

## 札幌市における PM<sub>2.5</sub> 地域特性と発生源解析について

吉田 勤 柴田 学 山口弘行 三觜 雄

### 要 旨

2015 年度から 2017 年度において、札幌市で採取された微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の成分分析結果について、その特徴や発生源について考察を行った。当市の特徴として、質量濃度は全国平均と比較して、2~3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  程度低値であったが、有機炭素 (OC)、元素状炭素 (EC) とともに高値であり、質量濃度に占める OC、EC の割合が高い傾向にあった。

質量濃度が 2 日以上連続して 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超える場合を高濃度事例と定義し、9 つの事例について、その高濃度要因の検討を行った。レボグルコサンが高濃度になる場合は、バイオマス燃焼が要因であると判断できるが、硫酸アンモニウムや OC、EC が高濃度となる場合、発生源の特定は困難な場合が多かった。

レセプターモデルである PMF 法を用いて発生源解析を行ったところ、7 つの因子に分けることが妥当であると判断され、その含まれる成分割合等から、海塩粒子、石炭燃焼、道路交通系、土壌粒子 (黄砂)、バイオマス燃焼、半揮発性粒子、重油燃焼の 7 因子とした。土壌粒子は春季に高く、重油燃焼は夏季に高く、バイオマス燃焼は秋季に高く、半揮発性粒子は冬季に高い傾向がみられた。

高濃度事例について、推定した高濃度要因と PMF の解析結果と比較を行った。それぞれの結果に大きな矛盾は認められず、PMF の結果の方がより詳細な発生源の推定を行うことができた。ただし、今回の計算結果は改善の余地があり、成分の分配や寄与割合は参考として評価すべきである。

### 1. 緒 言

微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) は、大気中に浮遊している 2.5  $\mu\text{m}$  以下の小さな粒子のことであり、非常に小さいことから、肺の奥深くまで入りやすく、呼吸器系への影響に加え、循環器系への影響が心配されている。

PM<sub>2.5</sub> の発生源は、人為起源では、ボイラー等のばい煙を発生する施設、自動車、船舶、航空機等があり、自然起源では、黄砂などの土壌や、海塩粒子、火山等に由来する成分がある。また、その生成機構については、燃焼等によって直接排出される一次粒子と、硫酸化合物 (SO<sub>x</sub>)、窒素化合物 (NO<sub>x</sub>)、揮発性有機化合物 (VOC) 等のガス状成分が、化学反応により粒子化する二次粒子がある。

PM<sub>2.5</sub> 汚染を低減する対策を検討するためには、単に

質量濃度を測定するだけでは不十分であり、その化学組成についても詳細に検討していく必要がある。環境省では、PM<sub>2.5</sub> の生成機構や発生源寄与割合を推計し、効果的な削減対策を講ずるため、大気中の PM<sub>2.5</sub> について、平成 21 年 9 月に環境基準を定め、大気汚染防止法に基づき、各地方自治体での質量濃度測定及び成分分析の実施を義務付けた。札幌市では、平成 25 年 3 月に、北 1 条局 1 か所に成分分析用サンプラーを設置し、成分分析を開始した。

今回、平成 27 年度から平成 29 年度のまでの 3 か年の成分分析結果の傾向を取りまとめるとともに、これらのデータに対して Positive matrix factorization (PMF) 解析を適用し、発生源の推定及びその寄与割合の算出を行ったので、その結果を報告する。

## 2. 方 法

### 2-1 試料

採取期間は各年度4季節において、2週間連続で実施した。基本的に、環境省が定めたコア期間を必ず含むように行った。試料採取は 2025i (Thermo SCIENTIFIC 社製) を用いた。

### 2-2 成分及び分析

PM<sub>2.5</sub> 質量濃度は、FPM377-2 (東亜ディーケーケー一製) によって測定される質量濃度を用いた。測定項目及び分析法は表1のとおりである。

表1 測定項目及び分析法

項目	成分	分析法
質量濃度	-	自動測定器
イオン成分	Cl <sup>-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、Na <sup>+</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、シュウ酸イオン	水抽出-イオンクロマトグラフ法
無機元素成分	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、W、Ta、Th、Pb、Cd	酸分解-ICP-MS法
炭素成分	OC、EC	熱分離・光学補正法
その他	レボグルコサン	溶媒抽出-誘導体化-GC/MS法

詳細な分析法については、大気中微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) 成分測定マニュアル<sup>1)</sup>に従って実施した。

## 3. 結果と考察

### 3-1 代表的な成分の挙動

各年度の代表的な成分の年平均値と、2017年度の全国平均値を図1に示した。

さらに、代表的な成分の、当市の3か年の平均値と全国平均値の比較を図2に示した。

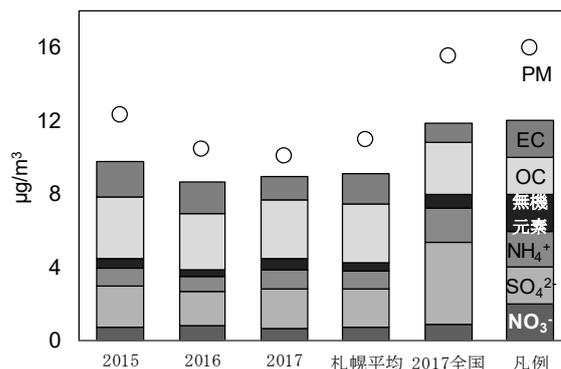


図1 代表的な成分の年平均値

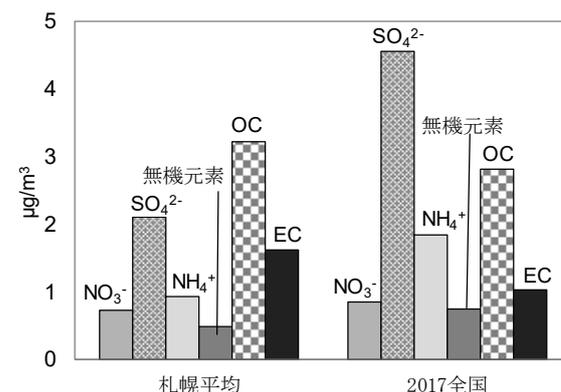


図2 代表的な成分の全国平均との比較

PM<sub>2.5</sub>の質量濃度は、3か年の平均値で2017年度の全国平均よりもおよそ4.6 μg/m<sup>3</sup>低かった。

代表的な成分に着目すると、硝酸イオンについては、2017年度の全国平均と大きな差がみられなかった。一方、硫酸イオン、アンモニアイオン及び無機元素は札幌市の方が低い傾向にあり、OCとECは札幌市の方が高い傾向にあった。したがって、質量濃度に占めるOC、ECの割合は、全国平均に比べて高い値であった。

