

33. 大気中の粒子状物質汚染の改善による健康便益の評価

服部 哲也^{1*}・村尾 直人¹・山形 定¹・太田 幸雄¹

¹北海道大学大学院工学研究院（〒060-0813 北海道札幌市北区北13条西8丁目）

* E-mail: thattori@ec.hokudai.ac.jp

近年「自動車NO_x法」などの法律の整備や低公害車の普及によって自動車由来の大気汚染物質濃度は減少しているが、それが人の健康にどのように貢献しているのかについてはあまり分かっていない。そこで本研究では、関東のディーゼル規制による微小粒子濃度改善がもたらした健康便益を推定することを目的として、関東地域における1999年と2009年の浮遊粒子状物質の濃度変化に関連した死亡回避数を推定した。すなわち、死亡回避数を、大気汚染物質の濃度変化、過剰死亡に対する濃度応答関数、対象地域の男女別年齢別死亡率、対象地域の男女別年齢別人口の積として推定した。

その結果、粒子状物質汚染の大きな改善により、関東全域での死亡者回避数は19563人になった。市町村別で死亡者回避数を見ると、東京都23区周辺では600人以上の死亡回避が推定される地域があった。これは濃度の改善が大きく、さらに曝露人口が他の地域と比べ多かったことによると考えられる。また死因別の死亡回避数では、関東全域で心疾患による死亡者回避数が3983人、気管・気管支及び肺がんによる死亡者回避数は2412人になった。

Key Words : Urban air pollution, PM2.5, Health effect, Benefit evaluation, Kanto

1. 研究背景

近年は大都市、特に幹線道路沿道部において自動車（特にディーゼル車）によって排出される二酸化窒素（NO₂）や微小粒子状物質（PM2.5）による大気汚染が問題になっている。特にPM2.5については呼吸器系への侵入、沈着が容易なめ喘息や気管支炎、花粉症、発がん性といった人体への健康影響が懸念されている。そのため全国的に見ても汚染物質の濃度が高い首都圏やその周辺地域では「自動車NO_x法」、「ディーゼル車規制条例」などの法律や条例の整備が進んだ。その結果、関東地域の大気汚染状態は大きく改善されてきたが、それが人の健康にどのように貢献しているのかについてはあまり分かっていない。そこで本研究では関東のディーゼル規制による濃度改善がもたらした健康便益を推定することを目的とした。

2. 方法

本研究では解析ツールとしてUS EPAが開発した解

析プログラムBenMAP（the Environmental Benefits Mapping and Analysis Program）version4.0を使用した。また関東地域における1999年と2009年の大気汚染物質の濃度変化に関連した死亡数変化を以下のように推定した。

死亡数変化＝a×b×c×d

- PM2.5の濃度変化（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）
- 濃度応答関数（ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ）
- 対象地域の男女別年齢別死亡率
- 対象地域の男女別年齢別人口

aについては関東地方の大気汚染観測局（1999年時481、2009年時509か所）で得た1999年と2009年の浮遊粒子状物質（SPM）の年平均濃度データの7割をPM2.5濃度として、それを内挿して濃度分布を得た。bについては2002年に全米がん協会が発表したPM2.5の曝露に対する濃度応答関数を使用した。cについては各都県別の死亡率の5年平均値のデータを都県別、男女別、五歳階級別に整理した。dについても同様に市町村別、男女別、五歳階級別に整理した人口データを使用し、死亡数変化の推定をした。

3. 結果

(1) 関東地域におけるPM2.5の濃度と濃度改善

PM2.5は呼吸器系疾患だけではなく、循環器系疾患による死亡にも影響があるという研究結果から1997年に米国で初めて環境基準値が制定された。その後日本でもPM2.5の基準導入に関しての検討が始まり2009年9月に微小粒子状物質として環境基準が告示された。告示された基準値は24時間平均で $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で、かつ一年平均で $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下というものである。

図1、図2に1999年と2009年の各市町村別のPM2.5濃度の一年平均値を示す。都県別に見ると、1999年時点では濃度が一番低い地域は茨城県で $17.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一番高い地域は東京都で $31.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、関東全域の平均値が $22.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。環境基準値と比較しても分かるとおり汚染状況は極めて深刻なものであったことが分かる。一方、2009年時点では濃度の最低値は千葉県で $12.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最高値は東京都で $16.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、関東全域の平均値は $14.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。未だに環境基準値である $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を達成していない地域もあるが大部分で環境基準を達成しており、達成していない地域でもそれに近い値まで汚染物質の濃度改善がされた事が分かる。

