

# 2013年夏季におけるPM<sub>2.5</sub>高濃度現象

齊藤 伸治 増田 龍彦 松永 壮 上野 広行

## 要 旨

2013年4月～2014年3月にかけて標準測定法と連続測定器による微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の観測を行った。PM<sub>2.5</sub> 質量濃度は夏 (7～8月) と秋冬 (11月、1～3月) に高く、化学成分では、夏は硫酸イオンが、秋冬は硝酸イオンが最も高かった。夏と秋冬で高濃度日と低濃度日に分けて化学成分濃度を比較すると、高濃度発生日はそれぞれの季節の主要成分である硫酸イオンと硝酸イオンの割合がさらに増加する特徴が見られた。次に2013年夏季の高濃度に着目した解析を行った。2013年の夏は気温が高く、高温弱風日に高濃度のPM<sub>2.5</sub>が発生していることが分かった。高濃度のPM<sub>2.5</sub>が発生した8月10日前後の時間値データを気象データと併せて解析したところ、海陸風が発達する気象条件下で日中の南風卓越時 (海風発達時) に濃度が上昇しており、日ごとに濃度が上がっていく様子が見られた。

キーワード：微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>)、化学成分組成、都市大気、連続測定

## 1 はじめに

2009年に微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の環境基準が設定されたことに伴い大気汚染状況の常時監視に関する事務処理基準が改訂された。東京都では2011年～2013年にかけて順次モニタリング体制を整備し、現在では都内80局の常時監視測定局 (一般局：45局、自排局35局) においてPM<sub>2.5</sub>濃度のモニタリングが実施されている。2013年度における環境基準の達成状況は、長期基準 (年平均値15 μg/m<sup>3</sup>以下) については、一般局で22%、自排局で5.7%であった。一方、短期基準 (日平均値35 μg/m<sup>3</sup>以下) については、一般局で6.7%、自排局で0%と厳しい状況にあることから、PM<sub>2.5</sub>の濃度低減に向けた効果的な対策を講じていく必要がある。

PM<sub>2.5</sub>は様々な化学成分によって構成されている。その中には一次発生によるものの他に大気中での化学反応によって二次生成されるものも含まれる。そのため、化学成分ごとの濃度変化の特徴を把握し、主要化学成分の発生源を特定することが重要となる。しかしながら、化学成分濃度のデータは十分に蓄積されておらず、特に、連続的に観測された化学成分濃度については、ほとんど得られていない。現在、自治体によるPM<sub>2.5</sub>の成分分析が4季各2週間という観測体制で実施されているが、こ

の観測体制では年間に起こる高濃度事例を捉える確率が低く、また、24時間毎の試料採取という時間分解能は、短期的な高濃度現象のメカニズムを解明するには十分でないといった問題点がある。本調査では、2013年4月～2014年3月にかけて標準測定法 (24時間採取) と連続測定器 (1時間採取) による観測を実施した。ここでは得られた成分濃度の結果を用い、季節ごとの濃度変化の特徴を整理し、2013年夏季に特異的に発生した高濃度現象に着目した解析結果を報告する。

## 2 測定手法

当研究所の屋上にローボリウムエアサンプラー (R&P社製FRM2000) を設置し、午前10時～翌9時にかけて大気中PM<sub>2.5</sub>の捕集を行った。試料の捕集には石英繊維フィルター (Pallflex 2500 QAT-UP) を用いた。試料の分析方法については、前報と同様である<sup>1, 2)</sup>。

連続測定器による観測については、Thermo Scientific社製のサルフェイト粒子濃度測定装置 (SPA5020i) を用いて行い、硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) の1時間データを取得した。

