

10. SPM 濃度が死亡率に与える影響評価—名古屋市を対象として—

An Assessment on Effect of PM10 Concentration on Premature Mortality Rate in Nagoya, Japan

鈴木涼太[#]、北田敏廣^{*}、酒井真雄^{*}、白井照美^{*}

Ryota SUZUKI[#], Toshihiro KITADA^{*}, Masao SAKAI^{*}, Terumi SHIRAI^{*}

ABSTRACT ; Effect of PM10 concentrations on premature mortality rate was investigated for Nagoya, Japan by using 9 years data from 1996 to 2004. Multiple regression analysis was performed. As a result, average age of the residents, temperature, and PM10 concentration were identified as important parameters explaining premature mortality rate, while NO₂ concentration was not. Based on the multiple regression model which obtained in this study, that about 17 premature deaths per 100,000 people per one year would be avoided was predicted for a reduction of annually averaged PM10 concentration by 10 $\mu\text{g m}^{-3}$, which was qualitatively consistent with an other approach by Ostro (1994)¹⁾.

KEYWORDS ; Air Pollution in Mega-City, Health Effect of Air Pollution, SPM, Mortality Rate, Nagoya

キーワード : 大都市の大気汚染、健康影響評価、SPM 濃度、死亡率、名古屋

1. はじめに

都市大気汚染の健康リスク評価は、大気汚染制御の価値を見積もるためにも重要である。特に、微粒子濃度については健康影響に関して閾値が無いという指摘もあり、定められた環境基準値の満足だけで健康リスク無しとは必ずしも言えないと考えられる。この微粒子（以下、SPM）について、北米、ヨーロッパを中心に広範な疫学的研究が行われその結果がまとめられている（例えば、Ostro, 1994¹⁾）。また、それらを基にジャカルタ等の発展途上国に対する大気汚染健康リスクの見積りも行われている。一方、（筆者らは必ずしも、この分野に対して精通している者ではないが）日本の都市を対象としたこの種の疫学的研究はあまり行われていないように思える。そこで、本研究は、第一歩として名古屋市を対象に、大気汚染常時監視の SPM（浮遊粒子状物質）濃度²⁾、気温²⁾ および区ごとの年死亡率データ³⁾ の 9 年分（平成 8—16 年度）を用いて年間死亡率と SPM 濃度の関係について重回帰分析を行ったのでその結果を報告する。

事故死、自殺、老衰を除いた死亡率に対する説明変数として、平均年齢、気温、NO₂濃度、SPM濃度を取り、上記データを用いて重回帰分析を行った結果、平均年齢、気温、SPM 濃度を説明変数とする回帰モデルがもっとも相関等が高い一方、NO₂についてはこれを加えることにより、いずれも相関が悪くなった。

得られた回帰式を用いて、SPM 濃度の年平均値を 10 $\mu\text{g/m}^3$ 減らすことにより、10 万人当たりの年死亡数を約 18 人減らせると推定された。この値は、Ostro(1994)¹⁾が北米やヨーロッパの諸都市に対する疫学的な調査結果をまとめた範囲にあるが、その高いほうの数値に属することが推定された。なお、名古屋市の 10 万人あたりの死亡数は約 500~600 人である。

2. 方法および使用データ

2. 1. 解析方法：死亡率と SPM 濃度

^{*}豊橋技術科学大学 エコロジー工学系 Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, 441-8580 Japan

[#]東京ガスエネルギー株式会社 Tokyo Gas Energy Co., Chuo-ku, Tokyo, 103-0016 Japan.

