
総説 シンポジウム 1**PM_{2.5}の環境基準と注意喚起のための暫定指針**

内山 巖雄

京都大学名誉教授

**National Air Quality Standards for PM_{2.5}
and Provisional Guidelines for Alerts**

Iwao Uchiyama

Kyoto University Emeritus Professor

要約

1993年に米国6都市調査で、微小粒子状物質 (PM_{2.5}) が、呼吸器疾患のみでなく、心肺疾患死亡に影響があることが公表されて以来、世界各国で同様の報告がなされた。これを受けてわが国でも2009年9月に微小粒子状物質の環境基準 (年平均値15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) が制定された。その後もいくつかの報告がなされているが、いずれも、これまでの結果と大きな変わりはない。

現在の、わが国の PM_{2.5}の濃度はほぼ横ばいであり、環境基準の達成率は約30%前後で、低い状態が続いている。そのような状況下で、越境汚染による大気汚染の悪化が心配され、環境省は健康影響が出現する可能性が高くなると予測される濃度水準を注意喚起のための暫定指針 (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) として示した。注意喚起発令のための判断方法については、見逃しが多いことから、改善の余地があり、環境省は毎年判断基準の改善策を示すべく、検討を行っている。

(臨床環境 24 : 1-9, 2015)

《キーワード》 微小粒子状物質、PM_{2.5}、循環器疾患死亡、環境基準、注意喚起のための指針

Abstract

Since it was published that fine particles (PM_{2.5}) is affected in death of cardiopulmonary disease, not only respiratory diseases by Harvard six city investigation in 1993, it was reported equally by all the countries. An Air quality standard of fine particles (less than 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of annual average and less than 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of daily average) was also established in September, 2009 in our country. After that, several lines of evidence suggest that significant health effects are caused by PM_{2.5} at lower levels than indicated by current guidelines and standards.

受付：平成27年6月5日 採用：平成27年7月21日

別刷請求宛先：内山巖雄

〒606-8225 京都市左京区田中門前町103-5 (財) ルイ・パストゥール医学研究センター

Reprint Requests to Iwao Uchiyama, Louis Pasteur Center for Medical Research, 103-5 Monzen nakamachi Sakyo-ku Kyoto, 606-8225, Japan

The concentration of $PM_{2.5}$ in Japan is not decreased recently, and the achievement ratio of the air quality standard is around 30 %. In addition,

$PM_{2.5}$ levels exceeding the daily standard were observed in western Japan according to trans boundary air pollution. The Ministry of the Environment issued provisional guidelines for alerts to warn people of the situation. The new guidelines advise people to limit prolonged outdoor exertion when the average daily $PM_{2.5}$ concentrations exceed $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Because there is a lot of problem about judgement method for alerts to warn people of the situation, the Ministry of the Environment shows improved measure of judgement every year.

(Jpn J Clin Ecol 24 : 1 – 19, 2015)

《Key words》Air quality standards, Fine Particles, Health Effects, Trans boundary air pollution, Provisional Guidelines

1. はじめに

わが国の大気環境基準のうち、粒子状物質は、1968年に浮遊粒子状物質（粒子径 $10\mu\text{m}$ 以下）として制定されて以来改正は行われず、ディーゼル排出粒子の規制強化も効果を見せて、最近の基準達成率は90%を超えて一段落したものと思われていた。しかし、1993年に米国ハーバード6都市調査（前向きコホート調査）の結果が公表されて、大きな反響を呼んだ（Dockeryら、1993）¹⁾。その内容は、浮遊粒子状物質（SPM、米国では PM_{10} ）のうち、粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子（ $PM_{2.5}$ ）に注目すると、呼吸器系疾患のみでなく、心肺疾患（循環器系疾患）の死亡率の増加と大気汚染濃度の増加は有意に関連するというものであった。その後欧米各国で多くの同様な調査結果が示され（U.S.EPA,2005）²⁾、わが国でも環境省の研究班が組織されて報告書³⁾がまとめられ、2009年9月に、 $PM_{2.5}$ に関する環境基準が策定された。

環境基準制定後、2013年度をめぐりに常時監視の体制整備が図られてきたが、2013年1月以降、中国での大気汚染の深刻さが報告され、越境汚染により特に西日本で $PM_{2.5}$ 濃度の上昇が観測されたために、自治体や市民の不安が高まった。このため環境省は専門家会合を招集し、同年2月末に注意喚起のための暫定指針を公表した。本稿では、わが国の環境基準設定の際の考え方と、注意喚起のための暫定指針について述べる。

