

大気汚染と生活環境

～PM_{2.5} 汚染の実態と解明のための最近の取組～

大気環境担当 米持真一

1 はじめに

大気中に浮遊する微小な粒子のうち、粒径が 2.5 μm (1 μm は千分の 1 ミリメートル) 以下のものを PM_{2.5} と呼びます。呼吸により肺の深部まで侵入し、呼吸器や循環器などへの悪影響が指摘されている大気汚染物質です。このため、日本では 2009 年 9 月に大気環境基準が設定されましたが、一般にはあまり大きな関心は寄せられていませんでした。ところが、2013 年 1 月に中国で深刻な高濃度汚染が広範囲に発生し、これが世界に向けて報道されました。日本では偏西風に乗って中国から PM_{2.5} が飛来するとの懸念が高まり、大きな社会的関心を呼んでいるところです。

こうしたなかで、PM_{2.5} に関して様々な情報が交錯し、残念ながら一般には正確な理解がなされていないと思われる事例も見受けられます。

環境科学国際センターでは、全国に先駆けて 2000 年から PM_{2.5} の成分を含めた通年測定を行ってきました。また、国際協力の一環として、PM_{2.5} や PM₁ (粒径 1 μm 以下の粒子) を対象として中国の研究機関と共同研究を進めてきました¹⁾。

本講演では、まず、PM_{2.5} についての基礎的な知見を、埼玉県で継続してきたこれまでの観測データを基に説明します。また、2013 年冬季の埼玉県及び中国における観測データから分かったことを紹介し、最後に、現在進行中の最新の取組を紹介したいと思います。

2 PM_{2.5} の現状

2.1 長期観測から分かること

PM_{2.5} 濃度はフィルターを通して大気を吸引し、フィルター上に残った粒子の重さを測ることにより測定されています。図 1 は当センターで通年稼働している PM_{2.5} 採取装置です。左側は 1 週間単位、右側は毎日フィルター交換を行い、PM_{2.5} を採取しています。図 2 に一週間単位の PM_{2.5} 濃度について 12 年間の推移を示します。



図 1 PM_{2.5} 採取装置

2001 年度は年平均値 23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったものが、2010 年度は 16.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2012 年度は 16.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで低下していることが分かります。環境基準が設定されたのは 2009 年ですので、それ以前の濃度はあまり知られていませんが、長期的には緩やかな減少傾向にあることが分かります。

図 3 に、1 日単位で採取した

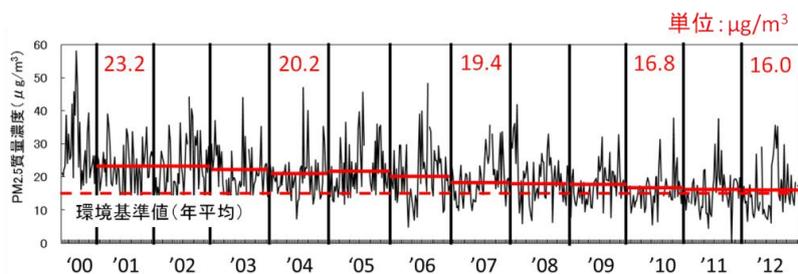


図 2 1 週間単位の PM_{2.5} 濃度の推移 (当センター)
(環境基準値 (年平均値) は、15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PM_{2.5} 濃度が、日平均濃度の環境基準値である 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ただし、年間測定値の 98% 値で評価) を超過した日数を示しますが、10 月から 2 月に高濃度が多く出現する傾向が見られます。

埼玉県では、33 地点 (2013 年 12 月末現在。うち県設置局は 18 地点) で PM_{2.5} 濃度の連続測定をしています。PM_{2.5} の発生源は、自然起源及び人為起源と様々であり、その生成機構も、大気中のガスが粒子化するものもあるなど複雑です。このため、効果的な対策を検討するためには、PM_{2.5} を構成す

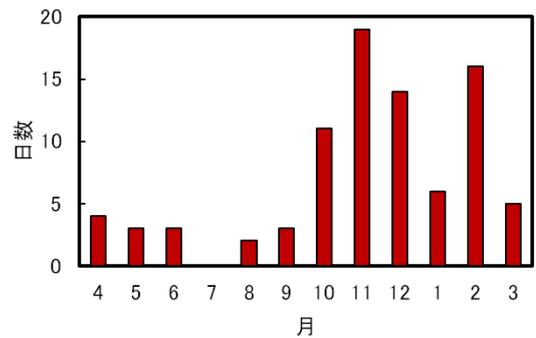


図 3 日平均濃度が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した日数 (2009 年~2012 年)

