

## 兵庫県の2地点におけるPM<sub>2.5</sub>の発生源解析

中坪 良平<sup>1</sup> 常友 大資<sup>1</sup> 藤原 亘<sup>1</sup> 平木 隆年<sup>1</sup>  
齊藤 勝美<sup>2</sup> 余田 佳子<sup>3</sup> 島 正之<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 兵庫県環境研究センター 大気環境科 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27)

<sup>2</sup> 富士通クオリティ・ラボ・環境センター (〒431-0431 静岡県湖西市鷺津 2281)

<sup>3</sup> 兵庫医科大学 公衆衛生学 (〒663-8501 西宮市武庫川町 1-1)

## Source characterization of PM<sub>2.5</sub> at the two sites in Hyogo Prefecture

Ryouhei NAKATSUBO<sup>1</sup>, Daisuke TSUNETOMO<sup>1</sup>, Wataru FUJIWARA<sup>1</sup>,  
Takatoshi HIRAKI<sup>1</sup>, Katsumi SAITOH<sup>2</sup>, Yoshiko YODA<sup>3</sup>,  
and Masayuki SHIMA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Atmospheric Environmental Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,  
3-1-27, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

<sup>2</sup> Fujitsu Quality Laboratory Environment Center  
2281 Washizu, Kosai, Shizuoka 431-0431, Japan

<sup>3</sup> Department of Public Health, Hyogo College of Medicine  
1-1, Mukogawa-cho, Nishinomiya, Hyogo 663-8501, Japan

兵庫県神戸市(須磨)と姫路市(飾磨)の2地点において、微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の24時間捕集を各季節に20日間ずつ実施した。PM<sub>2.5</sub>の主要成分(イオン成分、炭素成分、無機元素成分)の測定結果にPositive Matrix Factorization(PMF)解析を適用し、PM<sub>2.5</sub>の発生源とその寄与率を推定した。PMF解析の結果、硫酸系二次粒子、自動車、硝酸系二次粒子、重油燃焼、石炭燃焼、土壌+粉じん、海塩、塩酸系二次粒子を表す8つの寄与因子が抽出された。PM<sub>2.5</sub>質量濃度に対する各因子の全期間平均寄与率は、両地点ともに硫酸系二次粒子が最も高く、次いで自動車が高かった。地点間で寄与率の差がみられた重油燃焼は、捕集地点周辺の風配から、付近の海上を航行する船舶の影響を受けている可能性が示唆された。

### I はじめに

環境省が公表した大気中微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の平成22年度の環境基準達成率は、一般局で32.4%(11局/34局)、自排局で8.3%(1局/12局)と低く、国内の多くの地点で環境基準が達成できていない状況が確認された<sup>1)</sup>。また、兵庫県が公

表した平成23年度のPM<sub>2.5</sub>測定結果では、一般局は全局(4局)で非達成、自排局は3局中2局で非達成となっている<sup>2)</sup>。環境省は、効果的なPM<sub>2.5</sub>削減対策のため、「大気汚染防止法第22条の規定に基づく大気汚染の状況の常時監視に関する事務の処理基準について」を改正<sup>3)</sup>し、国内におけるPM<sub>2.5</sub>の成分分析実施体制の整備を促しており、今後、発

生源対策に活用できる成分濃度データの蓄積が期待される。

筆者らは、兵庫県内の2地点において、平成23年度から各季節に20日間ずつ、PM<sub>2.5</sub>の捕集と主要成分濃度の測定を行ってきた。本報告では、兵庫県内1地点における解析結果を報告した既報<sup>4)</sup>に続き、兵庫県内2地点のPM<sub>2.5</sub>成分濃度データにレセプターモデルを適用し、発生源解析を行った結果について報告する。

## II 方法

### 1. PM<sub>2.5</sub>の捕集

捕集地点は、兵庫県南東部に位置する神戸市須磨区の兵庫県環境研究センター屋上（北緯34.65度，東経135.13度，地上高約35m，以下「須磨」と称す）と、兵庫県南西部に位置する姫路市飾磨区の姫路市飾磨市民センター屋上（北緯34.80度，東経134.68度，地上高約30m，以下「飾磨」と称す）の2地点とした（Fig. 1）。須磨は海岸線から約1kmに、飾磨は海岸線から約4kmに位置し、2地点は直線距離で約45km離れている。