2. $PM_{2.5}$ の健康影響

2.1 長期曝露影響

わが国の大気環境基準は、これまで、原則として信頼性の高い疫学データを用いて決められてきた（ダイオキシン類のみ動物実験データより策定）。今回も、主に以下の前向きコホート研究が参考にされた。

前述の米国6都市研究は、米国東部6都市で1974～77年に無作為抽出された25～74歳の白人約8,000人を14～16年間追跡した（Dockeryら、1993）¹⁾。各種大気汚染物質の濃度を都市ごとに測定し、性、年齢（5歳毎）、喫煙（pack-years）などを調整した上でCox比例ハザードモデルを含む生存解析を行った。大気汚染の程度が最も高い都市における調整死亡率は、最も低い都市の調整死亡率に対し1.26倍であり、微小粒子状物質、硫酸塩の濃度との関連が強かった。死因別では、肺がん、心肺疾患死亡との関連が認められた。

この結果は、最近の大気汚染濃度であっても死亡率に影響を与えること、呼吸器系疾患のみでなく、循環器系疾患にも影響を与えるという2つの点で注目された。その後、第三者機関によって再検証された（Krewskiら、2000）⁴⁾ ことを見ても、この結果が如何に驚きを持って迎えられたかがわかる。同研究の観察期間を8年間延長した解析でも、同様の結果が得られた（Ladenら、2006）⁵⁾。

ACS（American Cancer Society）研究は、ACS-CPS II（Cancer Prevention Study II、米国50州に居住する120万人の成人志願者を対象に

行った癌に関するコホート研究)の追跡調査(1982~89年)から得られたデータと米国の市・郡ごとの大気環境濃度測定値とを用いて、大気汚染の長期健康影響を検討した研究である(Popeら、1995)⁶⁾。全集団のうち、50都市約30万人を対象として、性、年齢、人種、喫煙等を調整した上でCox比例ハザードモデルを含む生存解析を行った。PM_{2.5}濃度は1979~83年の平均値を用いた。PM_{2.5}の平均濃度が10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加すると、全死亡ではリスク比は7% (95% CI: 1.04, 1.10)、心肺疾患死亡では12% (95% CI: 1.07, 1.17)の増加がみられた。肺がん死亡のリスク増加は1% (95% CI: 0.91, 1.12)であり、有意な関連はみられなかった。

さらに、追跡期間を1998年末までに拡張した結果(Popeら、2002)⁷⁾は、PM_{2.5}の平均濃度が10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加すると、リスク比はそれぞれ4% (95% CI: 1.01, 1.08)、6% (95% CI: 1.02, 1.10)、8% (95% CI: 1.01, 1.16)の増加がみられ、心肺疾患の中では虚血性心疾患、不整脈、心不全、心停止に起因する死亡が強い関連があり、リスク比は8~18%であった。

WHI (Women's Health Initiative Observational Study) 研究は、米国の50~79歳の閉経後の女性コホートのデータを用いて、PM_{2.5}濃度と循環器疾患の発症との関連性を検討したものである(Millerら、2007)⁸⁾。WHI研究の参加者のうち65,893人について居住地から30マイル以内の最も近い大気測定局のPM_{2.5}濃度を割り当てた。PM_{2.5}濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加あたりの循環器疾患の死亡ハザード比は1.76で、冠動脈疾患死亡で最も強い関連がみられた。

日本における「大気汚染に係る粒子状物質による長期曝露影響調査報告書」⁹⁾(以下、「三府県コホート研究」)は、宮城県、愛知県、及び大阪府の三府県において、それぞれ都市地区と対照地区を選定して、40歳以上の男女計約10万人を対象としたコホート研究である。1983~85年にかけてベースライン調査が行われ、その後10年間、15年間の追跡調査結果が報告されている。大気環境濃度は各地区の一般局におけるSPM測定値を用いてお

