

## 大気の汚染が及ぼす健康被害 1

PM<sub>2.5</sub> の現状と今後の課題Current status of PM<sub>2.5</sub> in Japan and its problems to be solvedすが た せい じ  
菅 田 誠 治  
Seiji SUGATA

## はじめに

微小粒子状物質とPM<sub>2.5</sub>、両者は同じ用語の日本語と英語ですが、PM<sub>2.5</sub>の方がすっかり市民権を得ています。本稿でも以下はPM<sub>2.5</sub>で統一します。PM<sub>2.5</sub>のPMは「粒子状物質」の英語である“Particulate Matter”の頭文字で、下付き数字の2.5は粒子の直径が2.5 $\mu\text{m}$ （マイクロメートル、1mmの1000分の1）以下であることを表しています。厳密に言えば直径ではなく、空気動力学径と呼ばれる大きさが2.5 $\mu\text{m}$ なので直径5 $\mu\text{m}$ 程度までの粒子もわずかに含まれていますが、大気中に浮かぶ粒径が2.5 $\mu\text{m}$ より小さい粒子と理解しておけば十分です。粒子と名がついているように気体ではなく、固体もしくは液体です。2.5は下付きで書くのが本来ですが、PM<sub>2.5</sub>という書き方も通用します。

PM<sub>2.5</sub>を他の大気汚染物質と比べると、勿論気体でないという特徴もありますが、一番大きな違いは単一の物質（成分）ではなく、さまざまな物質の集合体であるところです。含まれる成分は時間や場所や他の条件次第で大きく異なります。代表的な成分には、元素状炭素（EC）、有機炭素、硫酸塩、硝酸塩、黄砂等の土壌粒子、海塩粒子等のさまざまな物質があります。人体影響も成分によって大きく異なるはずなので、成分の情報は非常に重要ですが、環境基準も常時監視も基本的に全成分の合計で行われている。これがPM<sub>2.5</sub>の大きな特徴です。

本稿では、このようなPM<sub>2.5</sub>に係る基本的かつ最新の知見のうち、健康影響以外の概要を紹介します。

## I. 環境基準と観測網の拡充

大気中の粒子状物質について、日本では1972年に浮遊粒子状物質（SPM）の環境基準が定められて以来、SPMについて常時監視等が行われて来ました。SPMは粒径としておよそPM<sub>7</sub>に相当します。諸外国の多くではPM<sub>10</sub>で規制・観測等が行われていましたので、日本では当時からやや小さい粒径に着目していたこととなります。

世界的に更に小さな粒径に着目するようになったのは、1990年代前半に米国でPM<sub>2.5</sub>についての疫学研究成果が発表されてからです。そこではPM<sub>2.5</sub>の質量濃度（以下、単に濃度と記します）と死亡リスクに有意な関連性があると結論付けられました。これを受け、米国では1997年にPM<sub>2.5</sub>の環境基準が定められ、それを機に世界の多くの地域でPM<sub>2.5</sub>の環境基準が設定されるようになりました。その流れの中で、日本では2009年に定められた訳です。

日本のPM<sub>2.5</sub>の環境基準は二つの条件から成り、PM<sub>2.5</sub>の年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることと、一日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることの両者を満たすことです。この基準値は、EU（年平均値20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）よりは厳しく、米国と一緒であるなど、世界的な基準の中庸に位置していました。ただし、米国では2013年に年平均値が12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に改正される<sup>1)</sup>など、世界的により厳しくする流れにあるようです。

環境基準の設定を受けて、日本全国にある大気環境常時監視測定局へのPM<sub>2.5</sub>測器の設置が推進されました。それでPM<sub>2.5</sub>の測定局は、2010年度以降徐々

に増え続け、2013年度末で800局以上です。これは、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)やSPMの測定局数が1700局程度であるのと比べると少ないのですが、どの程度まで増やすのが適当であるのか検討がなされているところではあります。

粒子状物質については、PM<sub>2.5</sub>とSPM(諸外国ではPM<sub>10</sub>)の両者について環境基準があり常時監視を続けている状況ですが、両者のデータを比較することで粒径に関する貴重な情報が得られるメリットがあり、SPM(PM<sub>10</sub>)の環境基準や観測が不要になったわけではありません。

PM<sub>2.5</sub>の常時監視では濃度だけではなく、成分別の濃度も測定されています。1年間に4回、四季それぞれ2週間ずつ1日ごとの成分測定を行うことになっています。成分の観測が一年中ではなく間欠的なのは、成分観測のすべてを自動で行うことができず、かつ、分析の手間も費用が大きいことによります。PM<sub>2.5</sub>の人体等への影響は、どの成分であるかに大きく依存していると考えられるので、このような成分別のデータを集め研究することは今後ますます重要になります。

環境省は毎年大気汚染について概況を報告していますが、PM<sub>2.5</sub>については2010年度以降最新の報告<sup>2)</sup>である2012年度まで、全国の観測局での環境基準の達成率はおよそ3~4割です。つまり、6~7割の観測局で環境基準は満たされていないということになります。

