

# 新たな大気環境基準 PM<sub>2.5</sub>

## —大気中に浮遊する微小な粒子のふるまい—

大気環境担当 長谷川 就一

### 1 はじめに

大気中には、様々な発生源に由来するガス状物質と粒子状物質が存在しています。これらは、主に人間活動から発生するため、特にそれが盛んな地域では濃度が高くなります。そのため、人々の健康や生活環境を守る上で維持されることが望ましい基準として、大気環境基準が定められています。粒子状物質については、これまで浮遊粒子状物質（SPM）と呼ばれる粒径  $10\mu\text{m}$ （ $1\text{mm}$  の  $100$  分の  $1$ ）以下の粒子の環境基準が設定されていました。しかし、粒径が  $10\mu\text{m}$  以下の中でも、より小さい粒子は人体の肺深部まで侵入し、呼吸器や循環器へ影響することが示唆されたことから、アメリカ（1997年）やEU（2008年）では、粒径  $2.5\mu\text{m}$  以下の粒子（PM<sub>2.5</sub> と呼ぶ）の環境基準が設定されました。また、世界保健機関（WHO）は2006年にPM<sub>2.5</sub>に関するガイドラインを設定しました。こうした海外情勢も視野に入れながら、日本でも自動車 NO<sub>x</sub>・PM 法改正の附帯決議においてPM<sub>2.5</sub>の環境基準の早期設定が求められており、環境省はPM<sub>2.5</sub>について調査・検討を進めてきました。そして、2009年9月にPM<sub>2.5</sub>の環境基準が設定されました。

ここでは、大気環境基準として新たに加わったPM<sub>2.5</sub>の概要や特徴、これまでの調査・研究と埼玉県における実態、今後の課題などについて紹介します。

### 2 PM<sub>2.5</sub>の環境基準と測定

大気中に浮遊する粒子は、質量濃度で見ると  $1\sim 2\mu\text{m}$  付近を境にして小さい粒子（微小粒子）と大きい粒子（粗大粒子）に分類できます。粗大粒子は、主に波しぶき（海塩）、土壌の巻き上げ、火山の噴煙などの自然起源の粒子から成っています。春季に大陸から飛来する黄砂もこれに属します。これに対して微小粒子は、固定発生源と呼ばれる工場・発電所・ボイラー・焼却炉・家庭などや、移動発生源と呼ばれる自動車・船舶・航空機・建設機械などの人為起源の粒子が主なものとなっています。また、野焼きや森林火災なども発生源となります。SPM は微小粒子と粗大粒子の両方を含みますが、PM<sub>2.5</sub> はほぼ微小粒子に相当します。

表1に、PM<sub>2.5</sub>とSPMの環境基準の内容を示します。PM<sub>2.5</sub>の環境基準値は、年平均値が  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下、日平均値が  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下となっています。ここで単位（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は、空気  $1\text{m}^3$  中に含まれる粒子の質量（ $1\mu\text{g}$  は  $1\text{g}$  の  $100$  万分の  $1$ ）を意味します。PM<sub>2.5</sub>の基準値に年平均値が設けられているのは、比較的低濃度であっても長期的な曝露によって慢性的な健康影響を受けるリスクを抑えるためです。一方、日平均値は短期的な高濃度曝露によって急性的な健康影響を受けるリスクを抑えるためです。

測定方法については、いずれもろ過捕集による質量濃度測定を基本としており、1日（24時間）平均値を求めることとなっています。すなわち、ろ紙（フィルター）に大気を24時間吸引して粒子を捕集し、そのろ紙の質量変化を天秤で量ることで粒子の質量を求めます。しかし、多地点で毎日ろ紙を24時間ごとに交換するのは困難であることから、常時監視（モニタリング）ではろ過捕集法と

表 1 SPM と PM<sub>2.5</sub> の環境基準の内容

物質	環境上の条件	測定方法	備考
浮遊粒子状物質 (SPM)	1時間値の1日平均値が0.10mg/m <sup>3</sup> 以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m <sup>3</sup> 以下であること。(S48. 5.8告示)	濾過捕集による重量濃度測定方法又はこの方法によって測定された重量濃度と直線的な関係を有する量が得られる光散乱法、圧電天びん法若しくはベータ線吸収法	浮遊粒子状物質とは大気中に浮遊する粒子状物質であってその粒径が10μ m以下のものをいう。
微小粒子状物質 (PM <sub>2.5</sub> )	1年平均値が15μ g/m <sup>3</sup> 以下であり、かつ、1日平均値が35μ g/m <sup>3</sup> 以下であること。(H21.9.9告示)	微小粒子状物質による大気汚染の状況を的確に把握することができると認められる場所において、濾過捕集による質量濃度測定方法又はこの方法によって測定された質量濃度と等価値が得られると認められる自動測定機による方法	微小粒子状物質とは、大気中に浮遊する粒子状物質であって、粒径が2.5μ mの粒子を50%の割合で分離できる分粒装置を用いて、より粒径の大きい粒子を除去した後に採取される粒子をいう。

