

6. 黄砂・煙霧時のPM_{2.5}濃度

黄砂は、PM_{2.5}の環境基準達成に大きな影響を与えており、また、越境による煙霧も、黄砂と同程度かそれ以上に大きな影響を与える可能性があると考えられる。そこで、平成15(2003)年度から平成24(2012)年度までの黄砂、煙霧の観測から、黄砂・煙霧とPM_{2.5}濃度との関係を検討した。

6.1. 黄砂時・煙霧時におけるPM_{2.5}日平均値35μg/m³の超過

黄砂及び煙霧の時にPM_{2.5}の濃度がどのような挙動を示しているかをみるために、平成15(2003)～平成24(2012)年度に環境省及び自治体が測定した時間値を集約した。平成15(2003)～平成21(2009)年度は環境省が全国14局で測定していたが、環境基準設定の後、平成22(2010)年度からは都道府県での測定が開始された。現在、各自治体のPM_{2.5}測定局は整備過程にあり、都道府県により設置台数が大きく異なる。そこで、黄砂・煙霧時の全国的なPM_{2.5}濃度の上昇の状況をみるために、年間を通して測定されている局を中心に、各都道府県より1局ずつ抽出し比較した。したがって平成15(2003)～平成21(2009)年度は13局、平成22(2010)年度は30局、平成23(2011)年度は34局、平成24(2012)年度は45局での比較となっている。抽出した局は表6-1-1の通りである。

表6-1-1 評価対象測定局一覧

No	都道府県	測定局			
		2003年度-2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
1	北海道	札幌市西*	札幌市西*	篠路	篠路
2	青森	-	根岸小学校	五所川原第三中	五所川原第三中
3	岩手	-	竹山町	盛岡市津志田	竹山町
4	宮城	仙台市長町*	仙台市長町*	榴岡	榴岡
5	秋田	-	-	-	將軍野
6	山形	-	酒田若浜	酒田若浜	酒田光ヶ丘
7	福島	-	-	白河	白河
8	茨城	取手市役所*	取手市役所*	-	鹿島宮中
9	栃木	-	-	河内	矢板市役所
10	群馬	-	-	前橋局	衛生環境研究所
11	埼玉	蓮田市蓮田*	蓮田市蓮田*	さいたま市役所	さいたま市役所
12	千葉	市川市真間小*	市川市真間小*	寒川小学校	寒川小学校
13	東京	板橋区氷川*	板橋区氷川*	練馬区練馬	練馬区練馬
14	神奈川	-	生活文化会館	青葉台	泉区総合庁舎
15	新潟	上越市深谷*	上越市深谷*	亀田	-
16	富山	-	-	小杉太閤山	小杉太閤山
17	石川	-	-	七尾	七尾
18	福井	-	-	福井	福井
19	山梨	-	衛公研	大月	衛公研
20	長野	-	松本	松本	松本
21	岐阜	-	-	岐阜南部	岐阜南部
22	静岡	-	島田市役所	千代田小学校	千代田小学校
23	愛知	名古屋市鳴海*	名古屋市鳴海*	国設名古屋*	上下水道北営業所
24	三重	-	久居立成小	-	桑名上野浄水場
25	滋賀	-	-	-	長浜
26	京都	-	福知山	福知山	福知山
27	大阪	堺市金岡*	堺市金岡*	国設大阪*	国設大阪*
28	兵庫	神戸市垂水*	神戸市垂水*	国設尼崎*	加古川市役所
29	奈良	-	天理	天理	天理
30	和歌山	-	-	湊小学校	湊小学校
31	鳥取	-	-	-	鳥取保健所
32	島根	-	国設松江*	-	国設松江*
33	岡山	倉敷市玉島*	倉敷市玉島*	茂平	茂平
34	広島	-	曙小学校	井口小学校	井口小学校
35	山口	-	周南市役所	-	環境保健センター
36	徳島	-	-	-	徳島
37	香川	-	-	-	丸亀市役所
38	愛媛	-	西条	垣生小学校	垣生小学校
39	高知	-	伊野合同庁舎	-	伊野合同庁舎
40	福岡	福岡市吉塚*	福岡市吉塚*	元岡	元岡
41	佐賀	-	湊	-	-
42	長崎	-	-	-	諫早
43	熊本	-	-	-	宇土運動公園
44	大分	-	東大分小学校	東大分小学校	東大分小学校
45	宮崎	日向市保健所*	日向市保健所*	日向市保健所	延岡保健所
46	鹿児島	-	-	国分中央公園	国分中央公園
47	沖縄	-	-	沖縄	沖縄

*はTEOMIによる測定

各測定局で平成 15(2003)～平成 24(2012)年度に日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数について、全ての測定局分を合計した延べ日数 (Σ (ある測定局で 2003～2012 年度に日平均が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数)) は 3016 日で、全体 73438 日の 4.1% である。図 6-1-1 に、全体と黄砂日および煙霧日での $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度(図中 \blacktriangle)と日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過率(棒グラフ)を示す。各測定局の 2003～2012 年度の黄砂観測日について全ての測定局分を合計した延べ日数は 858 日、平均濃度は $33.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数は 344 日あり黄砂観測日のうちの 40.1% になる。一方、各測定局の 2003～2012 年度の煙霧観測日について全ての測定局分を合計した延べ日数は 5492 日、平均濃度は $29.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数は 1543 日あり、煙霧観測日の 28.1% である。

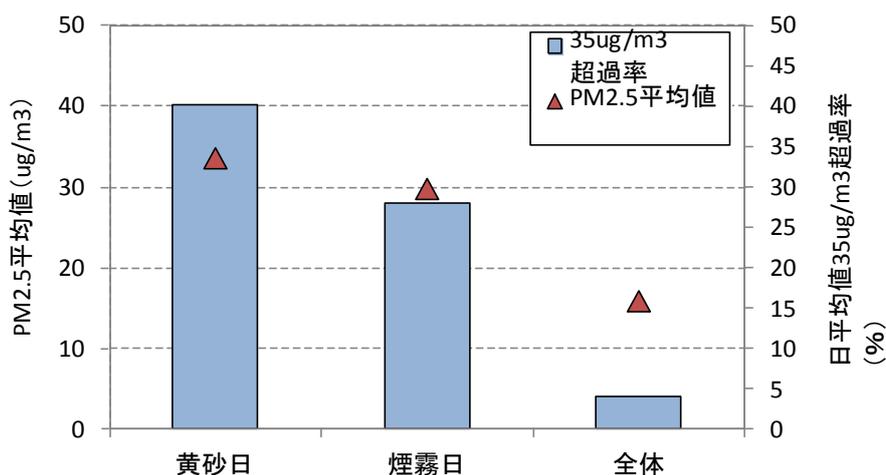


図 6-1-1 黄砂日、煙霧日の $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度と日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた割合

年度別に $\text{PM}_{2.5}$ 平均値と、黄砂・煙霧観測日数(1局あたり)の経年変化を、図 6-1-2 に示す。黄砂観測日数は年度別に増減の傾向はあまり見られないが、煙霧は急激な減少傾向であり、平成 15(2003)年度に 1局・1年あたり 50 日程度観測されていたものが、平成 24(2012)年度には 10 日以下まで減少している。 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度も減少傾向であり、平成 24(2012)年度は $14.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

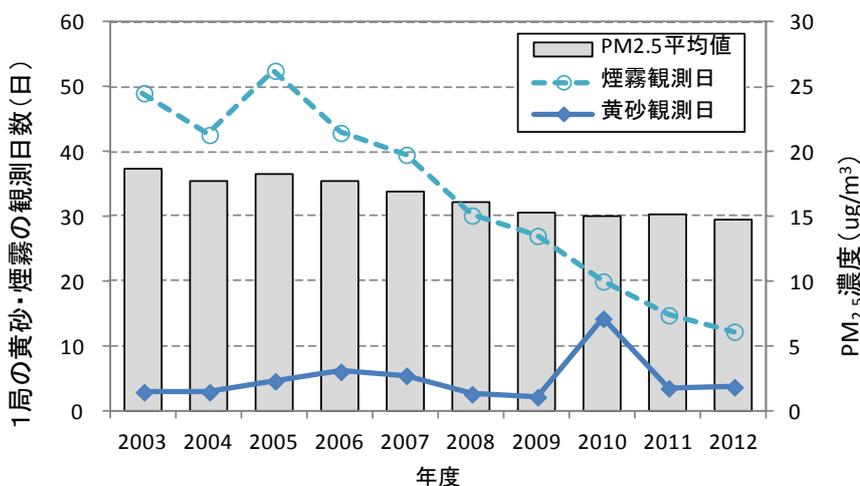


図 6-1-2 $\text{PM}_{2.5}$ 平均値と黄砂・煙霧観測日数の推移

図 6-1-3 は、PM_{2.5} の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数を年度別に 1 局あたりの数で示し、そのうちの黄砂・煙霧が観測された日を色分けしたものである。日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過日は年平均値と併せて減少傾向であり、煙霧時の超過日が減っている様子がみられている。一方、黄砂時の超過日は大きく変わっておらず、年による違いが大きい。

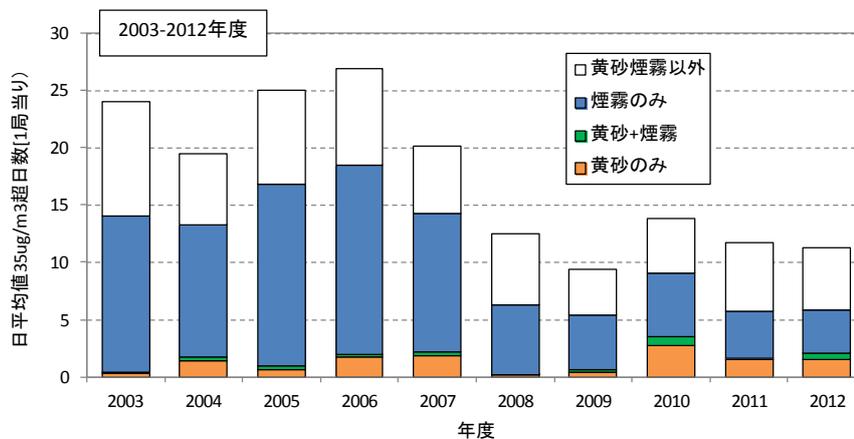
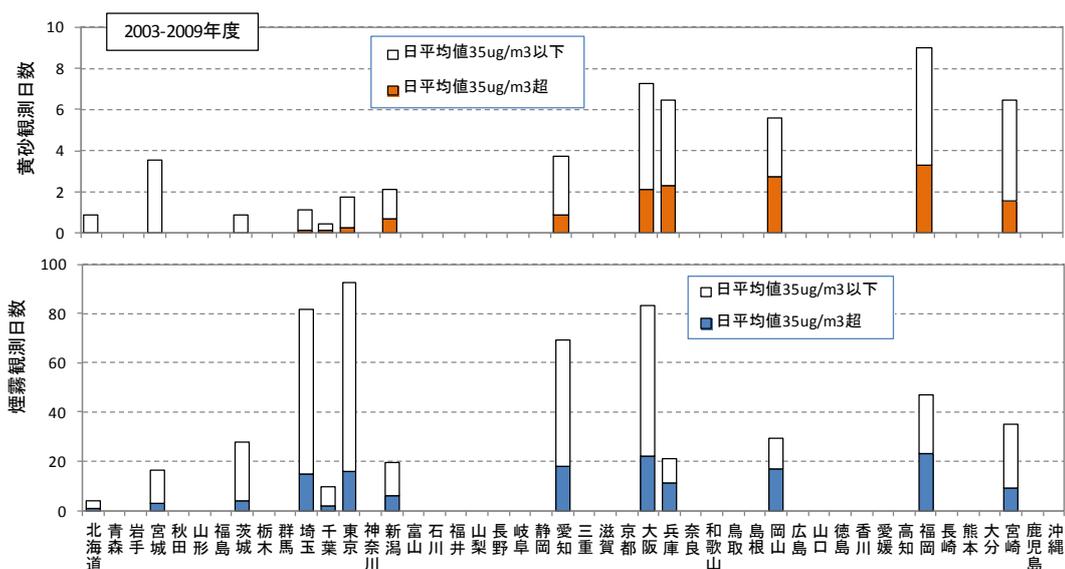


図 6-1-3 PM_{2.5} 日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数の推移

地点別に黄砂・煙霧観測日数と、黄砂・煙霧日の PM_{2.5} 日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過日数を 1 年あたりで、図 6-1-4 に示す。平成 22 (2010) 年度から平成 24 (2012) 年度にかけて全国で測定器の設置が普及していることから、平成 15 (2003) 年度～平成 21 (2009) 年度のデータと、平成 22 (2010) 年度から平成 24 (2012) 年度のデータを分けて解析を行った。黄砂日数は、いずれの期間も西日本で多いこと、黄砂日のうち PM_{2.5} 日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過日が 50% を超える地点も多いことが分かる。煙霧については、平成 21 (2009) 年度以前に比べると、近年は多くの県で観測日数が減っていることがうかがえる。また、西日本では東日本に比べて煙霧時に PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える頻度が高いことが特徴となっている。