PM<sub>2.5</sub>については、環境基準に加えて注意喚起のための暫定的指針値というものもあります。注意喚起は一般に言う注意報に相当します。暫定的指針値は70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と設定されており、日平均PM<sub>2.5</sub>濃度がこの値を超えると予想されるときに、都道府県等は注意喚起を出すことになっています。環境基準と指針値のどちらを気にすべきか迷うかもしれません。上記の専門家会合の報告書では、環境基準については「健康を保護する上で維持されることが望ましい水準」、暫定的指針値については「現在の知見で、健康影響の可能性が予測される水準」としています。

## II. 2013年にPM<sub>2.5</sub>が騒がれたときの濃度状況

2001年から2011年まで試行的に行われた全国数

十地点の調査によれば、全国平均したPM<sub>2.5</sub>の濃度は、沿道では排ガス規制等の効果もあり約半減し、また、それ以外でも漸減していることがわかっています。2013年の1月から2月にかけて、マスコミの報道をきっかけにPM<sub>2.5</sub>騒動とも呼べる事態になり、その後PM<sub>2.5</sub>が一般の注目を集めるきっかけとなりましたが、あ那时的PM<sub>2.5</sub>の濃度はここ数年の中で格段に高かったのでしょうか。

環境省が開いたPM<sub>2.5</sub>専門家会合の第4回(2013年10月)では、2010年4月から2013年9月までの3年半のPM<sub>2.5</sub>濃度を解析した結果が参考資料として示されました。そこでは、月平均濃度、月別の日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過率、70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過局日のいずれの項目でも、2013年前半のPM<sub>2.5</sub>濃度が過去と比べて高い傾向ではなかったことが示されました。これは西日本と東日本のどちらも同様でした。これらの解析項目を見る限り、2013年の1、2月はこの3年半の中で中庸もしくはそれ以下の濃度レベルでした。少なくとも、日本における観測濃度としてはPM<sub>2.5</sub>が高くない時期になぜか騒ぎとなったと言えます。勿論、2013年においても上記の解析項目として高い値を示した月はあり、例えば3月や8月は高めだったのですが、それは通常の年でも見られる季節ごとの変動の一部と考えられます。このように2013年初頭のPM<sub>2.5</sub>濃度が特に高かった訳ではなく、ごく自然な年々変動や季節変動の一部だったと理解されます。

## III. PM<sub>2.5</sub>が高濃度になる条件

どのような条件のときにPM<sub>2.5</sub>の濃度は高くなるのでしょうか。それを考えるには、まずPM<sub>2.5</sub>の濃度がどのように決まっているかの復習が必要です。PM<sub>2.5</sub>に限らず大気中の物質の濃度は基本的に発生、輸送、変質(反応)、沈着の4つの過程で決まっています。PM<sub>2.5</sub>、もしくはその原因物質は主に地表面付近から排出されます(発生)。それらの物質は大気の動き、つまり風、によって運ばれます(輸送)。大気の乱れ等によつての拡散も輸送に含みます。粒径の大きい粒子では重力沈降が重要となりますが、PM<sub>2.5</sub>の粒径では重力沈降の影響は特に考える必要があるほど大きくありません。PM<sub>2.5</sub>は大気中で輸送されつつ凝集によって大きな粒子になった

り、原因物質同士が反応して粒子化したりします(変質)。最終的には地表面に吸着することによって大気から取り除かれます(沈着)が、雲の生成時や雨の落下時に取り込まれて降水とともに地面に落ちる湿性沈着と、地表面付近に存在する大気から地表や植物表面や建物表面に直接付着する乾性沈着の2種類があります。これらの4つの過程がトータルとしてその場所の濃度を高くするように働いたとき、高濃度になると言えるのですが、少し解り難いので別の言い方を試みます。

ある領域でのPM<sub>2.5</sub>に関心があるとします。領域の広さは市町村であったり都道府県であったり日本全体であったり興味に応じ大小は構いませんが、ある程度の拡がりを考えます。そのとき、その領域内での濃度変化を、その領域内での発生や変質を原因とするものと、領域外からの輸送によるものに分けて考えます。これがローカル要因と越境輸送に、要因を分けるということになります。そのときに、その領域が高濃度になるのは、ローカル要因か越境輸送のいずれか、もしくは両方ということになります。

ローカル要因として挙げられるのは例えば、領域内で発生量が多い、気温が高い(反応が活発になる)、日射が強い(同左)、風が弱い(輸送で運び去られずに反応が進む)、雨が降らない(湿性沈着による除去が起きない)等が挙げられます。一方で越境輸送は、風上で高濃度になり、それが当該領域に向かって輸送されるという2条件が揃ったときに起きます。まず、風上で高濃度になるという部分は、その風上の場所において先ほど挙げた要因が揃ったときに達成されます。次に輸送については、当該領域に向かう風が吹く、輸送途中で雨が降らない等の条件が揃うことが必要になります。ここで一見奇妙なことに気づくでしょうか。越境輸送が起きるときの条件を見ると、風上で風が弱いという条件と、そこからこちらに向かって風が吹くという条件があり、相反しています。実際には、風が弱い数日間で風上に高濃度が発生し、その後風が強まり輸送されてくるような時間差を伴った連動がちょうど起きるような条件が揃ったときに越境輸送は発生します。