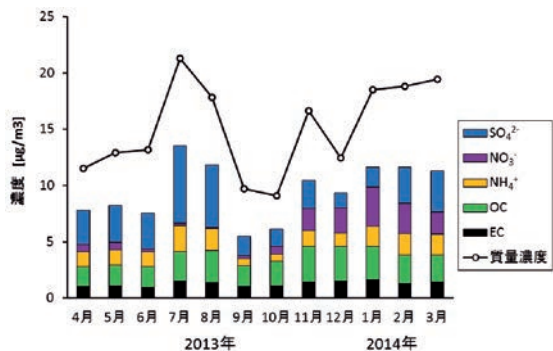


図1 PM<sub>2.5</sub>質量濃度と化学成分濃度の月別平均値

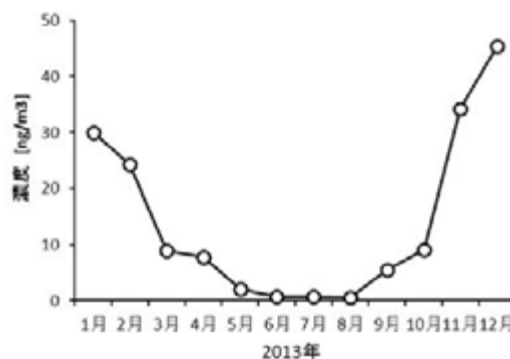


図2 レボグルコサンの月別平均値

### 3 結果と考察

#### (1) 季節変化の特徴

2013年4月から2014年3月にかけてのPM<sub>2.5</sub>の質量濃度と元素状炭素 (EC)、有機炭素 (OC)、アンモニウムイオン (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) の月平均濃度を図1に示す。質量濃度は7～8月と11月、1～3月に高く、環境基準 (長期基準) の15 µg/m<sup>3</sup>を上回っていた。成分濃度については、夏 (7～8月) は硫酸イオン濃度が最も高く、二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) の酸化による二次生成によるものと考えられる。秋 (11月) から冬 (1～3月) にかけては硝酸イオン濃度が高くなっており、窒素酸化物 (NOx) の酸化による二次生成によるものと考えられる。また、これらの高濃度の時期においては、有機炭素の濃度が硫酸イオン濃度や硝酸イオン濃度に次いで高かった。有機炭素濃度の上昇要因としては、野焼き等による一次排出とVOCの酸化による二次生成が考えられる。バイオマス燃焼の指標物質であるレボグルコサンについて、当研究所で測定した月別平均濃度を図2に示す。夏にはほとんど検出されないほどの低濃度であるのに対し、秋から冬にかけては濃度が大きく増加していることから、夏は光化学生成が活発であることにより、VOCの酸化による二次生成が有機炭素濃度上昇の一因と考えられる。一方、秋から冬にかけては野焼き等による一次排出の影響が一因として考えられる。

#### (2) 高濃度発生時の化学成分の特徴

夏と秋冬について、化学成分濃度を低濃度日と高濃度日に分けて図3に示す。ここで、低濃度日とは本調査で得られた質量濃度と都内常時監視測定局 (一般局区部) の日平均質量濃度がともに15 µg/m<sup>3</sup>以下の日とし、高濃度日とは上記測定局のうち、一局でも日平均値が35

µg/m<sup>3</sup>を超過し、かつ本調査で得られた質量濃度が15 µg/m<sup>3</sup>以上となった日とした。前節で述べたように、夏の主要化学成分は硫酸イオンであるが、夏の高濃度日は低濃度日と比べるとPM<sub>2.5</sub>全体に占める硫酸イオンの割合がさらに大きくなる。また、アンモニウムイオンの占める割合も大きくなることから、硫酸アンモニウムの形成が高濃度の一因と考えられる。一方、秋冬については、主要化学成分は硝酸イオンであるが、高濃度日は硝酸イオンの占める割合がさらに大きくなることから、硝酸アンモニウムの形成が高濃度の一因と考えら