図 6-1-5 に、PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数（1 年あたり）を地点別に示している。この図から、関東以西で日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるケースが多いことが分かる。



図

6-1-4 (1) 地点別の黄砂・煙霧日数と PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数 (2003～2009 年度)

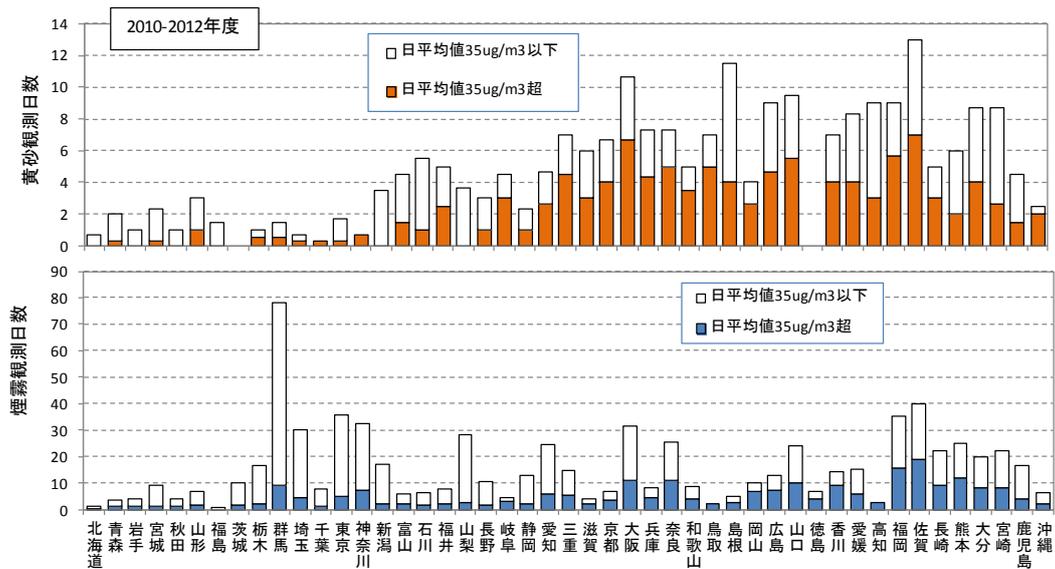


図 6-1-4(2) 地点別の黄砂・煙霧日数と PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35µg/m³ を超えた日数(2010~2012 年度)

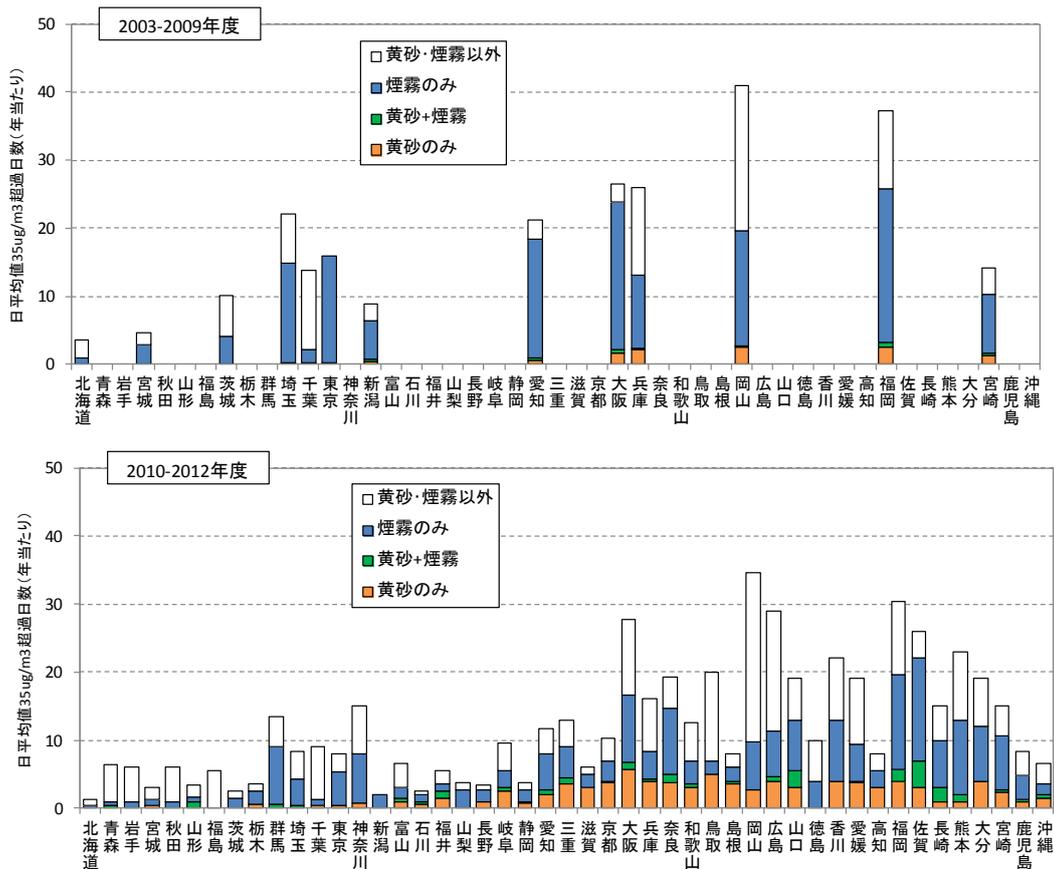


図 6-1-5 PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35µg/m³ を超えた日数に占める黄砂と煙霧の地点別での割合

6.2. 黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}成分濃度による発生要因の検討

(1) 使用データ

環境省が実施してきたPM_{2.5}成分濃度全国調査の結果をもとに、黄砂・煙霧時のPM_{2.5}環境基準超過の要因を検討した²²⁾。

対象としたデータは、全国14地点（北海道札幌市、宮城県仙台市、新潟県上越市、茨城県取手市、埼玉県蓮田市、千葉県市川市、東京都板橋区、愛知県名古屋市、大阪府守口市、大阪府堺市、兵庫県神戸市、岡山県倉敷市、福岡県福岡市、宮崎県日向市）で、平成15(2003)年度から平成22(2010)年度までの8年間、四季に2週間単位で24～74時間採取したものである。データは全部で3648件あるが、このうち当該都道府県での气象台による黄砂・煙霧の観測日を抽出すると681件である。抽出したデータを地点、年度別に表6-2-1にまとめた。使用した項目は、PM_{2.5}重量濃度、EC、OC、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、金属項目の代わりにPM_{2.5}重量から成分合計量を差し引いてothersとした計12項目である。計算には、アメリカEPAのPMF3.0を使用した。図6-2-1に、当該8年間の全国での黄砂・煙霧観測日数と解析に使用したサンプル件数を示す。解析に使用したサンプル数は、年間80件程度で平均して採取されている。

表6-2-1 黄砂・煙霧時の成分濃度調査件数（地点別・年度別）

	地点名	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	合計
1	北海道札幌市	1	0	0	0	1	0	0	1	3
2	宮城県仙台市	2	4	5	2	1	4	2	4	24
3	新潟県上越市	0	4	7	7	1	0	0	9	28
4	茨城県取手市	2	8	5	6	3	5	2	3	34
5	埼玉県蓮田市	16	12	12	9	10	7	4	4	74
6	千葉県市川市	0	1	4	1	0	0	1	1	8
7	東京都板橋区	13	6	12	16	10	16	8	14	95
8	愛知県名古屋市	6	9	10	11	15	7	6	0	64
9	大阪府守口市	11	15	19	10	12	12	0	0	79
10	大阪府堺市	11	15	19	9	13	10	5	10	92
11	兵庫県神戸市	2	3	6	4	6	4	1	6	32
12	岡山県倉敷市	0	6	5	4	5	1	0	7	28
13	福岡県福岡市	9	6	9	6	5	7	7	15	64
14	宮崎県日向市	0	5	15	10	7	2	5	12	56
	合計	73	94	128	95	89	75	41	86	681

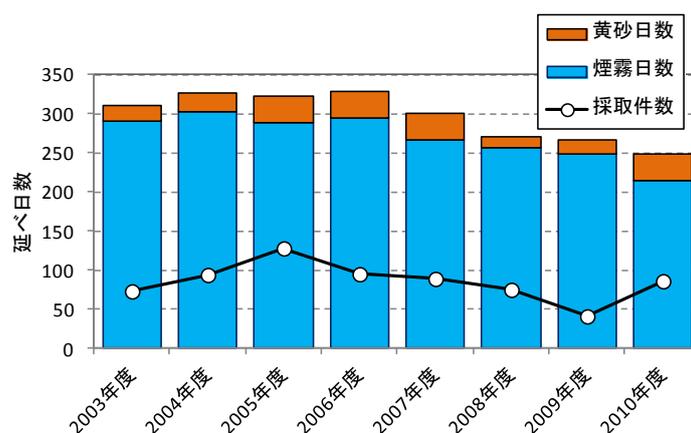


図6-2-1 黄砂・煙霧観測日数と成分調査採取件数

(2) 成分濃度について

黄砂・煙霧時の成分間の相関を表 6-2-2 に示す。相関係数 0.6 以上を太字で示しているが、PM_{2.5}と相関が高いのは、OC、SO₄²⁻、NH₄⁺である。この相関行列から、おおむね OC、EC、NO₃⁻、Cl⁻のグループ、NH₄⁺、SO₄²⁻のグループ、Ca²⁺と others のグループなどに分けられることがわかる。

なお、黄砂のみのデータ(99件)での相関行列を下段に示している。PM_{2.5}とは、SO₄²⁻、NH₄⁺に代わって、K⁺、Mg²⁺、others の係数が高くなっている。

表 6-2-2 黄砂・煙霧時の成分間相関

全体												
	PM _{2.5}	OC	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	others
PM _{2.5}	1											
OC	0.702	1										
EC	0.479	0.623	1									
Cl ⁻	0.414	0.541	0.603	1								
NO ₃ ⁻	0.599	0.612	0.621	0.745	1							
SO ₄ ²⁻	0.607	0.161	-0.003	-0.188	0.008	1						
Na ⁺	0.074	-0.090	-0.110	0.007	-0.113	0.079	1					
NH ₄ ⁺	0.816	0.506	0.389	0.353	0.603	0.779	-0.067	1				
K ⁺	0.564	0.371	0.125	0.105	0.221	0.475	0.087	0.445	1			
Ca ²⁺	0.340	0.146	-0.051	0.011	-0.013	0.079	0.373	-0.006	0.137	1		
Mg ²⁺	0.319	0.045	-0.082	-0.022	-0.056	0.220	0.514	0.048	0.618	0.521	1	
others	0.547	0.197	-0.076	-0.020	-0.016	0.155	0.230	0.057	0.312	0.632	0.505	1

黄砂時 n=99												
	PM _{2.5}	OC	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	others
PM _{2.5}	1											
OC	0.610	1										
EC	0.358	0.405	1									
Cl ⁻	0.249	0.202	0.361	1								
NO ₃ ⁻	0.381	0.346	0.663	0.644	1							
SO ₄ ²⁻	0.503	0.164	0.307	-0.115	0.246	1						
Na ⁺	0.319	0.012	-0.145	0.205	-0.006	0.035	1					
NH ₄ ⁺	0.448	0.208	0.486	0.142	0.527	0.921	-0.096	1				
K ⁺	0.690	0.526	0.398	-0.036	0.357	0.688	0.070	0.628	1			
Ca ²⁺	0.589	0.255	-0.126	0.004	-0.065	0.067	0.601	-0.137	0.234	1		
Mg ²⁺	0.646	0.200	-0.093	0.110	0.026	0.187	0.703	0.002	0.349	0.858	1	
others	0.719	0.319	-0.118	0.115	-0.086	-0.115	0.410	-0.253	0.210	0.721	0.699	1

このように、状況によって成分濃度に違いが出てくるのが予想できるが、図 6-2-2 に全体での成分組成と黄砂時の平均成分組成を示す。黄砂時は主に金属類で構成されている others の割合が増えていることがわかる。また、煙霧時の成分構成についても、サンプルによってその構成に違いが出ている。図 6-2-3 に、関東(茨城、埼玉、千葉、東京)と九州(福岡、宮崎)の煙霧時のそれぞれの平均組成を示しているが、九州では SO₄²⁻が多くなっているのに比べ、関東では NO₃⁻、OC、EC が多いというように煙霧での組成の違いが出ている。

なお、黄砂時、煙霧時以外の日も含めて、平成 15(2003)～平成 22(2010)年度に分析された全ての件体での NO₃⁻と SO₄²⁻の地点別の平均濃度を図 6-2-4 に、季節変化を図 6-2-5 に示している。地点別のグラフから、NO₃⁻は茨城、埼玉、千葉、東京といった関東地方で高く、SO₄²⁻は西に行くほど高くなるという特徴をみることができる。