環境基準は、工業専用地域、車道その他一般公衆が通常生活していない地域または場所については、適用しない。

等価値が得られる自動測定法が認められています。SPM では3種類の方法が示されていますが、実際にはほとんどベータ線吸収法が用いられています。PM<sub>2.5</sub> に関しては、ベータ線吸収法、光散乱法、フィルター振動法 (TEOM)、ベータ線吸収法と光散乱法を組み合わせた方法があります。自動測定法の装置はいくつかのメーカーで開発・市販されており、それらのろ過捕集法との等価性を確認するために環境省では自動測定法の装置の並行測定試験を実施し、機種認定を行なっています。

SPM は、全国約 1800 地点の一般環境大気測定局 (一般局) および自動車排出ガス測定局 (自排局) で、自動測定法によって 24 時間常時監視されています。一方、PM<sub>2.5</sub> は、これまでは環境基準設定の検討のために環境省がごく限られた地点で継続して測定を行なったり、埼玉県を含む一部自治体が独自に測定を行なったりしているにとどまっています。しかし、環境基準が設定され、環境大気常時監視マニュアルの改訂、大気汚染防止法に基づく自治体の事務処理基準の改正、自動測定法の機種認定などが行なわれたことを受けて、各自治体は 2012 年度を目途に常時監視体制の整備に取り組みます。

### 3 PM<sub>2.5</sub> の実態

SPM の全国的な濃度は、一般局、自排局、ともに年々低下していますが、これと同様に、PM<sub>2.5</sub> についても、環境省による測定では年々低下しています (図 1) <sup>1)</sup>。埼玉県では全国の自治体に先駆けて、環境科学国際センターがある加須市 (旧騎西町) において、2000 年から PM<sub>2.5</sub> を継続的に測定してきました <sup>2)</sup>。その結果でも PM<sub>2.5</sub> 濃度は年々低下してきています (図 2)。また、近年は一般局と自排局の濃度差が小さくなってきています。こうした変化の一因には、順次行なわれてきた自動車排ガス規制や、2003 年から首都圏で行なわれている運行規制などの対策により、自動車排ガスに由来する粒子が減少したことが考えられます。しかし、最近の結果でも、都市部では環境基準となっている年平均値 15μg/m<sup>3</sup> 以下には達していないことがわかります。当センターにおける測定結果から PM<sub>2.5</sub> と SPM の関係 (比率) を県内全体に適用し、SPM の測定結果から県内全体の PM<sub>2.5</sub> を推測すると、やはり年平均値の基準に達しないと見られます。また、日平均値については、

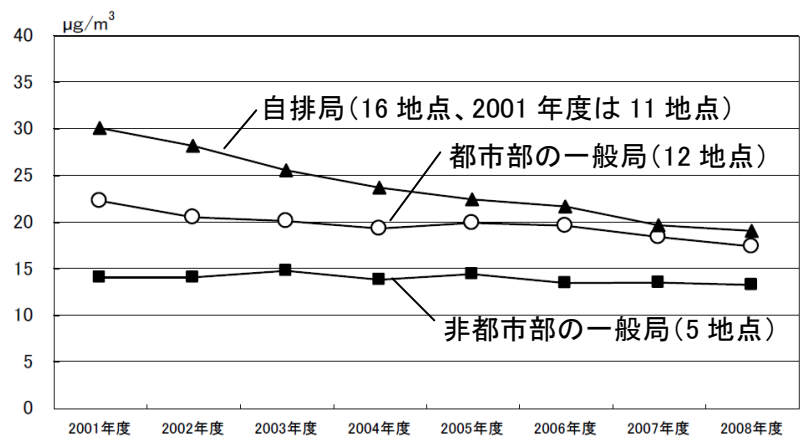


図 1 PM<sub>2.5</sub> 濃度の全国的な経年変化 <sup>1)</sup>

年間の98パーセンタイル値（365個の日平均値のうち上位8番目の値に相当）が基準値の $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であれば環境基準を達成しますが、当センターにおける2009年度の測定結果ではこれも達成していません。このため、 $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準達成に向けて、より一層の削減対策が必要となっています。