### 3-2 高濃度事例

PM<sub>2.5</sub>の質量濃度日平均が15 μg/m<sup>3</sup>を超過し、かつ、2日以上連続した事例を高濃度事例と定義した。

また、高濃度の前後の日において、15 μg/m<sup>3</sup>を超過している日がある場合は、同一の事例として扱った。この定義により、定められた高濃度事例の一覧を表2に示す。

表 2 高濃度事例の一覧

通し番号	日付	最高質量濃度
1	2015/5/6～5/7	29.6
2	2015/7/27～8/4	22.4
3	2015/10/26～11/5	30.6
4	2016/5/8～5/9	31.5
5	2016/5/17～5/20	17.4
6	2016/11/3～11/4	24.1
7	2017/5/20～5/22	17.6
8	2017/10/30～11/7	40.0
9	2018/1/17～1/18	18.1

(1) 2015/5/6～5/7 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 3 に示す。高濃度であった 5/6～5/7 は、無機元素合計の値が他の日より高い傾向にあった。

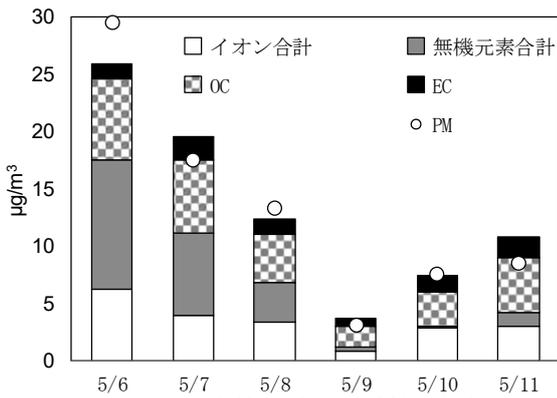


図3 代表的な成分の季節平均値

そこで、5/6～5/8 の無機元素の内訳を図 4 に示した。

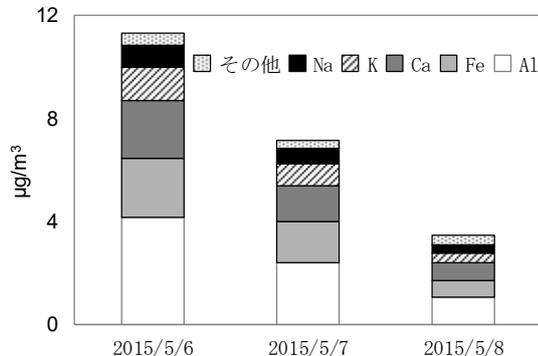


図4 主要無機元素の日別濃度

Al、Fe、Ca、K 等が多く含まれており、土壌粒子の影響を受けていると考えられた。この期間、札幌

に設置してある Lidar<sup>2)</sup>は停止しており、裏付けは得られなかったものの、春季において、土壌粒子の影響が大きい場合は、黄砂の影響と考えられる。

(2) 2015/7/27～8/4 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 5 に示す。イオン成分の合計が占める割合が高い傾向にあった。

イオン成分の内訳をみると（図 6）、硫酸イオンとアンモニウムイオンの割合が圧倒的に多かった。Ni と V の変動をみると、イオン成分の変動と一致している傾向にあり、重油燃焼の影響を受けていることが示唆された。

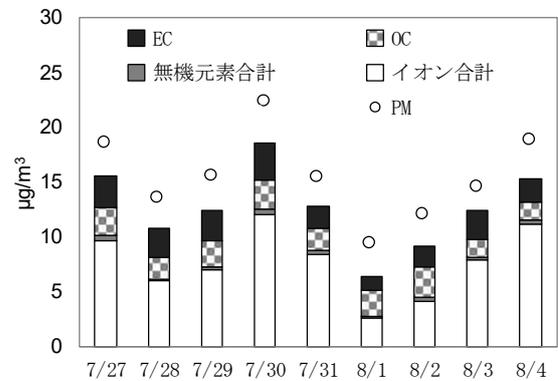


図5 高濃度事例付近の成分ごとの合計

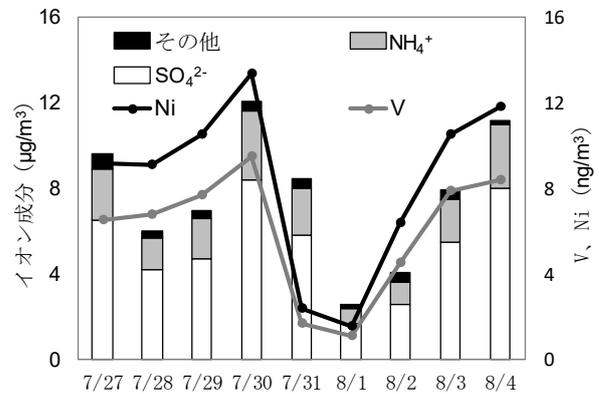


図6 イオン成分の日別濃度

(3) 2015/10/26～11/5 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 7 に示す。OC の割合が高い傾向にあった。