次に1999年と2009年のPM2.5濃度を市町村別に見ると、図から分かる通り人口が密集しており自動車排ガスの多い東京都23区や、京浜工業地帯や京葉工業地域などの工業地帯が密集している東京湾沿岸でPM2.5濃度が高く、そこから郊外に行くほどPM2.5濃度は低くなっている。以上から1999年以降関東地方では積極的なディーゼル規制が行われてきたが、その結果として現在のPM2.5濃度は環境基準レベルまで改善されたことが分かる。

図3は1999年と2009年のPM2.5の濃度差を濃度改善として表したものである。白色の地域はこの10年間で濃度改善が見られなかった地域である。図1～3より1999年のPM2.5濃度が高い地域ほど規制導入による濃度改善が大きいことが分かる。しかし埼玉県北東部や栃木県は1999年のPM2.5濃度が高いにもかかわらず他の地域に比べ濃度改善がされていない。これはこれらの地域は北関東工業地域にあたる地域であり、この周辺のPM2.5の主要な発生原因は自動車排ガスではなく、工場のボイラー等の燃焼過程に由来するものだからと考えられる。そのため自動車排ガスをPM2.5の主要排出源とする他の地域は濃度改善が大きかったことに比べ、この地域ではディーゼル規制による濃度改善に対する寄与が小さかったと考えられる。

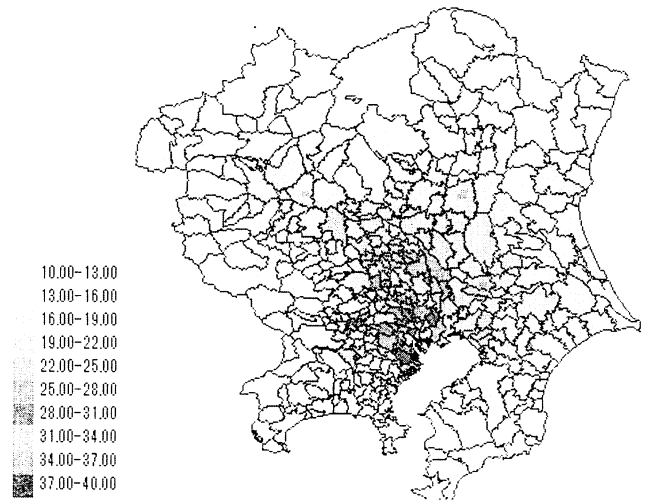


図1. 1999年の市町村別PM2.5年平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

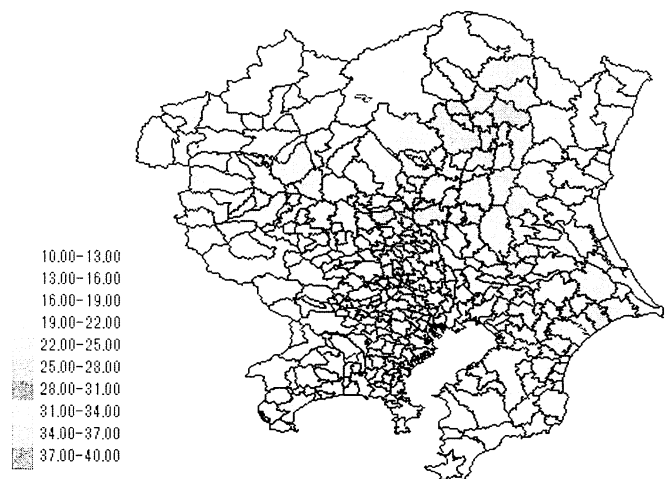


図2. 2009年の市町村別PM2.5年平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

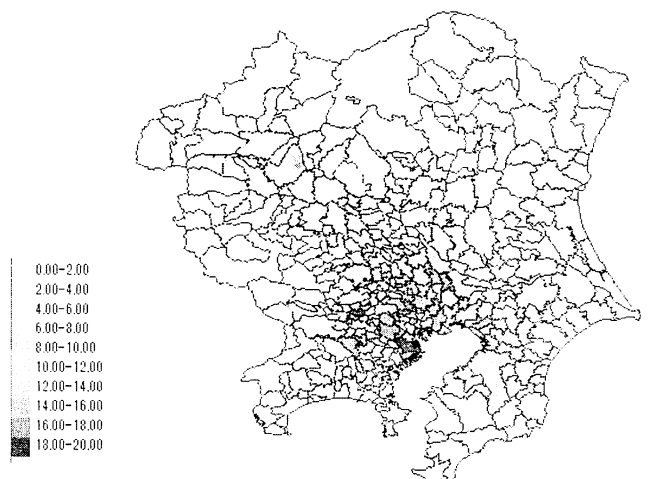


図3. 各市町村の1999年と2009年のPM2.5濃度差 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