$\text{PM}_{2.5}$ は、1年のうち春季から夏季（4～7月頃）と晩秋（11月頃）に高くなる傾向があります。また、1日のうちでは朝（7～9時頃）と

夕方（17～19時頃）に高くなる傾向があります。こうした変動は、気温、日射、風向や風速、広いスケールの風の流れなどの気象条件の季節変化・時間変化に大きく影響されています。また、人為起源粒子の発生量は、人の活動に左右されます。たとえば、一般に自動車交通量は通勤ラッシュとなる朝と夕方に多くなるため、この時間帯は自動車排ガスの影響が大きくなります。

県内の分布については、2009年11～12月（冬季）の2週間、県内20地点において測定した結果では、概ね西部に比べて中部や東部で高い傾向となっていました。一方、2010年8～9月（夏季）の1週間に7地点で測定した結果では、概ね南部に比べて北部で高い傾向が見られました。

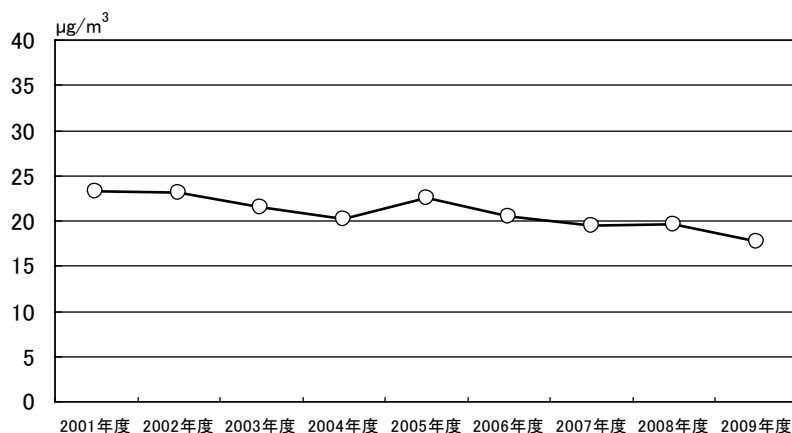


図2 環境科学国際センター（加須市）における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の経年変化

#### 4 $\text{PM}_{2.5}$ の成分と発生源の寄与

$\text{PM}_{2.5}$ を効果的に削減するには、寄与の大きい発生源を調べ、そこへ集中的に削減対策を講じることです。2の冒頭でも述べたように粒子状物質は様々な発生源に由来しますが、発生源によって粒子状物質の化学成分が異なっているため、寄与の大きい発生源を調べるためには粒子の成分を分析する必要があります。当センターにおける $\text{PM}_{2.5}$ の成分分析結果を図3に示します。 $\text{PM}_{2.5}$ の主要な成分は、元素炭素（EC）、有機炭素（OC）、硫酸イオン（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）、硝酸イオン（ $\text{NO}_3^-$ ）、塩化物イオン（ $\text{Cl}^-$ ）、アンモニウムイオン（ $\text{NH}_4^+$ ）などで、これらの割合は場所や季節によって変わります。ECは、エンジン等の燃焼の際に出る黒煙（煤）の主体になっている成分です。OCは、炭素を中心に水素や窒素などの元素で成り立つ有機物に含まれる炭素です。有機物は自然起源から人為起源まで

