

# 川崎市における微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の成分組成 (2016 年度)

## Chemical Characteristic Analysis of PM<sub>2.5</sub> in the Ambient Air on Kawasaki City (2016)

田中 佑典 Yusuke TANAKA 鈴木 義浩 Yoshihiro SUZUKI 山田 大介 Daisuke YAMADA

### 要旨

大気中の微小粒子状物質による汚染状況を把握するため、一般環境として田島及び高津の2地点、道路沿道として池上1地点の計3地点でPM<sub>2.5</sub>のサンプリングを各季節2週間実施し、PM<sub>2.5</sub>質量濃度、水溶性イオン成分、炭素成分、水溶性有機炭素成分、無機元素の分析を行った。また、成分分析データを用いてCMB法及びPMF法により、発生源寄与率の推定を試みた。その結果、2016年度のPM<sub>2.5</sub>年平均値は田島10.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高津10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、池上12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM<sub>2.5</sub>中の水溶性イオン成分は、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>といった二次生成粒子成分が大半を占め、炭素成分は、有機炭素は一般環境と道路沿道で大きな差異がみられなかったが、元素状炭素は道路沿道で濃度が高かった。発生源寄与率の推定では、本市の発生源の特徴である石油燃焼、鉄鋼工業や自動車排気の寄与が確認された。

キーワード：PM<sub>2.5</sub>、成分組成、寄与率

Key words：PM<sub>2.5</sub>, Chemical composition, Contribution rate

## 1 はじめに

環境基本法では、粒径2.5 $\mu\text{m}$ 以下(50%カット)の大気中の微小粒子状物質(以下、PM<sub>2.5</sub>)の環境基準は「1年平均値15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ1日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること」と定められている。

また、PM<sub>2.5</sub>の対策を推進するうえで、PM<sub>2.5</sub>やその前駆物質の大気中の変化等に関する知見が十分でないことから、環境省は2011年7月に「微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の成分分析ガイドライン」を、2012年4月に「大気中微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)成分測定マニュアル」(以下、成分測定マニュアル<sup>1)</sup>)を策定、さらに2013年6月及び2014年7月に成分測定マニュアルを一部改訂し、PM<sub>2.5</sub>の濃度及び成分組成の実態把握を図っている。

本市では、2003年度からマルチノズルカスケードインパクターサンプラーを用いて粒径2.5~10 $\mu\text{m}$ の粗大粒子とPM<sub>2.5</sub>について分粒捕集を行い、粒子状物質濃度及び成分組成の調査を実施している<sup>2)</sup>。

2016年度の調査では、FRM2025iサンプラー(Thermo Fisher Scientific社製)(FRM認証機)を用い、各季節で2週間によるPM<sub>2.5</sub>のサンプリングを実施した。

本稿では、本市におけるPM<sub>2.5</sub>の実態を把握するため、PM<sub>2.5</sub>質量濃度、水溶性イオン成分、炭素成分、水溶性有機炭素成分、無機元素を分析し、さらにその成分分析データを用いて発生源寄与率の推定を試みたので、それらの結果について報告する。

## 2 調査方法

### 2.1 調査地点

調査地点を図1に示す。一般環境の調査地点として

は、田島一般環境大気測定局(以下、田島)、高津一般環境大気測定局(以下、高津)の2地点とした。道路沿道の調査地点としては、池上自動車排出ガス測定局(以下、池上)の1地点とした。

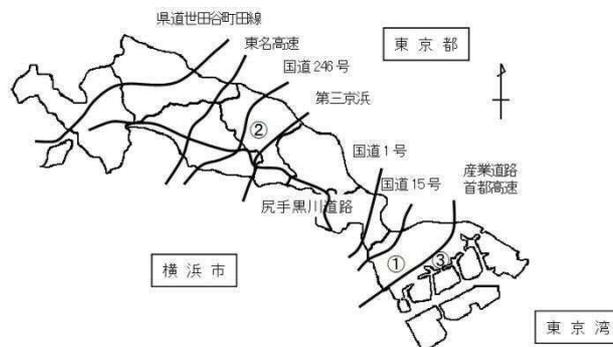


図1 調査地点

(一般環境:①田島、②高津、道路沿道:③池上)

### 2.2 試料採取

PM<sub>2.5</sub>の捕集には、FRM2025iサンプラーを用い、各調査地点に2台ずつ設置した。捕集用フィルタには、質量濃度、無機元素の測定用として、四ふっ化エチレン樹脂製であるPTFEフィルタ(Pall社製 Teflo)を使用した。また、水溶性イオン成分、炭素成分、水溶性有機炭素成分の測定用として、石英繊維フィルタ(Pall社製 Pallflex 2500QAT-UP)を使用した。

## 2.3 調査期間

調査は、2016年4月から2017年3月までの春夏秋冬で各2週間、年間で計56回のサンプリングを実施した。詳細な調査日程は表1のとおりであり、10時から翌日10時までの24時間サンプリングとした。