り、解析では基本的に、1974~1983年までの10年間の平均値を用いた。なお、PM_{2.5}濃度は一部期間のPM_{2.5}濃度が、概ねSPM濃度の0.6~0.8の割合であったので、SPM濃度に0.7を乗じた換算値を用いた。調整変数を、ベースライン時年齢、喫煙状況、職業、野菜摂取、果物摂取、BMI、飲酒及び健康保険の種類とし、Cox比例ハザードモデルを用いてハザード比として求めた。全死亡では男性、女性ともSPM濃度との関連はなかったが、肺がんでは、男性及び男女計でSPM濃度との間に有意な正の関連があり、PM_{2.5}濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加あたりの相対リスクは10年間追跡調査結果において1.22、15年間追跡調査結果において1.13であった。循環器疾患死亡では、血圧や血清コレステロール等は調整されていないという限界はあるが、SPM濃度との間に関連はみられなかった。

死亡以外の疫学調査では以下のものがある。

WHI研究(Millerら、2007)⁸⁾では、リスクファクターを調整した後、PM_{2.5}濃度の10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加は、循環器疾患発症リスクについては24%、冠動脈疾患の発症リスクでは21%、脳血管疾患の発症リスクは35%の増加と関連していると報告し、いずれもPM_{2.5}への短期曝露影響や長期曝露影響でこれまで報告されてきたリスクに比べて大きい影響がみられた。

循環器系への影響のメカニズムとしては、以下のような仮説が立てられているが、まだ十分な説明はされていない。

①呼吸器系の刺激や自律神経機能への影響等を介し、不整脈を引き起こす等、心機能に変化を生じやすくする。

②生理活性物質や過酸化物の増加等を起こし、血管系の構造変化を促進する。

③血小板や血液凝固系の活性化、血栓形成の誘導等を介し、血管狭窄性病変を起こしやすくし、心臓に直接的、間接的悪影響を及ぼす。

子どもを対象とした、呼吸器疾患の症状、肺機能の変化等を評価した大規模なコホート研究が実施されており、いくつかの研究では、粒子状物質への長期曝露と、小児の肺機能に関する成長量の減少(Gaudermanら、2000)¹⁰⁾、慢性呼吸器疾患

のリスクの増加とが関連のあること (Abbey ら、1995)¹¹⁾ を示している。

2.2. 短期曝露影響

PM_{2.5}の短期曝露が死亡に及ぼす影響に関しては、事故死を除く全ての死因 (全死亡)、循環器疾患、呼吸器疾患死亡との関連性に関して、世界各国で時系列研究が報告されている。

複数の都市を比較した研究では、米国6都市における解析 (Klemm ら、2003)¹²⁾、米国ノースカロライナ州7郡の心血管疾患による死亡データの解析 (Holloman ら、2004)¹³⁾、米国カリフォルニア州9郡で日死亡を、65歳以上、男女、人種、死亡場所、学歴で比較した解析 (Ostro ら、2006)¹⁴⁾、米国の27地域で1997~2002年までのPM_{2.5}濃度と死因別死亡との関連性に関わる修飾因子について検討した解析 (Franklin ら、2007)¹⁵⁾ 等がある。これらの多くの結果は、影響推定値が正を示しており、統計学的にも有意な関連を示すものが多かった。

また日本では、一般局相当のPM_{2.5}濃度測定局のある20の市町毎に2002~2004年までの3年間の死亡データ及び大気環境濃度測定値を用いて、死亡日のPM_{2.5}濃度の10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加に対する日死亡のリスクの増加を一般化加法モデルにより推定し、地域毎の推計値を統合した結果が報告されている³⁾。65歳以上を対象に、全死亡、呼吸器疾患死亡及び循環器疾患死亡について解析した結果、PM_{2.5}濃度に対する日死亡リスク比は1を超える場合がみられ、20地域における推計結果の統合値では呼吸器疾患死亡で統計学的に有意な上昇がみられた。これらの結果は、いずれも一貫性を示していたが、リスク推定値は都市間で大きな較差が認められ、その原因ははっきりしていない。

入院数や救急外来受診数等との関連を調査したのもも多い。

米国のメディケア (Medicare; 高齢者医療保険) データに基づいて、各疾患による入院とPM_{2.5}への短期曝露との関連性が報告されている (Dominici ら、2006)¹⁶⁾。PM_{2.5}濃度測定局から平均5.9マイル以内にある204郡において1999~2002年の65歳以上のメディケア受給者では、外傷を除

くすべての疾患による入院でPM_{2.5}濃度との関連がみられ、心不全との関連が最も大きく、10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加あたり1.28% (95% CI: 0.78, 1.78) の入院増加が認められた。