捕集期間は、2011年5月10日～29日（2011春季）、2011年8月4日～23日（2011夏季）、2011年11月2日～21日（2011秋季）、2012年1月11日～30日（2011冬季）、2012年4月11日～30日（2012春季）、2012年7月26日～8月14日（2012夏季）の6期間で、2011年の春季のみ午前10時を、その他の期間は午前0時を開始時刻とする24時間周期の捕集を各期20日間連続して行った。

須磨におけるPM<sub>2.5</sub>の捕集は、FRM2025（Thermo社）を2台併用し、流速16.7L/minでPTFEフィルタ（Whatman社、PM<sub>2.5</sub>フィルタ）及び石英繊維フィルタ（PALL社、2500QAT-UP）に捕集した。飾磨におけるPM<sub>2.5</sub>の捕集は、10ライングローバルサンプラ（東京ダイレック社）を2台併用し、分級流速が10.0L/minに設計されたマルチノズルカスケードインパクト（東京ダイレック社）を開放型NILUフィルタフォルダに装着して捕集した。飾磨の捕集フィルタは、2011年の春季のみ、PTFEフィルタとしてPall社のTefloを用いたが、その他の期間及び石英繊維フィルタは須磨と同じものを用いた。

### 2. 質量濃度及び成分濃度の測定

捕集前後のPTFEフィルタは、相対湿度約35%に調整したデンケータに24時間程度静置した後、温度

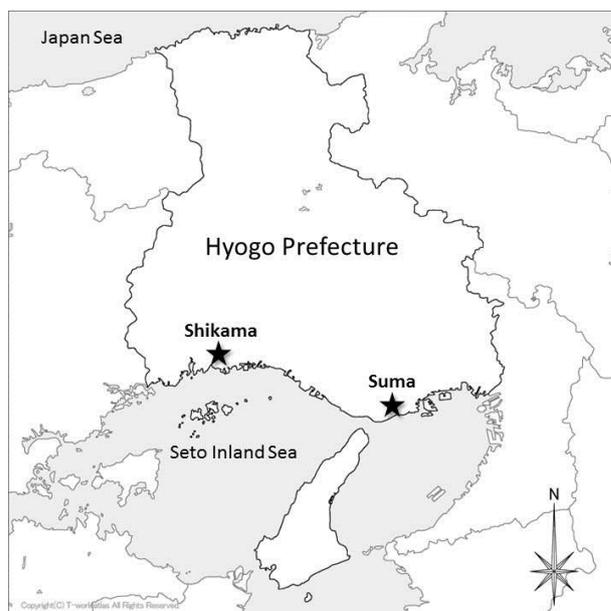


Fig.1 Location of the sampling sites.

21.5±1.5°C，相対湿度35±5%に調整した秤量室内で、ウルトラマイクロ天秤（Sartorius，SE2-F）を用いて秤量した。炭素成分（有機炭素；OC，元素炭素；EC）は、熱分離光学補正法（IMPROVE法）によりSunset Laboratory社のカーボンアナライザーを用いて分析した。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>）は、イオンクロマトグラフ法によりDIONEX社のICS-2100を用いて分析した。無機元素成分（Na，Al，Ca，Sc，Ti，V，Cr，Mn，Fe，Co，Ni，Cu，Zn，As，Se，Rb，Mo，Cd，Sb，Cs，Ba，La，Ce，Sm，Hf，Ta，W，Pb，Th）は、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS法）によりThermo社のXシリーズ2を用いて分析した。

### 3. 発生源解析

発生源解析は、EPA-PMF3.0を用い、Positive Matrix Factorization（PMF）解析を行った。PMF解析手法の詳細は既報<sup>4)</sup>を参照されたい。PMFモデルは、突発的な外れ値を再現することが難しいため、解析に用いるデータの各成分の濃度分布等を確認し、通常の濃度範囲から大きく逸脱しているデータについては、解析から除外する等の検討が必要である<sup>5)</sup>。本報告では、次に示すイオンバランスとマスクロージャーモデルを用いて、精度に問題があると思われるデータの除外を行った。まず、各日のイオン成分濃度のイオンバランス（Anion/Cation比）が0.8～1.2の範囲から外れているデータは除外した。次に、イオンバランスのとれている日の成分濃度について、マスクロージ