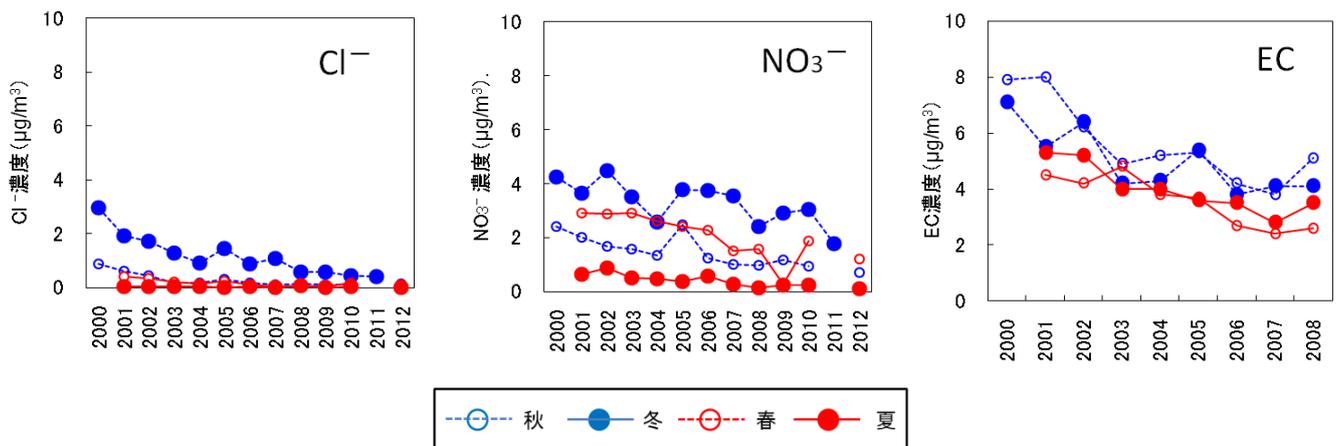


図 4 1 週間単位の PM_{2.5} 成分濃度の推移 (当センター)

る成分を詳しく知る必要があります。これまでの研究で、Cl⁻ (塩化物イオン)、NO₃⁻ (硝酸イオン)、SO₄²⁻ (硫酸イオン)、NH₄⁺ (アンモニウムイオン)、OC (有機炭素) および EC (元素状炭素) の 6 成分で PM_{2.5} 質量濃度の 7~8 割を占めていることが分かっています。

図 4 に、当センターで通年採取した試料の成分のうち、明瞭な濃度減少がみられている成分を示します。Cl⁻ は、主として焼却炉から排出される HCl (塩化水素) ガスが、NO₃⁻ は、燃焼によって排出される NO_x (窒素酸化物) がそれぞれ粒子化したものです。また、EC は、工場からのばいじんやディーゼル車から排出される黒煙が主な発生源ですが、焼却炉や自動車排ガスの対策が進んでいることによる効果が現れていると考えられます。

一方、分析を行った成分のうち、SO₄²⁻ や OC などは、明瞭な減少が見られていません。前者は、アジア地域の SO₂ (二酸化硫黄) の排出量の増加が考えられます。一方で後者は、農作物の収穫期以降の稲わらや枯れ草 (バイオマス) 焼却や植物などから排出される有機物の影響などがありますが、排出実態は十分に把握できていません。

なお、埼玉県では、2011 年から、当センター以外の県内の 3 地点でも四季のそれぞれ 2 週間、毎日の試料採取を行い、成分を詳しく分析しています。

2.2 2013 年冬季の PM_{2.5} の状況

当センターでは、2013 年 1 月、中国で PM_{2.5} が高濃度となった期間中に、日本国内 2 地点 (新宿区と加須市)、中国の 2 地点 (北京市と上海市) で PM_{2.5} や PM₁ の同時観測を行っていました。また、2.1 節でも述べた通年の観測も行っていたことから、これらの試料について、成分の分析を行いました。