表1 2016年度の調査日程

	春季	夏季	秋季	冬季
1日目	5月6日	7月21日	10月20日	1月19日
2日目	5月7日	7月22日	10月21日	1月20日
3日目	5月8日	7月23日	10月22日	1月21日
4日目	5月9日	7月24日	10月23日	1月22日
5日目	5月10日	7月25日	10月24日	1月23日
6日目	5月11日	7月26日	10月25日	1月24日
7日目	5月12日	7月27日	10月26日	1月25日
8日目	5月13日	7月28日	10月27日	1月26日
9日目	5月14日	7月29日	10月28日	1月27日
10日目	5月15日	7月30日	10月29日	1月28日
11日目	5月16日	7月31日	10月30日	1月29日
12日目	5月17日	8月1日	10月31日	1月30日
13日目	5月18日	8月2日	11月1日	1月31日
14日目	5月19日	8月3日	11月2日	2月1日

## 2.4 分析方法

分析は、環境省が示した成分測定マニュアルに準拠して実施した。

### 2.4.1 フィルタの秤量

PTFE フィルタは、温度  $21.5 \pm 1.5$  °C、相対湿度  $35 \pm 5$  % の恒温室で 24 時間以上静置して恒量とした後、METTLER TOLEDO 社製 電子天秤 XP6 を用い秤量した。なお、秤量は同条件で捕集前後に行った。また、ブランクフィルタを同時に5枚秤量し、捕集前後の秤量誤差を補正した。

### 2.4.2 水溶性イオン成分

水溶性イオン成分8項目 ( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ) の分析はイオンクロマトグラフ法により行った。

石英繊維フィルタ 1/2 試料を栓付プラスチック試験管に入れ、超純水 10mL を加えた後、超音波抽出を10分間行った。その後、抽出液をディスポーザブルシリンジに取り、メンブレンフィルタ (アドバンテック社製 PTFE 0.20 $\mu\text{m}$ ) で粒子状物質を除去したものを分析用試料とし、イオンクロマトグラフ装置 (DIONEX 社製 ICS-2100/1600) で分析した。測定条件を表2に示す。

表2 イオンクロマトグラフ測定条件

	陰イオン (ICS-2100)	陽イオン (ICS-1600)
カラム	IonPac AS20 4×250 mm	IonPac CS16 5×250 mm
溶離液	15-50 mmol/L 水酸化カリウム	30 mmol/L メタンスルホン酸
流量	1.0 mL/min	1.0 mL/min
サプレッサー 電流値	130 mA	90 mA
試料注入量	25 $\mu\text{L}$	25 $\mu\text{L}$

### 2.4.3 炭素成分

有機炭素 (以下、OC) 及び元素炭素 (以下、EC) は、石英繊維フィルタを  $1\text{ cm}^2$  に打ち抜いたものを分析用試料とし、Chow ら<sup>3)</sup>の分析法を参考として、カーボンアナライザー (SUNSET Laboratory 社製 Lab Instrument Model) を用いた IMPROVE プロトコルの反射光補正により分析した。測定条件を表3に示す。

表3 炭素分析の炭素フラクションと測定条件

フラクション	設定温度 (°C)	分析雰囲気
OC1	120	He
OC2	250	He
OC3	450	He
OC4	550	He
EC1	550	98%He+2%O <sub>2</sub>
EC2	700	98%He+2%O <sub>2</sub>
EC3	800	98%He+2%O <sub>2</sub>

### 2.4.4 水溶性有機炭素成分

水溶性有機炭素 (以下、WSOC) は、水溶性イオン成分と同様に、石英繊維フィルタ 1/2 試料の抽出液の一部を全有機体炭素計 (analytikjena 社製 multi N/C 3100) を用い、Non-Purgeable Organic Carbon 法 (NPOC 法) で分析した。

### 2.4.5 無機元素

無機元素 29 項目 (Na、Al、K、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Rb、Mo、Sb、Cs、Ba、La、Ce、Sm、Hf、Ta、W、Pb、Th) は、サポートリングを取り除いた PTFE フィルタ 1/2 試料を分解容器に入れ、硝酸 2.5mL、ふっ化水素酸 1mL、過酸化水素水 0.5mL を加え、分解容器を密閉したのちマイクロウェーブ試料分解装置 (analytikjena 社製 TOPwave) を用いて加熱分解した。試料が分解されていることを確認し、分解容器ごとホットプレートで加熱し、試料が1滴程度になるまで蒸発させた。その後、2%硝酸で 15~20mL に定容したものを分析用試料とし、高周波誘導結合プラズマ質量分析装置 (Agilent 社製 7700x) で分析した。