呼吸器に対する症状・機能変化に関しては、喘息患者のピークフロー値の低下に関しては概ねPM_{2.5}への曝露の影響が認められた。

循環器系の症状・機能変化に関する短期曝露影響に関しては、PM_{2.5}濃度の増加は、数時間後から数日後の心拍数の増加、心拍変動の低下、安静時血圧値の上昇、血液中のC-反応性タンパク質濃度やフィブリノゲン濃度の増加等と関連しているとする報告があった。

しかし、わが国では、症例数は少ないが、除細動器埋め込み患者において心室性不整脈の発生とSPM濃度との関連性はみられなかった (環境省、2007)³⁾。

これらの報告を含め循環器系に関する様々な指標とPM_{2.5}への短期曝露との関連性を報告する知見が増加している。

3. わが国の大気環境基準設定の考え方

以上のような健康影響がまとめられ、微小粒子状物質環境基準専門委員会は、地域の人口集団の健康を適切に保護することを考慮して微小粒子状物質に係る環境基準設定に当たっての指針値を提案した (環境省、2009)¹⁷⁾。その数値を導くに至った考え方は、以下の通りである。また、図1に肺がんの疫学研究のまとめを示した。

* 国内の死亡の知見：20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(三府県コホート研究、SPM からPM_{2.5}の推計誤差 $\pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を考慮)

* 国外の死亡の知見：15~20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(6都市、6都市拡張研究、ACS、ACS拡張研究等)

* 国内の死亡以外の知見：25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(全国7地域成人のせき・たん症状)

* 国外の死亡以外の知見：15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(カリフォルニア子供研究、6都市研究、米国・カナダ24都市研究等)

以上の死亡および死亡以外の健康影響が見られ

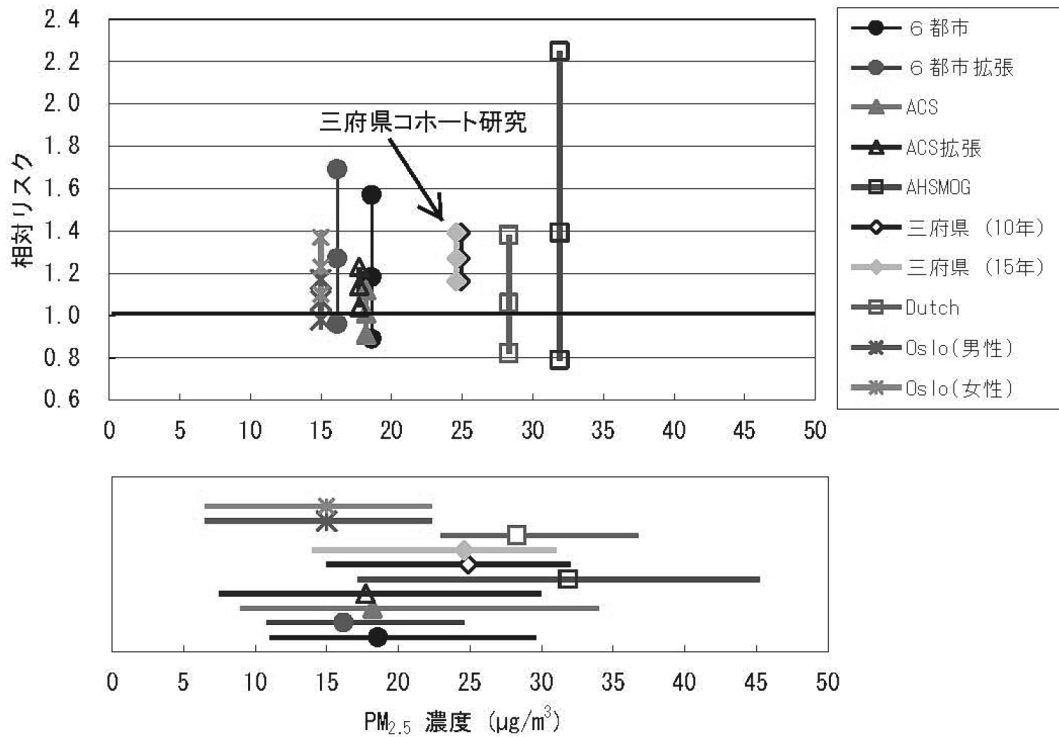


図1 肺がん死亡に関する疫学知見のまとめ (文献17より一部改変)
 上図: 研究対象地域のPM_{2.5}の濃度範囲の中央値 (若しくは平均値) に対する
 リスク比 (PM_{2.5}濃度10µg/m³当たり) とその95% 信頼区間
 下図: 研究対象地域のPM_{2.5}濃度範囲とその中央値 (若しくは平均値)

