

5. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴は、個々の事例によって、発生位置、経路、広がり、濃さ、成分など様々な形態が考えられる。平成 20(2008)～22(2010)年度の3年間に、気象台が観測した黄砂は合計 68 日で、連続した日を1つの黄砂とすると 28 事例となる。これらはそれぞれ異なった様相を呈しており特徴にも違いがみられることから、それぞれの特徴から共通性を抽出し、分類を試みた。

5.1. 黄砂の分類

黄砂の分類を考える時の大きなテーマは、人為的発生源からの大気汚染物質の混在である。ここでは、黄砂及び越境大気汚染の一つと考えられている煙霧についてその特徴を整理し、大気汚染物質の混在についての分類の方法を検討した。

(1) 黄砂

気象庁では黄砂とは「主として、大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂の粒子が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象」と定義しており、目視により黄砂現象を判断している。以前は、視程が 10km 未満となるような黄砂現象を記録していたが、1989 年以降、視程が 10km 以上であっても明らかな黄砂は記録されている。

一般に、日本へ飛来してくる黄砂は、大陸の黄土地帯で低気圧が発生し巻き上げられた砂が、日本付近にある前線の東への移動に伴って地上付近へ降下し視程の低下をもたらしているケースが多い。

これまでの調査から、気象台の黄砂日には概ね次のような特徴がみられている。

- 後方流跡線がモンゴル付近を起点とする（図 5-1-1 参照）
- 気圧配置で、日本南岸に前線が延びる
- ライダーの黄砂消散係数と SPM 濃度が同時に上昇する
- SPM 濃度が地域で同時に上昇する
- CFORS の「土壌性ダスト（黄砂）」(dust)の予想分布で黄砂の飛来が予測されている
- $PM_{2.5}$ /SPM の比が小さくなる（粗大粒子の割合が大きくなる）

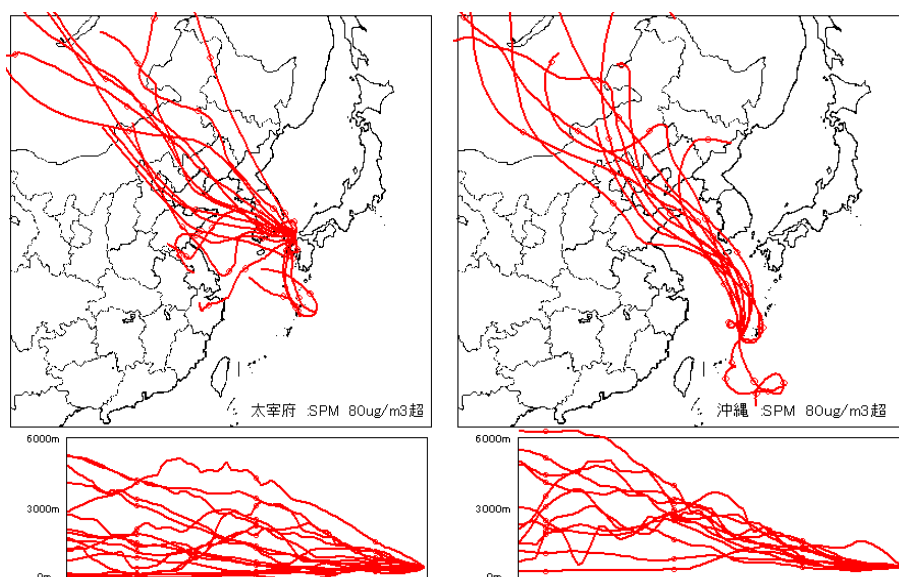


図 5-1-1 黄砂時の後方流跡線（左図：福岡、右図：沖縄）

(2) 煙霧

黄砂と同様に、粒子の影響で視程の低下をもたらしているものに煙霧がある。気象庁での煙霧の定義は、「乾いた微粒子によって視程が10km未満となった場合で、乾いたとは湿度75%未満」としている。図5-1-2に平成20(2008)～22(2010)年度の長崎、福岡、松江で煙霧が観測された日数を年度毎に示している。長崎が年平均24日、福岡が34日、松江が7日と福岡での観測日数が多くなっている。図5-1-3に煙霧と黄砂の月別の日数(2008～2010年度合計)を示している。黄砂に比べ煙霧の観測日は5倍多く、月別推移では5、6、7月と11～2月の二山になっている。

