

PMF 法による福井県内の PM_{2.5} 発生源寄与解析

高岡 大・福島綾子・吉川昌範

The analysis of PM_{2.5} source contribution in Fukui by Positive Matrix Factorization (PMF) method

Dai TAKAOKA, Ayako FUKUSHIMA, Masanori YOSHIKAWA

1. はじめに

大気中の微小粒子状物質 (PM_{2.5}) は呼吸器系や循環器系に対する健康影響が懸念されており、環境省は平成 21 年 9 月に質量濃度について環境基準を設定し、さらに平成 23 年 7 月には PM_{2.5} 成分分析のガイドライン¹⁾を定めて各自治体と連携して対策を進めている。

また、成分分析ガイドラインでは、PM_{2.5} の発生源寄与割合を推計することが主目的の一つとして掲げられており、その手法としては、PMF (Positive Matrix Factorization) や CMB (Chemical Mass Balance) などの数値解析が挙げられる。特に PMF に関しては、発生源の情報がなくても測定データがあれば計算が実行可能という利点があるため、近年、研究報告例も増えている。

そこで、本報では県内の測定データについて PMF 解析を実施し、PM_{2.5} の発生源寄与割合の推計を試みた。

2. 方法

2. 1 解析対象データ

解析対象データは、大気汚染防止法第 22 条に基づき実施した常時監視測定結果を用いた。その詳細は次のとおり。

(1) 測定地点

平成 25 年度

福井局 (福井市豊島 2-5-26)

大野局 (大野市水落町 7-21)

平成 26 年度

福井局 (同上)

三国局 (坂井市三国町山岸 31-1)

(2) 測定期間

測定期間は環境省が設定した統一試料捕集期間に合わせて年 4 季、各季 2 週間連続で実施した。

また、サンプリング時間は朝 10:00～翌朝 10:00 までの 24 時間とした。

平成 25 年度

春季 (平成 25 年 5 月 8 日～5 月 22 日)

夏季 (平成 25 年 7 月 24 日～8 月 7 日)

秋季 (平成 25 年 10 月 23 日～11 月 6 日)

冬季 (平成 26 年 1 月 22 日～2 月 5 日)

平成 26 年度

春季 (平成 26 年 5 月 8 日～5 月 23 日)

夏季 (平成 26 年 7 月 23 日～8 月 5 日)

秋季 (平成 26 年 10 月 22 日～11 月 4 日)

冬季 (平成 27 年 1 月 21 日～2 月 3 日)

(3) 解析成分

イオン成分(Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻)

無機成分(Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Pb)

炭素成分(OC, EC)

(4) データスクリーニング

測定日ごとの成分分析データについて、イオンバランス (anion / cation 比率) が 0.8 以上 1.2 以下の範囲から外れているものは除外した。

また、ケミカルマスキューモデル²⁾による PM_{2.5} の推定質量濃度と実測値の比率についても 0.8 以上 1.2 以下の範囲から外れているものは除外した。なお、推定質量濃度の算出式は次のとおり。

$$\text{推定質量濃度} = 1.375[\text{SO}_4^{2-}] + 1.29[\text{NO}_3^-] + 2.5[\text{Na}^+] + 1.5[\text{OC}] + [\text{EC}] + 9.19[\text{Al}] + 1.4[\text{Ca}] + 1.38[\text{Fe}] + 1.67[\text{Ti}]$$

なお、検出下限値以下の値については、下限値の 1/2 とした。

(5) 不確実性データの作成

PMF の解析を実施するためには、測定データ (Concentration Data File) と対となる不確実性データ (Uncertainty Data File) が必要である。不確実性データファイルは、各測定成分の検出下限値と変動率から構成されるもので、検出下限値については複数の値がある場合は最大値を用い、変動率については 5, 10, 15, 20% の内、解析結果が良好な値を選択した。

なお、解析ソフト中で不確かさを追加で設定することができる「Extra Modeling Uncertainty」ファンクションが存在するが、本報では 0% で計算を実施した。