北京市の試料を分析したところ、主に燃料中の硫黄分由来する SO_4^{2-} 濃度が特に高いことが分かりました。また、金属元素成分の分析結果からは、日本と比べて、As(ヒ素)、Cd(カドミウム)、Pb(鉛)などの元素が特に多く含まれていました。これらは、石炭中に多く含まれる成分であることから、石炭の燃焼による影響を強く受けていることが分かりました。さらに、1時間値で $850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高い濃度が見られた1月12日は、気温が低く、週末であったことなどから、暖房に使用する石炭の燃焼による影響が現れたものと考えられました²⁾。一方、上海では、観測期間中に雨の日が多く、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の大きな上昇は見られませんでした。また、 $\text{PM}_{2.5}$ 中に含まれるこれら金属元素の比率も北京と比べて低いことが分かりました。

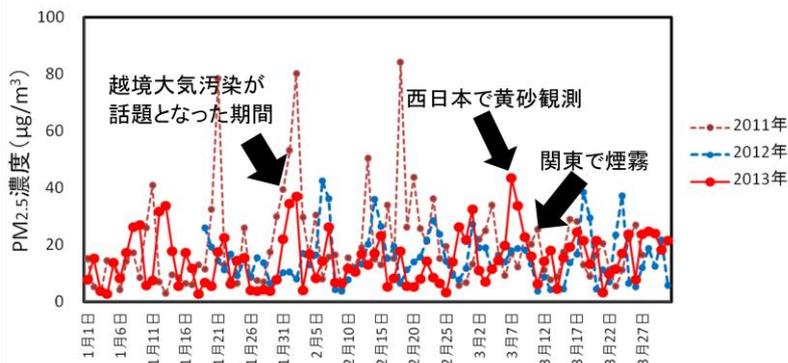


図5 過去3年間の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の推移（当センター）
（図中の矢印は全て2013年のデータを示す）

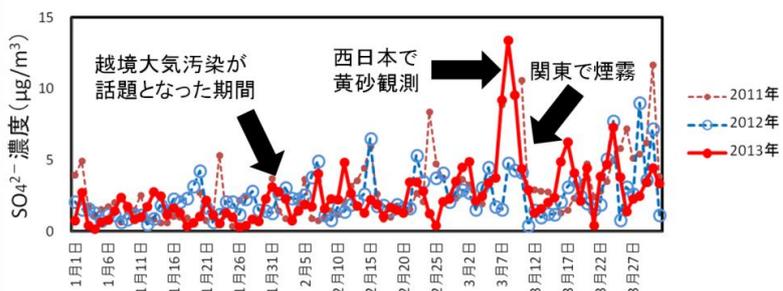


図6 過去3年間の $\text{PM}_{2.5}$ 中 SO_4^{2-} の推移（当センター）
（図中の矢印は全て2013年のデータを示す）

日本では、1月31日～2月2日に偏西風に乗って $\text{PM}_{2.5}$ の飛来が予想されました。図5に過去3年間の1月～3月の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度を、図6に同時期の $\text{PM}_{2.5}$ 中の SO_4^{2-} 濃度を示しました。図5から、この期間中の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度はやや増加したものの、特に高い濃度ではなかったことが分かります。図6に示す SO_4^{2-} でも、特に高い濃度は見られなかったことから、越境大気汚染による影響は関東地域では少なかったと考えられます。一方、3月7日～9日は、西日本では黄砂が飛来しましたが、関東地域では黄砂飛来の発表はありませんでした。図5、図6に示すように $\text{PM}_{2.5}$ 濃度や SO_4^{2-} 濃度には大きな増加が見られました。このときは、土壌中に多く含まれる成分のカルシウムイオン (Ca^{2+}) も顕著に濃度が増加したことから、関東地域でも黄砂の飛来が影響していると考えられます。

2013年3月10日には、首都圏で空が黄色く染まる、大規模な煙霧が見られましたが、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度には大きな増加が見られませんでした。これは、比較的大きな粒子が舞い上がったことを示しており、実際、各地のSPM（粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子）濃度には、顕著な増加が見られました。