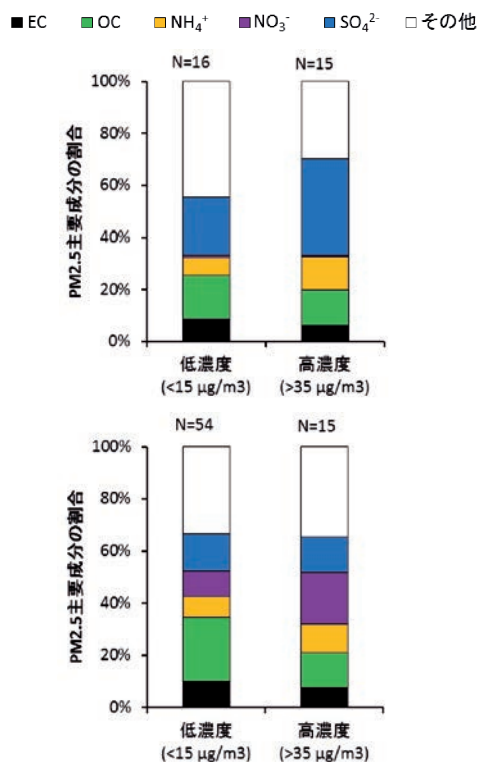


図3 低濃度日と高濃度日におけるPM<sub>2.5</sub>主要化学成分の割合 (上) 夏: 7～8月、(下) 秋冬: 11～3月

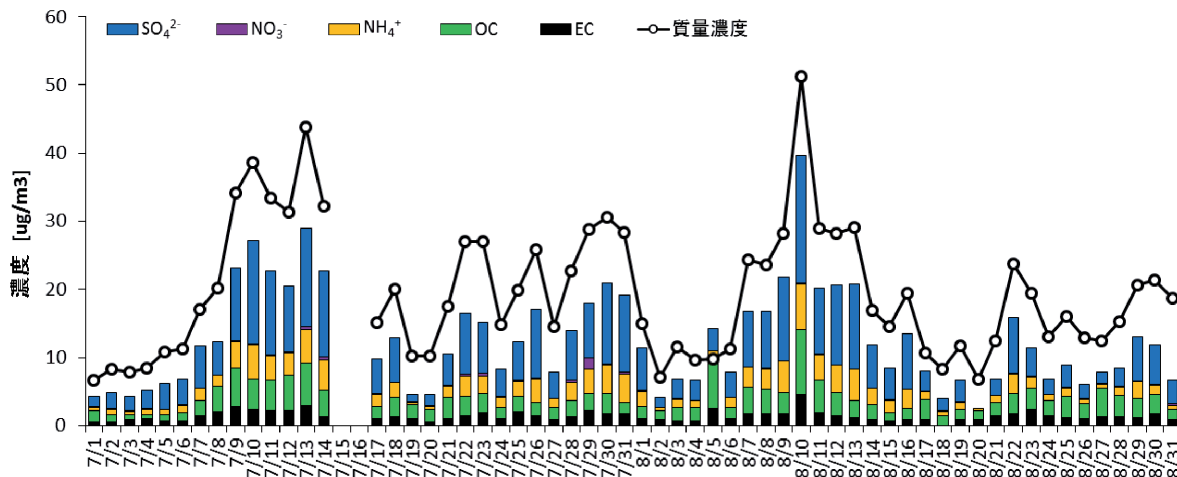


図4 2013年夏季におけるPM<sub>2.5</sub>質量濃度と化学成分の日平均値の推移

れる。このように夏と秋冬ではPM<sub>2.5</sub>を構成する化学成分の比率が異なっているが、高濃度日に着目するとそれぞれの季節における主要成分の割合がさらに増加する特徴がみられた。

年のみに発生した理由について気象状況から推察を行った。2012年と2013年の7～8月における日平均気温、日平均風速とPM<sub>2.5</sub>質量濃度との関係を図6に示す。なお、ここではPM<sub>2.5</sub>質量濃度については、研究所最寄り

(3) 2013年夏季の高濃度現象

2013年7～8月におけるPM<sub>2.5</sub>質量濃度と化学成分の日平均値の推移を図4に示す。7月9～14日及び8月7～13日に高濃度となっており、日平均値が35 µg/m<sup>3</sup>を超える日が見られた。最も高濃度となった8月10日の12:00における全国の濃度分布を見ると(図5)、西日本から東日本にかけて広範囲で高濃度となっていることがわかる。また、関東、中部、関西といった都市域において濃度がさらに高くなっていることから広域汚染と地域汚染が合わさった結果、濃度が高くなったと考えられる。ところで2012年の夏季においては、2013年のような高濃度現象は見られなかった。そこで次に2013