(6) 京都府および京都市のデータ

解析結果の精度向上を図るため、都市圏の京都府および京都市の測定データを福井県データに追加して計算を行った。なお、当該データは環境省から提供された全国の PM_{2.5} 成分分析結果から引用し、測定地点および年度は次のとおりとした。

京都府 (H24: 国道 171 号、H25: 久御山)

京都市 (H24: 壬生・自排南、H25: 壬生・自排南)

2. 2 PMF 解析

(1) 使用ソフト

PMF 解析の実施に当たって、アメリカ合衆国環境保護庁 (US-EPA) がウェブ上で公開している「EPA PMF 5.0」を用い、基本的な設定は「EPA PMF 5.0 User Guide」に準拠した。

(2) 欠測値の取り扱い

ある測定日のデータの内、特定の成分だけ欠測している場合には「-999」を代入し、ソフトウェア上で中央値に置き換えるよう処理することで解析上の不確実性が増加することとなる。

(3) 発生源因子数

発生源因子の数は 3～12 の範囲で変化させ、解析結果の妥当性が最も高い因子数を最終解とした。

(4) 計算回数

計算回数は基本的に 100 回とし、繰り返し計算の始動位置を示す Seed は 1 に固定した。ただし、2.1 (5) および 2.2. (3) で述べた不確実性変動率と発生源因子数の選定においては、計算時間の短縮を図るため回数を 20 回とした。

(5) 成分の重み付け

解析計算における成分ごとの重み付けを Signal/Noise (S/N) 比を参考に、 $0 \leq S/N < 0.5$ の場合は「Bad」（解析から除外）、 $0.5 \leq S/N < 1$ の場合は「Weak」（不確実性を 3 倍）、 $1 \leq S/N$ の場合は「Strong」（変更なし）として解析に用いた。また、検出下限値未満の測定値の割合が 50% 以上の成分は「Bad」として解析から除外した。

(6) Q 値

Q 値は、発生源の数に適しているかどうかの判断材料にするもので、データの試料数、成分数および発生源因子数で決定される $Q(\text{theory})$ 、各成分データの通常の分布から大きく外れた値を除いて解析した時に得られる $Q(\text{robust})$ 、全てのデータを用いて解析した時に得られる $Q(\text{true})$ がある。一般的に Q 値は小さいほどよいとされ、また、理論値である $Q(\text{theory})$ と $Q(\text{robust})$ および $Q(\text{true})$ は値に近いほどよい。なお、 $Q(\text{theory})$ は次の式により計算で求められ、 $Q(\text{robust})$ と $Q(\text{true})$ については EPA PMF 5.0 の解析結果から得られる。

$$Q(\text{theory}) = n \cdot m - p \cdot (n + m)$$

n : 試料数 m : 成分数 p : 発生源因子数

2.1 (5) および 2.2. (5) で述べた不確実性変動率と発生源因子数は、この Q 値を基準に決定することとした。

(7) Bootstraps

Bootstraps 法は、乱数を用いて数値計算を行うモンテカルロ法の一つで、母集団の推定量の性質を、近似分布に従ってサンプリングした時の性質を計算することで推定する手法である。PMF 解析では、基になる計算回 (Run Number) から各発生源因子の成分濃度を指定回数分だけ再計算し、Run Number の分析結果と比較することで解析結果の適正を判断するために用いる。各発生源因子の主要な構成成分の濃度が、再計算した結果の中心付近にあれば良好な解析結果と言える。

なお、今回の解析では Bootstraps の計算回数を 100 回に設定した。

3. 結果

3. 1 Q 値

不確実性変動率および発生源因子数を変化させた時の Q 値のグラフを図 1 に示す。

まず不確実性変動率について着目すると、10% 以下では $Q(\text{theory})$ と $Q(\text{true})$ は交差していないため適切ではないと判断した。15% と 20% を比較すると両者とも $Q(\text{theory})$ と $Q(\text{true})$ が交差しているが、国内の研究報告では発生源因子数を 10 未満とする事例が多いことから 7~8 付近で交差している変動率 20% を最適値とした。