### 3 分析結果及び考察

#### 3.1 質量濃度

各調査地点におけるPM2.5 質量濃度の年平均値を表4に、季節変化を図2に、日平均値推移を図3に示す。

PM2.5 質量濃度の年平均値は一般環境より道路沿道で高かった。平均値が最も高濃度を示した季節は全ての地点で秋季であった。最も低濃度を示した季節は全ての季節で夏季であった。各季節2週間ずつの調査であることから、気象状況等の影響により傾向は毎年異なる。

また、図3に示した通り、本年度の調査期間において35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度を示した日は、どの地点においても無かった。

表4 PM2.5 質量濃度の年平均値( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	一般環境		道路沿道
	田島	高津	池上
質量濃度	10.4	10.3	12.7

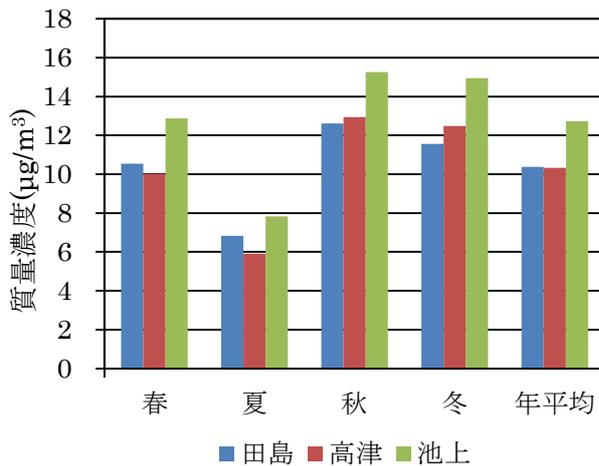


図2 PM2.5 質量濃度の季節変化

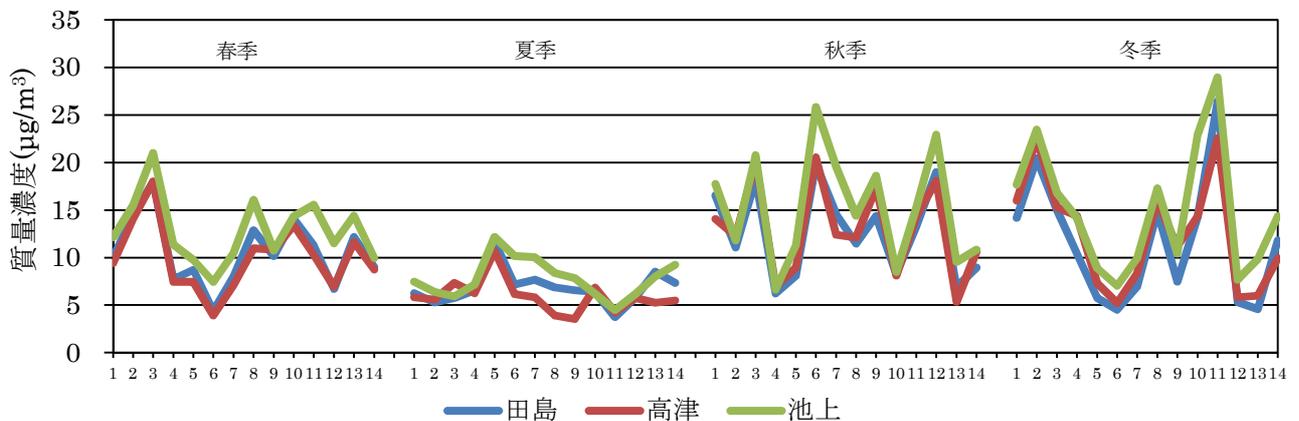


図3 PM2.5 質量濃度の日平均値推移

#### 3.2 水溶性イオン成分

各調査地点における水溶性イオン成分の年平均濃度を表5に、季節変化を図4に示す。

PM2.5 中の水溶性イオン成分は、いずれの調査地点においても  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$  といった二次生成粒子を構成する主要成分が大半を占めており、年平均濃度をみると、 $\text{NO}_3^-$ は田島 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高津 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、池上 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ は田島 2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高津 2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、池上 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\text{NH}_4^+$ は田島 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高津 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、池上 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、いずれもわずかに道路沿道で高かった。

PM2.5 中の総イオン濃度は、全ての地点で冬季が高くなった。2015年度の調査<sup>4)</sup>では夏季が高い傾向がみられたが、2016年度は夏季が最も低い結果となった。2016年度は、例年の夏季と比較して、光化学反応などで生成した  $\text{SO}_4^{2-}$  が少なかったことが、先に示した通り質量濃度も低い結果となったと推察される。

陰イオンは  $\text{NO}_3^-$  や  $\text{SO}_4^{2-}$  がそのほとんどを占め、特に冬季は気温が低いいため、 $\text{NO}_3^-$  の粒子化が活発化し、濃度が高くなったと考えられる。二次生成粒子の代表的なイオン成分である  $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{NO}_3^-$  を比較すると、春季及び夏季は  $\text{SO}_4^{2-}$  が陰イオンのほとんどを占め、冬季では  $\text{NO}_3^-$  が  $\text{SO}_4^{2-}$  よりも濃度が高くなった。