る濃度を考慮して、

- *わが国における健康リスク (がん死亡、死亡以外) が見られる濃度は20µg/m³程度である。循環器疾患に対する影響は、はっきりしない。
- *しかし、わが国の知見は欧米に比較してまだ十分でない。
- *循環器疾患に対する健康リスクの状況は欧米諸国とは異なっているものの、その主な理由はリスクファクターの分布の違いによるものと考えられる。また人種差や微小粒子状物質の構成成分の違いによって健康影響が異なるか否かについて明らかではない。
- *微小粒子状物質の健康影響に関して、想定されるメカニズムに関連する多くの毒性学知見や、疫学知見の質や量は年々増加している。
- *従って、国内知見を重視すべきであるが、知見が充実している国外知見の結果 (15µg/m³から影響がみられる) も考慮すべきである。
- *一方で、微小粒子状物質の健康影響に「いき値」

の存在の有無を明らかにすることは困難である。

以上のことから、国内の知見20µg/m³を出発点とし、国外知見の15µg/m³を参考とし、これらに固有な不確実性があることにも考慮して総合的に評価した結果、長期基準として年平均値15µg/m³が最も妥当であると判断した。

一方短期基準については、

- *短期曝露による健康影響がみられた国内外の複数都市研究から導かれた98パーセンタイル値は39µg/m³を超えると考えられた。
 - *日死亡、入院・受診、呼吸器症状や肺機能などに関して、有意な関係を示す単一都市研究における98パーセンタイル値の下限は30~35µg/m³の範囲と考えられた。
 - *健康影響がみられた疫学研究における98パーセンタイル値は、年平均値15µg/m³に対応する国内のPM_{2.5}測定値に基づく98パーセンタイル値の推定範囲に含まれていた。
- 以上のことから、長期基準の指針値と併せて、

日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を短期基準の指針値とすれば、高濃度出現による短期影響の健康リスクを低減することが可能と考えられ、この値を短期基準とすることが最も妥当であると判断した。

これを受けて $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準は、年平均値 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と定められたが、微小粒子状物質の健康影響に関しては、「いき値」の存在の有無が明らかでないので、基準を満たすことに満足するだけでなく、出来るだけ低いことが望ましい。この「以下」という表現をこれまでの環境基準に増して重視することが重要であると筆者は考えている。

4. 環境基準設定後の主な知見

4.1 カナダの全国規模調査

Crouse ら¹⁸⁾は、25歳以上のカナダ人の成人2,100万人のコホート(1991年の人口の約20%)を用いて、1991年~2001年の死因と $\text{PM}_{2.5}$ 濃度との関連を調査して2012年に報告している。標準Coxモデルを用いた解析では、 $\text{PM}_{2.5}$ の濃度が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加すると、事故死を除く全死因でハザード比(HR):1.15(95%CI:1.13,1.16)、であり、心血管系疾患の中でも特に虚血性心疾患が最も強い関連を示し、HR:1.31(95%CI:1.27,1.35)であった。また空間変量効果モデルを用いた解析でも、同様にHRはそれぞれ1.10(95%CI:1.05,1.15)、1.30(95%CI:1.18,1.43)であり、有意にハザード比は1より大きかった。また、従来の報告に見られた $\text{PM}_{2.5}$ の曝露濃度より低い濃度(平均 $8.7\pm 3.9\mu\text{g}/\text{m}^3$)で影響が見られていることが注目されているが、曝露評価の精度の問題もあり、慎重な評価が必要である。

4.2 米国EPAの最近の知見の報告書

米国は2012年に、 $\text{PM}_{2.5}$ 長期基準を $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ に引き下げた¹⁹⁾が、2012年12月に、2009年以降の最近の知見を評価しまとめた文書²⁰⁾を公表している。

それによると、2009年当時に確認された $\text{PM}_{2.5}$ の長期曝露影響と死亡率、心血管系疾患、呼吸器系疾患、生殖系、発達系への影響は、その後の研究によってもその結果を補強するものであり、ハーバード6都市調査、ACS調査の拡張調査に加