ャーモデルによる検証を行った。マスクロージャーモデルは、主要成分濃度から大気粒子の質量濃度を推定する方法<sup>6)</sup>、下式で表される推定質量濃度を求め、観測した質量濃度と推定質量濃度の比が0.8~1.2の範囲から外れているデータは、外れ値として解析から除いた。

$$\text{推定質量濃度} = 1.375[\text{SO}_4^{2-}] + 1.29[\text{NO}_3^-] + 2.5[\text{Na}^+] + 1.5[\text{OC}] + [\text{EC}] + [\text{SOIL}]^*$$

$$^*[\text{SOIL}] = 9.19[\text{Al}] + 1.40[\text{Ca}] + 1.38[\text{Fe}] + 1.67[\text{Ti}]$$

マスクロージャーモデルによる検証の結果、二

地点合わせて200日間の成分濃度データを解析に用いた。全期間を通して測定していない成分(Co, Se, Rb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Hf, Ta, W, Th)は解析から除外した。成分濃度が検出下限値未満の場合は検出下限値の1/2値で置き換えた<sup>7)</sup>。検出下限値未満の割合が20%を超える成分(Sc, Ti, Cr, Mo)はモデルから除外し、2~20%の成分(Al, Fe, Ni, Cu, Zn, Sb)は不確かさを3倍に調整して解析に用いた。誤差データは各成分分析における方法検出下限値を用いた。以上の条件でPMF解析を行い、既報<sup>4)</sup>に基づき算出したQ値等を考慮し、本報告で

Table 1 Summary statistics for PM<sub>2.5</sub> and main components at Suma.

Species	Concentration (ng/m <sup>3</sup> )					Mean concentration (ng/m <sup>3</sup> )						Rate of BDL <sup>b</sup> Values (%)
	Mean	Median	Min <sup>a</sup>	Max	Standard deviation	2011	2011	2011	2011	2012	2012	
						Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	
PM <sub>2.5</sub>	14,277	12,131	1,159	43,542	8,683	14,533	12,381	13,861	13,474	17,648	13,675	0
OC	1,944	1,775	226	4,720	935	1,840	1,780	2,368	1,875	1,956	1,825	0
EC	1,270	1,198	302	3,126	577	1,207	1,192	1,594	1,200	1,345	1,050	0
Cl <sup>-</sup>	50	31	13	455	54	40	28	68	87	51	19	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	615	264	25	5,313	896	386	110	657	1,807	590	57	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,972	3,609	219	21,259	3,909	4,370	5,176	3,973	3,973	6,754	5,693	0
Na <sup>+</sup>	175	160	59	585	79	164	214	173	132	166	203	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,776	1,429	58	7,025	1,340	1,567	1,575	1,532	1,859	2,451	1,657	0
K <sup>+</sup>	125	89	24	780	119	95	83	135	199	148	86	0
Mg <sup>2+</sup>	31	30	0.3	91	16	25	36	28	27	39	35	1
Ca <sup>2+</sup>	90	80	8.2	294	53	87	74	88	81	124	87	0
Al	71	28	5	792	150	134	24	108	44	85	27	1
V	8.7	7.8	0.15	25	6.9	11	13	5.2	1.7	9.7	11	1
Mn	8.7	6.2	0.24	44	7.4	9.4	3.8	13	10	11	3.5	3
Fe	121	93	23	521	95	126	34	178	130	178	72	20
Ni	4.0	3.5	0.26	22	3.3	4.0	4.1	4.6	1.4	5.0	4.8	9
Cu	3.8	3.1	0.44	15	2.4	3.1	2.7	5.5	4.0	4.5	2.8	3
Zn	39	31	3.8	195	34	47	16	53	38	58	19	12
As	1.5	1.2	0.12	5.4	1.2	2.2	1.4	1.5	1.3	1.5	0.58	0
Cd	0.26	0.18	0.0067	1.0	0.23	0.28	0.26	0.30	0.27	0.28	0.15	1
Sb	0.88	0.78	0.059	2.6	0.56	0.83	0.63	1.4	0.82	1.0	0.54	1
Pb	9.3	6.4	0.44	52	9.5	9.0	5.0	13	12	12	2.9	0

<sup>a</sup>Data below the limit of detection were replaced by half of the detection limit values; <sup>b</sup>BDL=Below detection limit.