粒子中の硫酸イオンと硝酸イオンの長距離輸送時の挙動は、畠山ら²³⁾が示している。また、山神ら²⁴⁾は、平成 23(2011)年 2 月の全国的な煙霧による PM_{2.5}濃度の上昇について考察し、NO₃⁻/SO₄²⁻比は地域によって偏りがみられ、関東では平均 1.3 と高く、宮崎では 0.19 と低くなることを示すと同時に、都市汚染の影響が小さく越境汚染の影響が明瞭な時は平均で 0.22 と低くなっていたとしている。今回調査での黄砂・煙霧時に PM_{2.5}重量濃度が 35μg/m³を超えた件体(198件)の NO₃⁻/SO₄²⁻比について、その比が 1 を超える件数と、0.3 未満になる件数を地点別に、図 6-2-6 に示す。ここでも関東地域と九州で大きく状況が異なっていることがわかる。しかし、図 6-2-5 の全体の季節変動にみられるように、NO₃⁻は、生成分解反応が温度に依存しているため、夏に濃度が低くなることが多い。従って、夏季における地域的な差は明確には出てこない可能性もあると思われる。

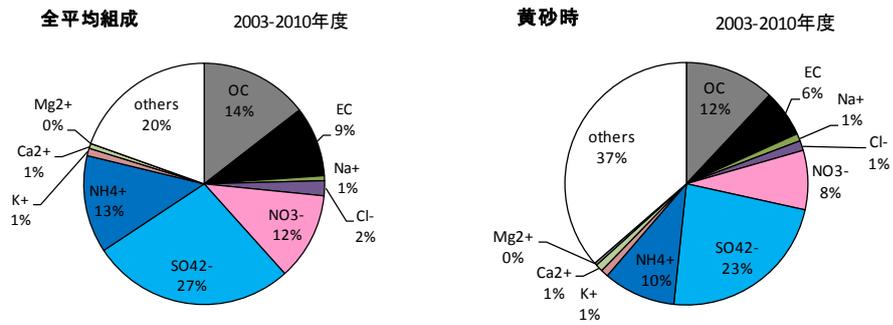


図 6-2-2 全体及び黄砂時の平均成分構成

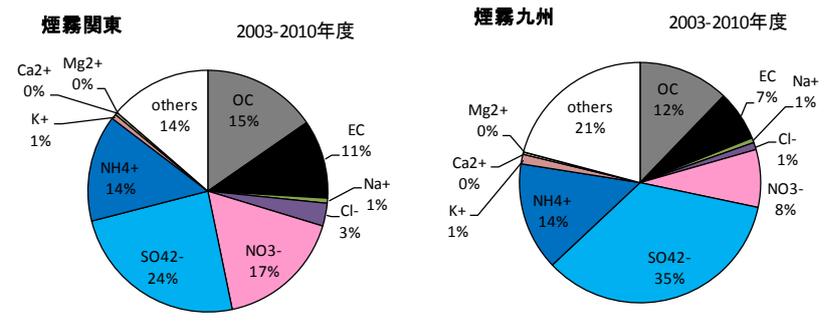


図 6-2-3 関東と九州の煙霧時の平均成分構成

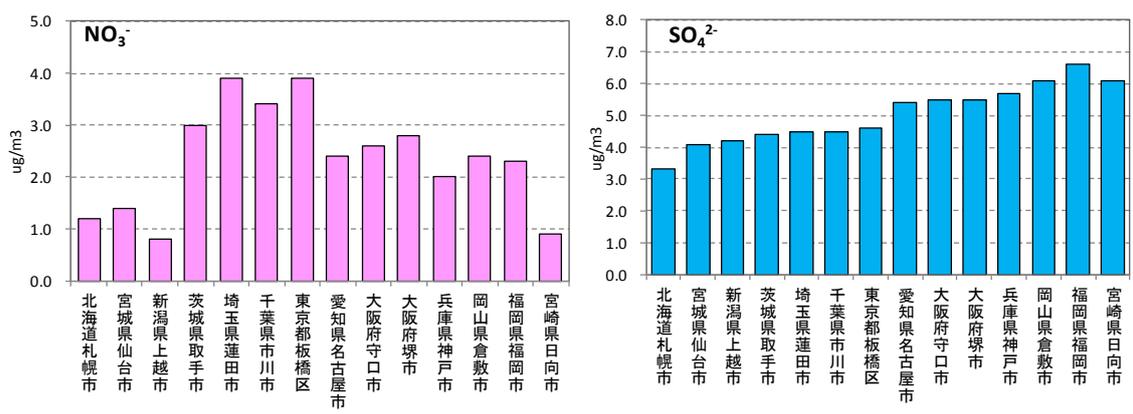


図 6-2-4 全体での NO₃⁻と SO₄²⁻の地点別平均値

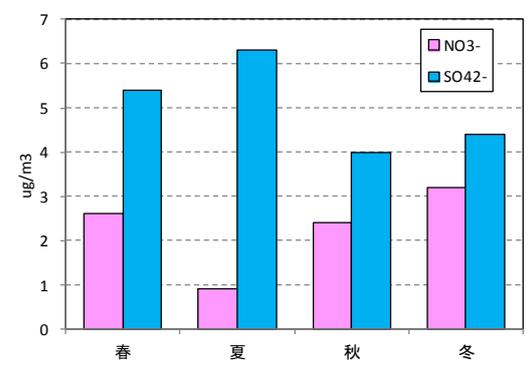


図 6-2-5 全体での NO₃⁻と SO₄²⁻の季節変化

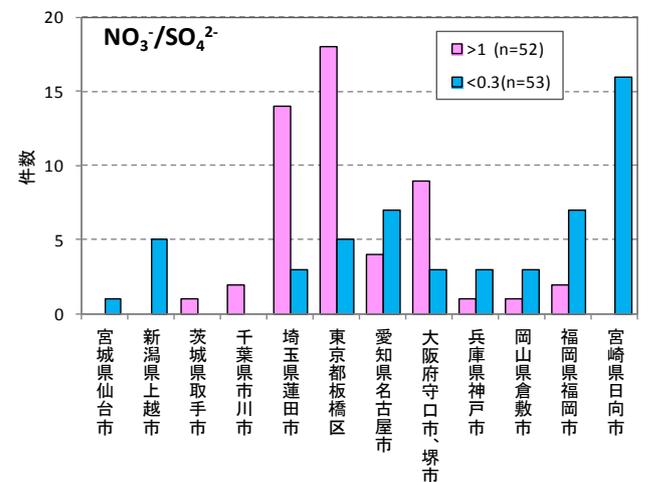


図 6-2-6 NO₃⁻/SO₄²⁻比 (>1 と <0.3) の地点別件数

(3) PMF 法による計算結果 [試算]

PMF 法での発生源数は、不適切な因子を含まなかった 4 を設定した。この時の因子プロファイルの結果を、図 6-2-7 に示す。Factor 1 は、OC、EC で高く炭素系粒子、Factor 2 は others や Ca^{2+} で高く土壌系（主に黄砂）とみなすことができる。また、Factor 3 は NO_3^- 、 Cl^- で高く、硝酸塩系二次粒子と称することにする。さらに Factor 4 は SO_4^{2-} 、 NH_4^+ で高く、硫酸塩系二次粒子と呼ぶこととする。

黄砂・煙霧時の全体 (681 件) での発生源寄与は、図 6-2-8 のようになり、最も寄与が大きいのが Factor 4 (硫酸塩系二次粒子) で 37%、続いて Factor 1 の炭素系粒子と Factor 2 の土壌系（黄砂）が同程度で 23%と 22%、Factor 3 (硝酸塩系二次粒子) が 18%となっている。

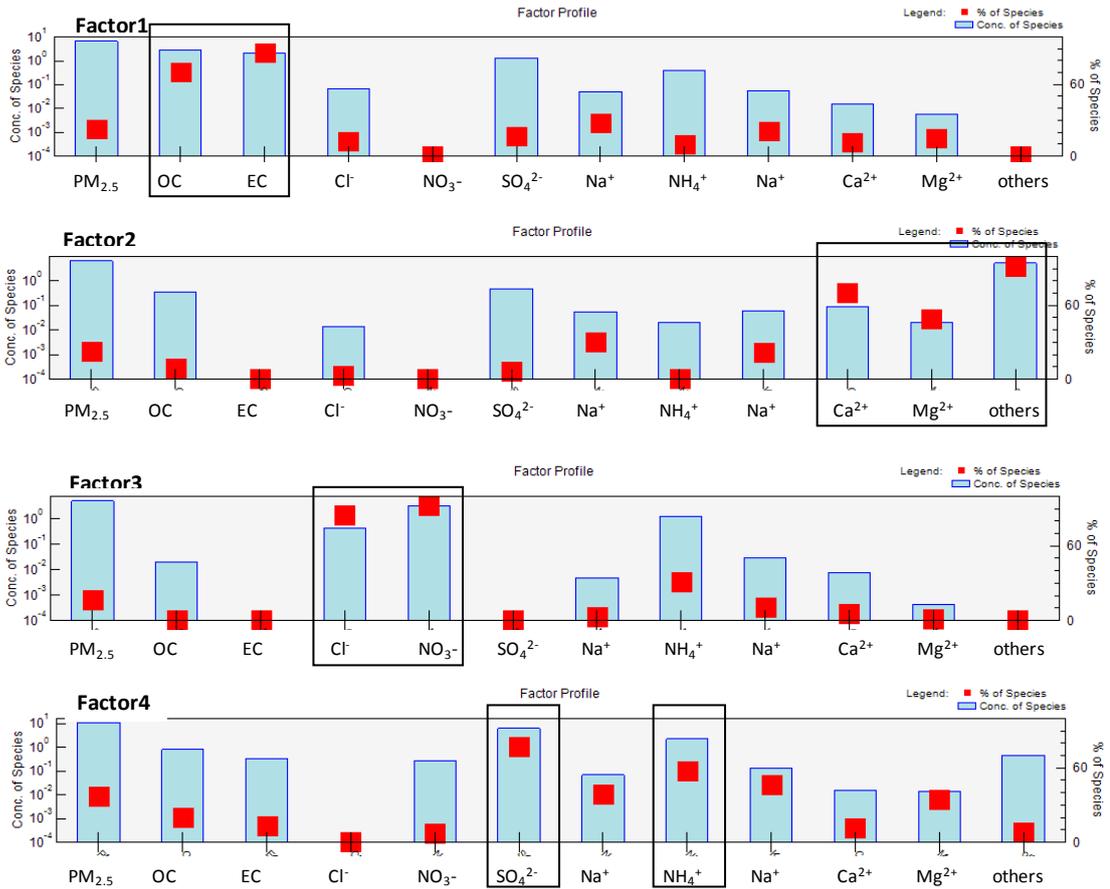


図 6-2-7 PMF 法による発生源プロフィール

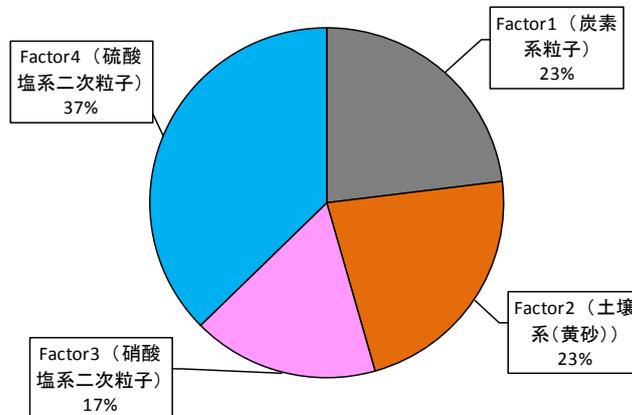


図 6-2-8 全体での推定寄与割合

図 6-2-9 に、黄砂・煙霧時で PM_{2.5} 濃度が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日 (198 件) の各因子平均濃度の経年変化を示す。この図から、このような状況では、Factor1 (炭素系粒子) が年々減少傾向にあること、Factor4 (硫酸塩系二次粒子) が 2007 年以降上昇していること、Factor2 (土壌系 (黄砂)) は年によって濃度が大きく変わることなどをみることができる。

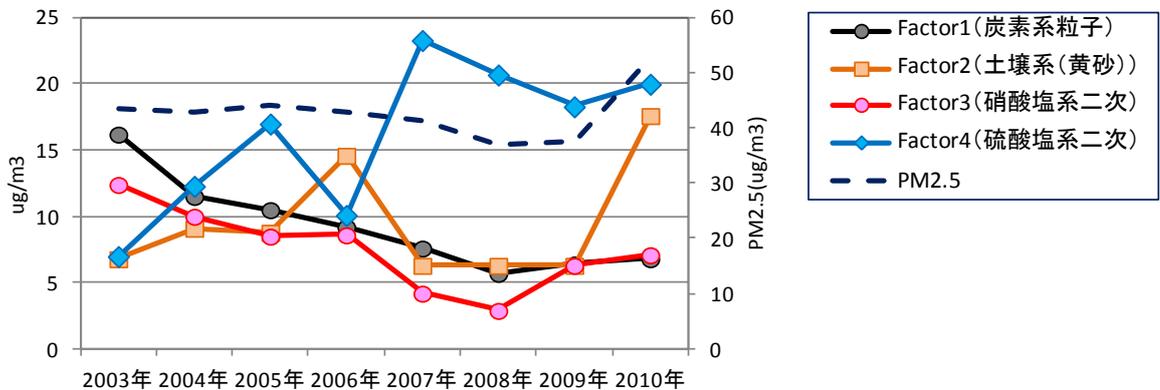


図 6-2-9 PMF 法による発生因子別寄与の経年変化

図 6-2-10 には、PM_{2.5} 実測濃度(obs)と因子合計量(cal)を始め、因子中の主要な成分の濃度と因子ごとの濃度を散布図でそれぞれ示す。いずれも、両者に良好な相関関係がみられており、これらが因子を代表する成分であると見做すことができる。

