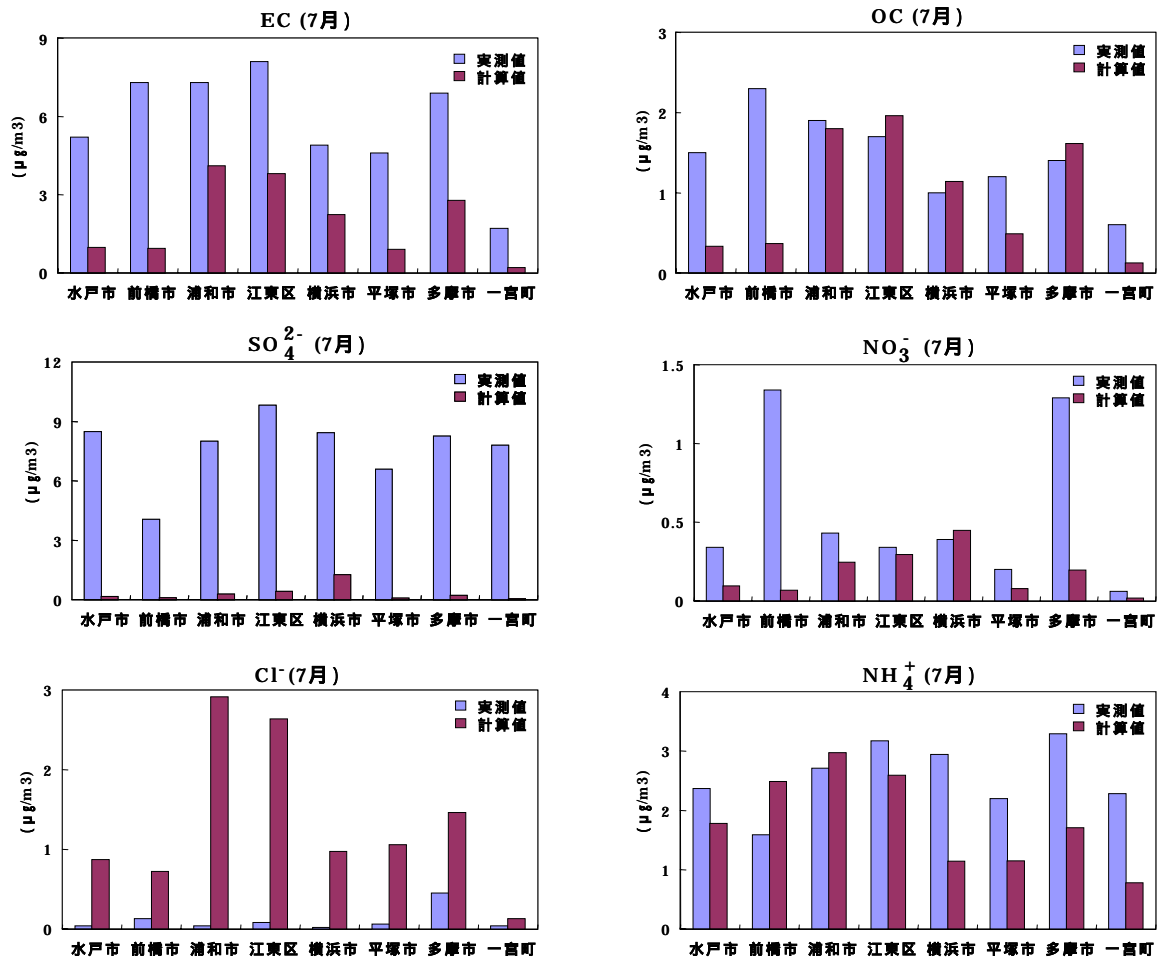
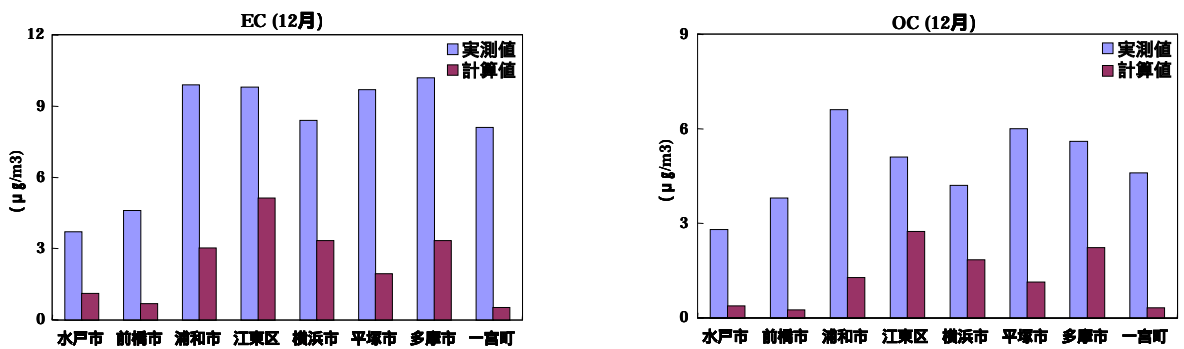