次に発生源因子数については、変動率 20% における $Q(\text{theory})$ と $Q(\text{true})$ の交点付近である 6~9 に当たりを付け、後述する解析結果の堅牢性や発生源因子の内訳の妥当性等を基準に最終解を決定した。

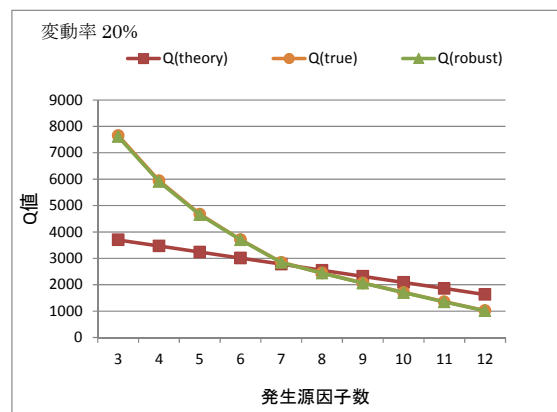
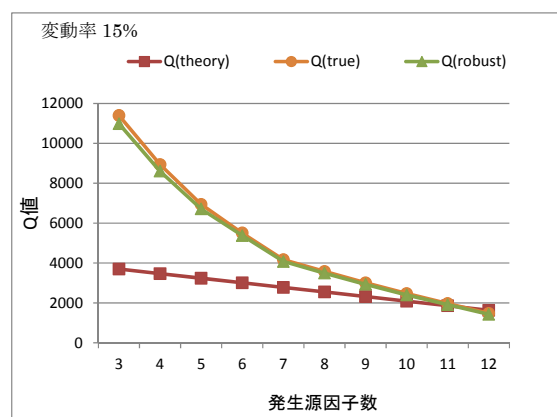
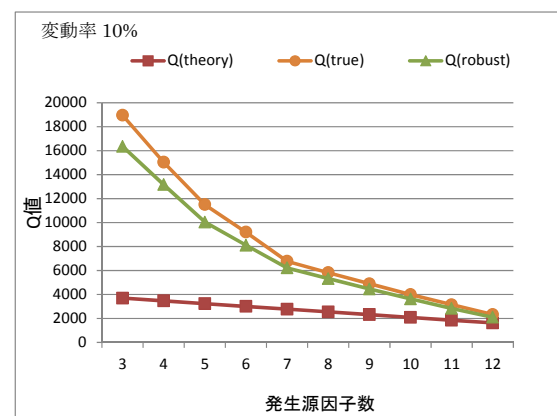
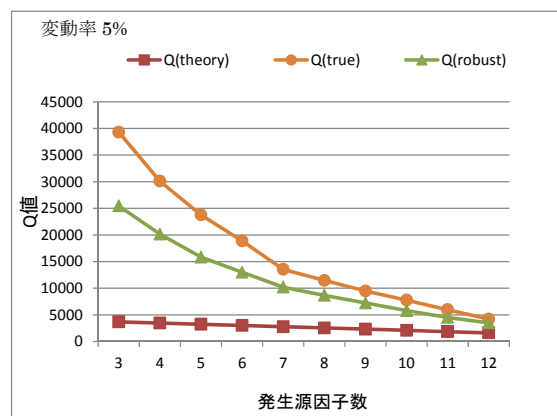


図 1 不確実性変動率および発生源因子数と Q 値の関係

3. 2 発生源因子の推定

数値計算で得られた発生源因子数 6~9 の成分組成を図 2 に示す。図中の第 1 軸は各成分の濃度、第 2 軸は PM_{2.5} 質量全体に占める各成分の割合を示している。

これらの図から発生源因子の推定を行うことができ、例として図 2 中の発生源因子 1 (Factor1) は、SO₄²⁻および Cl⁻が主要成分であることから「硝酸系と塩化物系の混合二次粒子」とであると推測される。同様に他の各 Factor に