2.3 その後の状況

環境省は2013年3月1日付けで、 $\text{PM}_{2.5}$ への対応について発表しました。日平均濃度の環境基準値は $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ですが、この2倍に当たる、日平均濃度 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることが予想される場合には、注意喚起情報を発表することを決め³⁾、更に11月には、この判断方法が改善されました。

また、米国における環境基準値の強化やIARC（国際がん研究機関）による、微小粒子を含む大気汚染の発がん性の認定など、 $\text{PM}_{2.5}$ を巡る状況は刻々と変化しています。

3 最近の取組

当センターでは、これまで、中国の研究機関との共同研究によって、PM_{2.5}の同時観測を進めてきましたが、2013年からは、韓国済州島ハルラ山でもPM_{2.5}、PM₁の観測を開始しました。済州島は、周囲に大規模な発生源がないことから、汚染物質の長距離輸送を調べるのに適した地点です。韓国済州大学校との共同研究により、済州島では、毎月約2週間のPM_{2.5}とPM₁の並行採取を行っており、2013年8月と2014年1月には、中国、韓国、日本で同時採取を行いました。また、夏季は、地上近傍の汚染の影響を受けない、富士山頂の測候所（標高3776 m）でも試料採取を行いました。

昨年の観測結果からは、越境大気汚染に関する興味深い知見も得られています⁴⁾。また、当センターでは、PM₁の観測を2005年から通年で行っていますが、これは国内で唯一の取組です。PM₁は、PM_{2.5}の一部ですが、1 μm以下の粒子には自然由来の粒子がほとんど含まれないことから、人為起源の粒子に特化した評価が可能と考えています。

また、我が国では、農産物の収穫期以降のバイオマス焼却が郊外で広範囲に行われています。この期間に採取したPM_{2.5}にはOCが多く含まれているため、バイオマス焼却は、秋以降に35 μg/m³を超える日が多い（図3参照）一つの原因と考えられますが、実態は十分に把握できていないのが現状です。さらには、植物等から排出される有機物に由来する有機粒子についても、まだよく分からない部分が多く、これらを解明するための研究も進めています。

4 おわりに

昨年の秋以降、再び中国や韓国では深刻なPM_{2.5}汚染の報告が増えてきています。これらの報道から、国内のPM_{2.5}の多くが国外から流れてくると誤解している場合もあるかと思えます。しかし、少なくとも、関東地域ではPM_{2.5}の大部分は国内の発生源による影響であること、そして、身近なところにも発生源があることを理解する必要があります。また、過去12年間の測定結果からは、濃度は減少傾向にあることが分かります。PM_{2.5}については、これらの情報を踏まえた上で、正しく理解する必要がありますのではないのでしょうか。

一方で、PM_{2.5}にはまだよく分からないことが多いのも事実です。当センターでは、国際共同研究とともに、国内研究機関とも協働した取組を通じて、PM_{2.5}の詳細を明らかにしていくための研究を今後も進めていきます。

謝辞

本研究のうち、中国における試料採取は、JSPS 科研費（課題番号24510027）の支援により実施されました。また、富士山頂測候所の利用については、NPO 法人富士山頂測候所を活用する会の協力を頂きました。韓国済州島ハルラ山の観測は韓国済州地域環境センター研究費による資金を活用して実施しています。ここに感謝の意を表します。

文献

- 1) 米持真一(2008)“粒子”がつないだ中国上海大学との研究交流. 平成20年度埼玉県環境科学国際センター講演会要旨集, 13-17, <http://www.pref.saitama.lg.jp/uploaded/attachment/15245.pdf>, (accessed 2014-1-9).
- 2) 米持真一ら(2013)2013年1月に中国北京市で採取した高濃度PM_{2.5}、PM₁の特徴. 大気環境学会誌, 8(3), 140-143, https://www.jstage.jst.go.jp/article/taiki/48/3/48_140/_pdf, (accessed 2014-1-9).
- 3) 環境省(微小粒子状物質(PM_{2.5}))に関する専門家会合(2013)最近の微小粒子状物質(PM_{2.5})による大気汚染への対応, http://www.env.go.jp/air/osen/pm/info/attach/rep_20130227-main.pdf, (accessed 2014-1-9).
- 4) 読売新聞(2013) 飛来PM_{2.5}発生源特定へ 中国レアアースで解析. 2013年11月1日夕刊, p.3(全国版).