え、新たなカナダの全国調査においても同様であったとしている。

4.3 IARCの大気汚染物質の発がん分類

2013年10月17日に、WHOの下部機関である国際がん研究機関(IARC)は、大気汚染物質(屋外)は、肺がんの原因となる明確な根拠があるとして、発がん分類のグループ1(人に対する発がん物質)に分類すると公表した²¹⁾。また同時に、膀胱がんの増加と正の関係があると述べている。IARCは、これまでもディーゼル排出物質をグループ1に分類している²²⁾。 $\text{PM}_{2.5}$ の主成分である燃焼由来の粒子にはディーゼル排出粒子、多環芳香族炭化水素等の発がん物質が含まれており、今回のグループ1への分類は $\text{PM}_{2.5}$ を意識したものであることは間違いない。より詳しい根拠は追って公表されるので、WHOの $\text{PM}_{2.5}$ のガイドラインにどのように反映されるか、注意が必要である。

5. 注意喚起のための暫定的な指針の設定

5.1 $\text{PM}_{2.5}$ の大気汚染の現状

わが国における $\text{PM}_{2.5}$ の濃度は、年平均濃度は、図2に示すように、全体的にはH22年度からほぼ横ばい状態であり、平成25年度における $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準達成率は、一般環境大気測定局で16.1%(43.3%)、自動車排ガス測定局で13.3%(33.3%)%(括弧内はH24年度)にとどまっている。

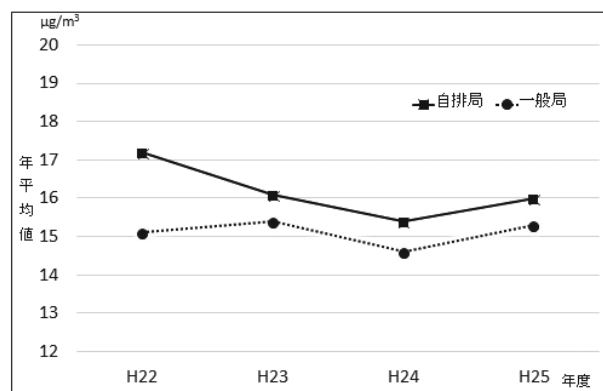


図2 微小粒子状物質の年平均値の推移
(自排局と一般局の数は、年度によって異なる)

この一因として、7、8月に光化学スモッグ現象が多発したために二次生成粒子が多くなったことなどがあげられている。

このように国内でも環境基準の達成率がまだ低い中で、近年中国におけるPM_{2.5}による深刻な大気汚染の発生があり、わが国でも一時的にPM_{2.5}濃度の上昇が観測され、国民に不安が高まった。そのため環境省は2013年に「微小粒子状物質(PM_{2.5})に関する専門家会合」を設置し、最近のPM_{2.5}による大気汚染への対応について同年2月27日に報告書²³⁾をとりまとめた。

2013年1~2月に西日本で広域的に環境基準を超える濃度が一時的に観測されたが、これは、

- ・西日本で広域的に環境基準を超えるPM_{2.5}が観測されたこと
- ・九州西端の離島(長崎県福江島)でも粒子状物質の濃度上昇が観測され、その成分に硫酸イオンが多く含まれていたこと
- ・シミュレーション結果によると北東アジアにおける広域的なPM_{2.5}汚染の一部が日本にも及んでいること

等の理由から総合的に判断すると、大陸からの越境大気汚染の影響があったものと考えられたが、わが国の都市汚染と越境汚染の寄与割合については、現時点では推定は難しいとされた。その上で、国民の不安を解消するために、高濃度のPM_{2.5}が観測されたときの何らかの指針を示す必要があるとされ、検討が行われた。

5.2 短期曝露による健康影響の再検討

短期曝露による健康影響については前述したが、呼吸器疾患や循環器疾患による入院・受診とPM_{2.5}濃度の日平均値との間に有意な関係を示す複数の疫学研究においては、高感受性者(呼吸器系や循環器系疾患のある者、高齢者や小児等)も含めた集団において日平均値の値は47~69 μg/m³の範囲であった。

一方、健康な非喫煙者を対象とした人志願者による急性曝露実験においては、107±9.3 μg/m³(PM_{2.5}: 平均濃度±標準誤差)を2時間曝露した場合において、肺機能に影響はみられなかったとする報告もあった。