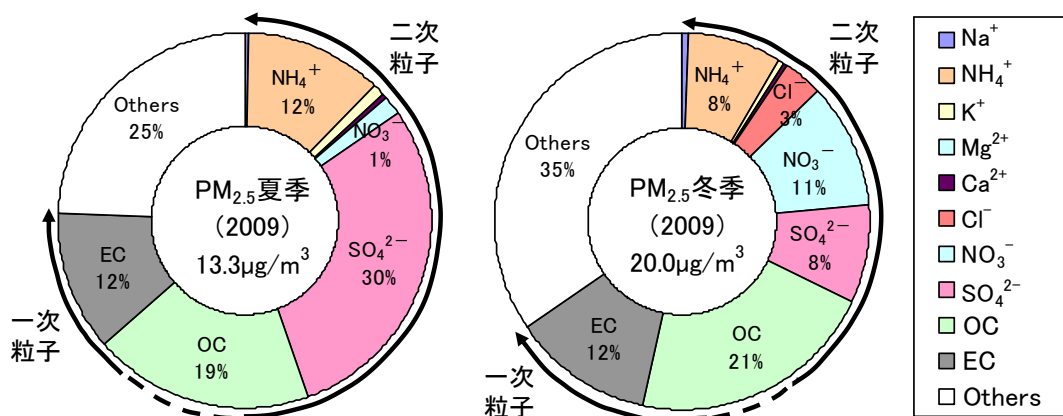


図3 環境科学国際センター（加須市）における夏季と冬季の $\text{PM}_{2.5}$ の成分

様々な発生源から発生し、数千種類の成分が存在すると言われています。EC、有機物の一部は、発生源から粒子の状態直接排出される粒子（一次粒子と呼ばれる）ですが、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、および有機物の一部については、硫黄酸化物（ $\text{SO}_2$ ）、窒素酸化物（ $\text{NO}_x$ ）、塩化水素（ $\text{HCl}$ ）、アンモニア（ $\text{NH}_3$ ）、揮発性有機化合物（VOC）などのガス状物質が大気中で反応してできる粒子（二次粒子と呼ばれる）です。図3の調査結果からもわかるように、一般に一次粒子よりも二次粒子の方が多くなっています。

当センターにおける主要成分の経年変化を見ると、EC、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ については低下傾向が見られます。これは、自動車排ガスや廃棄物焼却炉の対策効果の表れと考えられます。一方、OC、 $\text{SO}_4^{2-}$ については横ばいとなっています。こうした傾向は全国的にも同様であり、光化学スモッグやバイオマス燃焼<sup>注1)</sup>、他地域や他国からの流入などが原因と考えられますが、まだよく分かっていません。

このように、特に二次粒子は空間的な広がりや複雑な生成反応メカニズムを持っているため、環境科学国際センターでは、周辺地域との協力や情報交換、全国的な調査研究への参加、国立環境研究所などとの共同観測<sup>3)</sup>など、国内外の大学や研究機関との連携を積極的に図ってきました。それらによって、いくつかのことが分かってきました。例えば、OCを一次粒子と二次粒子とに正確に分けるのは難しいのですが、OCの中でも主に二次粒子と考えられる水溶性有機炭素（WSOC）は、関東地方の中でも都市部よりも郊外で比較的高い傾向がありました。また、エアロゾル質量分析計（AMS）という特殊な装置で測定すると、主に二次粒子と考えられる酸化態のOCが、やはり郊外で高い傾向がありました。また、主要成分のほかに、有機物の成分や金属成分などの微量成分も、発生源の寄与率を推定する上で手掛かりとなります。バイオマス燃焼に由来する有機成分であるレボグルコサンや、バイオマス燃焼由来炭素と化石燃料燃焼由来炭素とを分けられる放射性炭素同位体比（ $\text{pMC}$ ）の測定によって、関東地方の中でも都心部より郊外でバイオマス燃焼の影響が大きいことが示唆されました。

## 5 おわりに

埼玉県における $\text{PM}_{2.5}$ を削減していくためには、工場や自動車などの発生源へのさらなる対策ももちろんですが、二次粒子を抑えることが鍵になると考えられます。しかし、この課題は、同じように大気中で反応生成する光化学オキシダントを減らすことと同様に難しい課題です。また、バイオマス燃焼（家庭の庭先や処理設備のない炉などでの焼却）を減らすことも重要になると考えられます。今後、当センターにおける独自の測定を継続・展開するとともに、様々な調査研究や共同研究に参加しながら、 $\text{PM}_{2.5}$ の削減・環境基準の達成に向けた研究をさらに進めていきたいと考えています。

## 用語解説

注1) **バイオマス燃焼**：植物に由来する物質が燃焼すること。たとえば、紙や木材、落ち葉や稲わらなどの廃棄物焼却や、木炭などの燃料の燃焼、森林火災などが含まれる。

## 文献

- 1) 環境省中央環境審議会大気環境部会微小粒子状物質環境基準専門委員会報告（2009）
- 2) 米持真一，梅沢夏実，松本利恵（2007）埼玉県北部の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と化学組成の5年間の観測結果，大気環境学会誌，**42**，129-142.
- 3) 長谷川就一，小林伸治，大原利真，田邊潔，速水洋，米持真一，梅沢夏実，飯島明宏，熊谷貴美代（2008）2007年夏季関東における微小粒子広域観測とモデリング(1)－観測概要－，大気環境学会第49回年会講演要旨集，377.