2008年度の福岡での煙霧観測日37日について、後方流跡線の方角を8方位で分けると図5-1-4のようになり、WSW～NNW方向の頻度が高いことが分かる。

また、2008年度に福岡県太宰府市で自動計測された硫酸イオン濃度との関係では、煙霧日でない通常の日最高値の平均は $9.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるのに対し、37日の煙霧日の日最大値の平均が $20.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、最高値が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上ある日が16日(43%)、 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上が26日(70%)、 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上が34日(92%)と煙霧時の硫酸イオンの上昇を如実に表している。図5-1-4には煙霧日で硫酸イオンの濃度が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上になった日の後方流跡線をまとめて示している。このように硫酸塩エアロゾルが有意に高くなる煙霧は中国沿岸部からの影響を強く受けていることをみることができる。

これらの結果は、福岡で観測される煙霧が大陸から移流してきた硫酸アンモニウム粒子によって引き起こされた可能性が高いことを示している。

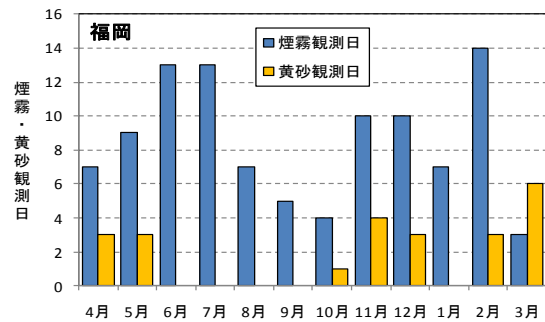
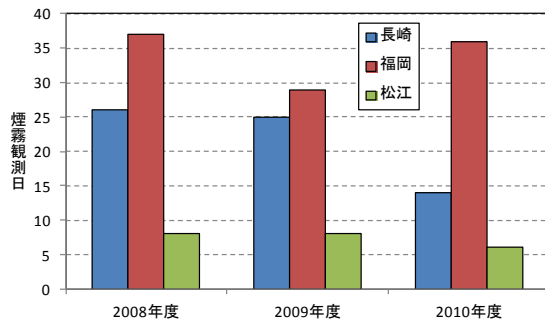


図5-1-2 長崎、福岡、松江での煙霧観測日の経年変化

図5-1-3 煙霧・黄砂日の月変化 (福岡)

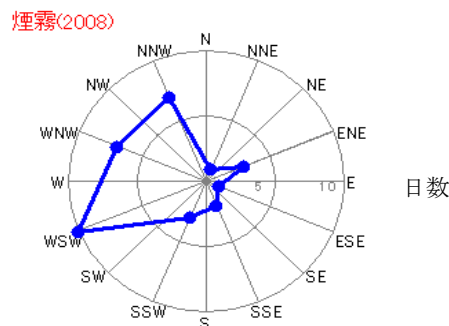


図5-1-4 福岡での煙霧日の後方流跡線方位(2008年)

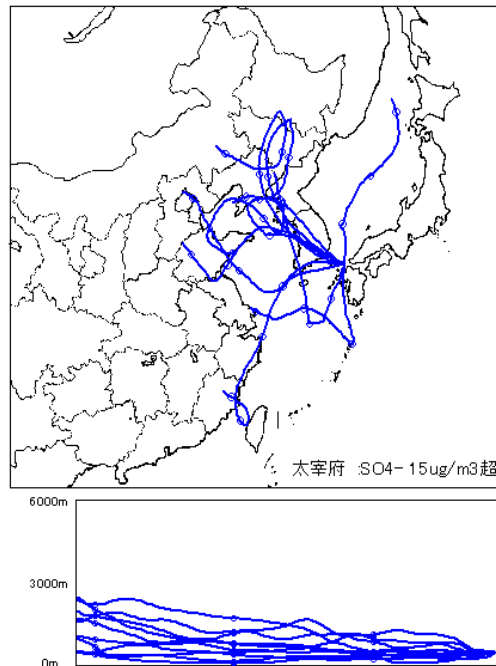


図 5-1-5 煙霧日の後方流跡線（福岡）

長距離移流を原因とした煙霧の特徴としては、概ね次のようなことが考えられる。

- 硫酸イオンの濃度が上昇する
- 後方流跡線が中国沿岸部を起点とする
- CFORS の「硫酸塩エアロゾル（大気汚染物質）」(sulfate) の予想分布で、硫酸塩の移流が予測されている
- ライダー球形消散係数と硫酸イオンに同時上昇の傾向がみられる
- 気圧配置で、移動性高気圧が日本を通過している
- PM2.5/SPM 比が大きい（粗大粒子の割合が小さい）