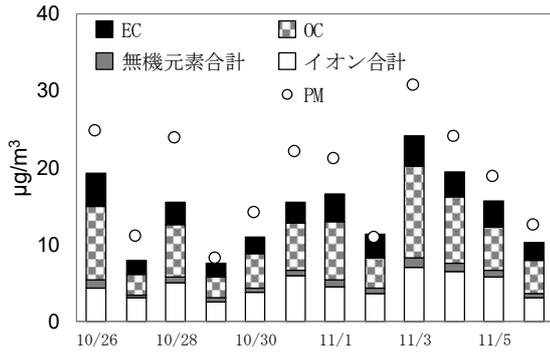


図7 高濃度事例付近の成分ごとの合計

個別の成分をみてみると、レボグルコサンとカリウムイオンの変動と質量濃度の変動の傾向が一致しており、バイオマス燃焼が高濃度の要因であると推測された。

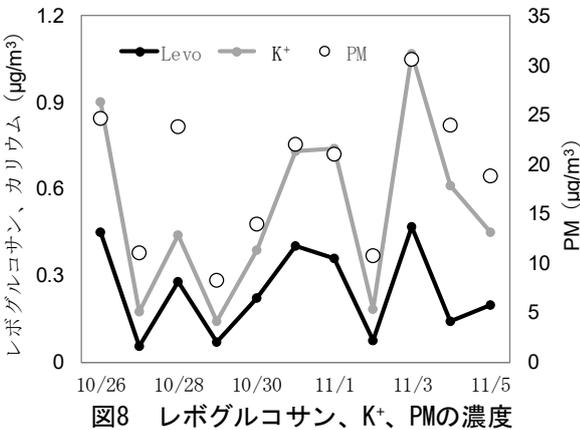


図8 レボグルコサン、K<sup>+</sup>、PMの濃度

(4) 2016/5/8~5/9 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 9 に示す。OC と EC の割合が高い傾向にあった。

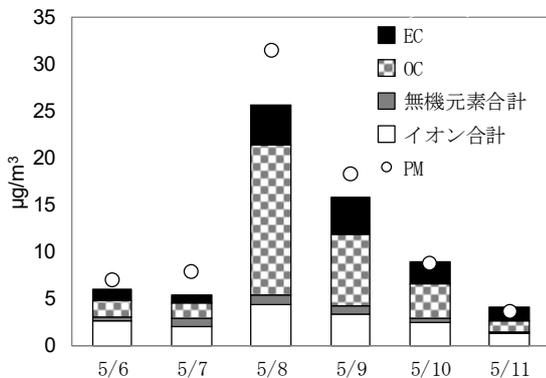


図9 高濃度事例付近の成分ごとの合計

個別の成分をみてみると、レボグルコサンとカリウムイオンの変動と質量濃度の変動の傾向が一

致しており、バイオマス燃焼が高濃度の要因であると推測された。

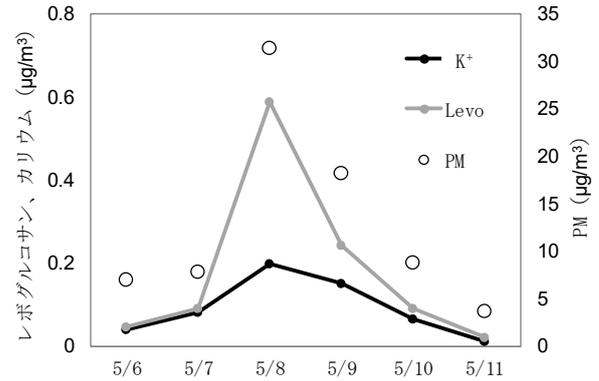


図10 レボグルコサン、K<sup>+</sup>、PMの濃度

(5) 2016/5/17~5/20 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 11 に示す。OC と EC の割合が高い傾向にあった。

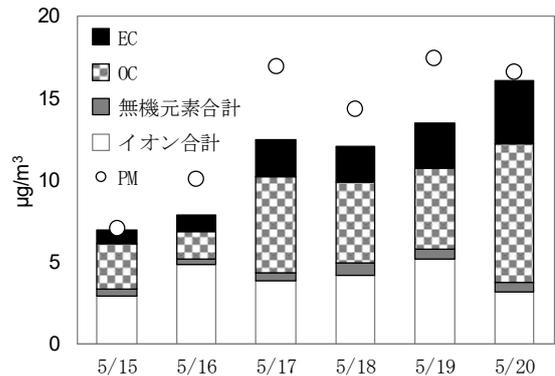


図11 高濃度事例付近の成分ごとの合計

指標性の高い無機元素の変動をみてみたが、質量濃度との変動の傾向があまり一致せず、OC、EC の発生源が何に由来するのか明確にならなかった。複数の発生源の影響を受けている可能性がある。

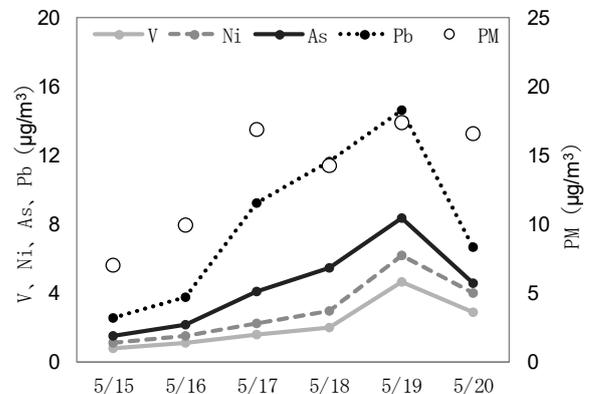


図12 V、Ni、As、Pb、PMの濃度

### (6) 2016/11/3～11/4 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 13 に示す。11/3～4 は、イオン濃度の合計の割合が高い傾向にあった。

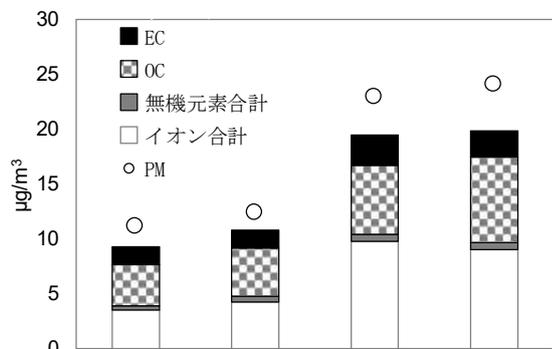


図13 高濃度事例付近の成分ごとの合計

そこで、イオン成分の内訳（図 14）をみると、硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンの占める割合が上昇していることが確認された。高濃度の要因は、硫酸アンモニウム及び硝酸アンモニウムであった。指標性の高い無機元素の変動をみてみたが、硫酸イオンや硝酸イオンとの強い相関関係は見られなかった。