表5 水溶性イオン成分の年平均濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	一般環境		道路沿道
	田島	高津	池上
$\text{Cl}^-$	0.11	0.14	0.19
$\text{NO}_3^-$	1.1	1.1	1.3
$\text{SO}_4^{2-}$	2.2	2.1	2.4
$\text{Na}^+$	0.14	0.12	0.14
$\text{NH}_4^+$	1.0	1.0	1.1
$\text{K}^+$	0.071	0.076	0.095
$\text{Mg}^{2+}$	0.020	0.017	0.022
$\text{Ca}^{2+}$	0.054	0.044	0.076

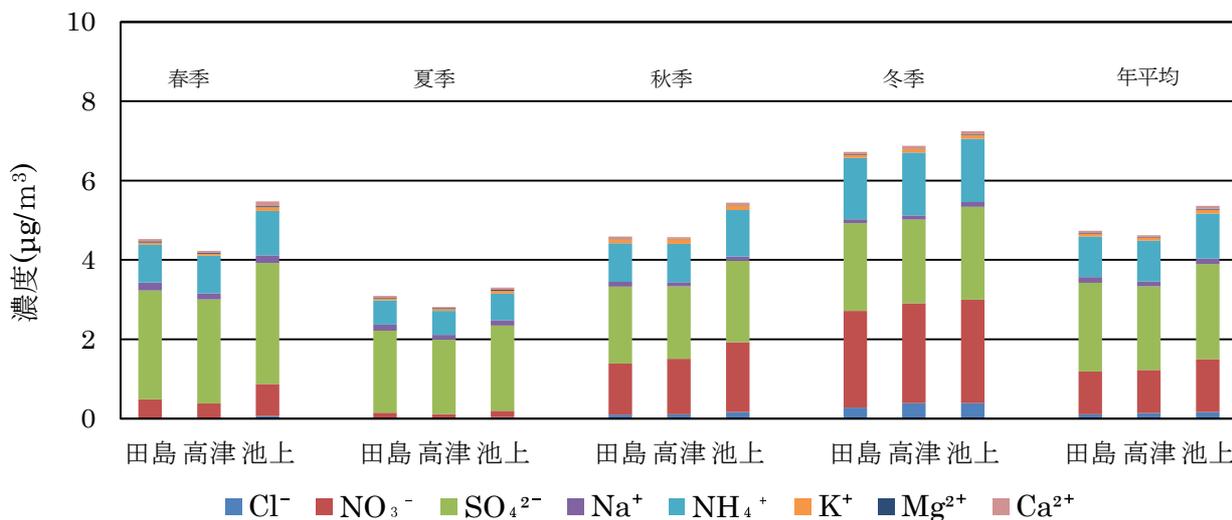


図4 水溶性イオン成分濃度の季節変化

### 3.3 炭素成分

各調査地点におけるOC及びECの年平均濃度を表6に、季節変化を図5に示す。

PM2.5中のOCの年平均濃度は、田島2.8µg/m³、高津3.3µg/m³、池上3.1µg/m³であり、ECは、田島0.90µg/m³、高津0.87µg/m³、池上2.0µg/m³であった。OCは一般環境と道路沿道で大きな差異はみられなかったが、ECは道路沿道で高かった。

季節ごとのOC濃度の変化をみると、いずれの調査地点においても秋季に高い傾向を示した。秋季に高くなる原因としては、野焼きなどのバイオマス燃焼による影響が考えられる。関東における過去の同季節でも、バイオマス燃焼が原因のひとつとみられる高濃度事例が報告されている<sup>5)</sup>。

EC濃度の変化をみると、季節ごとの変化はOCに比べ小さいが、秋季に高い傾向を示した。

表6 炭素成分の年平均濃度(µg/m³)