(3) 黄砂と煙霧の混在

黄砂と煙霧とは、日本へ到達する時に混在した形を取ることも多いと考えられるため、これらを混在黄砂として分類することとした。

気象台が定義している煙霧は、必ずしも移流による汚染物質を含有しているとは限らない。したがって、汚染物質の大陸からの移流現象によって生じる煙霧のうち、硫酸アンモニウム濃度が高い煙霧現象をここでは「硫酸塩エアロゾル」と表現することとした。

平成 20 (2008) 年度～平成 22 (2010) 年度の気象庁が黄砂とした日を中心に、それぞれ気象状況、SPM 濃度全国分布、黄砂の発生状況、後方流跡線、CFORS 予測結果、ライダー消散係数と SPM 濃度の関係、PM_{2.5} と SPM の比率、硫酸イオン濃度などのデータを比較し、飛来状況を解析した。本報告書においては、これらのデータを基に、各事例を(1)単純黄砂、(2)混在黄砂、(3)硫酸塩エアロゾルの飛来に分類することを試みた。

①単純黄砂

硫酸塩エアロゾルの存在が少ない黄砂の飛来とした。硫酸イオン濃度が低いことから人為起源からの影響は小さく、自然起源による黄砂のみの飛来が主であると判断されるものである。

②混在黄砂

硫酸イオン濃度の上昇があり、硫酸塩エアロゾルが黄砂に混在しているものとした。硫酸イオンの増加は、人為的な汚染物質を含む微小粒子も同時に飛来してきていると想定される。なお、大陸に近い福岡県では、硫酸イオン濃度の時間値を常時監視しており、この値を混在黄砂の判断に利用した。

③硫酸塩エアロゾル

黄砂現象時以外の硫酸イオン濃度が上昇する現象を示す。硫酸塩エアロゾルの上昇する現象は、気象庁のいう煙霧のような状態となることが多いが、気象庁のいう煙霧の判定条件には大気中の硫酸イオン濃度は無関係である。ここでは気象庁の煙霧と区別して直接的に硫酸塩エアロゾルと表現することにする。

5.2. 黄砂事例の特徴

平成 20(2008)～22 (2010) 年度の 3 年間に気象台が日本国内のいずれかの地点で黄砂を観測した日は合計で 68 日である。連続した日を 1 つの黄砂事象とすると 28 事例になる。これらの日に、黄砂日ではなかったが、黄砂日と予測して成分分析のための採取を実施した 2008 年 5 月 22～23 日と、大きな煙霧が日本全体を覆った 2011 年 2 月 4～9 日を加え、合計 30 事例を解析対象とした。表 5-2-1～表 5-2-3 に年度毎の対象日について黄砂観測地域別地点数、及び観測都道府県の SPM 平均濃度と観測都道府県数、更にそれらの積算値をそれぞれ日毎に示している。以下、事例毎にその特徴を示す。

表 5-2-1 平成 20 (2008) 年度の黄砂観測日

黄砂事例数	黄砂日数	期日				成分濃度測定	黄砂日														SPM平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	県数	SPM積算	SPM積算合計	
		年度	年	月	日		気象台発表											黄砂の規模							
							有無	地点数	沖繩	九州	山陰	山陽	四国	関西	北陸	東海	関東	東北	北海道	SPM積算					SPM積算
1	1	2008	2008	4	26	○	黄砂日	2		2												41	2	82	82
		2008	2008	4	27	○																			
2		2008	2008	5	22	○																			
		2008	2008	5	23	○																			
3	2 3	2008	2008	5	31	○	黄砂日	3		2	1											57	3	171	250
		2008	2008	6	1	○	黄砂日	2		1					1							40	2	79	
4	4 5 6	2008	2009	2	11		黄砂日	13		4	2	3	4				1					37	10	371	1670
		2008	2009	2	12		黄砂日	19		6	3	3	4	2			1					59	18	1057	
		2008	2009	2	13		黄砂日	5		2			2	1								48	5	242	
5	7	2008	2009	2	15		黄砂日	3			2					1					18	3	55	55	
6	8 9 10	2008	2009	2	20		黄砂日	11		5	2	3	1									27	10	265	933
		2008	2009	2	21		黄砂日	23	1	6	2	4	4	4	1			1				33	20	668	
		2008	2009	2	22		黄砂日	1						1								33	1	33	
7	11	2008	2009	3	10		黄砂日	1		1											25	1	25	25	
8	12 13 14 15	2008	2009	3	16		黄砂日	27		1	4	2	4	8	4	4						30	20	596	4134
		2008	2009	3	17	○	黄砂日	46		7	2	4	4	7	5	5	9	2				47	40	1872	
		2008	2009	3	18	○	黄砂日	41		4	2	3	3	7	6	6	7	3				42	36	1516	
		2008	2009	3	19		黄砂日	4								1	1	2				38	4	150	