また黄砂・煙霧時の成分濃度調査(681 件)における PM_{2.5} 濃度の採取日毎の寄与濃度を、年度別に図 6-2-11 に示す。因子は、下から Factor1 (炭素系粒子)、Factor 3 (硝酸塩系二次粒子)、Factor4 (硫酸塩系二次粒子)、Factor2 (土壌系 (黄砂)) の順に示されている。事例によって、発生源の種類に特徴がみられている。

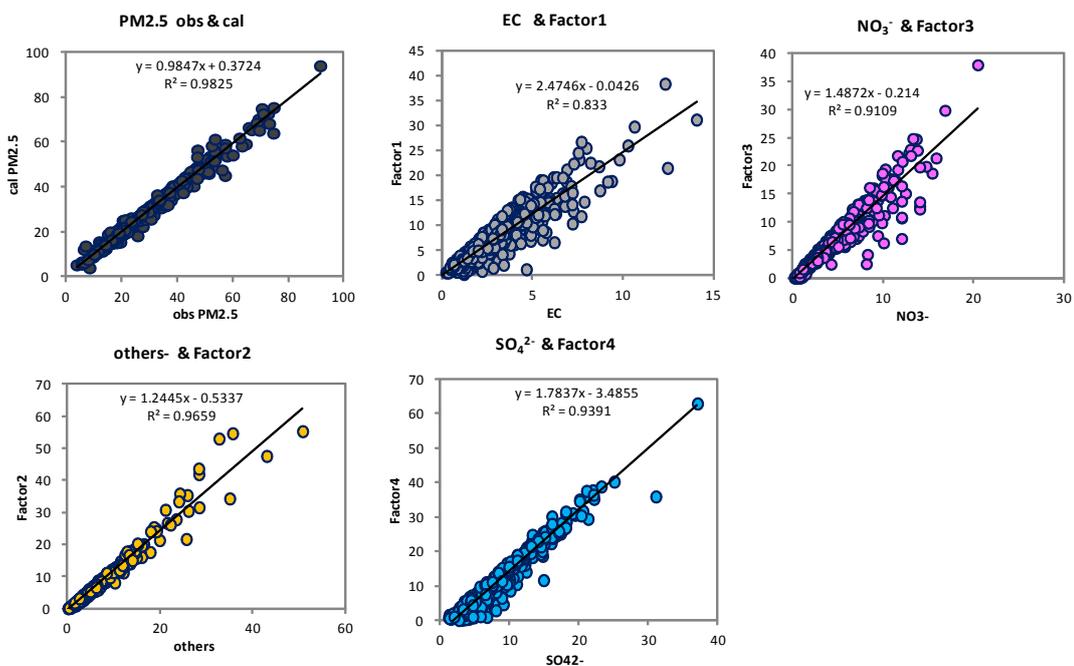


図 6-2-10 因子と成分濃度の相関



図 6-2-11 PMF 法による発生源寄与一覽

複数地点または複数日に黄砂・煙霧時でPM_{2.5}重量濃度が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたのは、この期間29事例である(図6-2-11の番号付き日時)。このうち代表的ないくつかの事例(図6-2-11の赤字)についてその詳細を示す。

平成18(2006)年4月24日～26日のPMF法の結果を図6-2-12に示す。この期間、全国44地点で観測された大きな黄砂が飛来している(5.2.大規模黄砂の事例(5)K07 p.66参照)。砂塵嵐の発生、後方流跡線の方向、CFORSの予測、ライダー黄砂消散係数の上昇などから、分類は単純黄砂とされている。PMFの結果でも、新潟をはじめ各地でFactor2(土壌系(黄砂))の寄与が70～80%になっている。

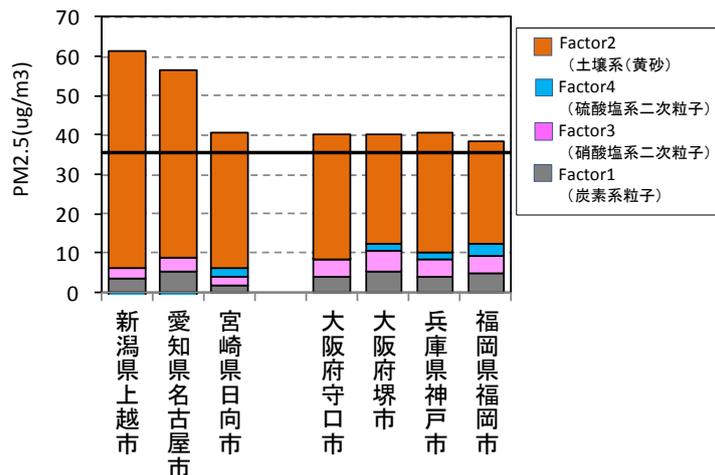


図6-2-12 PMF法による地点別発生源寄与(2006年4月24日～26日)

平成23(2011)年2月4日～9日の結果を図6-2-13に示している。規模の大きな煙霧が飛来し、マスク等で話題になった時のものである(5.3.大規模煙霧の事例(2)E09 p.94参照)。この寄与グラフから、西日本でFactor4(硫酸塩系二次粒子)の影響が大きくなっているのが分かる。また、2月6～7日には埼玉、東京でFactor3(硝酸塩系二次粒子)とFactor1(炭素系粒子)の寄与の増加がみられ、国内の影響も付加されて高濃度になった様子うかがえる²⁴⁾。

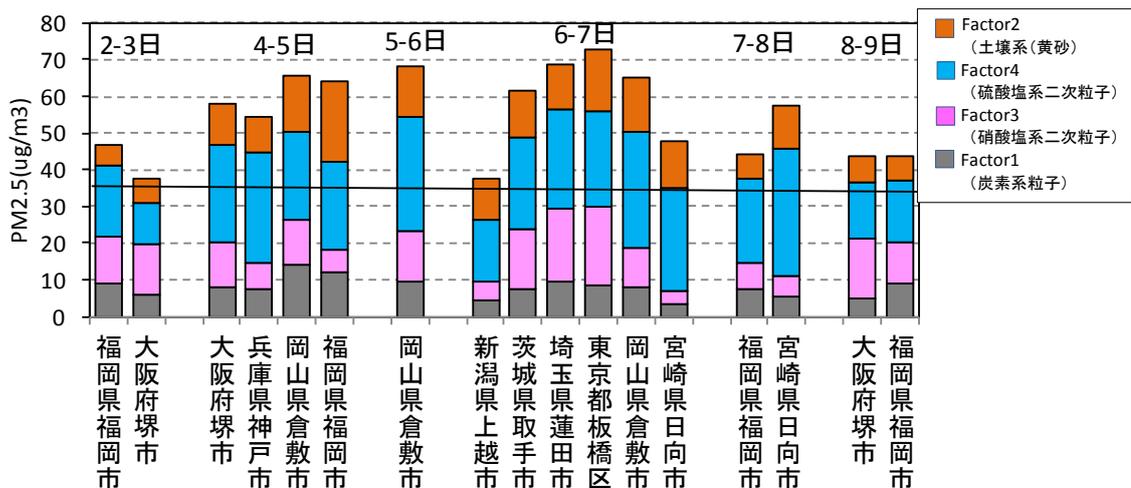


図6-2-13 PMF法による地点別発生源寄与(2011年2月4日～9日)

平成 22(2010)年 5 月 20 日～22 日の PMF 法の結果を図 6-2-14 に示す。図 6-2-15 に、この時の状況をまとめているが、24 地点で黄砂が観測され、同時に煙霧も 15 地点で観測されている。砂塵嵐の発生や後方流跡線の軌跡、ライダー黄砂消散係数の上昇など黄砂の飛来は明らかであるが、PM_{2.5} の高濃度や硫酸イオン濃度が 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超すなど硫酸塩エアロゾルの寄与が大きな混在黄砂として評価される。PMF 結果でも Factor2 (黄砂) の割合が低く、Factor4 (硫酸塩系二次粒子) が圧倒的に高いことが分かる。

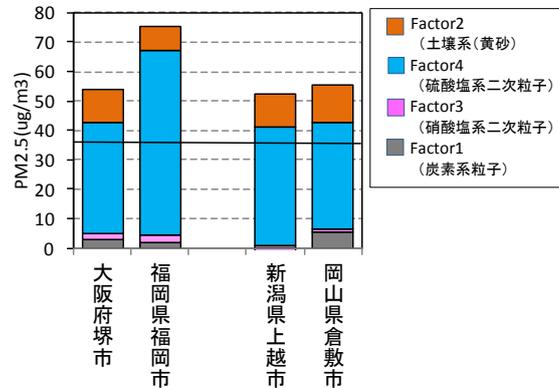


図 6-2-14 PMF 法による地点別発生源寄与 (2010年5月20日～22日)

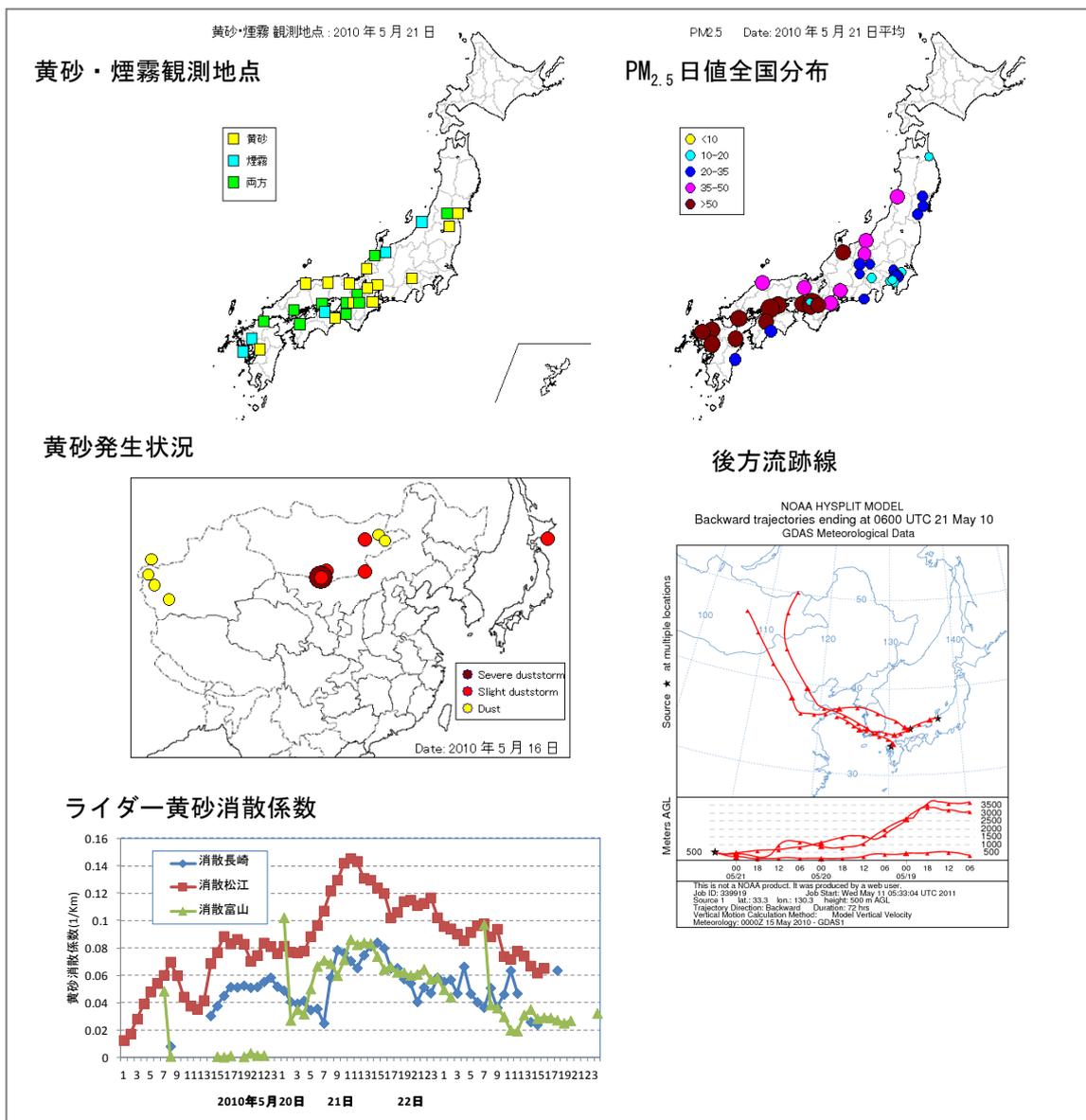


図 6-2-15 黄砂観測時の状況 (2010年5月20日～22日)