(2) PM2.5濃度改善による死亡者回避数

図4に各市町村別のPM2.5濃度改善による全死因の死亡回避数を示す。白色の地域は、濃度改善がなく、死亡回避がないと推定された地域である。都県別に見ると東京都が約8500人と死亡回避数が最も多く、回避数が少なかった栃木県でも約600人の死亡回避数があったと推定される。関東全域の死亡回避数は19563人と推定され、東京都の死亡回避数は関東全域の約45%を占める結果となった。

各市町村別に見ると東京都の23区は死亡者回避数が多く世田谷区では626人、大田区では631人の回避が推定された。これらの地域は図3よりPM2.5の濃度改善が他の地域により大きかった地域であるため死亡回避数が多くなったと考えられる。一方、埼玉県南東部などPM2.5の濃度改善は大きい死亡回避数が少ない地域がある。これらの地域は濃度改善はされたが、曝露人口が他の地域に比べて少なかったため、死亡回避数に与える影響が少なかったと考えられる。以上より今回推定した死亡回避数は汚染物質の濃度改善と曝露人口の2つに起因していると考えられる。これは上記の濃度変化に関連した死亡数変化を表す式からも明らかである。

図5は心疾患による死亡回避数、図6は肺がんによる死亡回避数を示したものである。都県別に見ると「心疾患」、「肺がん」による死亡回避数は東京都で最も多く約1800人、1100人、栃木県で最も少なく約150人、70人、関東全域で3983人、2412人と推定された。この死亡回避数の多い地域、少ない地域は全死因による死亡回避数と同じであった。この2つの死亡回避数を比べてみると肺がんによる死亡よりも心疾患による死亡回避数のほうが多い。しかしPM2.5は呼吸器系に侵入、沈着し健康に悪影響を与える物質なので死亡リスクは、循環器系疾患である心疾患よりも呼吸器系疾患である肺がんのほうが高い。また死亡回避数を推定するにあたって使用したデータのうち人口データとPM2.5の濃度差のデータに関しては同一のものを使用している。そのため死亡のリスクが低いにもかかわらず心疾患による死亡の回避数のほうが多かったのは、そのリスクを逆転してしまうほど心疾患による死亡が多いという日本の特徴によるものであると考えられる。

4. まとめ

近年、環境問題はメディアによって大きく取り上げられ、その関心は世界規模のものとなっている。その結果、関東において「自動車NOx法」などの規制条例の整備や低公害車の普及などによって粒子状物質の大気中濃度