	一般環境		道路沿道
	田島	高津	池上
OC	2.8	3.3	3.1
EC	0.90	0.87	2.0

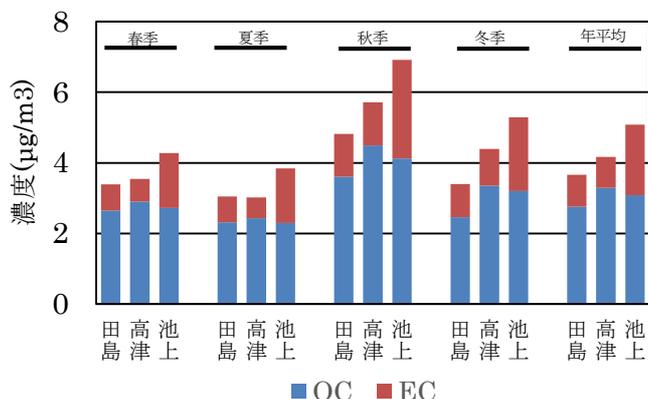


図5 炭素成分濃度の季節変化

### 3.4 水溶性有機炭素成分

PM2.5中の二次有機粒子の指標となるWSOCを定量し、OCからWSOCを差し引いたものを非水溶性有機炭素(以下、WIOC)とした。

各調査地点におけるOC中のWSOCとWIOCの年平均濃度を表7に、季節変化を図6に、OC中のWSOCとWIOCの割合を図7に示す。

WSOCの年平均濃度は、田島1.8µg/m³、高津2.1µg/m³、池上1.9µg/m³であった。季節ごとのWSOCの変化をみると、いずれの調査地点においても秋季に高い傾向を示した。OCと同様に、野焼きなどのバイオマス燃焼による影響が考えられる。また、2015年度の調査<sup>4)</sup>では夏季も高い傾向がみられたが、2016年度は夏季が最も低い結果となった。2016年度は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>と同様に夏季において光化学反応などにより生成したWSOCが例年に比べて少なかったことが、質量濃度も低い一因となったと推察される。WIOCは、高濃度を示したのは、田島を除き、秋季であった。稲わら燃焼により排出される炭素粒子において、WSOC<WIOCであること<sup>6)</sup>から、秋季のバイオマス燃焼の影響を支持する結果といえる。

OC中のWSOCとWIOCの割合をみると、WSOCの割合は田島66%、高津63%、池上63%であり、一般環境と道路沿道に差異はほとんどみられなかった。

表7 WSOCとWIOCの年平均濃度(µg/m³)

	一般環境		道路沿道
	田島	高津	池上
WSOC	1.8	2.1	1.9
WIOC	0.93	1.2	1.1

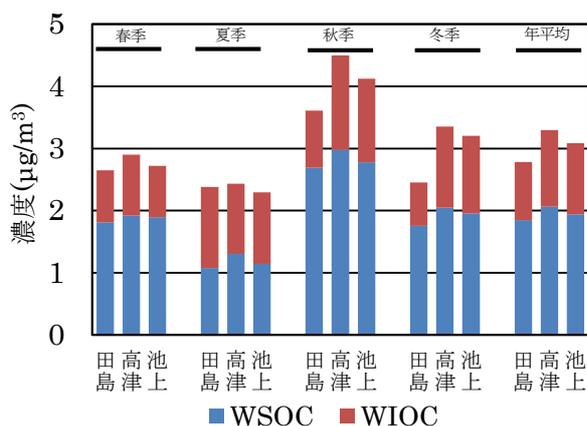


図6 WSOC濃度とWIOC濃度の季節変化

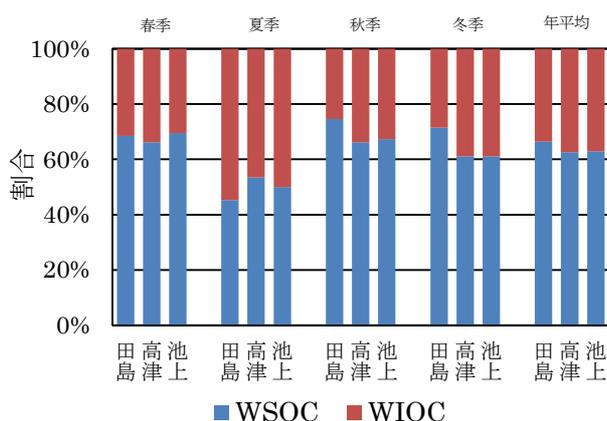


図7 WSOCとWIOCの割合

### 3.5 無機元素

各調査地点における無機元素の年平均濃度を表8に示す。

年平均濃度が高かったのはNa、K、Ca、Feであった。これらの元素は、自然発生源由来である海塩粒子（Na、K）や土壌粒子（Ca、Fe）に多く含まれており、他の元素と比べて環境中に多く存在しているため、濃度が高くなったと考えられる。臨海部の池上と田島で濃度が高いV、Cr、Mn、Fe、Ni、Mo、Wは固定発生源の影響、道路沿道で濃度が高いCu、Sb、Baは移動発生源の影響を受けたものと推測される<sup>7)~9)</sup>。なお、Zn、Mo、Wについては、池上において突発的な高濃度が数日みられており、それにより池上の年平均値がより大きくなっている。

季節ごとの変化で特徴的であったのは、重油燃焼の指標であるV、Niで、南風が卓越する夏季において濃度が高くなる傾向がみられた。

なお、Se、Cs、Sm、Hf、Ta、Thは含有量がごく少なく、過半数が検出下限値未満であった。

### 3.6 発生源寄与率の推定

#### 3.6.1 CMB法

2016年度のPM2.5成分分析データを用いて、CMB法（Chemical Mass Balance法）による解析を行った。CMB法は、発生源と環境の化学種の組成（発生源プロフィール）から、発生源の寄与を求める方法である。