また、環境基準設定時以降に、わが国の知見も含めて特に見解を変更すべき調査結果は得られていない。

5.3 注意喚起のための暫定指針

専門家会合での議論の結果、健康影響が出現する可能性が高くなると予測される濃度水準を、法令等に基づかない注意喚起のための「暫定的な指針となる値」として定めることとし、高感受性者への影響は個人差が大きいため、値で区切るとは難しいこと等から、高感受性者に対する指針値を別に設けることは見送られた。

米国における大気質指標(Air Quality Index; AQI)では、65.5 μg/m³以上を「すべての人に対してある程度の健康への影響を与える可能性があるPM_{2.5}濃度」としていること、この数値は疫学的所見と矛盾しないこと等を総合的に勘案して、注意喚起のための暫定的な指針となる値として、「日平均値70 μg/m³」が提案された。

しかし、高感受性者は、この値以下であっても短期的な影響がみられる可能性があることに注意する必要がある。

5.4 指針値を超えた場合の対応

大気汚染の粒子状物質濃度は一般的には屋外濃度を100とすると屋内濃度は約70程度であるので、PM_{2.5}濃度が指針値を超えた場合には、不要不急の外出を避け、屋外での長時間の激しい運動をできるだけ減らすこと、特に高感受性者に対してはきめ細かな配慮が必要である。また、屋内にいる場合には換気や窓の開閉を必要以上に行わないことも有効である。その他、防塵マスクの着用、空気清浄器の使用も有効であるが、性能にも差があり、使用方法に注意が必要である。

「屋外での長時間の激しい運動」とは、一般的には屋外で遊んだり、運動会の禁止を意味するものではないが、何回も指摘されているように、呼吸器系や循環器系疾患のある者、高齢者や小児等の高感受性者は、個々のケースに合わせてきめ細かな注意が必要である。

5.5 注意喚起発令のための判断方法

注意喚起は、PM_{2.5}濃度の日平均値が70 μg/m³を超えると予想される場合に行うことが適当である

が、発令は活動が始まる午前中の早めの時間帯（例えば午前8時）に行う必要がある。

国立環境研究所が、日平均値と当日5時から7時の1時間値の平均値の関係について検討したところ、日平均値70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対応する値としては、85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を目安として判断することが適当であると報告書では提示された。ただし、測定機は日平均値を得ることを目的としているので、1時間値の精度は保障されていない。したがって、判断にあたっては複数測定局の1時間値の複数時間の平均値を計算して、それらの中央値を求めるなどの工夫が必要とされる。また、ここに示された方法は予測方法の一例であって、実際には各自治体に判断方法を任された。

その後、これまでの運用実績を踏まえて、毎年運用方法の見直しを含めた検討が行われている。2013年11月には、上記判断方法では、見逃しが多かった（3月～5月の実施事例で、見逃しが8事例）ために、午前8時での判断に加え、当日午前5時から12時までの1時間値の平均値が80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合に注意喚起を実施する」判断方法が追加された。

さらに2014年11月²⁴⁾には、これまでの実施例を検討し、表1のように、未だ見逃し、空振りが多いことから、上記の判断方法のうち、午前8時時点の判断を中央値ではなく、「同一区域内で2番目に大きい数値が判断基準値を超えた場合（すなわち、同一区域内の2か所の測定局において判断基準値を超えた場合）に注意喚起を実施する」に改めた。さらに「注意喚起を実施した区域内にある

判断基準値を超過した全ての一般環境大気測定局において、PM_{2.5}濃度の1時間値が2時間連続して50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に改善した場合は、当該局及び近隣局の濃度推移傾向も考慮しつつ注意喚起の解除を判断する」とする注意喚起の解除の判断方法を追加した。

6. おわりに

微小粒子状物質（PM_{2.5}）の健康影響については、特にわが国において循環器系疾患との関連は欧米に比較して疫学的に明らかになっていない。また、発生源についても、ディーゼル排出粒子の寄与率が減少し、二次生成粒子の割合が増加するなど、越境汚染の問題も含めて、効率的な対策を講ずるための調査研究がこれからも重要と思われる。

参考文献

- 1) Dockery DW, Pope CA 3rd, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New Engl J Med*, 329: 1753-1759, 1993
- 2) U.S.EPA. Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information OAQPS Staff Paper (2005) http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/pmstaffpaper_20051221.pdf (2015.7.9. 確認)
- 3) 環境省. 微小粒子状物質曝露影響調査報告書. 2007
- 4) Daniel Krewski, Richard T Burnett, et al. Reanalysis of the Harvard Six Cities study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality. In. Health Effects Institute