図4 (a) .成分ごとの実測値と推計値の比較(夏期)



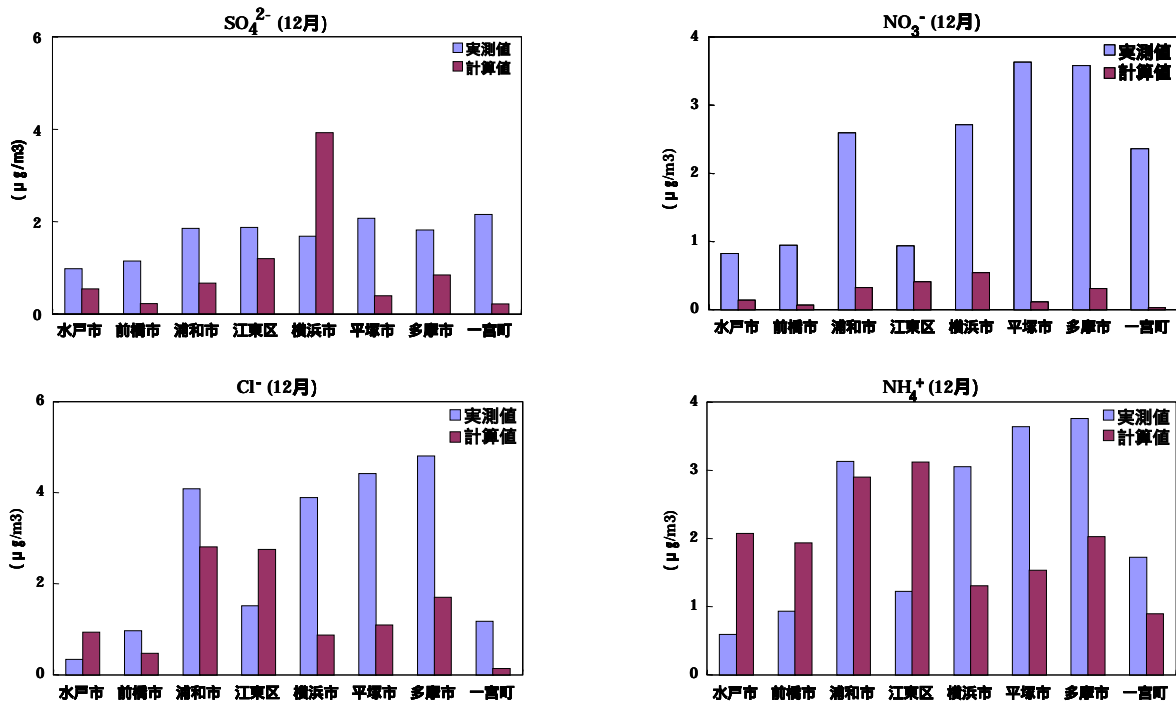


図 4 (b) . 成分ごとの実測値と推計値の比較 (冬期)

3-3 死亡数推計結果

図 2 で示した大気中濃度と 5×5km メッシュの夜間人口 (ADMER 内蔵データ) を用いて一年間の PM_{2.5} による 30 歳以上の死亡数をメッシュごとに計算した結果、1998 年度の死亡者数は 438 人となった。