表8 無機元素の年平均濃度 (ng/m<sup>3</sup>)

	一般環境		道路沿道
	田島	高津	池上
Na	110	98	100
Al	34	49	47
K	71	78	95
Ca	48	40	52
Ti	4.5	5.1	5.6
V	6.9	2.6	7.4
Cr	2.7	0.79	3.2
Mn	8.2	4.7	12
Fe	190	77	190
Co	0.15	0.068	0.097
Ni	2.9	0.87	3.2
Cu	3.5	2.7	5.1
Zn	24	25	95
As	0.83	0.61	0.78
Se	0.71	0.62	0.89
Rb	0.2	0.2	0.27
Mo	2.5	0.67	6.7
Sb	0.67	0.68	1.0
Ba	2.3	2.9	5.2
La	0.088	0.072	0.098
Ce	0.12	0.11	0.17
W	0.37	0.13	1.4
Pb	3.8	3.2	5.7

環境省の公表している報告書のプロフィール<sup>10)</sup>から、道路粉じん、海塩粒子、鉄鋼工業、石油燃焼、廃棄物焼却、自動車排気、ブレーキ粉じんの7種を抜き出し、さらに独自に硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム、有機炭素を追加解析に用いた。ソフトウェアは、花石竜治氏が公開しているCMB8Jを用いた<sup>11)</sup>。

CMB法による解析の対象となるのは一次粒子のみであるが、PM2.5を構成する成分の多くは二次生成粒子であることから、先述のとおりプロフィールに追加し、寄与率（図8）を算出した。

図8をみると、二次生成粒子の寄与が最も大きく、それに次いで、石油燃焼、自動車排気の順で寄与が大きい結果を示していた。

特徴的な点としては、春季及び夏季の田島と池上における石油燃焼が非常に大きな寄与を示し、夏季の田島と池上では鉄鋼工業も一定の寄与を示した。夏季は、特に南風が卓越するため臨海部の発生源の影響をより強く反映したものと推察される。2015年度の調査<sup>4)</sup>と比較すると、2016年度の夏季は石油燃焼の寄与が大きくなる一方で、硫酸アンモニウムの寄与が小さくなっている。このことから、濃度が高くなる大きな要因である二次生成反応による硫酸アンモニウムの粒子化が2015年度に比べて活発化しなかったことにより、

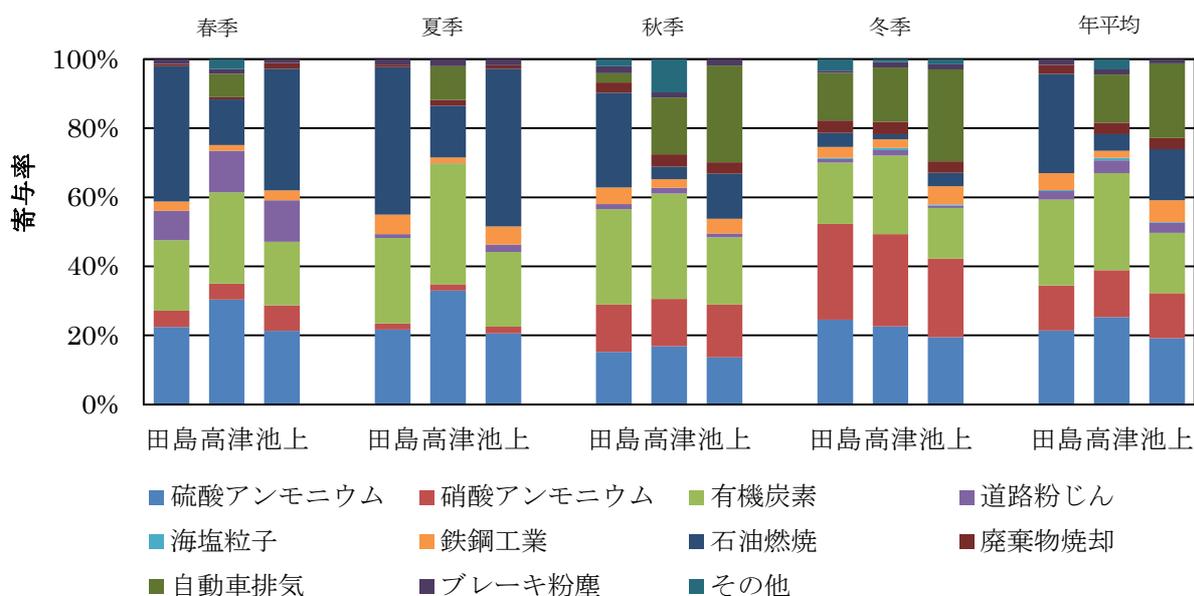


図8 CMB法による発生源寄与率

PM2.5 質量濃度が低くなり、相対的に石油燃焼の寄与が大きくなった可能性がある。また、池上では秋季、冬季に自動車排気が大きな寄与を示した。自動車の影響を反映したものと推察される。