越境輸送について一つ留意しなくてはならない事実は、風上の高濃度がそのままの濃度で輸送されてくるわけでは無いことです。輸送されながら大気は前後左右上下に徐々に広がり、また、大気中の物質

は少しずつ地表面に沈着します。例えば中国から日本まで運ばれる間に濃度は10分の1もしくはそれ以下になります。

筆者が2011～2013年度に実施した環境省の環境研究総合推進費5B-1101では、離島等の日本海側の遠隔地におけるPM<sub>2.5</sub>濃度等を観測し調べましたが、離島部のPM<sub>2.5</sub>濃度の季節平均値や年平均値を見ると、西ほど高く東ほど低い西高東低の濃度分布になっていました。この原因の第一は、西日本の方が中国東岸部からの距離が近いので、輸送時の濃度低減が相対的に小さいことにあると解釈しています。

大陸からの越境輸送の多寡は気象条件次第です。春秋は移動性の高低気圧が日本付近を次々通過するために、高低気圧の縁にそった風が丁度大陸近辺から日本付近に向く機会が何度も訪れるので、越境輸送が起きやすいと言われていています。逆に、典型的な冬の西高東低の気圧配置では、強い北風が吹き、風上の極東部付近の大気は清浄ですし、また、典型的な夏の気圧配置では、海洋性の清浄な大気が主に運ばれてくるので、どちらも高濃度をもたらしません。越境輸送が起きやすいのは、これらの典型的な気圧配置が崩れて春秋のような気圧配置になったときです。

#### IV. PM<sub>2.5</sub>の予測

今日もしくは数日後のPM<sub>2.5</sub>の濃度を予測したいときはどうすれば良いでしょうか。数時間後の予測で良いならば、観測データを眺めることによってある程度推測することが可能です。PM<sub>2.5</sub>を含む大気汚染の常時観測データは「そらまめ君<sup>3)</sup>」で公開されています。まず、そらまめ君で関心のある地点とその周りの観測点でのPM<sub>2.5</sub>濃度を確認します。また、最新時刻だけでなく数時間前まで遡って確認して、濃度が上昇中か下降中かを確認します。この時点で濃度が高くなく、かつ、濃度が上昇中でないならば少し安心できます。続いて、風上に位置する、もしくは風向がわからなければ西側の、隣県等での濃度やその上昇下降を確認します。風上で濃度が高いようだったら、風速にもよりますが数時間後にこちらに運ばれてくる可能性が強いので濃度上昇がある程度予見できます。

このように風向きさえ知れば、観測データだけか

らある程度の予測は可能です。しかし、例えば数日後の予測はこの方法では無理があります。そのようなときは数値シミュレーションによる予測の出番です。数値シミュレーションはⅢ.で述べた4つの過程を計算式で記述したプログラムを計算機で解くものですが、詳細は本稿の主旨を超えます。現在の天気予報が主に数値シミュレーションで行われているのはご存じだと思います。それと同様の手法で大気中の物質の濃度を計算していると思っていただければと思います。

現在のPM<sub>2.5</sub>の数値予測の精度は残念ながら高くはなく、例えば今日ある場所で何 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで上昇するか等の定量的な見積りを信頼できる精度はありません。また、成分別の濃度の精度を問われるとさらに信頼度は低下します。ただし、広域的な大気の流れやそれに基づく濃度の上昇下降傾向の予測には一定の信頼がおけます。ですから、観測データを主に、数値予測のデータを従に参考にするのが現時点では得策と言えます。

## V. PM<sub>2.5</sub>に関する今後の課題

以上で説明したように、PM<sub>2.5</sub>濃度の観測データから、少なくともここ数年間で見て最近特にPM<sub>2.5</sub>濃度が日本で上昇したといった傾向は見受けられず、全国的平均濃度は漸減傾向にあります。ただし、

環境基準達成率という面では低いレベルで推移しており、何らかの対策が必要です。

PM<sub>2.5</sub>について今後は、まず観測面で、常時監視測定局でのPM<sub>2.5</sub>濃度の自動測定の精度が十分かどうか検討が必要でしょう。また、PM<sub>2.5</sub>の常時監視測定局を適切な局数、位置に配置するための検討も必要でしょう。成分別濃度データの収集は継続する必要があり、得られたデータは十分に解析することで活用すべきです。数値シミュレーションについては計算精度の向上が強く求められています。また、その他の数値的手法も用いて、観測データから発生源等を推定する研究も引き続き必要です。

これらの大気中動態の解明と独立して、PM<sub>2.5</sub>の人体影響についての研究が進められ、成分ごとの影響への理解が深まれば、その頃には精度が向上している数値シミュレーションの助けを借りて、適切な対策を取ることが可能になると期待されます。

## 参考情報

- 1) 米国における2013年のPM<sub>2.5</sub>環境基準の改正について  
<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-01-15/pdf/2012-30946.pdf>
- 2) 環境省報道発表 平成24年度大気汚染状況について  
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17974>
- 3) 大気汚染物質広域監視システムそらまめ君  
<http://soramame.taiki.go.jp/>