SPM 濃度が死亡率に与える影響を評価するために、名古屋市の区ごとの死亡率（名古屋市健康福祉年報－人口動態統計編³⁾）データと SPM 濃度データの関係について重回帰分析を行った。区の数 は 16 であるが、SPM 濃度が測られていない区もあり対象とした区数は 15 である。また、各種データのそろっている平成 8 年から 16 年を対象とした。図 1 に名古屋市の区分け（16 区）の概略と大気汚染測定局の分布を示す。

事故死、自殺、老衰を除いた区ごとの年間死亡数を、10 万人あたりの年間死亡率に換算し、この死亡率の説明変数として区ごとの平均年齢(H8～H16 年)、気温(H8～H16 年度)、SPM 濃度(H8～H16 年度)を考え、

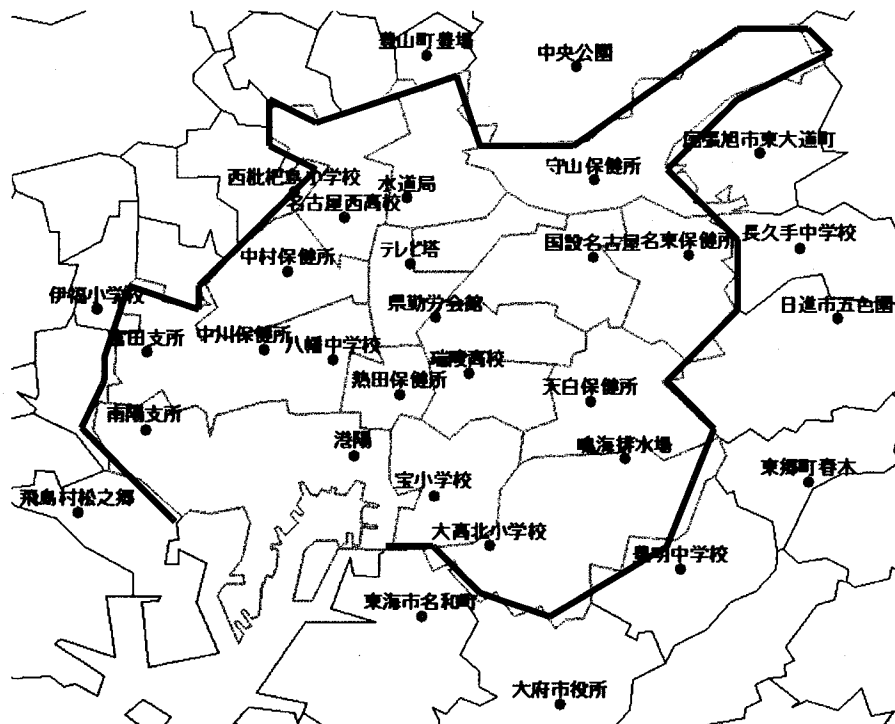
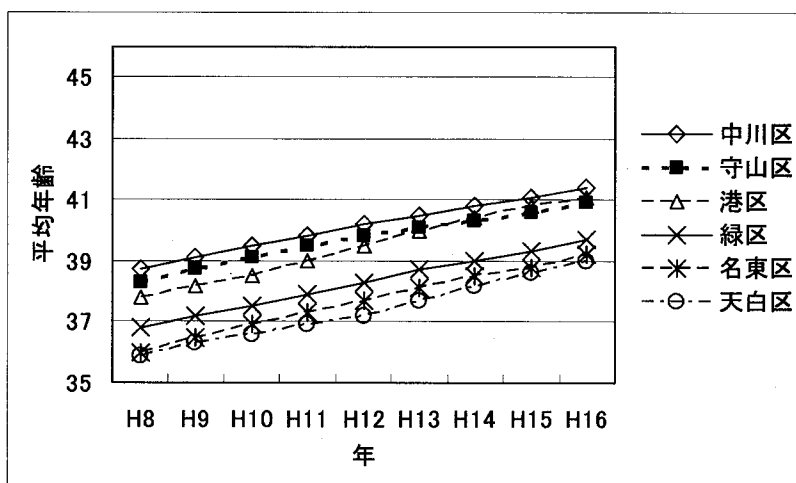