### 3.6.2 PMF法

2016年度のPM2.5成分分析データを用いて、PMF法(Positive Matrix Factorization法)による解析を行った。PMF法は、多くのデータを統計的に処理して発生源解析を行う手法で、発生源プロファイルが必要とせずに発生源解析が可能である<sup>12)</sup>。ソフトウェアは、アメリカ合衆国の環境保護庁が公開しているPMF3.0を用いた<sup>13)</sup>。

発生源解析には、今回測定した成分分析データのうち、指標元素となり得るCl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、OC、EC、Na、Al、V、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Se、Rb、Mo、Sb、Ba、Pbの24成分を用いた。検出下限値未満の値は、検出下限値の1/2として扱った。

発生源の要素は、硫酸系二次粒子、硝酸系二次粒子、塩化物系二次粒子、有機系粒子、石油燃焼、石炭燃焼、鉄鋼工業、廃棄物燃焼、ディーゼル車、海塩粒子、土壌粒子とした。また、発生源数は、発生源数ごとに割り振られた成分割合を比較した結果、最も妥当であろうと考えられる発生源6種類に決め、発生源プロファイルを作成し、寄与率(図9)を算出した。

図9から、発生源ごとの寄与割合の変動をみると、各季節における特徴として、春季及び夏季は硫酸系二次粒子や石油燃焼が高くなる傾向がみられた。春季については光化学反応により二次生成が活発化した影響が見られ、夏季については南風が卓越し発生源の影響を受けたことが原因と推察される。また、夏季については、田島及び池上で鉄鋼工業の一定の寄与がみられ、これも石油燃焼と同様に卓越した南風の影響と推察さ

れる。秋季及び冬季は硝酸系二次粒子及び塩化物系二次粒子、有機物系粒子+ディーゼル車が高くなる傾向がみられた。気温の低下により粒子化が活発化した影響を受けたことが原因と考えられる。

調査地点による年間を通しての特徴としては、固定発生源が近傍にある田島及び池上では、高津に比べて、重油燃焼及び鉄鋼工業の寄与が大きかった。また、有機系粒子と因子を分離することができなかったが、道路沿道である池上では、他の2地点に比べて、ディーゼル車の寄与が大きかった。

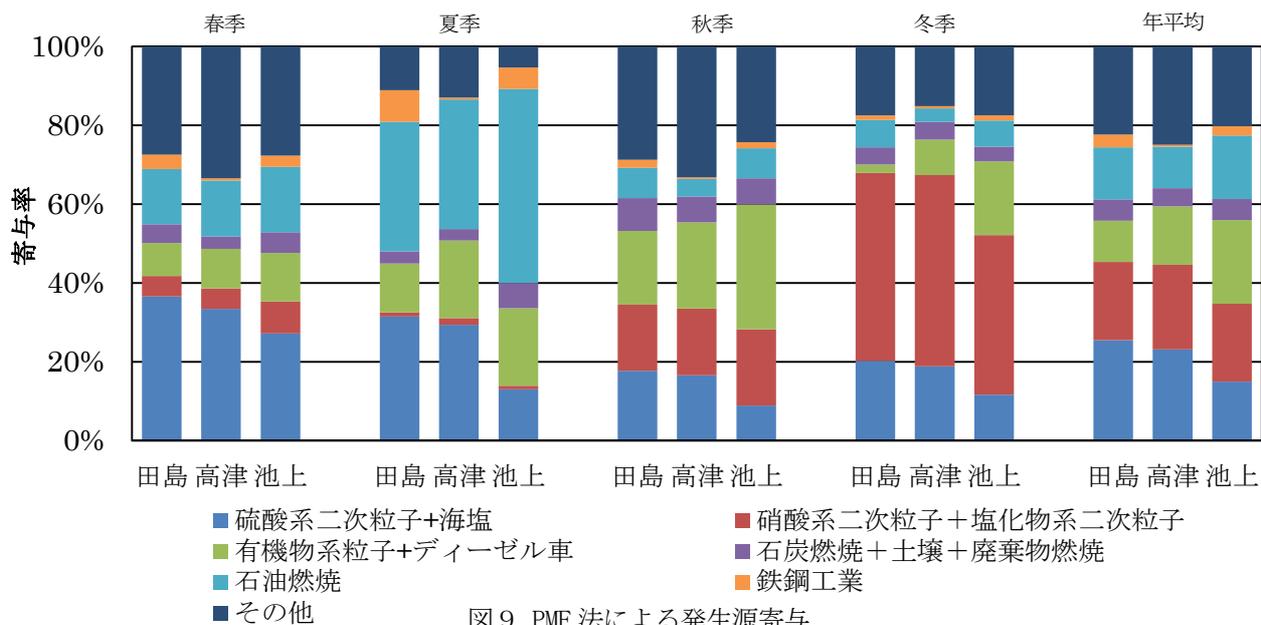
### 3.6.3 発生源寄与率の推定結果及び考察

今回行ったCMB法とPMF法による解析結果を併せてみると、寄与率を直接比較するには難があるものの、石油燃焼、鉄鋼工業や自動車排気(ディーゼル車)などは季節及び地点における特徴が同様の傾向を示し、本市におけるPM2.5各発生源寄与の実態を少なからず反映していると考えられる。