Table 2 Summary statistics for PM<sub>2.5</sub> and main components at Shikama.

Species	Concentration (ng/m <sup>3</sup> )					Mean concentration (ng/m <sup>3</sup> )						Rate of BDL <sup>b</sup> Values (%)
	Mean	Median	Min <sup>a</sup>	Max	Standard deviation	2011	2011	2011	2011	2012	2012	
						Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	
PM <sub>2.5</sub>	16,430	14,872	2,564	49,827	9,859	20,992	14,603	14,657	12,329	20,047	15,773	0
OC	3,677	3,266	834	8,979	1,691	3,575	4,045	3,959	2,432	3,383	4,703	0
EC	1,236	1,109	211	2,821	554	1,384	1,202	1,544	991	1,264	1,045	0
Cl <sup>-</sup>	87	60	5	533	80	128	40	95	117	101	41	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	794	499	40	3,341	749	1,136	196	841	1,308	1,072	186	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,626	3,188	146	18,782	3,731	4,237	4,738	3,505	3,312	6,130	5,787	0
Na <sup>+</sup>	136	136	19	346	60	135	149	137	78	153	164	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,701	1,316	54	7,032	1,325	1,645	1,507	1,360	1,473	2,320	1,876	0
K <sup>+</sup>	127	97	8.6	602	102	131	93	135	136	163	106	0
Mg <sup>2+</sup>	27	24	3.6	108	17	40	25	18	16	32	33	0
Ca <sup>2+</sup>	139	107	11	764	125	276	133	78	68	160	119	0
Al	88	45	4.5	1,920	213	302	46	33	53	42	46	3
V	3.0	2.2	0.092	11	2.8	4.9	4.6	1.9	0.75	1.3	4.8	2
Mn	11	7.5	0.41	53	10	24	9.6	8.5	10	6.1	7.7	1
Fe	160	128	3.3	899	143	265	166	120	151	98	157	11
Ni	2.8	1.8	0.16	43	4.4	4.7	4.2	2.1	1.1	1.4	3.4	9
Cu	5.8	4.0	0.15	42	5.7	10	9.8	4.4	3.7	2.4	4.4	2
Zn	61	44	3.7	348	57	108	70	48	38	29	73	8
As	1.4	0.89	0.081	7.1	1.4	2.2	1.7	1.1	1.1	0.63	1.6	1
Cd	0.43	0.23	0.014	4.5	0.52	0.64	0.54	0.33	0.24	0.23	0.57	2
Sb	0.81	0.59	0.13	3.2	0.57	1.1	1.0	1.0	0.65	0.43	0.70	3
Pb	12	8.3	0.41	59	11	18	18	10	11	7.3	10	0

<sup>a</sup>Data below the limit of detection were replaced by half of the detection limit values; <sup>b</sup>BDL=Below detection limit.

は因子数を8に決定した。因子数決定後、PMF解析による計算値と実測値の決定係数が0.5以下の成分(Cd)は、不確かさを3倍に調整して再度計算した。Table 1及びTable 2に、須磨と飾磨におけるPM<sub>2.5</sub>質量濃度及びPMF解析に用いた成分の全期間統計値及び各期間の平均値を示した。

### III 結果および考察

#### 1. 因子プロファイルの解釈

PMF解析により導出された各因子の成分分布(因子プロファイル)から、各因子が表す発生源を推定した。Fig. 2に、因子数8で計算した場合に導出された各因子の因子プロファイルを、因子間の相対比で示した。因子1は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の負荷が大きく、因子内のイオンバランスがとれていたこと(Anion/Cation=1.0)、また、燃焼由来のOC、ECの負荷もみられることから、燃焼起源のSO<sub>2</sub>の酸化により二次的に生成した硫酸アンモニウム、または長距離輸送された硫酸アンモニウムの寄与を表す因子と解釈された(硫酸系二次粒子)。因子2は、燃焼由来のOC、EC、ブレーキパッド由来とされるCu、Sbの寄与が大きいため<sup>8)</sup>、自動車の寄与を表す因子と解釈された(自動車)。因子3は、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の負荷が大きく、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の負荷もみられ、因子のイオンバランスがとれていたことから