図 1. 名古屋市内（太線枠内）およびその周辺の大気汚染測定局。名古屋市内の線は区の境界を示す。

(1)式のように重回帰分析を行った。さらに、NO₂ 濃度（H8～H16 年度）についても、死亡率との関係を推定した。平均年齢が死亡率に密接に関わっていることは、データを少し見れば明らかであった。また、平均気温は北米やヨーロッパの研究でしばしば取り上げられている変数であり、分析に含めた。

$$y_i = ax_{1i} + bx_{2i} + cx_{3i} + d \quad (1)$$

ここに、 y_i ：自殺、事故死、老衰を除いた区ごと、年ごとの 10 万人あたりの年間死亡数（以下、“死亡率”と記す）、 x_{1i} ：区ごと・年ごとの平均年齢、 x_{2i} ：区ごとの年平均気温、 x_{3i} ：区ごとの年平均 SPM 濃度、 a, b, c ：係数、 d ：切片を表す。添字 i はデータの個数を表し、データは各区で年 1 個ずつある。



2. 2. 平均年齢

名古屋市健康福祉年報－人口動態

図 2. 平均年齢の経年変化（H8－16 年）例。

統計編等（1996～2004 年度）³⁾ は、名古屋市の平均年齢が、対象とした 9 年間で、どの区も 3 年前後高齢化していることを示す。図 2 は、例として元々平均年齢の低かった天白区、高齢化していた中川区等を含めていくつかの区の平均年齢の 9 年間の変化を示す。

老衰等の自然死を除いても、この平均年齢が死亡率（10 万人当たり年間死亡者数）と密接な関係があることは容易に想像できるところであり、平均年齢を死亡率の説明変数とした。この平均年齢と死亡率（ただし、老衰、事故、自殺死等を除く）の関係を、区ごとの 9 年間のデータを用いてプロットしたものが図 3 である。図より死亡率が平均年齢と極めて良い相関にあることがわかる。

この死亡率の説明変数として本研究で取り上げたその他の変数（気温、SPM 濃度、NO₂ 濃度）の影響が、近似的に年齢によらないと仮定し、重回帰分析を行った。

2. 3. 気温

気温は大気汚染の健康影響を論ずる多くの研究で取り上げられている変数である。死亡率、平均年齢等いずれも年値であるため、気温についても区別の年平均気温を説明変数とした。図 4 に年平均気温の経年変化の例を示す。年々変動のパターンは、どの区でもほぼ同じであるが、値そのものは最大で 1℃強の区間差があることを示す。

2. 4. SPM、NO₂ 濃度

本研究の主目的は SPM(浮遊粒子状物質；PM₁₀ に対応)濃度の死亡率に対する影響の検討であるが、その他の汚染物質として NO₂ を取り上げた。理由は、大都市の大気汚染物質の中で、環境基準値に対する適合度が問題となるのは、オキシダントを除いて、SPM と NO₂ であること

による。オキシダントの場合、環境基準適合率が、他の大気汚染物質に対して極端に低い、その環境基準は、“1 時間値が 0.06ppm 以下”と定められており、他の物質が 1 日平均値を問題にするのと少し性格を異にする。それだけ、高濃度の短時間暴露を問題とするということと解釈できる。したがって、今回の年平均値での議論になじまないと考え含めなかったが、今後の課題と考える。