ついて因子の推定を行った結果を表 1 に示す。表中の () 内は各 Factor の主要成分を示している。なお、推定には環境省の大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分測定マニュアル³⁾や国立環境研究所 II 型共同研究「PM_{2.5} の環境基準超過をもたらす地域的／広域的汚染機構の解明」のレセプターモデルグループから提供された資料などを参考にした。

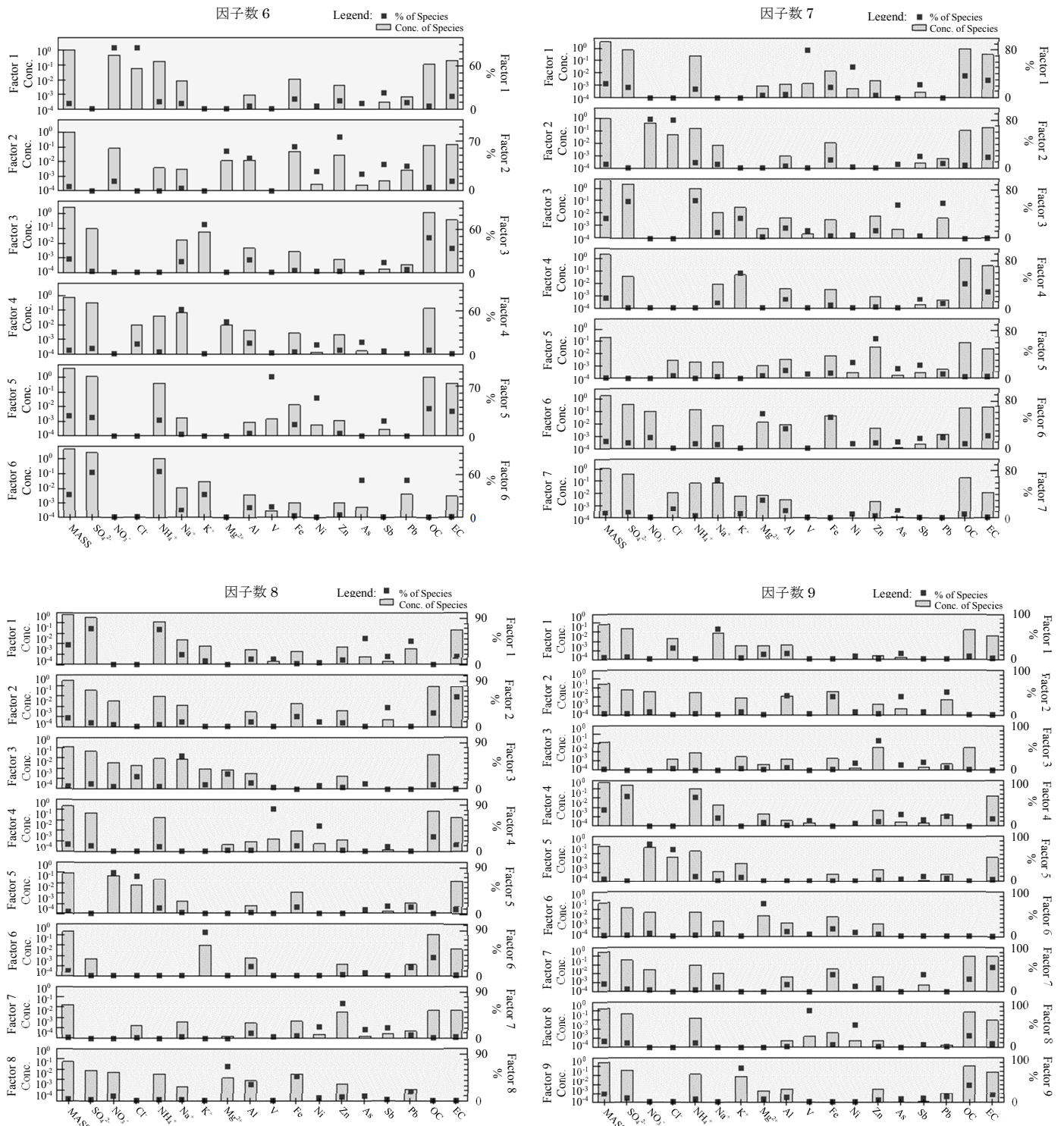


図 2 発生源因子数 6~9 の成分組成

表 1 解析で得られた発生源因子の推定結果

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
因子数6	硝酸系二次粒子 + 塩化物二次 (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻)	土壌 + タイヤ粉じん (Mg ²⁺ , Al, Fe, Zn)	植物燃焼 (K ⁺ , OC, EC)	海塩粒子 (Cl ⁻ , Na ⁺)	重油燃焼 (V, Ni)	硫酸系二次粒子 + 石炭燃焼 (SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , As, Pb)	—	—	—
因子数7	重油燃焼 (V, Ni)	硝酸系二次粒子 + 塩化物二次 (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻)	硫酸系二次粒子 + 石炭燃焼 (SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , As, Pb)	植物燃焼 (K ⁺ , OC, EC)	タイヤ粉じん (Zn)	土壌 (Mg ²⁺ , Al, Fe)	海塩粒子 (Cl ⁻ , Na ⁺)	—	—
因子数8	硫酸系二次粒子 + 石炭燃焼 (SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , As, Pb)	自動車排ガス + 道路粉じん (Sb, OC, EC)	海塩粒子 (Cl ⁻ , Na ⁺)	重油燃焼 (V, Ni)	硝酸系二次粒子 + 塩化物二次 (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻)	植物燃焼 (K ⁺ , OC, EC)	タイヤ粉じん (Zn)	土壌 (Mg ²⁺ , Al, Fe)	—
因子数9	海塩粒子 (Cl ⁻ , Na ⁺)	土壌+石炭燃焼 (Mg ²⁺ , Al, Fe, As, Pb)	タイヤ粉じん (Zn)	硫酸系二次粒子 (SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺)	硝酸系二次粒子 + 塩化物二次 (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻)	不明 (Mg ²⁺)	自動車排ガス + 道路粉じん (Sb, OC, EC)	重油燃焼 (V, Ni)	植物燃焼 (K ⁺ , OC, EC)