平成 16(2004)年 11 月 10 日～12 日の PMF 法の結果を図 6-2-16 に示す。この時の状況を図 6-2-17 でみると、関東を中心に北海道を含めて 24 地点で煙霧が観測されている。PM_{2.5}は主に関東地域で上昇しており、後方流跡線も日本国内での流れを示している。PMF 法の寄与結果も、茨城、埼玉、東京の関東地域で Factor1 (炭素系粒子) と Factor3 (硝酸塩系二次粒子) の割合が非常に高く、国内の影響が大きいことを表わしている。

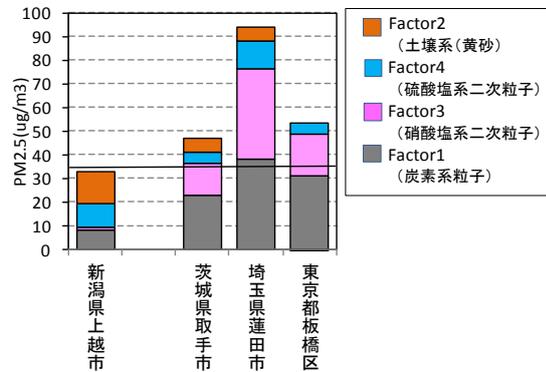


図 6-2-16 PMF 法による地点別発生源寄与 (2004 年 11 月 10 日～12 日)

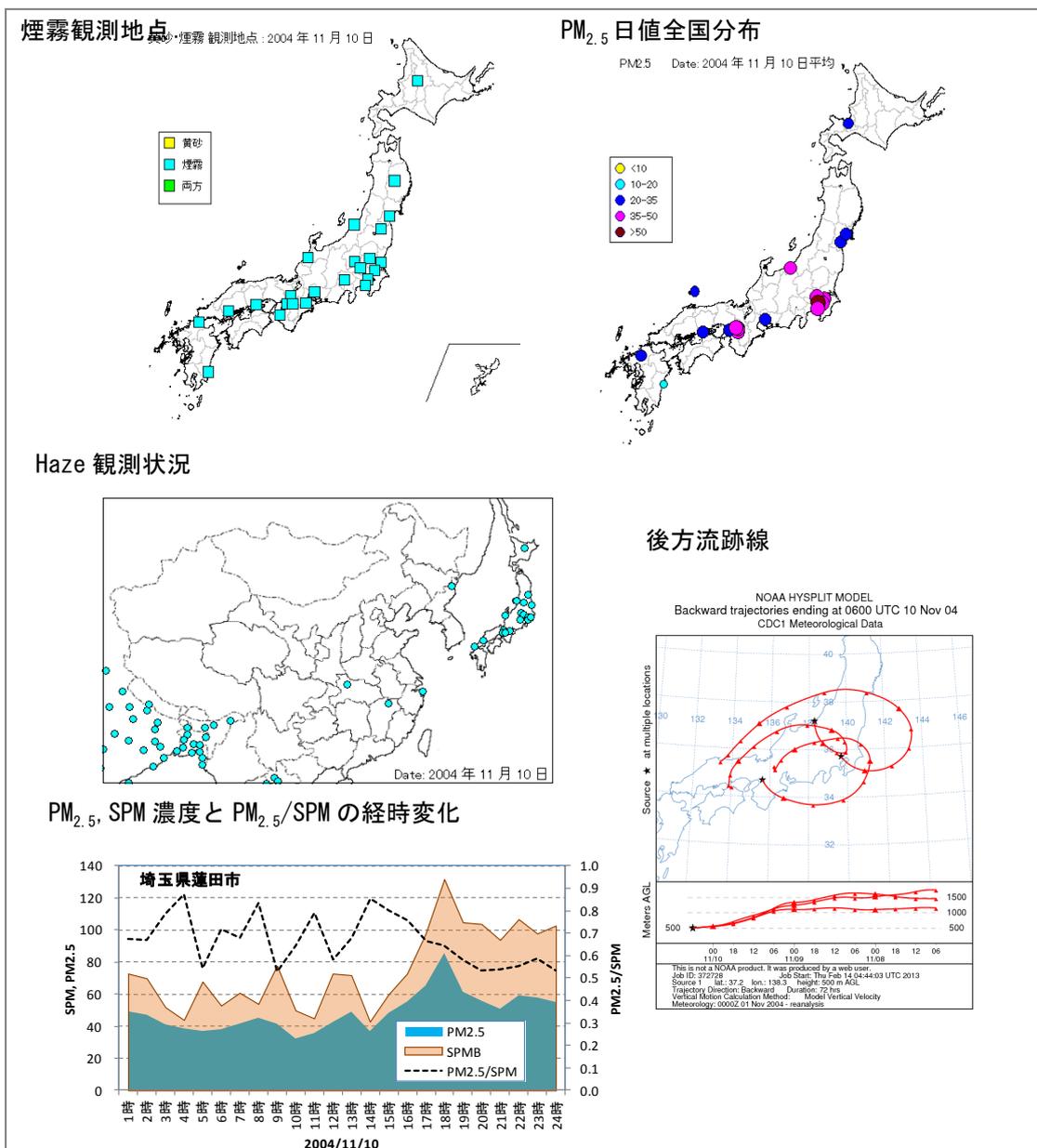


図 6-2-17 煙霧観測時の状況 (2004 年 11 月 10 日～12 日)

平成 18(2006)年 1 月 25 日～31 日の PMF 法の結果を図 6-2-18 に示す。図 6-2-19 にこの時の状況をまとめている。期間初めは西日本を中心に 25 地点で煙霧を観測しているが、後半は関東地域を中心に 10 地点の煙霧観測になっている。PMF の結果も加味すると、前半は後方流跡線や東アジアでの Haze (煙霧) の観測状況や CFORS などからも大陸の影響が大きく、後半は東京、大阪などの大都市では国内の影響を強く受けたことが推察される。

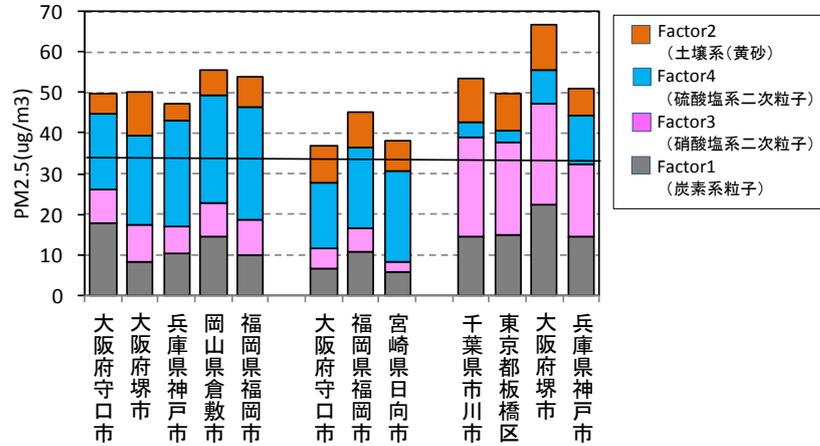


図 6-2-18 PMF 法による地点別発生源寄与 (2006 年 1 月 25 日～31 日)

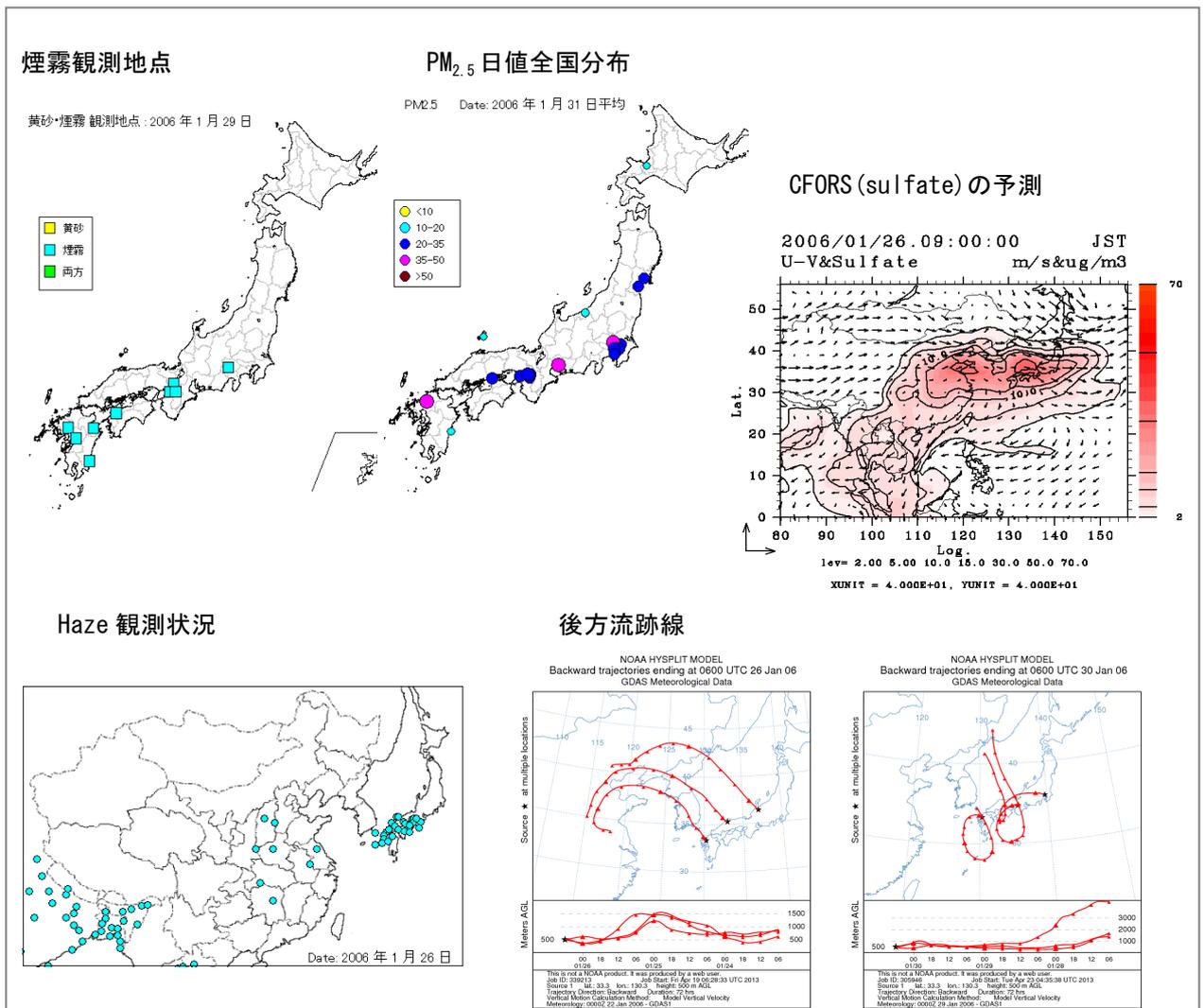


図 6-2-19 煙霧観測時の状況 (2006 年 1 月 25 日～31 日)

複数地点または複数日に黄砂・煙霧時でPM_{2.5}重量濃度が35 μ g/m³を超えた29事例について、PMF法による寄与推定を加えて分類を行っている。黄砂及び煙霧が31地点以上で観測された事例については、「5.2. 大規模黄砂の事例」、「5.3. 大規模煙霧の事例」の中でその状況を詳細に示している。それ以外の事例についても同様のデータを集約し、分類を行った結果、土壌系（黄砂）が主なものは単純黄砂、土壌系（黄砂）と硫酸塩系二次粒子の両者が伴に寄与しているものは混在黄砂に分類すると、表6-2-3のようになる。

表6-2-3 PMF法を加味した分類結果

No.	年度	年	月	日	日数	黄砂 地点 数	煙霧 地点 数	PM _{2.5} 時間最高値		PMF法を加味した分類	詳細参照
								地点 名	濃度		
1	2003	2003	4	13-19	7	31	19	埼玉	52.7	単純黄砂	5.2 (15)K01
2		2003	8	20-22	3		10	名古屋	51.5	硝酸塩系二次粒子	
3		2003	11	7-9	3		17	東京	45.7	硝酸塩系二次粒子	
4		2004	2	1-3	3		14	埼玉	53.7	硝酸塩系二次粒子	
5	2004	2004	4	12-24	13	34	18	名古屋	51.4	混在黄砂	5.2 (11)K03
6		2004	11	10-12	3		24	埼玉	91.6	硝酸塩系二次粒子	
7		2005	1	24-30	7		11	東京	46.8	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
8	2005	2005	4	13-17	5	28	25	宮崎	47.5	混在黄砂	5.2 (8)K06
9		2005	7	29-31	3		23	大阪	53.1	硝酸塩系二次粒子	
10		2005	8	4-6	3		16	仙台	43.9	硝酸塩系二次粒子	
11		2005	11	11-15	5		12	大阪	48.0	硝酸塩系二次粒子	
12		2005	11	21-25	5		14	千葉	72.3	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
13		2006	1	25-31	7		26	大阪	65.9	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
14	2006	2006	4	18-19	2	43	18	新潟	70.5	混在黄砂	5.2 (5)K07
15		2006	4	24-26	3	42	12	新潟	64.8	単純黄砂	
16		2006	8	1-5	5		23	岡山	45.3	硝酸塩系二次粒子	
17		2006	11	10-12	3		7	茨城	39.9	硝酸塩系二次粒子	
18		2007	1	15-19	5		14	福岡	51.8	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
19		2007	1	21-29	9		13	福岡	49.1	硫酸塩系二次粒子	
20	2007	2007	4	11-13	3		21	名古屋	39.7	硫酸塩系二次粒子	5.3 (4)E07
21		2007	7	25-29	5		34	岡山	50.5	硫酸塩系二次粒子	
22		2007	11	15-17	3		15	福岡	50.8	硫酸塩系二次粒子	
23	2008	2008	8	2-4	3		16	福岡	37.8	硫酸塩系二次粒子	
24	2009	2010	1	30-2/1	3		6	福岡	42.5	硫酸塩系二次粒子	
25	2010	2010	5	20-22	3	24	15	福岡	74.8	混在黄砂	5.2 (7)K14
26		2010	5	24-26	3	22	11	宮崎	41.7	混在黄砂	
27		2010	11	7-8	2		24	東京	51.0	硝酸塩系二次粒子	
28		2010	11	12-15	4	37	10	埼玉	56.2	混在黄砂	
29		2011	2	4-9	6		38	福岡	74.8	硫酸塩系二次粒子	