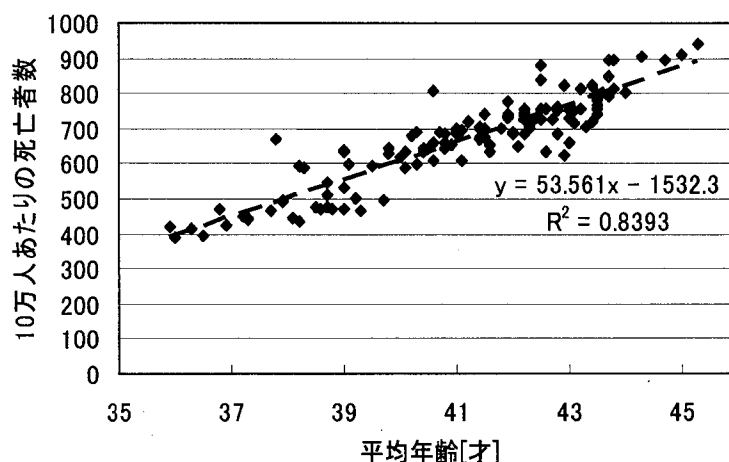


図 3. 名古屋市 16 区の平均年齢と死亡率（10 万に当たりの年間死亡者数；ただし、老衰、事故等による死を除く）の関係：平成 8 年～16 年。

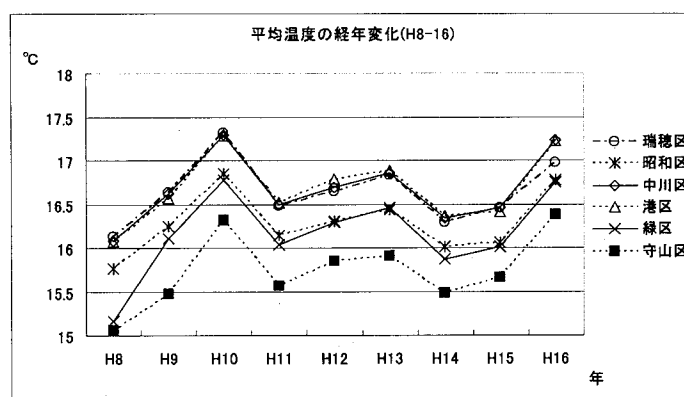


図 4. 年平均気温の経年変化例。

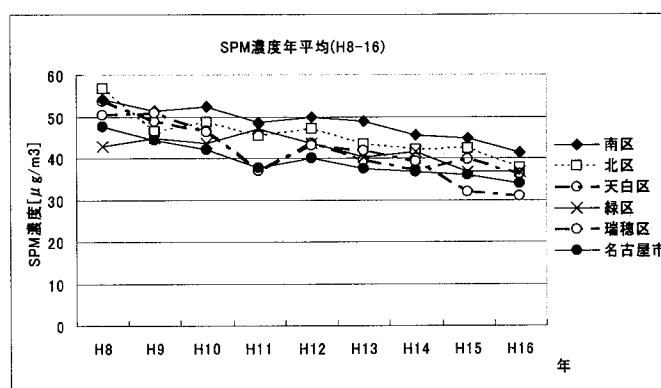


図 5 年平均 SPM 濃度の経年変化例。

図5に示すように、名古屋市全体の年平均SPM濃度はH8年の $47.7\mu\text{g m}^{-3}$ からH16年の $34.0\mu\text{g m}^{-3}$ まで減ってきている。むろん、各区も同様の傾向にあるが、濃度レベルには区の間で違いがある。例えば、図5より、H15年度についてみれば、南区(約 $45\mu\text{g m}^{-3}$)は瑞穂区より約 $13\mu\text{g m}^{-3}$ 濃度が高い。

図6は図5と同様の年平均NO₂濃度に関する経年変化である。H8年以来緩やかに減少していたものが、H16年度に急激に減った。これは平成12年以降始まった各種ガソリン車の排ガス規制、平成9年以降始まったディーゼル車に対する規制強化が重要な原因と考えられる。

なお、SPM濃度とNO₂濃度の相関であるが、双方の月平均値を用いて評価した結果、決定係数 $R^2=0.0655$ であり、必ずしも高い値ではなかった。

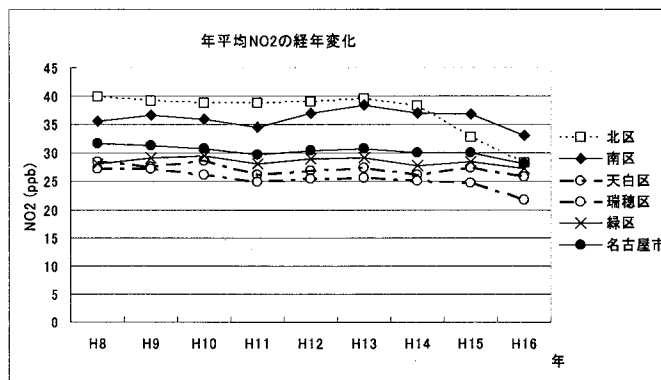


図6 年平均NO₂濃度の経年変化例。

3. 結果：SPM濃度と死亡率

表1に回帰分析の結果を示す。説明変数の数を考慮した相関関係の指標である自由度修正済み決定係数で比較すると、(I)年齢のみを説明変数とした場合より、(III)年齢+SPMを考慮したほうがわずかではあるが決定係数の値が良くなっている。すなわち、SPMを説明変数に加えるほうが、より相関が良い。また、(II)年齢+気温を説明変数とするよりも、(IV)年齢+気温+SPMと、さらにSPMを加えることにより相関が良くなることを示す。