3. 3 Bootstraps

発生源因子数を 6〜9 に変化させた時の Bootstraps Run の結果を表 2 に示す。また、成分ごとの結果を表 3〜6 に示す。なお、表 3 中では Bootstraps の結果が四分位範囲内であれば「Yes」、範囲外であれば「No」と表記され、さらに各 Factor の主要成分のセルは灰色で表示している。まず表 2 を見ると発生源因子数 6 が最も再現性が高く、次に因子数 9 が続く結果となったが、因子数 6 では Factor3 において、どの発生源にも適合していないことを意味する「unmapped」が出現した。

表 3 を見ると、発生源因子数 9 の場合が最も主要成分での「No」の数が少なく全体的に見ても「yes」の割合が多いことから、数値的な堅牢性が高いと言える。

表 2 各発生源因子数での Bootstraps 解析結果（因子別）

因子数 6

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Unmapped
Factor 1	99	1	0	0	0	0	0
Factor 2	0	100	0	0	0	0	0
Factor 3	0	7	83	1	4	4	1
Factor 4	0	1	0	99	0	0	0
Factor 5	0	0	0	0	100	0	0
Factor 6	0	0	0	0	0	100	0

因子数 7

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Unmapped
Factor 1	100	0	0	0	0	0	0	0
Factor 2	0	97	2	0	0	1	0	0
Factor 3	0	0	100	0	0	0	0	0
Factor 4	1	0	0	99	0	0	0	0
Factor 5	1	21	1	15	61	1	0	0
Factor 6	3	4	0	4	0	89	0	0
Factor 7	0	0	0	0	0	0	100	0

因子数 8

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Unmapped
Factor 1	97	0	0	0	0	1	1	1	0
Factor 2	11	77	0	0	0	2	4	6	0
Factor 3	0	0	100	0	0	0	0	0	0
Factor 4	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Factor 5	12	0	0	0	71	5	5	7	0
Factor 6	0	0	0	0	0	100	0	0	0
Factor 7	4	0	0	0	0	0	93	3	0
Factor 8	7	0	0	0	0	1	6	86	0