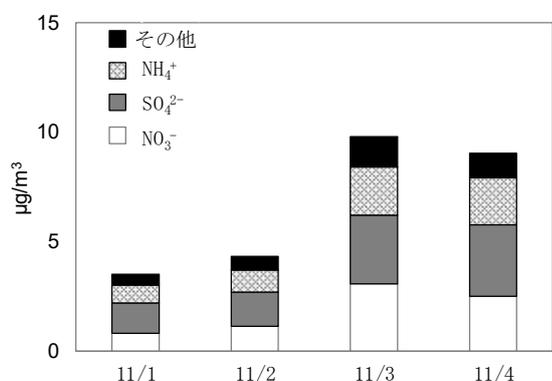


図14 高濃度事例付近のイオン成分濃度

### (7) 2017/5/20～5/22 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 15 に示す。5/20、21、23 は、イオン濃度の合計の割合が高い傾向にあった。

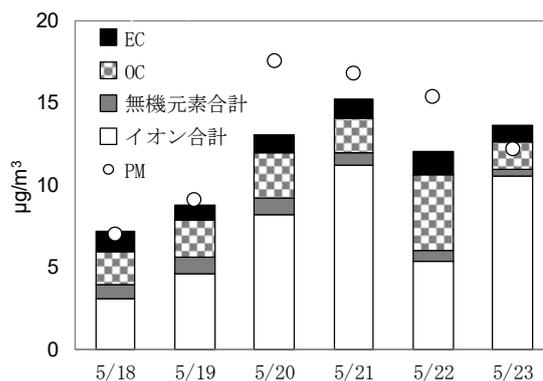


図15 高濃度事例付近の成分ごとの合計

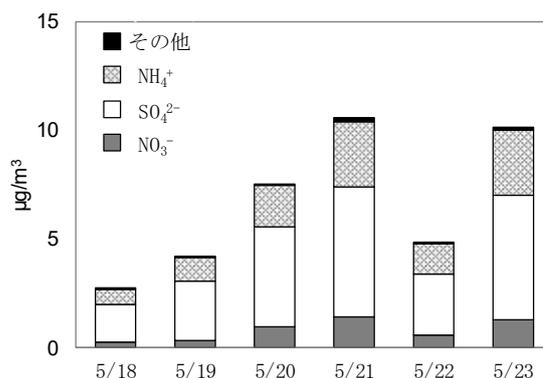


図16 高濃度事例付近のイオン成分濃度

イオン成分の内訳（図 16）をみると、このときの高濃度の主たる要因は、硫酸イオンとアンモニウムイオンであった。指標性の高い無機元素の変動をみてみたが、硫酸イオンと強い相関関係は見られなかった。

ただし、5/22 はイオン濃度が低く、OC 濃度が高いことから、この日だけは別の要因の影響を受けた可能性がある。

### (8) 2017/11/5～11/7 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 17 に示す。質量濃度との変動の傾向がすべて一致している成分はないものの、OC の影響が高い傾向にあった。

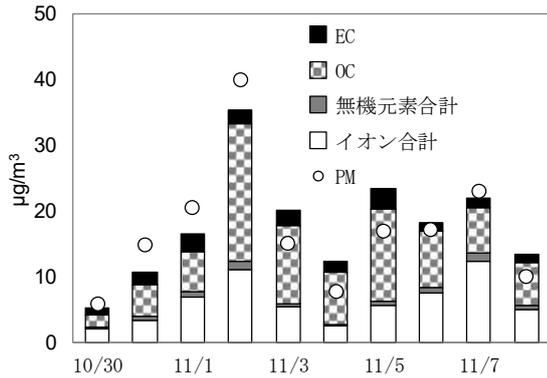


図17 高濃度事例付近の成分ごとの合計

イオン成分の内訳 (図 18) をみると、質量濃度の変動に大きく影響しているのは、硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンであり、11/2 をピークにカリウムイオンとシュウ酸イオンが上昇している傾向がみられた。

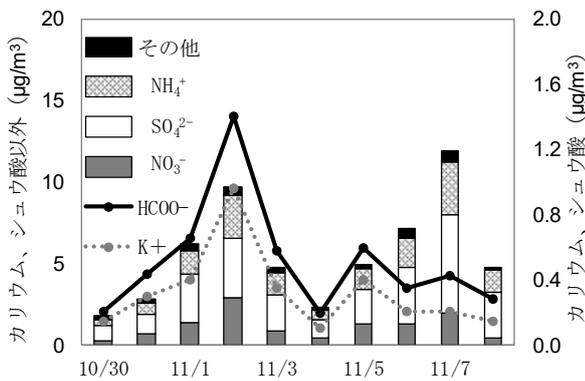


図18 高濃度事例付近のイオン濃度

次に一部の無機元素及びレボグルコサンについてみてみると (図 19)、レボグルコサンは 11/2 付近にピークがあり、無機元素は、11/2 及び 11/7 のどちらにもピークがみられるが、11/7 に濃度が大きく上昇していた。

したがって、全体的に硫酸イオンと硝酸イオンが上昇しており、一部の無機元素の負荷があることから、石炭燃焼や重油燃焼の影響を受けていたと考えられるが、その影響は 11/7 に最大となっていた。一方、11/2 にはレボグルコサン、カリウムイオン及びシュウ酸イオンのピークがみられ、この日はバイオマス燃焼の影響を強く受けていたことが示唆された。