7. ライダー-黄砂・球形消散係数と SPM・PM_{2.5} 濃度の関係

7.1. ライダー-黄砂消散係数と SPM 濃度

ライダーによる観測では、気象台が観測した黄砂日（以下気象台黄砂日）でない日にも黄砂粒子の飛来を示唆するデータが見られることから、ライダー観測データによって得られる下層での黄砂消散係数と SPM 時間値との関係を使って黄砂を検出する方法^{16),17)}について検討した。期間は平成 20(2008)～平成 24(2012)年度の 5 年間で、長崎、松江、富山の 3 地点を対象とした。使用したデータは、3 地点の国立環境研究所ライダー計測値から導き出された黄砂消散係数について、高度 150m～270m の 1 時間平均値を算出したものと、ライダー設置地点に隣接する常時監視局での SPM 濃度時間値である。黄砂の飛来によって、ライダー-黄砂消散係数と SPM 濃度には、相関関係の存在が予想されることから、毎日の黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値との関係をみるために、両者の相関係数、回帰式（傾き、切片）について、24 時間単位で計算を行った。その中から、次の条件に合致するものを抽出した^{5), 20)}。

- ① 1 日のデータが 12 時間以上揃ったものであること
- ② 測定時間が 16 時間以上あるものは、黄砂消散係数と SPM 濃度時間値との相関係数が 0.6 以上
12～15 時間のものは相関係数 0.7 以上であること
- ③ SPM 濃度の日最大値が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であること
- ④ 黄砂消散係数が日最大値 0.05/km 以上であること

表 7-1-1 に、3 地点で抽出した日を示す。3 年間で、長崎 61 日、松江 29 日、富山 26 日となった。このうち、当該地域でも他の地点でも黄砂は観測されていない日に抽出されたのは、長崎で 33 日、松江で 15 日、富山で 13 日とおおよそ 5 割を占めている。

黄砂の観測が他地点を含めてない日に検出され、SPM 最大値が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた長崎の平成 21(2009)年 1 月 19 日の例を、図 7-1-1 に示す。長崎周辺で SPM 濃度が上昇し、CFORS の予測、後方流跡線の軌跡などが黄砂の飛来を示している。このように、気象台による黄砂の観測がなされていない場合でも、黄砂の飛来を把握できる可能性がある。

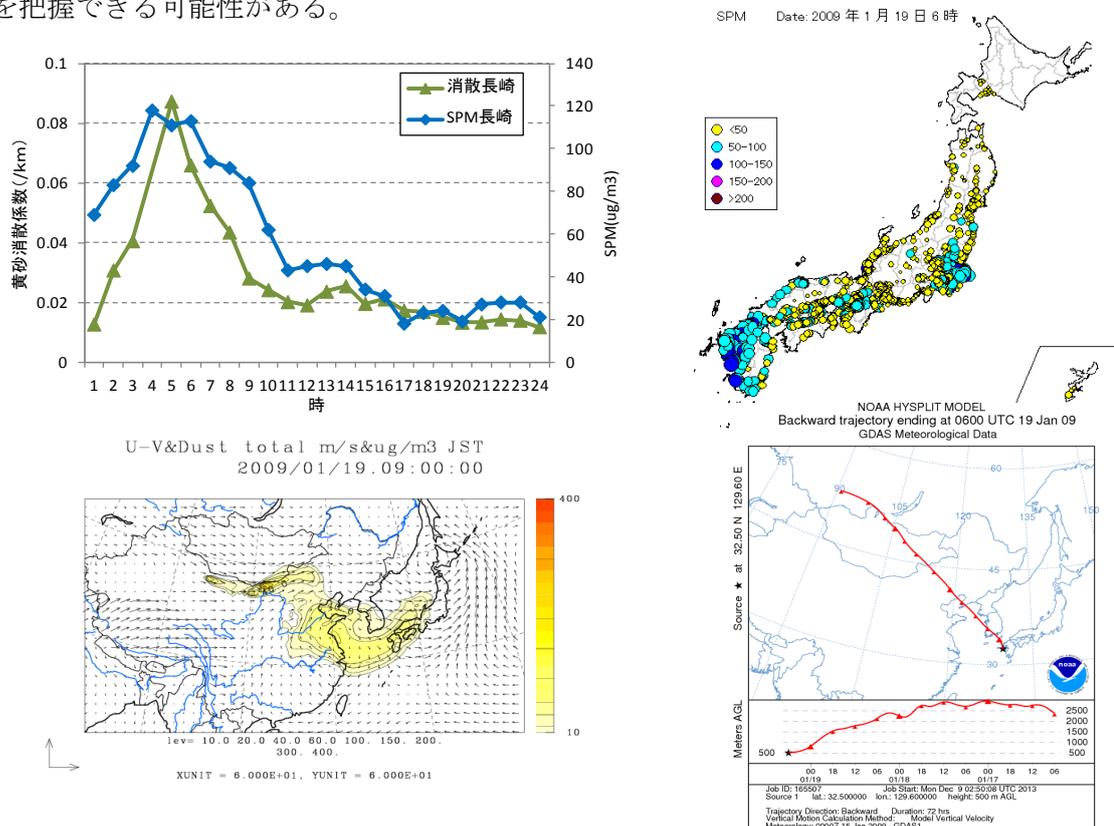


図 7-1-1 ライダーによる黄砂検出の例 (2009 年 1 月 19 日)

表 7-1-1(1) 黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値の相関等の条件による抽出日

長崎県長崎市

	年度	地点	年	月	日	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片	気象台黄砂日	地点黄砂日
1	2008	長崎	2008	5	31	24	0.331	0.142	91	55	0.915	203	27	○	◎
2	2008	長崎	2008	11	2	24	0.093	0.018	68	40	0.693	364	33		
3	2008	長崎	2008	12	30	24	0.059	0.020	64	27	0.911	952	8		
4	2008	長崎	2009	1	19	23	0.087	0.027	113	54	0.853	1417	15		
5	2008	長崎	2009	1	21	18	0.481	0.039	67	34	0.618	76	31		
6	2008	長崎	2009	1	29	16	0.518	0.104	60	39	0.705	60	32		
7	2008	長崎	2009	2	14	14	0.244	0.073	125	44	0.881	385	16		
8	2008	長崎	2009	2	20	17	0.284	0.138	59	36	0.678	99	22	○	◎
9	2008	長崎	2009	3	17	24	0.115	0.048	70	40	0.662	239	29	○	
10	2009	長崎	2009	10	17	24	0.065	0.019	72	39	0.784	501	29		
11	2009	長崎	2009	10	19	24	0.067	0.022	89	38	0.828	1019	15	○	◎
12	2009	長崎	2009	12	26	20	0.105	0.062	114	69	0.966	973	9	○	◎
13	2009	長崎	2009	12	30	21	0.097	0.030	86	34	0.629	500	20		
14	2009	長崎	2010	1	29	24	0.051	0.034	73	52	0.864	902	21		
15	2009	長崎	2010	2	18	23	0.118	0.018	82	24	0.695	515	15		
16	2009	長崎	2010	3	16	24	0.215	0.084	130	57	0.943	609	5	○	◎
17	2009	長崎	2010	3	19	24	0.051	0.017	60	28	0.774	611	18		
18	2009	長崎	2010	3	20	24	1.852	0.176	590	109	0.990	290	58	○	◎
19	2009	長崎	2010	3	21	23	1.802	0.277	898	182	0.960	552	29	○	◎
20	2010	長崎	2010	4	30	24	0.103	0.054	76	39	0.889	500	12	○	◎
21	2010	長崎	2010	5	1	24	0.056	0.027	57	26	0.831	809	4	○	
22	2010	長崎	2010	5	2	24	0.095	0.049	64	37	0.842	417	16	○	
23	2010	長崎	2010	5	5	22	0.105	0.067	69	51	0.760	266	33	○	
24	2010	長崎	2010	5	7	19	0.178	0.025	87	31	0.680	363	22		
25	2010	長崎	2010	5	10	13	0.231	0.040	53	28	0.647	123	23		
26	2010	長崎	2010	5	12	24	0.073	0.038	50	33	0.876	490	14	○	
27	2010	長崎	2010	7	10	17	0.053	0.025	89	43	0.751	1852	-3		
28	2010	長崎	2010	9	15	17	0.151	0.032	52	41	0.629	119	37		
29	2010	長崎	2010	11	11	22	0.256	0.050	148	52	0.686	253	39		
30	2010	長崎	2010	11	15	24	0.208	0.050	86	28	0.908	356	10	○	
31	2010	長崎	2010	12	6	24	0.057	0.013	66	25	0.913	933	13		
32	2010	長崎	2010	12	11	22	0.152	0.054	110	49	0.929	585	17	○	◎
33	2010	長崎	2010	12	18	24	0.076	0.058	57	44	0.836	387	22		
34	2010	長崎	2010	12	23	23	0.082	0.052	62	46	0.939	533	18	○	
35	2010	長崎	2010	12	24	22	0.083	0.016	88	30	0.949	968	14	○	
36	2010	長崎	2011	2	5	22	0.102	0.071	103	69	0.892	665	21		
37	2010	長崎	2011	2	6	24	0.108	0.059	93	74	0.640	257	59		
38	2010	長崎	2011	2	25	20	0.216	0.063	66	38	0.709	188	26		
39	2010	長崎	2011	3	22	23	0.096	0.038	75	33	0.805	491	14	○	◎
40	2011	長崎	2011	5	1	18	0.412	0.249	210	116	0.796	423	10	○	◎
41	2011	長崎	2011	5	2	24	0.605	0.406	292	217	0.736	371	66	○	◎
42	2011	長崎	2011	5	6	24	0.059	0.022	52	32	0.682	408	23		
43	2011	長崎	2011	5	13	24	0.294	0.151	83	55	0.782	170	29	○	◎
44	2011	長崎	2011	5	16	24	0.055	0.033	76	53	0.787	932	22	○	
45	2011	長崎	2011	10	7	24	0.060	0.034	101	59	0.757	864	29		
46	2011	長崎	2012	3	15	24	0.087	0.040	69	48	0.679	363	33		
47	2012	長崎	2012	4	10	24	0.087	0.023	60	34	0.652	399	25	○	
48	2012	長崎	2012	4	23	19	0.092	0.045	86	62	0.877	598	35	○	
49	2012	長崎	2012	5	10	24	0.050	0.025	58	47	0.660	359	38		
50	2012	長崎	2012	5	18	24	0.059	0.019	50	35	0.655	390	27		
51	2012	長崎	2012	5	28	15	0.055	0.032	61	48	0.735	463	33		
52	2012	長崎	2012	9	20	24	0.054	0.033	56	39	0.631	539	22		
53	2012	長崎	2012	12	4	24	0.058	0.018	75	20	0.791	827	5	○	
54	2012	長崎	2012	12	7	21	0.099	0.028	64	26	0.795	358	16		
55	2012	長崎	2013	1	2	24	0.108	0.059	82	46	0.689	392	23	○	
56	2012	長崎	2013	2	22	24	0.059	0.027	64	41	0.607	522	27		
57	2012	長崎	2013	3	4	19	0.086	0.027	78	41	0.874	803	19		
58	2012	長崎	2013	3	5	17	0.109	0.052	80	44	0.801	536	16		
59	2012	長崎	2013	3	9	15	0.145	0.067	103	70	0.839	379	44	○	◎
60	2012	長崎	2013	3	19	24	0.263	0.125	83	49	0.841	155	30	○	◎
61	2012	長崎	2013	3	29	24	0.058	0.021	59	44	0.602	381	36		