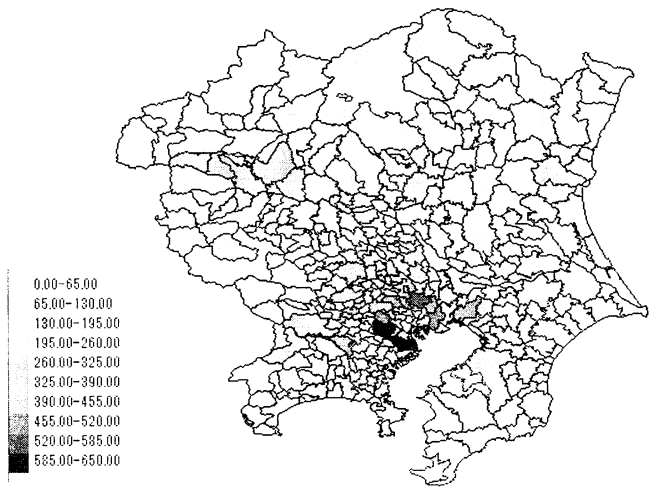


図4. 各市町村別の全死因による死亡者回避数（人）

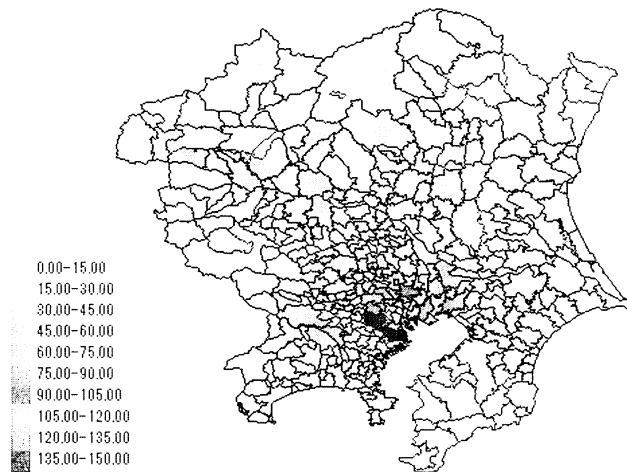


図5. 各市町村別の心疾患による死亡者回避数（人）

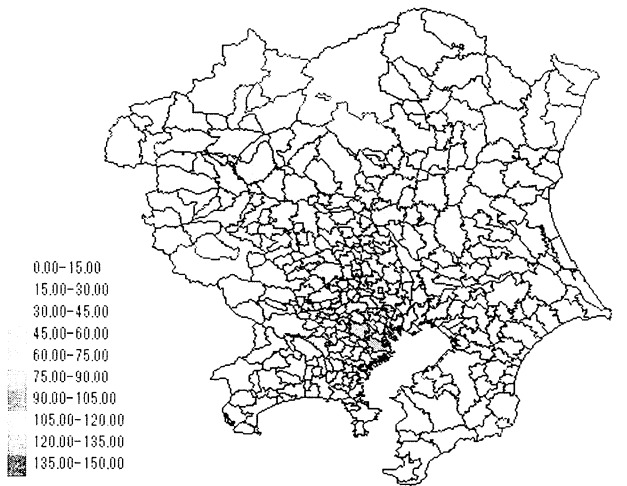


図6. 各市町村別の肺がんによる死亡者回避数（人）

は環境基準レベルまで改善されている。今回推定された死亡回避数は極めて多く、各種ディーゼル規制によるPM2.5濃度の改善が健康便益に与えた影響は大きいといえる。そのため今後も更なる濃度改善が期待される。しかし今後の課題として、今回のような発生源から直接排出される一次粒子への規制による濃度改善だけでは限界がある。PM2.5は一次粒子と大気中での光化学反応や中和反応によって生成される二次粒子で構成されている。しかしこの大気中での二次生成機構は非常に複雑であり挙動の解析は充分とはいえない。従って二次粒子に対する規制を導入するためにはPM2.5の前駆物質の発生源の特定や寄与率を明らかにしなくてはならない。

また健康便益を推定するためには疫学研究が必要不可欠である。しかし日本では欧米に比べ疫学研究はあまり行われていない。本研究では全米がん協会の疫学研究結果を使用した。PM2.5は様々な粒径や化学的性質を持った粒子の集合体であるため、その構成は発生源に依存しており地域によって毒性が異なる可能性がある。そのためより正確な結果を得るためには日本で行った疫学研究結果を用いるか、日本と米国のPM2.5による死亡リスクを比較、検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 丸藤ゆう紀：関東地方における二次粒子汚染対策による健康便益の評価，北海道大学卒業論文，2008.
- 2) 岸本充生：浮遊粒子状物質による健康影響の定量評価および経済評価の現状，資源と環境，Vol9, No.4, pp.37-45, 2000.
- 4) 山崎新：環境疫学入門，岩波書店，2009.
- 5) 笠原三紀夫、東野達：エアロゾルの大気環境影響，京都大学学術出版会，2007.
- 6) 国立環境研究所：<http://www.nies.go.jp/index-j.html>
- 7) 環境再生保全機構：<http://www.erca.go.jp/>
- 8) 茨城県ホームページ：<http://www.pref.ibaraki.jp/>
- 9) 栃木県ホームページ：<http://www.pref.tochigi.jp/>
- 10) 群馬県ホームページ：<http://www.pref.gunma.jp/>
- 11) 千葉県ホームページ：<http://www.pref.chiba.lg.jp/>
- 12) 埼玉県ホームページ：<http://www.pref.saitama.lg.jp/>
- 13) 東京都ホームページ：<http://www.metro.tokyo.jp/>
- 14) 神奈川県ホームページ：<http://www.pref.kanagawa.jp/>
- 15) 環境省ホームページ：<http://www.env.go.jp/>
- 16) 厚生労働省ホームページ：<http://www.mhlw.go.jp/>
- 17) 政府統計の総合窓口：<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>
- 18) C. Arden Pope III, PhD, Richard T. Burnett, PhD, Michael J. Thun, MD, Eugenia E. Calle, PhD, Daniel Krewski, PhD, Kazuhiko Ito, PhD, George D. Thurston, ScD: Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution, The Journal of the American Medical Association, Vol 287 No.9, pp.1132-1141, 2002.
- 19) Takashi Yorifuji, Ichiro Kawachi, Mariko Kaneda, Soshi Takao, Saori Kashima, Hiroyuki Doi: Diesel vehicle emission and death rates in Tokyo, Japan: A natural experiment, Science of the Total Environment, Vol409, pp.3620-3627, 2011.