表1 高濃度日の出現と注意喚起の実施状況（平成25年11月～平成26年7月）²⁴⁾

注意喚起の実施状況		延件数
暫定的な指針となる値を超えた	注意喚起を実施した	10件（5件）
	注意喚起を実施しなかった	9件（8件）
注意喚起をしたが、暫定的な指針となる値を超えなかった		28件（9件）

※1 延件数とは、道府県を一つの単位として注意喚起を実施した件数等を集計したものの

※2 ()内の数値は、平成25年1～5月の集計値

※3 地方自治体においては、独自の判断方法により注意喚起を行っている場合がある。

- (ed). A Special Report of the Institute' s Particle Epidemiology Reanalysis Project: Executive Summaries and Commentary. Cambridge, MA, U.S.A. 2000, pp9-38.
- 5) Laden F, Dockery DW, et al. Reduction in fine particulate air pollution and mortality – Extended follow-up of the Harvard six cities study. *Am J Resp Crit Care Med*, 173:667-672, 2006
 - 6) Pope CA 3rd, Thun MJ, et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Resp Crit Care Med*, 151: 669-674, 1995
 - 7) Pope CA 3rd, Burnett RT, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287, 1132-1141, 2002
 - 8) Miller KA, Siscovick DS, et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *New Engl J Med*, 356: 447-458, 2007
 - 9) 大気汚染に係る粒子状物質による長期曝露調査検討会 . 大気汚染に係る粒子状物質による長期曝露影響調査報告書 . 2009
 - 10) Gauderman WJ, McConnell R, et al. Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *Am J Resp Crit Care Med*, 162, 1383-1390, 2000
 - 11) Abbey DE, Ostro BE et al. Chronic respiratory symptoms associated with estimated long-term ambient concentrations of fine particulates less than 2.5 microns in aerodynamic diameter ($PM_{2.5}$) and other air pollutants. *J Expo Analysis Environ Epidemiol*, 5, 137-159, 1995
 - 12) Klemm RJ, Mason R. Replication of Reanalysis of Harvard Six-City Mortality Study. In *Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health Special Report* pp.165-172. Health Effects Institute: Boston MA, 2003
 - 13) Holloman CH, Bortnick SM, et al. A Bayesian hierarchical approach for relating $PM_{2.5}$ exposure to cardiovascular mortality in North Carolina. *Environ Health Perspect*, 112, 1282-1288, 2004
 - 14) Ostro B, Broadwin R, Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE. *Environ Health Perspect*, 114, 29-33, 2006
 - 15) Franklin M, Zeka A, et al. Association between $PM_{2.5}$ and all-cause and specific-cause mortality in 27 US communities. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 17, 279-287, 2007
 - 16) Dominici F, Peng RD, et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA*, 295: 1127-1134, 2006
 - 17) 環境省 . 微小粒子状物質環境基準専門委員会報告 . 2009
 - 18) Crouse DL, Peters PA, et al. Risk of Nonaccidental and Cardiovascular Mortality in Relation to Long-term Exposure to Low Concentration of Fine Particulate Matter: A Canadian National-Level Cohort Study. *Environ Health Perspect* 120: 708-714, 2012
 - 19) U. S. EPA. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule. *Federal Register* 78: 3086-3287, 2013. (2013.1.15) <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-01-15/pdf/2012-30946.pdf> (2015.7.9. 確認)
 - 20) U. S. EPA, Provisional Assessment of Recent Studies on Health Effects of Particulate Matter Exposure. 2012. <http://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=247132> (2015.7.9確認)
 - 21) IARC, Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. WHO press release No 221. WHO, Geneva, Switzerland. 2013. (2013.10.17) http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf (2015.7.09確認)
 - 22) IARC, Diesel and Gasoline Engine Exhausts and some Nitroarenes. IARC Monographs, Volume 105, 2012
 - 23) 環境省微小粒子状物質 ($PM_{2.5}$) に関する専門家会合 : 最近の微小粒子状物質 ($PM_{2.5}$) による大気汚染への対応 . 2013
 - 24) 環境省 . 注意喚起のための暫定的な指針の判断方法の改善について (第2次) . (2014.11.28)