[注] 気象台黄砂日：全国のいずれかの地点で黄砂が観測された日 地点黄砂日：当該地点も黄砂日

表 7-1-1 (2) 黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値の相関等の条件による抽出日

島根県松江市

	年度	地点	年	月	日	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片	気象台黄砂日	地点黄砂日
1	2008	松江	2008	5	18	23	0.111	0.057	82	36	0.625	495	8		
2	2008	松江	2008	5	22	24	0.157	0.066	88	46	0.921	456	16		
3	2008	松江	2008	6	9	23	0.154	0.047	56	33	0.657	177	25		
4	2008	松江	2008	8	15	17	0.762	0.065	50	15	0.616	50	11		
5	2008	松江	2008	9	18	20	0.063	0.025	56	21	0.662	593	6		
6	2008	松江	2008	11	5	24	0.063	0.037	60	21	0.782	1170	-22		
7	2008	松江	2009	2	13	15	0.053	0.026	63	43	0.752	495	30	○	◎
8	2008	松江	2009	2	21	23	0.851	0.140	58	31	0.644	49	24	○	◎
9	2009	松江	2009	5	20	24	0.073	0.059	78	36	0.756	1959	-80		
10	2009	松江	2009	6	2	24	0.251	0.081	59	33	0.815	216	16		
11	2009	松江	2009	6	26	24	0.105	0.055	52	31	0.866	394	10		
12	2009	松江	2009	10	19	23	0.239	0.044	77	21	0.913	278	9	○	◎
13	2009	松江	2009	10	21	23	0.101	0.054	60	21	0.910	422	-2	○	◎
14	2009	松江	2009	10	30	24	0.060	0.038	72	36	0.717	975	-1		
15	2009	松江	2009	12	26	24	0.252	0.148	64	42	0.878	144	21	○	◎
16	2009	松江	2010	3	16	23	0.183	0.098	50	22	0.934	282	-6	○	◎
17	2009	松江	2010	3	21	24	1.768	0.406	362	88	0.964	200	7	○	◎
18	2010	松江	2010	11	12	24	0.534	0.296	140	81	0.872	224	14	○	◎
19	2010	松江	2010	12	1	24	0.054	0.037	55	21	0.847	1504	-35		
20	2010	松江	2010	12	11	24	0.189	0.063	53	23	0.694	205	10	○	◎
21	2010	松江	2011	2	4	24	0.108	0.051	85	50	0.602	594	20		
22	2010	松江	2011	2	7	22	0.058	0.024	91	48	0.861	1229	19		
23	2011	松江	2011	5	1	22	0.393	0.158	82	34	0.924	185	5	○	◎
24	2011	松江	2011	5	4	22	0.172	0.079	75	36	0.959	365	7	○	◎
25	2012	松江	2012	4	23	24	0.053	0.025	66	34	0.811	1289	1	○	◎
26	2012	松江	2012	10	14	24	0.052	0.020	65	26	0.876	936	7		
27	2012	松江	2013	3	4	18	0.061	0.028	58	28	0.889	979	1		
28	2012	松江	2013	3	10	16	0.123	0.036	55	25	0.897	321	13	○	◎
29	2012	松江	2013	3	20	21	0.150	0.070	73	39	0.822	444	8	○	◎

[注] 気象台黄砂日: 全国のいずれかの地点で黄砂が観測された日 地点黄砂日: 当該地点も黄砂日

表 7-1-1 (3) 黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値の相関等の条件による抽出日

富山県富山市

	年度	地点	年	月	日	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片	気象台黄砂日	地点黄砂日
1	2008	富山	2008	4	30	24	0.056	0.039	77	32	0.696	1225	-17		
2	2008	富山	2008	6	19	16	0.061	0.008	67	19	0.805	962	11		
3	2008	富山	2008	7	18	19	0.899	0.159	63	22	0.824	54	14		
4	2008	富山	2008	12	10	24	0.163	0.071	80	22	0.823	295	1		
5	2008	富山	2009	2	14	15	0.584	0.061	57	17	0.741	81	12		
6	2008	富山	2009	3	16	24	0.116	0.048	68	22	0.909	578	-6	○	◎
7	2009	富山	2009	6	2	21	0.251	0.119	66	57	0.656	1060	-9		
8	2009	富山	2009	6	23	18	0.195	0.121	53	36	0.633	1358	0		
9	2009	富山	2009	9	22	15	0.308	0.041	52	31	0.642	426	11		
10	2009	富山	2009	12	2	16	0.252	0.041	51	22	0.665	807	2		
11	2009	富山	2010	3	21	12	1.768	1.241	378	333	0.836	435	-29	○	◎
12	2010	富山	2010	5	4	24	0.111	0.076	64	48	0.822	337	22	○	
13	2010	富山	2010	5	6	24	0.102	0.046	54	31	0.665	365	14	○	
14	2010	富山	2010	5	22	17	0.097	0.035	72	57	0.670	245	49	○	
15	2010	富山	2010	11	12	24	0.220	0.094	153	68	0.797	593	12	○	◎
16	2010	富山	2010	11	14	23	0.127	0.064	72	43	0.708	373	19	○	◎
17	2011	富山	2011	5	2	24	0.505	0.307	138	80	0.747	196	20	○	◎
18	2011	富山	2011	5	4	21	0.325	0.127	86	44	0.891	198	18	○	◎
19	2011	富山	2011	5	13	22	0.670	0.288	184	79	0.854	204	20	○	◎
20	2011	富山	2011	5	14	24	0.199	0.107	73	34	0.778	223	10	○	
21	2011	富山	2011	5	17	24	0.523	0.064	70	43	0.669	90	38		
22	2011	富山	2011	5	22	14	1.320	0.290	67	17	0.900	31	8		
23	2011	富山	2011	7	1	22	0.595	0.043	52	22	0.683	53	20		
24	2011	富山	2011	10	5	18	0.259	0.041	58	24	0.624	141	18		
25	2012	富山	2013	3	8	16	0.091	0.058	65	45	0.727	618	9	○	
26	2012	富山	2013	3	10	17	0.345	0.068	55	29	0.650	126	20	○	

[注] 気象台黄砂日: 全国のいずれかの地点で黄砂が観測された日 地点黄砂日: 当該地点も黄砂日

7.2. ライダー球形消散係数と PM_{2.5} 濃度

ライダーでは、黄砂消散係数と同じように球形消散係数も計算されている。ライダーによって算出される球形消散係数は、大気汚染性のエアロゾルとの関連が深いと思われるため、PM_{2.5} 濃度との関係について検討した。

使用したデータは、大阪に設置されているライダーの観測データで、PM_{2.5}、SPM のデータは国設大阪局のものである。

図 7-2-1 に平成 22(2010)年 11 月 11～15 日の黄砂飛来時の経時変化を示す。この時の黄砂は西日本全体を覆う大きなものであった (5.2. 大規模黄砂の事例 (7) K14 p. 70 参照)。黄砂消散係数と SPM 濃度の上昇がほぼ同期し黄砂の影響を示しているが、PM_{2.5} は球形消散係数とともに異なる挙動をしており、黄砂の飛来による上昇とは同一でないことを示唆している。

図 7-2-2 には、大阪で黄砂が観測された平成 24(2012)年 4 月 22～25 日の変化を示している。この時は煙霧も多く多くの地点で観測されており (3.4. 平成 24 年度の黄砂飛来状況 (3) p. 16 参照)、大阪では黄砂のみの観測にもかかわらず、球形消散係数と PM_{2.5} の上昇が顕著であり、大気汚染によるエアロゾルの影響の方が大きいと思われる。

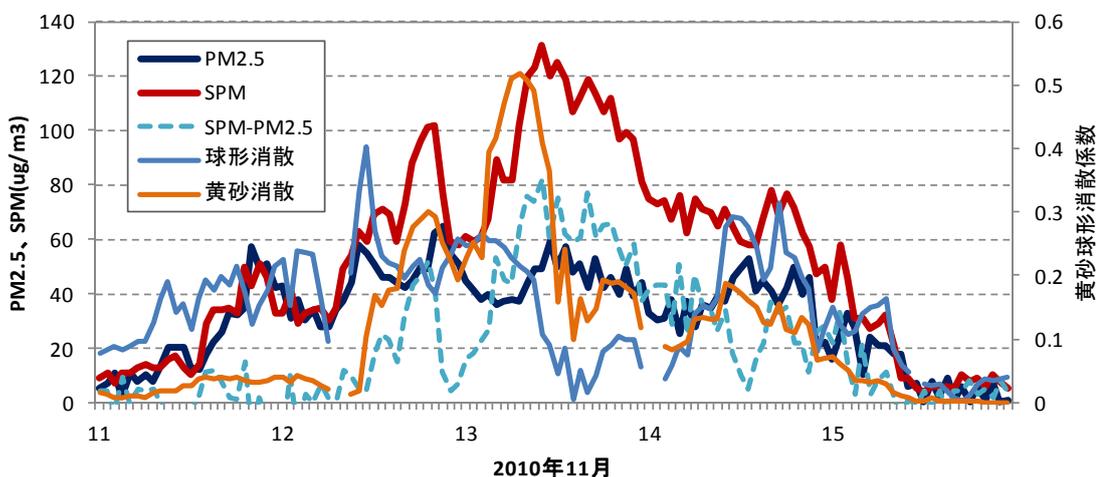


図 7-2-1 黄砂による PM_{2.5} の上昇

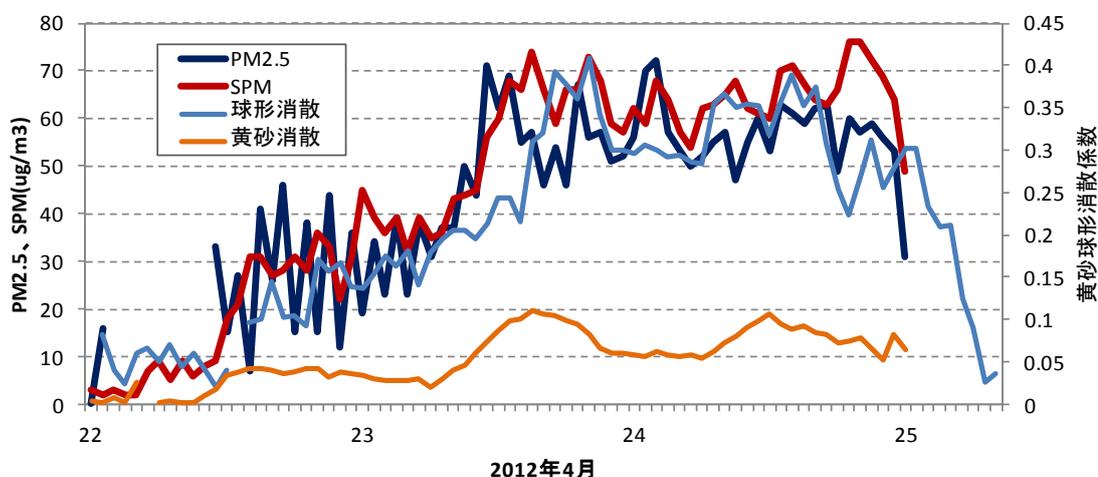


図 7-2-2 煙霧による PM_{2.5} の上昇

8. 今後の課題

- 黄砂の飛来は気象条件や発生源の状況によって大きくその態様が異なるため、特徴や影響を把握することが難しい。本報告書においては、大規模黄砂・大規模煙霧の観測データを気象学的、環境科学的に検討し、それぞれの現象における共通的な特徴や傾向を明らかにした。今後、汚染の混合について、その成分、PM_{2.5}への影響など、さらに多くの事例を解析し、空間的な把握や汚染経路などの詳細を明らかにしていくとともに、汚染の混合や成分にも着目し検討を進めていく必要がある。
- 黄砂現象や煙霧現象時にPM_{2.5}濃度が上昇し、環境基準値である日平均値 35µg/m³を超過する事例が多いことが明らかになった。全国においてPM_{2.5}の常時監視局の拡大、成分分析データの蓄積を進めることにより、PM_{2.5}濃度の上昇に対する黄砂の寄与、長距離輸送された気塊による煙霧の寄与を明らかにしていく必要がある。
- 汚染混合型黄砂やPM_{2.5}に関する地域レベルでの地上濃度を予測することが社会的に期待されている。そのような予測に役立つ指標成分や常時監視手法の検討を進める必要がある。
- 現在、日本・中国・韓国でのモニタリング・予測などの黄砂共同研究が進行している。このような研究が、アジア地域全体の黄砂発生源対策、さらには黄砂の汚れ度を低減化できるような技術協力へと進展することが望まれる。