しかし、CMB法では解析に用いる発生源プロファイルが本市の実態を反映しているとは限らないこと、PMF法では今回の解析でもあったように分離が不十分となることなど、いずれの解析法においても問題点があるため、それらを解決していくことで、より精度の高い発生源寄与率の推定ができるものと考えられる。

## 4 まとめ

- (1) 2016年度における市内3地点のPM2.5年平均濃度は、田島10.4 µg/m<sup>3</sup>、高津10.3 µg/m<sup>3</sup>、池上12.7 µg/m<sup>3</sup>であり、道路沿道で濃度が高かった。
- (2) PM2.5中の水溶性イオン成分は、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>といった二次生成粒子成分が大半を占めた。夏季はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が陰イオンのほとんどを占め、冬季ではNO<sub>3</sub><sup>-</sup>がSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>よりも濃度が高かった。



- (3) PM2.5中の炭素成分は、OCは一般環境と道路沿道で大きな差異がみられなかったが、ECは道路沿道で濃度が高かった。
- (4) 二次有機粒子の指標となるWSOCは、道路沿道と一般環境ではほぼ同じ濃度であった。季節変化をみると、秋季に濃度が高い傾向であった。
- (5) 2015年度の調査<sup>4)</sup>と比較して、2016年度は特に夏季のPM2.5質量濃度が低くなった。これは、光化学反応などにより生成したSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>やWSOCが少なかったことが原因と推察された。
- (6) PM2.5中の無機元素は、自然発生源由来であるNa、K、Ca、Feが多く含まれていた。測定地点によっては、固定発生源や移動発生源の影響がみられ、季節によっては風向の影響もみられた。
- (7) PM2.5の発生源寄与率の推定では、本市の発生源の特徴である石油燃焼、鉄鋼工業や自動車排気の寄与が確認された。

文献

- 1) 環境省：大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル  
<http://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html>
- 2) 鈴木隆生、山田大介、米屋由理、高橋篤、井上俊明：川崎市における粗大（PM（2.5-10））、微小粒子（PM2.5）の成分組成（2003年度）、川崎市公害研究所年報、第31号、71～77（2004）
- 3) Chow J. C., Watson J. G., Crow D., Lowenthal D. H., Merrifield T. : Comparison of IMPROVE and NIOSH carbon measurements. Aerosol Sci. Technol., 34, 23-34(2001)
- 4) 田中佑典、鈴木義浩、三澤隆弘、高橋篤、井上俊

- 明：川崎市における微小粒子（PM2.5）の成分組成（2015年度）、川崎市環境総合研究所年報、第4号、23～30（2016）
- 5) 長谷川就一、米持真一、山田大介、鈴木義浩、石井克巳、齊藤伸治、鴨志田元喜、熊谷貴美代、城裕樹：2011年11月に関東で観測されたPM2.5高濃度の解析、大気環境学会誌、第49号、242～251（2014）
- 6) Hagino H., Sekiguchi K., Sakamoto K. : Estimation of Roadside Organic Aerosol Components by Means of Time-of-Flight Aerosol Mass Spectrometry, Earozoru Kenkyu, 27, 62-70（2012）
- 7) 溝畑朗、真室哲雄：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定（I）、大気汚染学会誌、第15巻、198～206（1980）
- 8) 日置正、中西貞博、向井人史、村野健太郎：降水中微量金属元素濃度比と鉛同位対比による長距離輸送と地域汚染の解析、大気環境学会誌、第43号、100～111（2008）
- 9) Iijima A., Sato K., Yano K., Tago H., Kato M., Kimura H., Furuta N. : Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter, Atmos. Environ., 41, 4908-4919（2007）
- 10) 環境省：平成22年度微小粒子状物質成分分析業務データ解析（発生源寄与濃度の推計）報告書（2011）
- 11) <http://rhanaishi.world.coocan.jp/CMB.html>
- 12) 飯島明宏：入門講座 大気モデル-第5講レセプタ

ーモデルー、大気環境学会誌、46 (4)、A53～  
A60(2011)

13) アメリカ合衆国環境保護庁

<http://www.epa.gov/head/research/pmf.html>