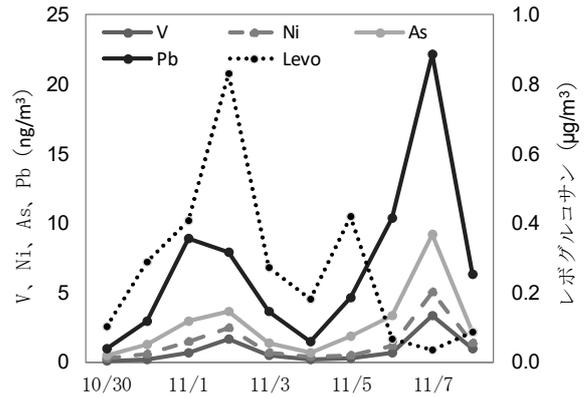


図19 V、Ni、As、Pb、levoの濃度

(9) 2018/1/17～1/18 の事例

イオン合計、無機元素合計、OC 及び EC の日別濃度を図 20 に示す。イオン濃度の合計の割合が高い傾向にあった。

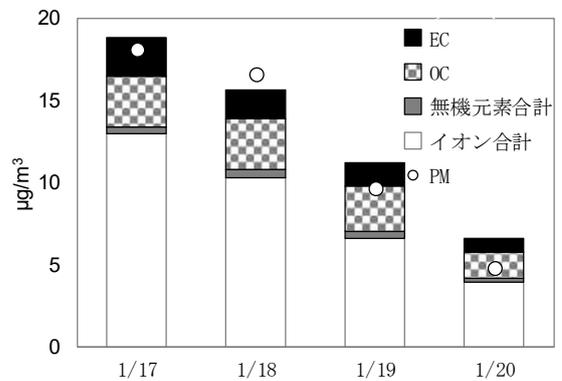


図20 高濃度事例付近の成分ごとの合計

そこで、イオン成分の内訳 (図 21) をみてみると、硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンの割合が高い傾向にあった。指標性の高い無機元素の変動をみてみたが、硫酸イオンと強い相関関係はみられなかった。

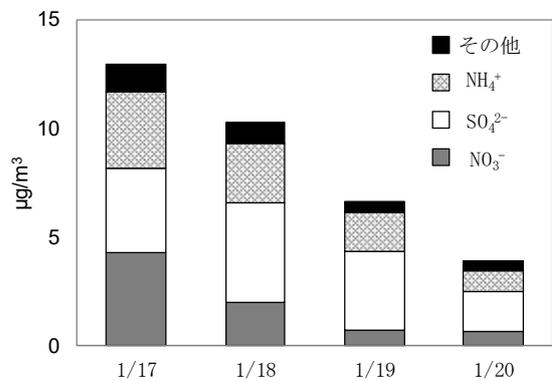


図21 高濃度事例付近のイオン濃度

### 3-3 PMF での解析

今回得られた成分分析データについて、Positive matrix factorization (PMF) 解析を適用し、発生源の推定及びその寄与割合の算出を行った。

PMF 法は *Paatero* と *Tapper* (1994)<sup>3)</sup> により提案された多変量解析モデルであり、因子別寄与濃度の推定に用いられる。PMF 法は、自治体やより広域な領域における発生源の推定において、利用されており、大きな成果を上げている方法である。

解析ソフトは EPA-PMF5.0<sup>5)</sup> を使用した。解析に用いた成分は、質量濃度、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Al、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Sb、Pb、OC、EC、レボグルコサンの 23 成分であり、196 検体について解析を行った。Mg<sup>2+</sup>、Cr、Ni、Cu、Zn、Sb については、不確かさを設定の 3

倍にして解析を行った。計算回数は 100 回とした。

因子数の決定は、Bootstrap の Mapping で Unmapped が現れないことと、各因子の配分が 90% 以上あることを基本的な条件とした。また、切り分けられた因子について、大気中での存在が説明できうることを条件とした。例えば、単一の成分の配分割合が、きわめて高い因子が切り分けられた場合、大気中での発生源が説明できないときは、因子数を変えて再解析することとした。

解析については様々な条件を検討したところ、因子数を 7、Extra modeling uncertainty を 15% とした場合、因子 1 の配分が 89% であり、90% を下回ったものの、これを最適解とした。その計算結果の妥当性を表 3~5 に示す。

表3 実測値とモデル予測値の相関性

Species	Intercept	Slope	SE	r <sup>2</sup>	KS Test Stat	KS Test P Value
PM2.5	0.90729	0.89041	1.74387	0.89933	0.09449	0.06374
Cl <sup>-</sup>	0.01695	0.83551	0.04996	0.89409	0.06517	0.3853
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.03173	0.91178	0.19055	0.92674	0.09915	0.04499
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.03694	1.00137	0.49319	0.87948	0.04317	0.86459
Na	-0.01302	1.12179	0.02655	0.94522	0.06403	0.40728
K <sup>+</sup>	0.0164	0.71872	0.04906	0.79105	0.08553	0.11875
Ca <sup>2+</sup>	-0.00219	0.97465	0.02358	0.96972	0.07353	0.24772
Mg <sup>2+</sup>	0.00101	0.88709	0.00384	0.86972	0.07477	0.23072
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.01779	0.95864	0.19516	0.9128	0.05377	0.63228
Al	0.01493	0.68986	0.02732	0.99141	0.09597	0.05717
V	0.00012	0.83614	0.00044	0.93058	0.14883	0.00039
Cr	0.00006	0.80601	0.00023	0.8099	0.1408	0.00095
Mn	0.00048	0.82834	0.00228	0.85176	0.12173	0.00656
Fe	0.00036	0.97734	0.01474	0.99609	0.0899	0.08836
Ni	0.00022	0.67881	0.00036	0.6862	0.16614	0.00005
Cu	0.00079	0.49512	0.00067	0.56019	0.08344	0.13606
Zn	0.00603	0.54401	0.00614	0.6026	0.14831	0.00041
As	0.00006	0.8478	0.00015	0.91896	0.0982	0.04837
Sb	0.00017	0.54213	0.00016	0.50829	0.12181	0.00651
Pb	0.00025	0.83677	0.00052	0.91164	0.05617	0.57639
OC	0.83981	0.67914	0.87071	0.81568	0.08911	0.09331
EC	0.26633	0.80685	0.29788	0.83444	0.04716	0.78392
levo	-0.00184	1.02249	0.01571	0.98313	0.17641	0.00001