参考文献リスト

1. 「環境省」2007：黄砂実態解明調査中間報告書
2. 「環境省」2009：黄砂実態解明調査報告書
3. 「環境省」2010：黄砂飛来状況報告書
4. 「環境省」2011：平成22年度黄砂飛来状況報告書－平成21年度における黄砂実態解明調査－
5. 「環境省」2012：黄砂実態解明調査中間報告書－平成20～22年度－
6. 「環境省」2013：平成23年度黄砂飛来状況調査報告書
7. 「環境省」HP（環境省大気汚染物質広域監視システム）：<http://soramame.taiki.go.jp/>
8. 「環境省」HP（POPsモニタリング結果）：<http://www.env.go.jp/chemi/pops/index.html>
9. 「気象庁」HP（地球環境のデータバンク黄砂）http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/kosa_data_index.html
10. 「気象庁」HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
11. 「気象業務支援センター」：世界気象資料、気象庁月報
12. 「気象庁」HP（過去の気象データ）：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
13. 「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーライダー））：<http://www-lidar.nies.go.jp/>
14. 「国立環境研究所」HP（東アジア域黄砂・大気汚染物質分布予測（CFORS））：
<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>
15. 「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HP ARL HYSPLIT（後方流跡線）<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajsrc.pl>
16. 清水厚、松井一郎、杉本伸夫：日本国内における黄砂重量濃度とライダー観測による黄砂消散係数との関係、日本気象学会2009年秋季大会要旨集、P351、2009
17. A. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, I. Mori, M. Nishikawa, M. Kido : Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentration in Japan, SOLA, Vol7A, 1-4, 2011
18. 岩本真二：越境汚染－東アジア大気汚染の実態と今後の課題、資源環境対策、47（13）32-39（2011）
19. 後藤隆久、岩本真二、日下部正和：日本に飛来する黄砂の分類について、第53回大気環境学会年会講演要旨集、487（2012）
20. 日下部正和、後藤隆久、岩本真二：ライダー黄砂消散係数とSPM濃度による黄砂検出の検討、第53回大気環境学会年会講演要旨集、488（2012）
21. 日下部正和、岩本真二：黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}の環境基準超過について、第54回大気環境学会年会講演要旨集、491（2013）
22. 岩本真二、日下部正和：黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}の環境基準超過について－PM_{2.5}成分濃度へのPMF法の適用－、第54回大気環境学会年会講演要旨集、492（2013）
23. 島山史郎他：中国から東シナ海を経て沖縄まで輸送されるエアロゾル中の主要イオンの関係、エアロゾル研究、21、2、147-152（2006）
24. 山神真紀子他：2011年2月上旬に観測された広域的なPM_{2.5}高濃度エピソードの要因解析、大気環境学会誌、48、3、196-205（2013）
25. 米持真一他：2013年1月に中国北京市で採取した高濃度PM_{2.5}、PM₁の特徴、大気環境学会誌、48、3、140-144（2013）
26. U.S.EPA, EPA Positive Matrix Factorization(PMF)3.0 Fundamentals & User Guide, pp.1-70（2008）
27. 兼保直樹、杉本伸夫、清水厚、山本重一、河本和明：ライダー観測によるダストの推定と地上観測によるエアロゾル質量濃度の比較、大気環境学会誌、47、6、285-291（2012）

資料編

- 平成 24(2012) 年度分析方法
(金属類、イオン類、多環芳香族炭化水素類)

1. 金属成分分析

分析項目

分析項目は、アルミニウム及びその化合物 (Al) である。なお、同時測定が可能であったカルシウム及びその化合物 (Ca)、鉄及びその化合物 (Fe)、マグネシウム及びその化合物 (Mg)、マンガン及びその化合物 (Mn)、ストロンチウム及びその化合物 (Sr)、チタン及びその化合物 (Ti)、亜鉛及びその化合物 (Zn) を参考として測定した。

分析方法

分析方法は、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル（平成 23 年 3 月）環境省 水・大気環境局 大気環境課」に準拠した。

分析フローを図 1-1、ICP-MS 測定条件を表 1-1 に示す。

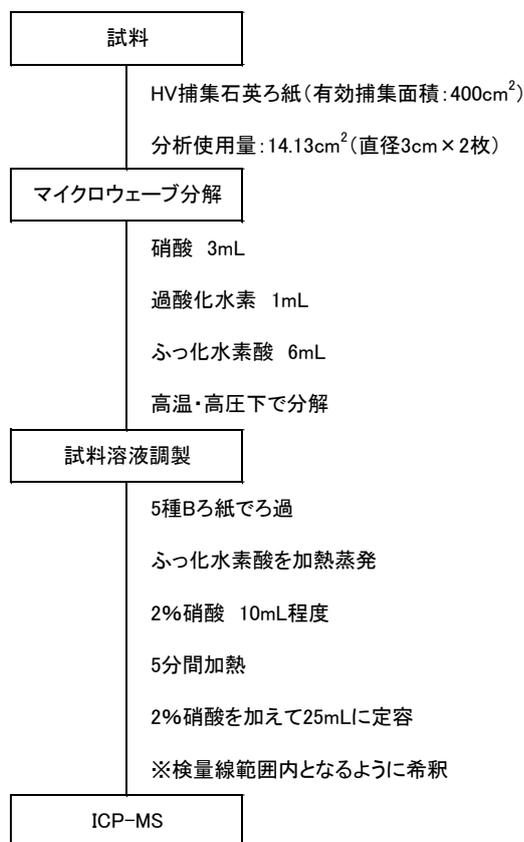


図 1-1 金属成分分析フロー

表 1-1 金属成分 ICP-MS 測定条件

使用機器	ICP質量分析 Agilent 7500i
分析条件	高周波電力 :1400(W)
	プラスズマ流量 :15L/分
	キャリアーガス流量 :1.25L/分
	内部標準 :インジウム 質量数 115
	混合金属標準 :AccuStandard,Inc. U.S.A
	液体アルゴン :99.99%以上
	圧力容器分解装置 :PerkinElmer社製 Multiwave 3000
	硝酸 :関東化学(株) EL純度 5ml
フッ化水素酸 :関東化学(株) 原子吸光分析用 3ml	

2. イオン成分分析

分析項目

分析項目は、ナトリウムイオン (Na^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、アンモニウムイオン (NH_4^+)、硫酸イオン (SO_4^{2-})、及び硝酸イオン (NO_3^-) である。なお、同時測定が可能であった塩化物イオン (Cl^-)、カリウムイオン (K^+)、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) を参考として測定した。

分析方法

分析方法は、「大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 測定方法暫定マニュアル 改定版 (平成19年7月) 環境省」に準拠した。

分析フローを図 2-1、イオンクロマトグラフ測定条件を表 2-1 に示す。

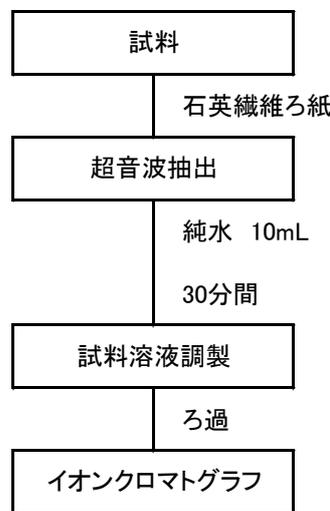


図 2-1 イオン成分分析フロー

表 2-1 イオンクロマトグラフ測定条件

使用機器	イオンクロマトグラフ DIONEX ICS-1500
分析条件	<陰イオン成分> 使用カラム: DIONEX社製 IonPac AS12A: 4 × 200mm [(基材: エチルビニルベンゼン-ジビニルベンゼンポリマー, 直径: 9μ m) (交換基: 4級アルキルアミン, 直径140nm)] 移動相 : 2.7mmol/L炭酸ナトリウム溶液, 0.3mmol/L炭酸水素ナトリウム溶液 流量 : 1.5mL/min 試料注入量: 50μ L カラム温度: 35°C サプレッサ: 電気透析型 検出器 : 電気伝導率検出器 <陽イオン成分> 使用カラム: DIONEX社製 IonPac CS14: 4 × 250mm [(基材: エチルビニルベンゼン-ジビニルベンゼンポリマー, 直径: 8.5μ m) (交換基: カルボン酸, グラフト型)] 移動相 : 10mmol/Lメタンサルホン酸溶液 流量 : 1.0mL/min 試料注入量: 50μ L カラム温度: 35°C サプレッサ: 電気透析型 検出器 : 電気伝導率検出器

3. 多環芳香族炭化水素類 成分分析

分析項目

分析項目は、ベンゾ[a]アントラセン、クリセン、ベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[e]ピレン、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[k]フルオランテン、ジベンゾ[a, h]アントラセン、ジベンゾ[a, c]アントラセン、インデノ[1, 2, 3-cd]ピレン及びベンゾ[g, h, i]ペリレン, コロネンである。

分析方法

分析方法は、「化学物質環境実態調査実施の手引き（平成 20 年度版）環境省」に準拠した。

分析フローを図 3-1、GC-MS 測定条件を表 3-1 に示す。

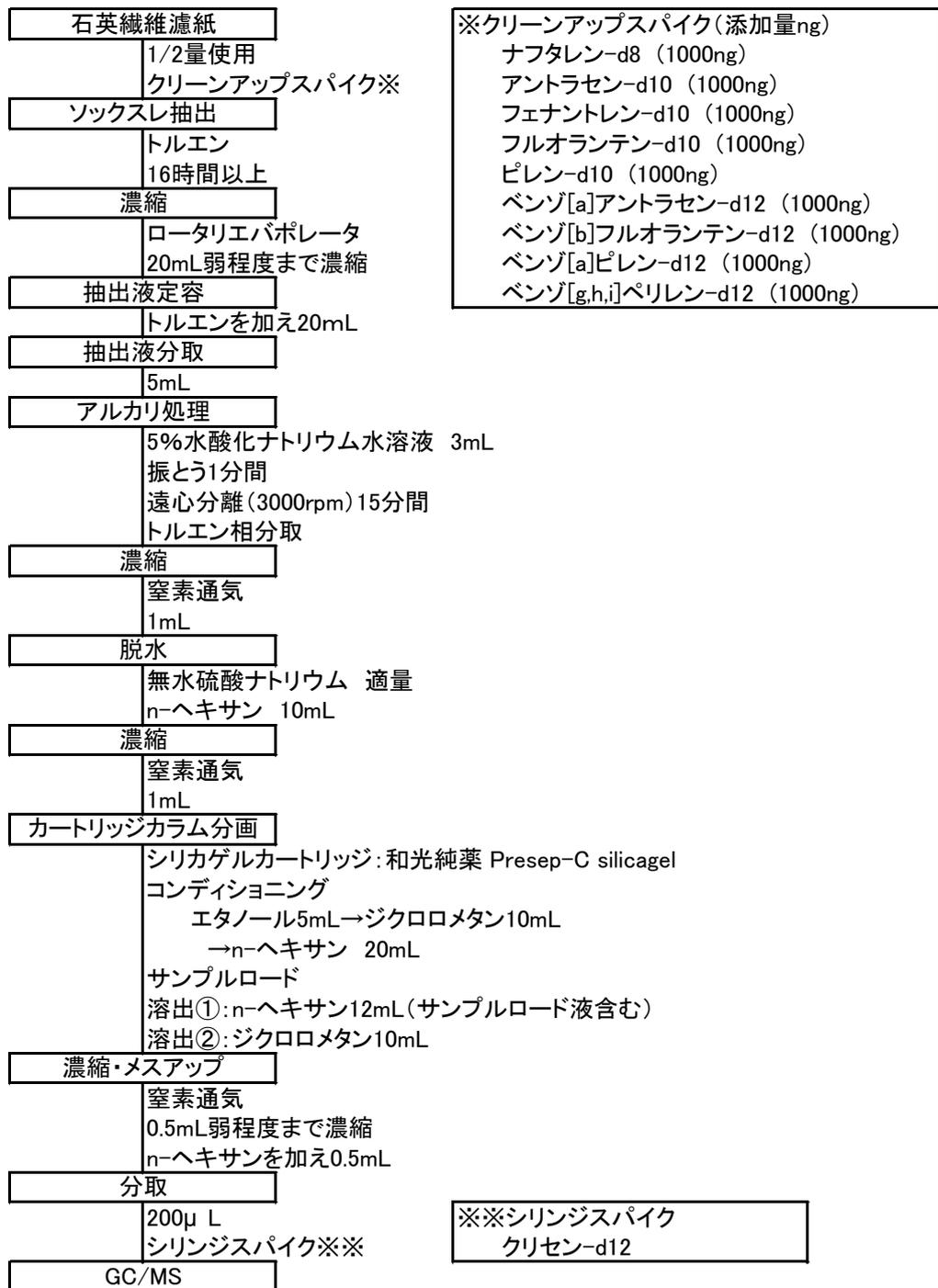


図 3-1 石英繊維ろ紙の分析フロー

表 3-1 GCMS 測定条件

GC	島津製作所 GC-2010
注入法	スプリットレス(1min、高圧注入)
注入口温度	300°C
分離カラム	varian Select-PAH(0.25mm × 30m、0.15 μm)
オープン温度	70°C(1min) → 30°C/min → 180°C → 3°C/min → 230°C(7min) → 15°C/min → 280°C(10min) → 14°C/min → 350°C(5min)
インタフェース温度	300°C
MS	島津製作所 QP-2010Plus
イオン化法	EI
イオン化電圧	70eV
検出法	SIM

GC-MS 測定条件

対象物質	モニタイオン	対象物質	モニタイオン
ベンゾ[a]アントラセン-d12	240	ベンゾ[a]ピレン-d12	264
ベンゾ[a]アントラセン	228(226,229)	ベンゾ[a]ピレン	252(253,250,126)
クリセン-d12	240	ジベンズ[a,c]アントラセン	278(279)
クリセン	228(226,229)	インデノ[1,2,3-cd]ピレン	276(277,274)
ベンゾ[b]フルオランテン-d12	264	ジベンズ[a,h]アントラセン	278(279)
ベンゾ[b]フルオランテン	252(253,250,126)	ベンゾ[gh,i]ペリレン-d12	288
ベンゾ[k]フルオランテン	252(253,250,126)	ベンゾ[gh,i]ペリレン	276(277)
ベンゾ[e]ピレン	252(253,250,126)	コロネン	300(150,301)