因子数 9

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Unmapped
Factor 1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor 2	0	97	0	0	3	0	0	0	0	0
Factor 3	0	5	79	1	14	0	1	0	0	0
Factor 4	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
Factor 5	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Factor 6	1	0	0	0	3	95	1	0	0	0
Factor 7	0	0	0	0	5	0	95	0	0	0
Factor 8	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
Factor 9	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0

表 3 各発生源因子数での Bootstraps 解析結果（成分別）

因子数 6

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
MASS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
SO ₄ ²⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
NO ₃ ⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cl ⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
NH ₄ ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Na ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K ⁺	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Mg ²⁺	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Al	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Fe	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Ni	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Zn	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
As	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sb	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Pb	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
OC	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
EC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

因子数 7

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
MASS	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SO ₄ ²⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
NO ₃ ⁻	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cl ⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
NH ₄ ⁺	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Na ⁺	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
K ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Mg ²⁺	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Al	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Fe	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Ni	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Zn	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
As	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Sb	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Pb	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
OC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
EC	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

因子数 8

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8
MASS	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SO ₄ ²⁻	Yes	No	No	No	Yes	Yes	No	Yes
NO ₃ ⁻	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cl ⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
NH ₄ ⁺	Yes	No	No	Yes	No	Yes	No	No
Na ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
K ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Mg ²⁺	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Al	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Fe	No	Yes	No	No	Yes	No	Yes	Yes
Ni	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Zn	Yes	No	No	Yes	No	Yes	No	Yes
As	No	No	No	Yes	No	No	Yes	No
Sb	Yes	No	No	Yes	Yes	No	Yes	No
Pb	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
OC	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes
EC	Yes	No	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes

因子数 9

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
MASS	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
SO ₄ ²⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
NO ₃ ⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cl ⁻	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
NH ₄ ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No
Na ⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K ⁺	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Mg ²⁺	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Al	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Fe	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Ni	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Zn	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	No
As	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sb	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Pb	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No
OC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
EC	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes

3. 4 発生源寄与割合

発生源因子数 6～9 の寄与割合を図 3、平成 25、26 年度の福井局における PM_{2.5} 成分分析結果（年平均）を図 4 に示す。なお、図 3 中で+（プラス）表記されている発生源種は複数源が混在していることを示し、これらは解析プロセス上で分離することができなかったことを意味する。

[因子数 6]

因子数 6 で最も寄与割合が高かったのは 32.8%「硫酸系二次粒子+石炭燃焼」で、次に 28.5%「重油燃焼」や 19.8%「植物燃焼」であった。また、発生源の内訳については複数源が混在している項目が半数であり、因子数の設定値が小さいために分離できなかったものと考えられる。

[因子数 7]

因子数 7 では、6 で混在発生源に割り振られていた「土壌」と「タイヤ粉じん」が分離されたが、土壌の寄与割合は 12.5%で元の混在時の値 6.4%を上回っていた。成分分析結果を見ると、土壌の主成分である Fe, Al, Mg²⁺の合計は全体の約 5%であることから成分分析結果（図 4）と比較しても高いことが分かる。

[因子数 8]

因子数 8 では、混在発生源が分離されるのではなく新たに「自動車排ガス+道路粉じん」が追加されており、その寄与割合も 17.8%と 2 番目に高かった。また追加に伴い、主成分 EC, OC が重複する「植物燃焼」や「土壌」、「重油燃焼」が減少した。

[因子数 9]

因子数 9 では、「硫酸系二次粒子」と「石炭燃焼」が分離され寄与割合も 36.1%と最も高く、続いて「植物燃焼」が 18.5%、「自動車排ガス+道路粉じん」が 18.0%とであった。