表2に、モデル(I)~(IV)について、重回帰モデルの有意性検定(F検定)の結果を示す。表2に見られるように、モデル(I)~(IV)のすべてについて、 $10^{-57} \sim 10^{-56}$ であり、“この回帰モデルに意味無し”という帰無仮説は完全に否定されている。

表1 回帰分析結果

説明変数	式	決定係数 R^2	自由度修正済み 決定係数 R^2
(I) 年齢	$y = 55.1x_1 - 1590$	0.880	0.879
(II) 年齢+気温	$y = 54.4x_1 + 11.7x_3 - 1750$	0.882	0.880
(III) 年齢+SPM	$y = 576.9x_1 + 1.80x_2 - 1740$	0.887	0.885
(IV) 年齢+気温+SPM	$y = 56.2x_1 + 11.4x_2 + 1.78x_3 - 1890$	0.890	0.887

表2 回帰分析のF検定

説明変数	自由度	観測された分散比	有意F
(I) 年齢	119	882	3.74E-57
(II) 年齢+気温	118	447	4.15E-56
(III) 年齢+SPM	118	471	2.87E-57
(IV) 年齢+気温+SPM	117	318	2.08E-56

さらに、表3~5に、モデル(II)~(IV)について係数a(平均年齢)、b(年平均気温)、c(年平均SPM濃度)の有意性検定の結果を示す。95%信頼性では、t値が2以上、P値が0.0325以下であることが、説明変数の有意性をみるための目安となる。係数aについては、変数として意味を持たないという帰無仮説を完全に否

定し、その優位性を示している。係数 **b** の年平均気温に関して、気温（特に、日最高気温）は死亡率に明確に影響を及ぼす¹³⁾と文献等で報告されているが、本研究では、**t** 値、**P** 値ともに、**95%**信頼性で帰無仮説を完全に否定するには至っていない。これは、本研究では日値ではなく年平均値を用いたことが原因ではないかと推測される。また、係数 **c** (SPM) は、**t** 値、**P** 値ともに帰無仮説を完全に否定しており、説明変数としての優位性を示している。

表 3 回帰モデル(II)：係数の検定結果

	推定係数	推定係数の標準誤差	t 値	P 値
切片	-1756	128	-13.6	3.80E-26
係数 a(平均年齢)	54.44	1.89	28.7	2.38E-55
係数 b(気温)	11.73	7.49	1.56	0.1200

表 4 回帰モデル(III)：係数の検定結果

	推定係数	推定係数の標準誤差	t 値	P 値
切片	-1741	90.3	-19.2	2.13E-38
係数 a(平均年齢)	56.97	1.91	29.7	7.03E-57
係数 c(SPM)	1.802	0.636	2.83	0.005416

表 5 回帰モデル(IV)：係数の検定結果

	推定係数	推定係数の標準誤差	t 値	P 値
切片	-1899	134	-14.0	4.63E-27
係数 a(平均年齢)	56.29	1.95	28.7	3.31E-55
係数 b(気温)	11.45	7.28	1.57	0.1182
係数 c(SPM)	1.789	0.632	2.82	0.005482

次に、さらに、年平均 NO₂濃度を説明変数として加えた回帰モデルに関する結果を示す。

$$y_i = ax_{1i} + bx_{2i} + cx_{3i} + dx_{4i} + e \quad (2)$$

(2)式中、 x_{4i} ：区ごとの年平均 NO₂濃度(ppb)であり、**d**は決定されるべき係数である。その他の変数は(1)式と同じ。むろん、**e**は切片である。表6に、年齢、気温、SPMに加えてNO₂を説明変数に加えたときの決定係数R²を示す。さらに、表7は、このモデル(V)による係数a～dの検定結果である。表1のモデル(IV)と表6を比較すると、NO₂を加えることによって決定係数がむしろ悪くなること（自由度修正済み決定係数R²: 0.887→0.883）を示している。また、モデル(V)のNO₂濃度に対する係数は負の値であり、これが正しいとすれば、“NO₂濃度が大きいほど死亡率は減少する”という常識的には不合理な結果を示すことになる。さらに、表7の結果は、NO₂に関する係数dの**t**値、**P**値ともに、**95%**信頼性のために要求される値 (**t**>2、