4 . 考察

図 3 の PM_{2.5} を見ると夏期、冬期ともに計算値が過小である。ADMER の計算では移流・拡散を 4 時間で打ち切っているため、それ以上の移流・拡散による環境濃度への寄与分は過小となる¹⁶⁾。また、本研究で導入した二次生成推計モデルは前駆物質の発生源から離れた地域で二次粒子濃度が過小推定となる。表 2 の排出量推計値は他の文献値とほとんど変わらないことから、これら二つが全体的に濃度が過小になった主な理由と考えられる。

図 4(a)の夏期成分ごとの計算結果を見ると SO₄²⁻や Cl⁻の夏期固有の特徴を推計できていないことも計算結果が過小になった原因の一つであると考えられる。NH₄⁺は良い再現結果が得られたと考えられる。EC は分析方法が確立していないため炭化によって EC 濃度が約 2 倍程度過大に評価されている¹⁷⁾ことを考えると図 4 の EC は良い結果が得られた。OC と NO₃⁻は横浜市や江東区のような大都市では比較的良好な結果が得られたが、前橋市や一宮町のような郊外ではかなりの過小評価になってしまった。モデルの限界のほか小都市特有の発生源や地理的特徴を考慮する必要があるのかもしれない。

図 4 (b)の冬期成分ごとの計算結果を見ると NO₃⁻の冬期固有の特徴を推計できていないことも計算結果が過小になった原因の一つであると考えられる。EC、SO₄²⁻、NH₄⁺は良い再現結果が得られたと考えられる。OC、Cl⁻はモデルの限界によるものと考えられる。

PM_{2.5}による死亡者数は他の文献値と比較してかなり過小である。その主な理由は、大気中濃度推計値が過小であることである。本研究ではPM_{2.5}の大気中濃度の関東全域年平均値が約3 μg/m³となっており、一般環境と考えられる横浜国立大学で連続測定しているデータと比較した場合、約6倍過小である。また、用いる曝露反応関数の形や相対リスクにより推計死亡者数は大幅に異なることも考慮にいれなければならない。

5. まとめ

- (1) PM_{2.5}を主要成分ごとに大気中濃度を推計した。
- (2) PM_{2.5}の推計値は関東全域年間平均値で3.0 μg/m³であった。
- (3) PM_{2.5}による関東圏での死亡者数は1998年度で438人と推計された。
- (4) 過小予測の原因となるような季節特有の二次生成粒子モデルを導入しなければならないと考えられた。

6. 参考文献

- 1) 関東通商産業局(1996)、大都市域における浮遊粒子状物質調査報告書
- 2) 厚生省報道資料(1996)
- 3) 環境庁(1999)、大気汚染物質排出量総合調査
- 4) 環境庁(2000)、大気汚染物質排出量グリッドデータ整備業務報告書
- 5) ADMER 内蔵データ(2002)
- 6) 東京都(1995)、都内自動車交通量
- 7) 兼保直樹ほか(2002)、組成別 SPM 濃度シミュレーション・モデルの開発と初冬季高濃度大気汚染への影響、大気環境学会誌、37(3)、167-183
- 8) 関東通商産業局(1993)、東京湾地域 NO_x 調査
- 9) Cass et al(1982), Emissions and air quality relationships for atmospheric carbon particles in los angels, Carbon-Atmospheric Life Cycle,207-241
- 10) 東野晴行(2000)、大気環境シミュレーションモデルの現状と化学物質運命予測への適用上の課題、資源と環境、9(4)、239-246
- 11) 東野晴行ほか(2000)、化学物質運命予測モデルの開発、大気環境学会誌、35(4)、215-228
- 12) 環境庁大気保全局大気規制課監修(1997)、浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル
- 13) 環境庁(1994)、浮遊粒子状物質総合対策検討に係わる大気中のガス状物質実態調査
- 14) Mccubbin et al (2002), Livestock ammonia management and particulate-related health benefits, Environmental Science&Technology, 36(6), 1141-1147
- 15) 一都三県公害防止協議会(1999)、平成9年度関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告書
- 16) ADMER 講習会資料 (2002)
- 17) 溝畑朗(2002)、ディーゼル排気粒子の性状と環境大気中の濃度、第43回大気環境学会講演要旨集、100~103