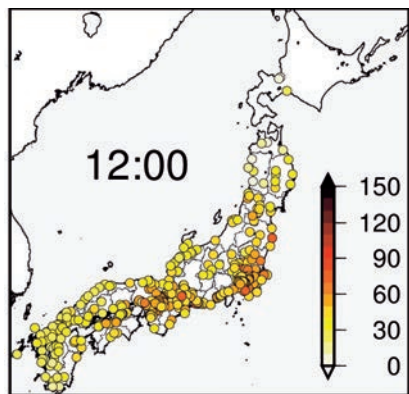
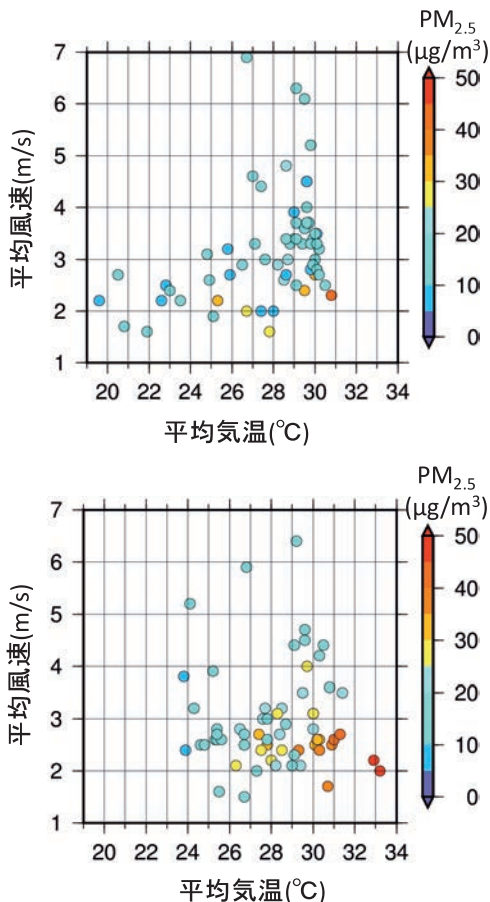


図5 2013年8月10日12:00における全国のPM<sub>2.5</sub>濃度分布

図6 夏(7～8月)における日平均気温、日平均風速とPM<sub>2.5</sub>濃度との関係(上)2012年、(下)2013年

の常時監視測定局である江東区大島のデータを用い、気温、風速については東京管区气象台（大手町）のデータを用いた。図6から明らかなように、気温が高く、風が弱い日にPM<sub>2.5</sub>濃度は高くなる傾向が見られた。2012年と2013年を比較してみると、2013年のほうが高温弱風日は多く、このような気象条件下で高濃度のPM<sub>2.5</sub>が発生していた。これは高濃度の光化学オキシダントが発生する条件と似ており、弱風日は拡散が抑えられることにより濃度が高くなりやすいこと、高温日は日射量が多く、光化学生成が活発であることなどが要因として考えられる。一方、図6において2012年と2013年で同じ気温、風速でも2013年のほうが濃度がより高い傾向もみられる（気温30～32℃、風速2～3 m/sの範囲等）。このような差異の要因を明らかにするためには、より詳細な解析が必要である。例えば、2013年夏季については桜島からの火山性ガスの影響が中部地方に及んでいたとの報告がある<sup>3)</sup>。今回の調査では火山性ガスの影響を示す結果は得られなかったが、自然起源と人為起源の両方の影響を含めて高濃度要因を検討することが重要である。

次に、8月の高濃度日を対象に時間変化について述べる。8月5～14日におけるPM<sub>2.5</sub>質量濃度と硫酸イオン濃度の時間変化を図7(a)に示す。日平均濃度が最も高かった8月10日に一時間値で最大の67 μg/m<sup>3</sup>となっており、翌日の午前中にも66 μg/m<sup>3</sup>と濃度が上昇していた。硫酸イオン濃度はPM<sub>2.5</sub>質量濃度とほぼ同じ時間変化をしているが、硫酸イオン濃度が最も高かったのは、8月12日（15:00に最大17.6 μg/m<sup>3</sup>）であった。この期間の風向・風速の時間変化を図7(b)に示す。なお、風向は16方位である。例えば、東は4、南は8、西は12、北は16で表され、静穏は0である。濃度が上昇する前の8月5～6日にかけては継続的に南風が卓越していた。濃度の上昇が始まる8月7日以降は日中に南風が強まり、夜間に弱い北寄りの風となっていることから海陸風が発達していることがわかる。図7(a)、(b)を併せてみると、日中の海風発達時に濃度が上昇し、日ごとに濃度が上がっていく様子となっている。

地域汚染の影響を検討するため、東京湾の湾奥部に位置する江東区大島局と湾口部に位置する千葉県館山局（図8）の比較を行った。両地点の時間変化のパターンはおおよそ一致しており、江東区大島局のほうが千葉県館山局よりもほとんどの時間で濃度が高かった（図9）。

8月12日に江東区大島局で濃度が低下しているのは、降雨の影響である。図5で示したように広域汚染と地域汚染の両方の影響で濃度が上昇していると考えられること、図7で示したように濃度上昇時は南風が卓越することを踏まえると、両地点間の濃度差は空気塊が東京湾内を移動する間に生じたと思われる。このことについては、今後、地域汚染の影響が小さいバックグラウンドでの観測結果等と比較することにより検証する必要がある。