表 4 Bootstrap factor と Base factor のマッピング

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Unmapped
Factor1	89	9	2	0	0	0	0	0
Factor2	0	100	0	0	0	0	0	0
Factor3	0	3	97	0	0	0	0	0
Factor4	0	5	2	93	0	0	0	0
Factor5	0	0	0	0	100	0	0	0
Factor6	0	1	0	0	0	99	0	0
Factor7	0	0	0	0	0	0	100	0

表 5 Base run の値が Bootstrap run の 25%~75% タイル値に収まっているかの判定

Species	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
PM <sub>2.5</sub>	Yes						
Cl <sup>-</sup>	Yes						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Yes						
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Yes						
Na	Yes						
K <sup>+</sup>	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Ca <sup>2+</sup>	Yes						
Mg <sup>2+</sup>	Yes						
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Yes						
Al	Yes						
V	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cr	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Mn	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Fe	Yes						
Ni	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cu	Yes						
Zn	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
As	Yes						
Sb	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Pb	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
OC	Yes						
EC	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
levo	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

次に、それぞれの因子の成分濃度とその割合を図 22 に示す。図 22 の右側をみると、すべての因子に炭素成分が割り当てられている。因子 1、2、6 及び 7 は、硫酸アンモニウムを含んでいる。

因子 1 は、無機元素として Na、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup> の負荷があり、海塩粒子と硫酸アンモニウムの混合した因子と推測した<sup>4)</sup>。

因子 2 は、無機元素として K<sup>+</sup> を少量含んでおり、また、As と Pb の寄与割合も高いことから、石炭燃焼と推測した<sup>2)</sup>。なお、硝酸イオンを含んでおり、Sb、Zn、Cu、Cr の寄与割合も高いことから、道路