(Anion/Cation=0.94)、半揮発性の硝酸アンモニウムの寄与を表す因子と解釈された(硝酸系二次粒子)。因子4は、重油中の含有率の高いVやNiの負荷が大きいため<sup>9)</sup>、燃焼由来のECの負荷もみられることから、重油を燃料とする船舶や火力発電所等の寄与を表す因子と解釈された(重油燃焼)。因子5は、石炭に由来するとされるAsの負荷が大きいため<sup>7)</sup>、燃焼由来のECの負荷もみられることから、石炭を主燃料とする製鋼業や火力発電所等の寄与を表す因子と解釈された(石炭燃焼)。因子6は、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>の負荷が大きく、Cl<sup>-</sup>の負荷もみられることから海洋由来の粒子の寄与を表す因子と解釈された(海塩)。因子7は、Ca<sup>2+</sup>やAlの負荷が大きいため<sup>10)</sup>、土壌の負荷を表す因子と解釈されるが、Mn、Fe、Zn等の負荷もみられることから堆積粉じんを表す因子の混在が示唆された(土壌+粉じん)。因子8は、Cl<sup>-</sup>の負荷が大きく、因子のイオンバランスがとれていたことから(Anion/Cation=1.3)、半揮発性の塩化アンモニウムの寄与を表す因子と解釈された(塩酸系二次粒子)。

#### 2. 発生源寄与率の推定

Fig. 3に、各因子がPM<sub>2.5</sub>に及ぼす寄与率の全期間平均を地点別に示した。グラフ中のUnknownは、PM<sub>2.5</sub>質量濃度の観測値から因子寄与濃度の合計値を差し引いた値で、水分や、有機炭素に結合する

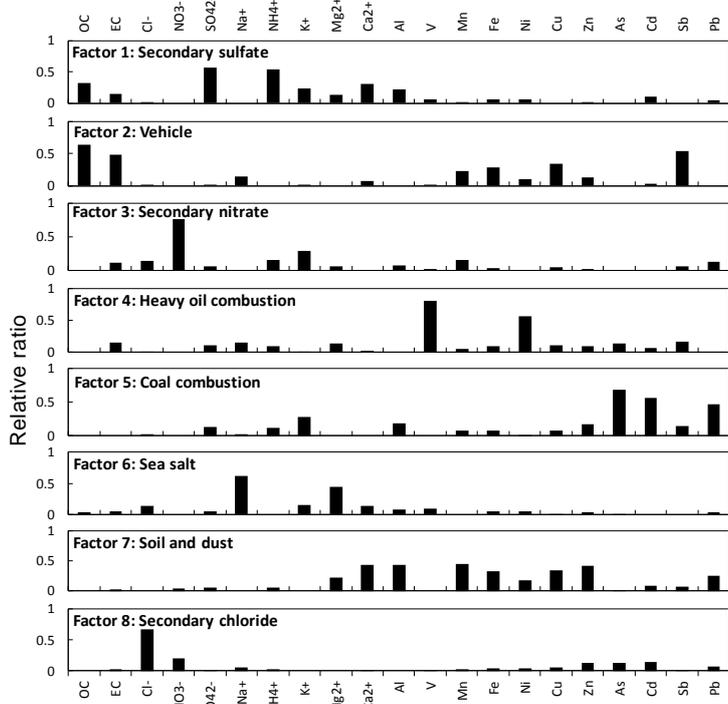


Fig. 2 The calculated source profile of the each factor for PM<sub>2.5</sub>.

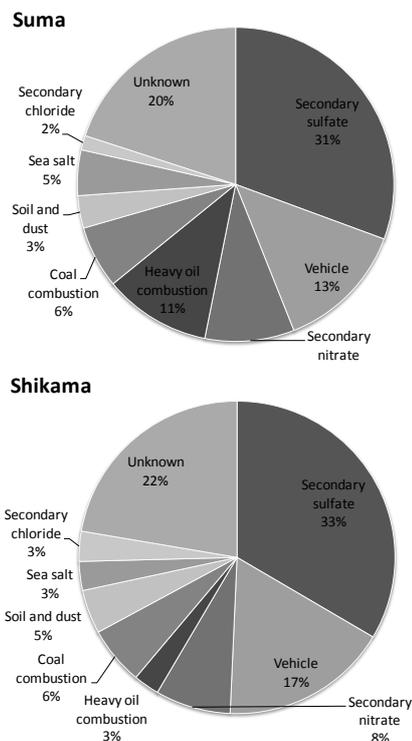


Fig.3 Source percentage contribution of PM<sub>2.5</sub> for the average of the entire period at two sites.