表 6 NO₂を説明変数に加えた回帰分析結果

説明変数	式	決定係数R ²	自由度修正済み決定係数R ²
(V)年齢+気温+SPM+NO ₂	$y = 56.5x_1 + 10.8x_2 + 1.95x_3 - 0.619x_4 - 1880$	0.887	0.883

P<0.0325) を満足しないことを示す。以上、解釈に苦しむところであるが、最大限に得られた結果を生かすとすれば、“本研究の解析で用いた濃度の範囲では、NO₂ は死亡率に明確な影響を与えない”という結論になる。

表 7 回帰モデル(V)：係数の検定結果

	推定係数	推定係数の標準誤差	t 値	P 値
切片	-1888	137	-13.7	5.67E-26
係数 a(平均年齢)	56.58	2.14	26.4	1.17E-50
係数 b(気温)	10.80	7.38	1.46	0.145
係数 c(SPM)	1.951	0.713	2.73	0.00721
係数 d(NO ₂)	-0.6198	1.07	-0.577	0.564

最後に、平均年齢、平均気温、平均 SPM 濃度を死亡率の説明変数とする回帰式(IV)を用いると、年平均 SPM 濃度が $10\mu\text{g m}^{-3}$ 下がれば、名古屋の 10 万人あたりの死亡者数は年間 17~18 人に減少するという推定が得られる。平成 16 年度の名古屋市の 10 万人当りの年間死亡数が約 700 人であるから、この人数は老衰、事故等を除く死亡者数の約 2.6%にあたることになる。なお、Ostro (1994)¹⁾ は、欧米の都市で行われた大気汚染の死亡率や健康影響に対する研究をまとめて、SPM 濃度が変化した場合の死亡者数の変化を予測する式を提示している。これを用いて、名古屋の粗死亡率(=0.0064)のみを与えて計算すると、 $10\mu\text{g m}^{-3}$ の濃度減少に対して 10 万人あたりの死亡数の減少は年間 6.14 人と計算できる。本研究結果は、その約 3 倍値を推定しているが、Ostro の結果が名古屋の現状をまったく考慮していないことを考えれば、二つの数字は定性的には同等と見なせよう。

4. まとめ

名古屋市を対象にした大気汚染の健康影響(死亡率)に関する研究を行い、以下の結果が得られた。

- (1) SPM 濃度を死亡率の説明変数として加えることの有意性が示されたと考える。
- (2) 得られたモデル(IV)より、年平均 SPM 濃度を $10(\mu\text{g m}^{-3})$ 減少させることにより、年間死亡数が 10 万人当たり約 17 人減ると推定できる。これは、欧米の都市を対象とした研究をそのまま適用した場合の約 3 倍値であった。
- (3) NO₂ については死亡率との間に、SPM のような有意の関係を見出せなかった。

(謝辞)

本研究は、科学研究費・基盤研究 B17360256 の補助を受けた。記して謝意を表する。また、本研究を進めるにあたり、貴重な情報の所在を教示いただいた名古屋市環境局環境都市推進部・松井利夫、同環境局公害対策部・廣田保子、松田英利、名古屋市環境科学研究所・大場和生、横山の各氏にお礼申し上げる次第です。

(参考文献)

- 1) Ostro, B. (1994): Estimating the Health Effects of Air Pollutants – A Method with an Application to Jakarta, Policy Research Working Paper 1301, 65p., the World Bank, Policy Research Department, Public Economic Division.
- 2) 名古屋市及び愛知県(1996~2004 年度)：大気汚染常時監視局データ
- 3) 名古屋市健康福祉年報—人口動態統計編等(1996~2004 年度)