交通系の影響も受けていると考えられた。

因子 6 は、硝酸イオン、塩化物イオン、アンモニウムイオンの含有量が多いことから、半揮発性粒子と硫酸アンモニウムの混合因子と推測した<sup>4)</sup>。

因子 7 は、V と Ni の寄与割合が高く、重油燃焼と推測した<sup>4)</sup>。

非硫酸系として、因子 3 は、硝酸イオンを含んでおり、Sb、Zn、Cu、Mn の寄与割合が高いことから、道路交通系と推測した<sup>4)</sup>。

因子 4 は、無機元素として Fe、Al、Ca<sup>2+</sup> を多く含んでおり、土壌粒子と OC が混合した因子と推測し

た<sup>4)</sup>。なお、前の項で指摘したとおり、この因子は春季の特定の期間のみ高くなる傾向にあり、黄砂であることが示唆された。

因子 5 は、レボグルコサンと K<sup>+</sup>の寄与割合が高く、バイオマス燃焼であると推測した。

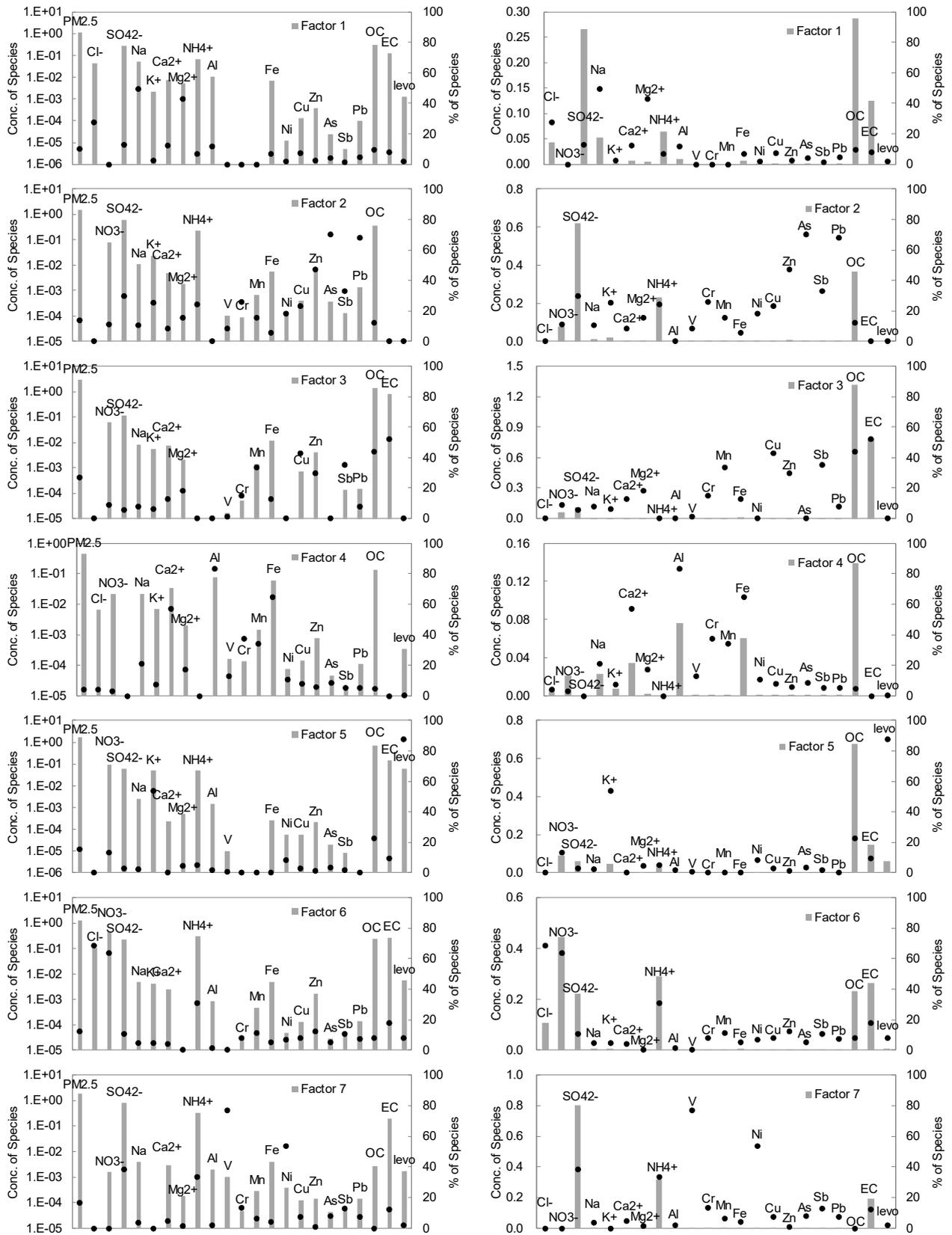


図 22 それぞれの因子の成分濃度とその割合（左側は縦軸が対数表示となっている）

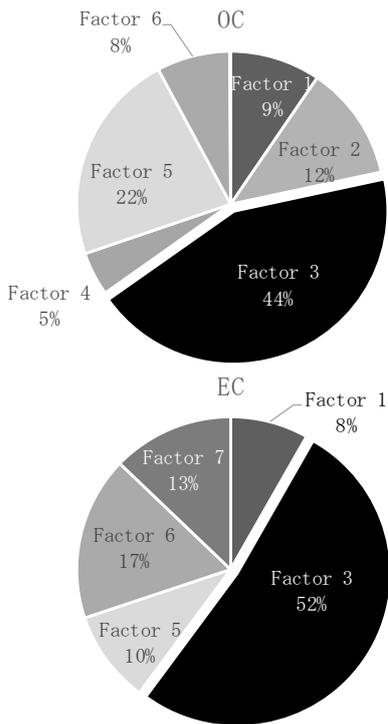


図 23 OC、EC の各因子における割合

図 23 をみると、炭素成分のおよそ半分が因子 3

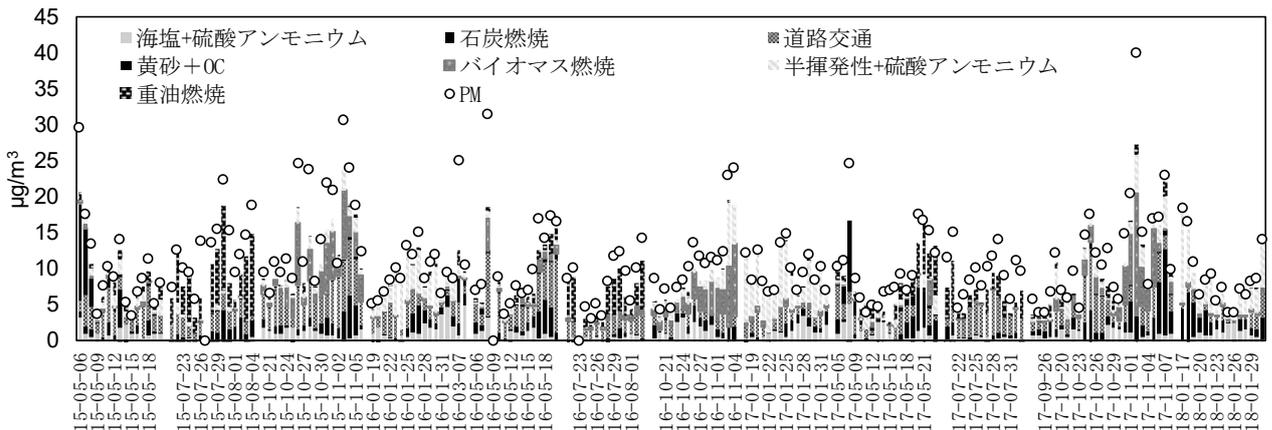


図 24 各因子の日別濃度と質量濃度

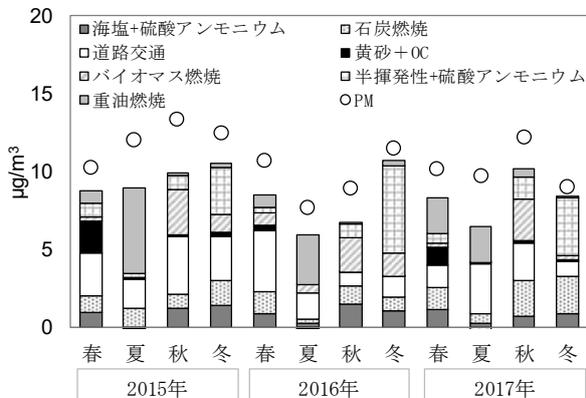


図 25 各季節における因子濃度

に振り分けられているが、因子 3 は不確かさの設定値を 3 倍で計算している元素が多く、図 22 をみると Mn、Cu、Zn 及び Sb の割り当てられている割合が高いが、表 3 をみると、それらの成分は Mn を除きモデルの再現性が悪く、炭素成分の切り分けには改善の余地がある。

次に因子の日別濃度、各季節平均、季節の平均を図 24~27 に示す。図 26 をみると、海塩粒子と硫酸アンモニウムの混合因子は、夏季に低くなる傾向がみられた。バイオマス燃焼は秋季にのみ高くなる傾向がみられた。重油燃焼は、春季にやや上昇し、夏季に最も高くなる傾向がみられた。黄砂と OC の混合因子は、春季にのみ高くなる傾向がみられた。半揮発性粒子と硫酸アンモニウムの混合因子は、夏季にはほとんど見られず、冬季に最も高くなる傾向がみられた。道路交通系と石炭燃焼は季節変動があまりみられなかった。