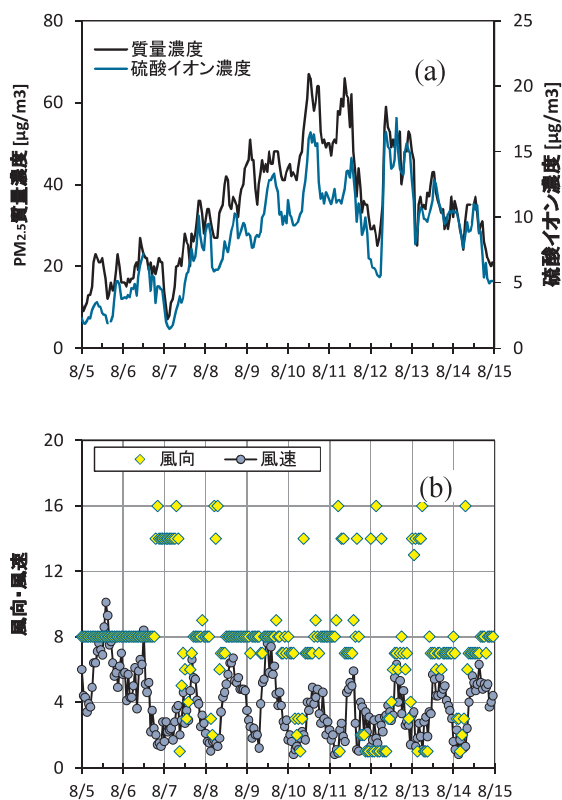


図7 2013年8月5～14日における時間変化 (a)PM<sub>2.5</sub>質量濃度と硫酸イオン、(b)風向と風速



図8 東京都江東区大島局と千葉県館山局

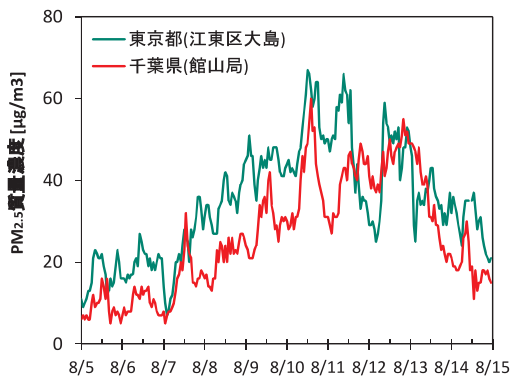


図 9 東京都江東区大島局と千葉県館山局における PM<sub>2.5</sub> 質量濃度の時間変化

(2013)

- 3) 田中泰宙ら：大気汚染と火山噴火：2013 年 7 月の桜島噴火は本州の大気汚染に影響したか？, 日本気象学会 2013 年秋季大会 (2013)

#### 4 まとめ

2013 年 4 月～2014 年 3 月にかけて、標準測定法と連続測定器による PM<sub>2.5</sub> 観測を行った。質量濃度は 7～8 月、11 月、1～3 月に高かった。夏は硫酸イオンが最も高く、秋冬は硝酸イオンが最も高かった。夏と秋冬で高濃度時と低濃度時の化学成分濃度を比較すると、それぞれの季節の主要成分の割合がさらに増加する特徴が見られた。次に 2013 年夏季の高濃度に着目した解析を行った。2012 年と比較して 2013 年の夏は気温が高く、高温弱風日に高濃度の PM<sub>2.5</sub> が発生していることが分かった。弱風日は拡散が抑えられることに加え、高温日は日射量が多く、光化学生成反応が活発に起こっていることが考えられる。さらに、高濃度の PM<sub>2.5</sub> が発生した 8 月 10 日前後の時間値データを気象データと併せて解析したところ、海陸風が発達する気象条件下で日中の南風卓越時（海風発達時）に濃度が上昇しており、日ごとに濃度が上がっていく様子が見られた。東京湾の湾奥部と湾口部の濃度を比較すると両地点で濃度変化のパターンはほぼ一致していたが、湾奥部のほうが濃度が高い状況にあった。南風によって空気塊が東京湾内を移動する間に両地点の濃度差が生じたと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 齊藤伸治ら：都内における微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の高濃度事例解析, 東京都環境科学研究所年報, pp. 31-36 (2012)
- 2) 齊藤伸治ら：PM<sub>2.5</sub> 短期基準超過日における化学成分組成の特徴, 東京都環境科学研究所年報, pp. 68-69