水素や酸素等の未測定成分である。須磨における全期間の平均は、硫酸系二次粒子の寄与率が最も高く31%、次いで自動車が13%、硝酸系二次粒子が9%、重油燃焼が11%、石炭燃焼が6%、海塩が5%、土壌+粉じんが3%、塩酸系二次粒子が2%であった。飾磨における全期間の平均は、須磨同様、硫酸系二次粒子の寄与率が最も高く33%、次いで自動車が17%、硝酸系二次粒子が8%、重油燃焼が3%、石炭燃焼が6%、海塩が3%、土壌+粉じんが5%、塩酸系二次粒子が3%であった。寄与率を地点間で比較すれば、須磨では飾磨に比べて重油燃焼の寄与率が高く、飾磨では須磨に比べて自動車の寄与率が高くなった。Fig. 4に、因子寄与濃度の全期間平均と期間別平均を地点別に示した。須磨、飾磨の両地点で因子寄与率が最も高かった硫酸系二次粒子は、二地点とも春季に最大を示す傾向がみられた。また、次いで因子寄与率が高かった自動車は、二地点とも秋季に最大を示す傾向がみられた。飾磨に比べて須磨の寄与率が高かった重油燃焼は、二地

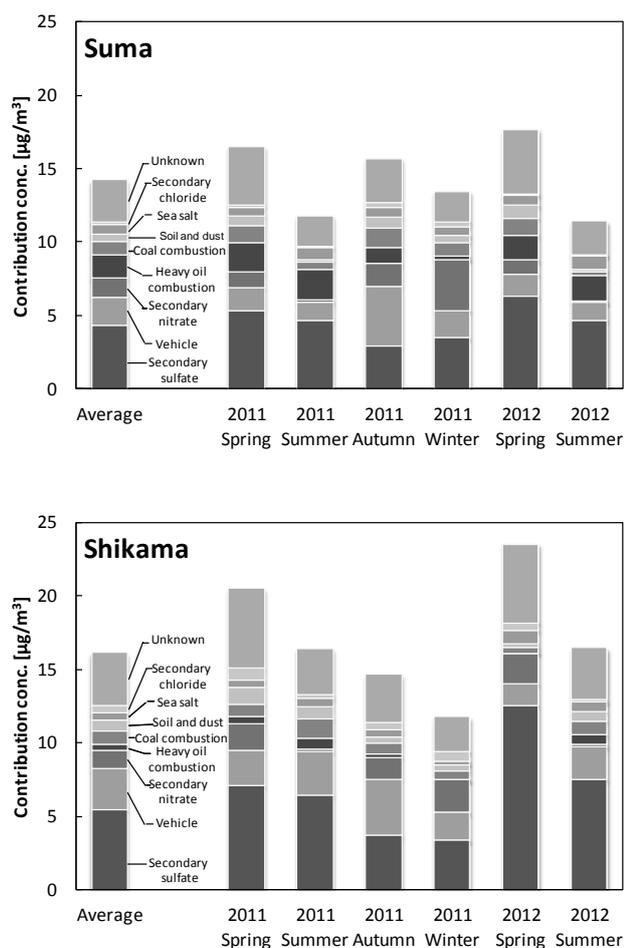


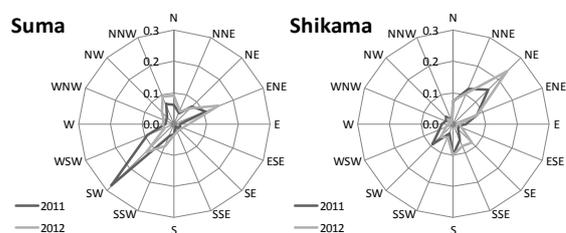
Fig. 4 Average of the entire period and seasonal source mass contribution of PM<sub>2.5</sub> at the two sites.