また、硫酸系二次粒子と分離された「石炭燃焼」は「土壌」と混在し、さらに Mg²⁺を主成分とする（表 1、図 2 参照）「不明」が出現した。これらの寄与割合は合計しても 5%程度で値としては小さいが、特に土壌については因子数 6～9 の結果の中で 1.8%～12.5%と振れ幅が大きく、数値的な信頼性は低いと思われる。

発生源の分離性については、因子数を 8 から 9 に増やしても混在発生源の数は減少しなかったため、因子数の設定値よりも入力したデータの数や高濃度イベント数の不足などが影響していると推測される。

[他自治体との比較]

同様に EPA-PMF を用いて PM_{2.5} の解析を実施している大阪市立環境科学研究所の報告⁴⁾によると「硫酸系二次粒子」が 27～31%、「船舶・重油燃焼系」が 15～21%、「植物燃焼」が 14～17%であり、その他に「硝酸系二次粒子」

や「海塩粒子+土壌」、「工業系+自動車排ガス」などが挙げられている。

また、名古屋市環境科学調査センターの報告⁵⁾でも「硫酸系二次粒子」の寄与割合が最も高く、その他には「硝酸系二次粒子」、「廃棄物焼却」、「土壌」、「自動車排ガス」が挙げられている。

これらに対して、本報の解析結果では主に「硫酸系二次粒子」、「植物燃焼」、「自動車排ガス+道路粉じん」、「重油燃焼」などが挙げられ、ある程度の共通性が見受けられる。

4. まとめ

PM_{2.5} 成分分析結果について発生源因子数を 6～9 に設定して PMF 解析を実施した。

因子数 6～9 の解析結果において、共通して「硫酸系二次粒子」もしくは「硫酸系二次粒子+石炭燃焼」の寄与割合が最も高く 31.6%～37.7%の範囲であった。

発生源の分離性については、因子数を 6 から 7 に増やしたことで一時的に混在発生源の数が減少したが、因子数 8 で再び増加し、さらに因子数を 9 に増やしても減少することにはなかった。より分離性を向上させるには、因子数の設定以外に入力データ数や高濃度イベント数の追加が必要と考えられる。

また、より詳細に PM_{2.5} 発生源を特定するためには、今後も引き続き PMF 解析の精度向上を図ると共に、越境由来と地域由来の寄与割合についても検討する必要があると考える。

参考文献

- 1) 環境省：微小粒子状物質(PM_{2.5})の成分分析ガイドライン (2011)
- 2) US-EPA：VISIBILITY MONITORING GUIDANCE (1999)
- 3) 環境省：大気中微小粒子状物質(PM_{2.5})成分測定マニュアル (2015)
- 4) 船坂邦弘他：PMF 法による大阪市内における PM_{2.5} 発生源因子の解析，大阪市立環科研報告平成 26 年度第 77 集，p65-70 (2015)
- 5) 山神真紀子他：微小粒子状物質(PM_{2.5})の発生源寄与率の推定，名古屋市立環境科学調査センター年報第 1 号，p20-25 (2012)