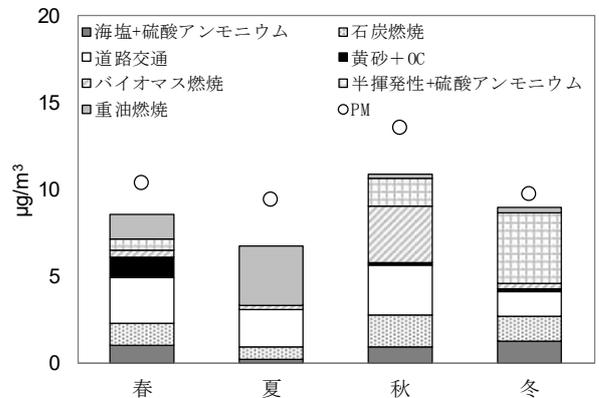


図 26 因子濃度の季節平均

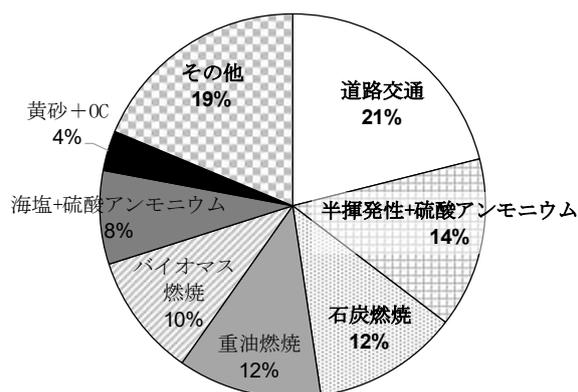


図27 各因子の寄与割合

### 3-4 高濃度事例とそのときの因子寄与割合について

3-2 の項で、今回の対象期間中に起きた高濃度事例について、その原因をいくつかの成分の変動等を参考に推測を行ったが、今回 PMF 解析した結果を用いて、それぞれの高濃度事例において、主たる要因と考えられる因子を調べ、3-2 で推測した結果との比較を行った。その結果を表 6 に示す。

事例 1~4 については、よく一致していた。事例 3、4 については、PMF ではさらに道路交通系の因子も切り分けられていた。

PMF の解析において、バイオマス燃焼と道路交通系は、バイオマス燃焼の指標性の高いレボグルコサンを加えないと同じ因子になった。したがって、この両因子は、大気中での変動パターンが似ている傾向にあることが示唆される。当市においてバイオマス燃焼が高くなる場合は、NASA が公開しているインタラクティブマップ「Worldview」<sup>6)</sup>にお

いて、Fire spot から流れ出てくる煙上の映像が毎回確認されており、大陸からの移流の影響であると考えられる。このバイオマス燃焼と道路交通系が似た傾向にあるということは、道路交通系は、主としてローカルな発生源を示していないのかもしれない。

事例 5 については、OC、EC の発生源を特定できなかったが、PMF 解析では、道路交通系と石炭燃焼が高濃度因子であった。ローカルの汚染だけで質量濃度がここまで上昇するとは考えにくく、道路交通系は移流による汚染物質であることが示唆される。

事例 3~5 から、道路交通系は大陸に主たる発生源があることが示唆されるが、ローカル汚染の影響も含んでいる可能性がある。

事例 7 については、硫酸アンモニウムが質量濃度への寄与が大きいことは分かったものの、その発生源までは分からなかったが、PMF 解析ではそれぞれ化石燃料の燃焼によるものであることが推測された。

事例 6、9 については、硫酸アンモニウムのほかに硝酸アンモニウムの上昇も見られたが、冬季における硝酸アンモニウムの上昇は、PMF 解析では半揮発性粒子の影響であるとされた。半揮発性粒子は冬季に高くなる傾向にあり、冬季において、硝酸イオンが高い場合は、この影響を受けていることが示唆される。

表 6 推定される高濃度要因の比較について

通し番号	日付	推定原因	PMF 高因子
1	2015/5/6~5/7	黄砂	黄砂+OC
2	2015/7/27~8/4	重油燃焼	重油燃焼
3	2015/10/26~11/5	バイオマス燃焼	バイオマス燃焼、道路交通系
4	2016/5/8~5/9	バイオマス燃焼	バイオマス燃焼、道路交通系
5	2016/5/17~5/20	OC、EC	道路交通系、石炭燃焼
6	2016/11/3~11/4	硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム	バイオマス燃焼、半揮発性
7	2017/5/20~5/22	硫酸アンモニウム、OC	石炭燃焼、重油燃焼
8	2017/10/30~11/7	バイオマス燃焼、重油燃焼、石炭燃焼	バイオマス燃焼、石炭燃焼
9	2018/1/17~1/18	硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム	半揮発性、石炭燃焼

#### 4. 結 語

2015年度から2017年度に採取されたPM<sub>2.5</sub>の成分分析結果について、その特徴や発生源について考察を行った。当市の特徴として、質量濃度に占めるOC、ECの割合が高い傾向にあり、2017年度では、全国平均がそれぞれ18%、7%であるのに対し、当市は32%、12%であった。

PMF解析では、道路交通系の因子に高い割合で炭素成分が割り当てられていたが、この因子に多く配分されている無機元素は、不確かさの設定値を3倍にして計算しているものが多く、モデルの再現性も悪いため、因子の切り分けそのものが、うまくいっていない可能性がある。

高濃度事例について、その高濃度要因を探ったところ、高濃度と定義された事例について、PMF解析から切り分けられた因子はいずれも大陸由来と考えられ、これらの期間の後方流跡線を作成すると、いずれも大陸由来であったことから、当市の高濃度事例は、大陸から大きな影響を受けていると考えられる。

高濃度事例の発生源推定について、硫酸アンモニウムやOC、ECが高濃度の場合、複数の発生源の影響が考えられるので、指標性の高い無機元素濃度から発生源の推定を行うことは困難であることが多かった。このような場合、PMF解析ではより詳細な推測が可能であり、PMF方法の有用性が示された。

#### 5. 文 献

- 1) 大気中微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) 成分測定マニュアル <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html>
- 2) 東アジアライダーネットワークデータセンター ホームページ : <http://www-lidar.nies.go.jp/>
- 3) Paatero, Pentti, and Unto Tapper. "Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values." *Environm*

*etrics* 5(2), 111-126, 1994

- 4) PM<sub>2.5</sub>の短期的/長期的環境基準超過をもたらす汚染機構の解明Ⅱ型共同研究第5期報告
- 5) United States Environmental Protection Agency ホームページ <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses>
- 6) Worldview ホームページ : <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>