点とも夏季に最大を示す傾向がみられた。

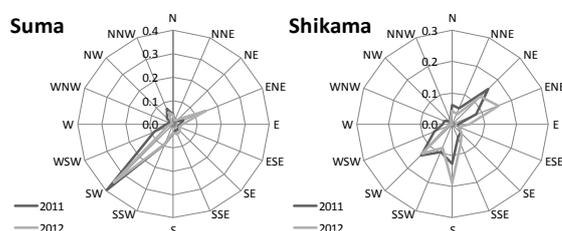
### 3. 重油燃焼を表す因子に関する考察

地点間の差が顕著にみられた重油燃焼は、捕集地点近傍の発生源の影響が考えられるため、周辺の風向によって寄与が増減する可能性がある。そこで、直近の常時監視局（須磨局及び飾磨局）の風向データを用いて周辺の風況を調べた。Fig. 5に、各測定期間における平均風配図を季節別に示した。春季と夏季は、須磨局で南西の風向が卓越する傾向がみられたが、飾磨局では北東もしくは南西にばらつく傾向がみられた。一方、秋季と冬季は、須磨局、飾磨局とも南寄りの風向が少なくなり、北東や北西の風向が多くなる傾向がみられた。以上から、特に須磨において、南寄りの風が

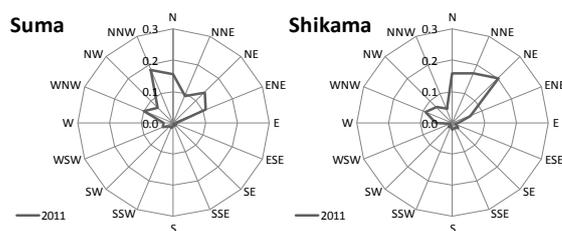
#### Spring



#### Summer



#### Autumn



#### Winter

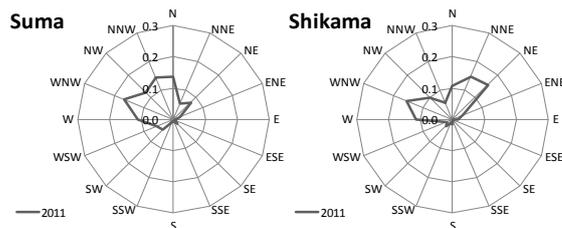


Fig. 5 Wind rose of the four seasons at the two sites.

多い場合に重油燃焼の寄与が大きくなると推測された。

重油燃焼の具体的な発生源として、調査地点周辺の火力発電所や大規模工場、付近の海上を航行する船舶等が考えられる。飾磨の近傍には2基の火力発電所が存在しているが、既報<sup>4)</sup>のとおり、これらの主要燃料は液化天然ガスであること、須磨の半径30km圏内に重油を主燃料とする稼働中の火力発電所は存在しないことから、重油燃焼を表す因子に対する火力発電所の影響は小さいと考えられる。また、須磨に比べ、飾磨は工場地帯に近いことから、重油燃焼に及ぼす大規模工場の影響が大きい場合、須磨よりも飾磨における重油燃焼の寄与が大きくなると推測されることから、大規模工場の影響も小さいと考えられる。

茶谷ら<sup>10)</sup>は、3次元大気シミュレーションを用い、2005年度の日本三大都市圏PM<sub>2.5</sub>濃度に対する発生源の感度解析を実施し、大阪・兵庫圏のPM<sub>2.5</sub>に及ぼす船舶の寄与率が、年平均で10%程度あることや、夏季を中心に船舶の寄与が大きくなることを報告しており、年度は異なるが、寄与率、季節性ともに本研究で得られた重油燃焼を表す因子の、須磨における特徴と整合している。また、PMF解析で得られた重油燃焼の因子プロファイルでは、VとNiの負荷が支配的であったが (Fig. 2)、船舶排気に含まれる粒子状物質の成分を分析した海洋政策研究財団の報告書<sup>11)</sup>では、C重油使用船の排気粒子に含まれるV、Niの割合が、A重油使用船の排気粒子と比較して大きいことが報告されており、重油燃焼を表す因子が、C重油使用船の排気粒子の影響を大きく受けている可能性が示唆される。さらに、地理的にも、須磨の捕集地点付近には国際戦略港湾の神戸港が、飾磨の捕集地点付近には国際拠点港湾の姫路港があり、両地点は瀬戸内海沿岸から、須磨は約1km北側に、飾磨は約4km北側に位置していることから、両地点とも南寄りの風向時には、付近の海上を航行する船舶の影響を受けやすいと考えられる。