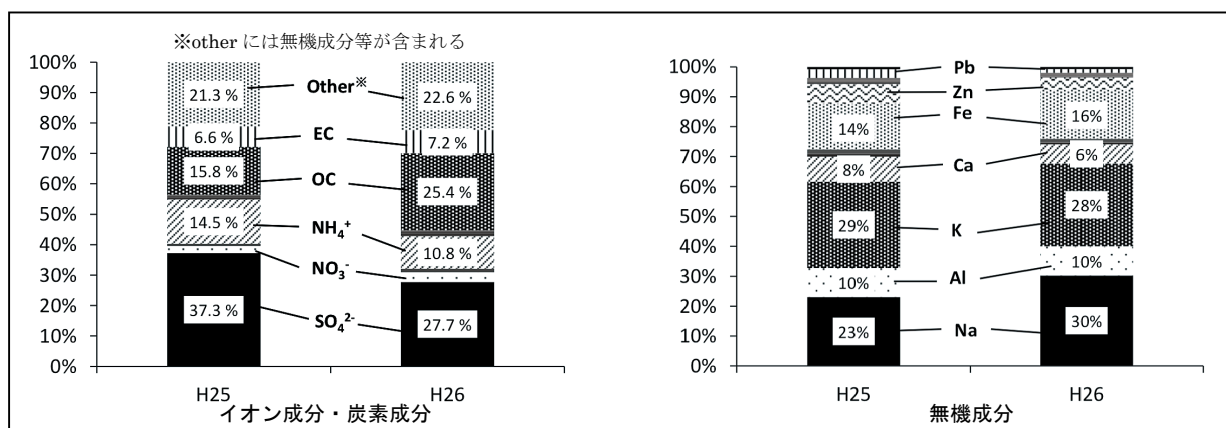
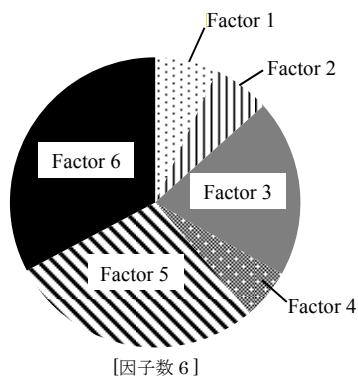
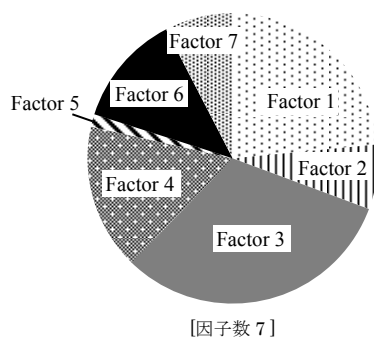


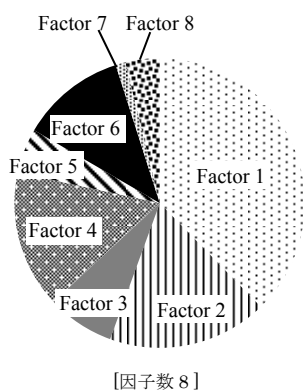
図 4 平成 25、26 年度の福井局における PM_{2.5} 成分分析結果（年平均値）



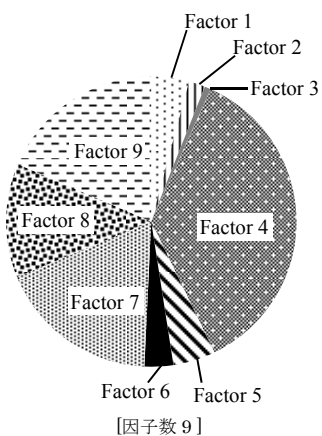
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
発生源種	硝酸系二次粒子 +塩化物二次	土壌 +タイヤ粉じん	植物燃焼	海塩粒子	重油燃焼	硫酸系二次粒子 +石炭燃焼
寄与割合	7.0 %	6.4 %	19.8 %	5.6 %	28.5 %	32.8 %



	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
発生源種	重油燃焼	硝酸系二次粒子 +塩化物二次	硫酸系二次粒子 +石炭燃焼	植物燃焼	タイヤ粉じん	土壌	海塩粒子
寄与割合	23.5 %	7.2 %	31.6 %	16.3 %	1.4 %	12.5 %	7.6 %



	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8
発生源種	硫酸系二次粒子 +石炭燃焼	自動車排ガス +道路粉じん	海塩粒子	重油燃焼	硝酸系二次粒子 +塩化物二次	植物燃焼	タイヤ粉じん	土壌
寄与割合	37.7 %	17.8 %	7.5 %	15.3 %	5.0 %	11.7 %	1.1 %	3.8 %



	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
発生源種	海塩粒子	土壌+石炭燃焼	タイヤ粉じん	硫酸系二次粒子	硝酸系二次粒子 +塩化物二次	不明	自動車排ガス +道路粉じん	重油燃焼	植物燃焼
寄与割合	4.2 %	1.8 %	0.7 %	36.1 %	4.7 %	3.2 %	18.0 %	12.7 %	18.5 %

図 3 発生源因子数 6～9 の寄与割合