一方、国土交通省の平成23年度港湾統計(年報)<sup>12)</sup>では、神戸港と姫路港の入港船隻数に大差はないものの(神戸港:36,638隻、姫路港:32,255隻)、総トン数では、神戸港が7倍程度多い(神戸港:185,939,311トン、姫路港:25,802,748トン)。また、同報告書によれば、神戸港は姫路港に比べて、C重油使用船が多いとされる大型の外航商船の入港が特に多い。須磨付近の海上は、飾磨付近の

海上に比べ、C重油使用船の航行が多いと予想されることから、須磨と飾磨で、重油燃焼を表す因子に濃度差がみられたと考えられた。

## IV 結 論

兵庫県神戸市(須磨)と姫路市(飾磨)の2地点において、24時間単位で捕集したPM<sub>2.5</sub>の成分分析結果を用いてPMF解析を行い、以下の結論を得た。

- ① 本解析では、PM<sub>2.5</sub>質量濃度を支配する8つの因子が抽出された。
- ② 各因子は、それぞれ、硫酸系二次粒子、自動車、硝酸系二次粒子、重油燃焼、石炭燃焼、土壌+粉じん、海塩、塩酸系二次粒子を表す因子と推測された。
- ③ 各因子の全期間平均寄与率は、両地点ともに硫酸系二次粒子が最も高く、次いで自動車の寄与が高かった。
- ④ 地点間で因子寄与濃度の差がみられた重油燃焼は、捕集地点周辺の風配から、付近の海上を航行する船舶の影響を受けている可能性が示唆された。

## 謝 辞

本研究の一部は、環境省・環境研究総合推進費(課題番号:C-1005)の支援を受けて実施した。

## 文 献

- 1) 環境省:平成22年度大気汚染状況について～微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)～《一般環境大気測定局、自動車排出ガス測定局の測定結果報告》(お知らせ)(2012), <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14869> (参照2013.2.19)
- 2) 兵庫県(2012)環境白書—平成24年度版—
- 3) 環境省(2010)「大気汚染防止法第22条の規定に基づく大気の汚染の状況の常時監視に関する事務の処理基準について」の一部改正について。
- 4) 中坪良平, 常友大資, 平木隆年, 島正之, 余田佳子, 齊藤勝美(2012)兵庫県姫路市における大気中粒子状物質及びガス状物質の並行測定(2)—PM<sub>2.5</sub>の発生源解析—,(財)ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要, 第3号, 21-25.
- 5) 飯島明宏(2011)入門講座 大気モデル-第5講 レセプターモデル-, 大気環境学会誌, 46(4) A53-A60

- 6) 環境省 (2007) 大気中微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) 測定方法暫定マニュアル.
- 7) Marcazzan, G.M., Vaccaro, S., Valli, G., Vecchi, R. (2001) Characterisation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter in the ambient air of Milan (Italy), *Atmos. Environ.* **35** (27), 4639-4650.
- 8) Sternbeck, J., Sjödin, A., Andréasson, K. (2002) Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension e results from two tunnel studies, *Atmos. Environ.* **36** (30), 4735-4744.
- 9) Olmez, I., Sheffield, A.E., Gordon, G.E., Houck, J.E., Pritchett, L.C., Cooper, J.A., et al. (1988) Compositions of particles from selected sources in Philadelphia for receptor modeling Applications, *JAPCA*, **38** (11), 1392-1402.
- 10) 茶谷聡, 森川多津子, 中塚誠次, 松永壮 (2011) 3次元大気シミュレーションによる2005年度日本三大都市圏PM<sub>2.5</sub>濃度に対する国内発生源・越境輸送の感度解析, 大気環境学会誌, **46** (2), 101-110
- 11) 海洋政策研究財団 (2008) 平成19年度 船舶起源の粒子状物質 (PM) の環境影響評価に関する調査研究報告書.
- 12) 国土交通省 (2012) 港湾統計(年報)平成23年度.

## Abstract

We carried out the positive matrix factorization (PMF) analysis of the PM<sub>2.5</sub> at the Kobe city and Himeji city, Hyogo prefecture. As a result of a PMF analysis, secondary sulfate, vehicle, secondary nitrate, heavy oil combustion, coal combustion, soil and dust, sea salt, secondary chloride were adopted as a source factor of the PM<sub>2.5</sub>. The contribution rate of the source factors, the secondary sulfate was highest, and vehicle was high next in the both sites. The heavy oil combustion seemed to be affected by the ships.