表 5-2-2 平成 21 (2009) 年度の黄砂観測日

黄砂事例数	黄砂日数	期日				成分濃度測定	黄砂日														SPM平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	県数	SPM積算	SPM積算合計		
		年度	年	月	日		気象台発表											黄砂の規模								
							有無	地点数	沖繩	九州	山陰	山陽	四国	関西	北陸	東海	関東	東北	北海道	SPM積算					SPM積算	
9	16 17	2009	2009	4	25		黄砂日	9	3	6												19	6	113	134	
		2009	2009	4	26		黄砂日	2	2														21	1		21
10	18	2009	2009	5	8		黄砂日	2		2												42	2	84	84	
11	19	2009	2009	5	19		黄砂日	1														28	1	28	28	
12	20 21 22 23	2009	2009	10	19		黄砂日	6		3	3											31	5	156	294	
		2009	2009	10	20		黄砂日	3	3													39	1	39		
		2009	2009	10	21		黄砂日	2			2											25	2	50		
		2009	2009	10	22		黄砂日	2			2											25	2	50		
13	24 25	2009	2009	12	26		黄砂日	29		8	4	2	4	7	2	1						48	24	1162	1188	
		2009	2009	12	27		黄砂日	1			1											27	1	27		
14	26 27	2009	2010	3	13		黄砂日	14		1	4	2	2	3	1							33	13	424	558	
		2009	2010	3	14		黄砂日	5					3	2								27	5	135		
15	28 29	2009	2010	3	16		黄砂日	27		8	3	2	4	4	2							33	25	820	876	
		2009	2010	3	17		黄砂日	3					2	1								19	3	56		
16	30 31 32 33 34	2009	2010	3	20		黄砂日	5		4	1											66	5	330	5198	
		2009	2010	3	21	○	黄砂日	63	4	8	4	3	4	6	5	3	9	6	6				99	47		4639
		2009	2010	3	22	○	黄砂日	6	3	1												59	2	118		
		2009	2010	3	23	○	黄砂日	6	3	1												89	1	89		
		2009	2010	3	24	○	黄砂日	4	3	1												23	1	23		

表 5-2-3 平成 22 (2010) 年度の黄砂観測日

黄砂事例数	黄砂日数	期日				成分濃度測定	气象台発表											黄砂の規模					
		年度	年	月	日		有無	地点数	沖繩	九州	山陰	山陽	四国	関西	北陸	東海	関東	東北	北海道	SPM平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	県数	SPM積算	SPM積算合計
17	35	2010	2010	4	2		黄砂日	9										2	6	34	3	102	218
	36	2010	2010	4	3		黄砂日	5		2								1	2	29	4	116	
18	37	2010	2010	4	27	○	黄砂日	13	1	7	1	2	1							26	12	312	1592
	38	2010	2010	4	28	○	黄砂日	5	2		1	1							27	3	81		
	39	2010	2010	4	29		黄砂日	6	3		1				1				26	3	78		
	40	2010	2010	4	30		黄砂日	23	3	7	2	3	4	4					34	21	714		
	41	2010	2010	5	1		黄砂日	11	1	2		2	1	3					37	10	370		
	42	2010	2010	5	2		黄砂日	1	1										37	1	37		
19	43	2010	2010	5	3		黄砂日	11		6	2	1	1						47	10	470	3743	
	44	2010	2010	5	4		黄砂日	32		5	2	3	4	7	4	6		1	51	31	1581		
	45	2010	2010	5	5		黄砂日	27		4	2	3	2	7	3	2		2	57	26	1482		
	46	2010	2010	5	6		黄砂日	6			1	1	2		1			1	35	6	210		
20	47	2010	2010	5	9		黄砂日	2		1									27	2	54	54	
21	48	2010	2010	5	11		黄砂日	1		1									19	1	19	97	
	49	2010	2010	5	12		黄砂日	3		2		1							26	3	78		
22	50	2010	2010	5	20		黄砂日	2		2									73	2	146	2620	
	51	2010	2010	5	21		黄砂日	24		1	2	3	3	7	2	2		3	61	23	1403		
	52	2010	2010	5	22		黄砂日	22			2		3	7	2	4		1	51	21	1071		
23	53	2010	2010	5	24		黄砂日	4		3									47	3	141	1023	
	54	2010	2010	5	25		黄砂日	21	1	2			4	5		4	1		42	20	840		
	55	2010	2010	5	26		黄砂日	3	2				1						21	2	42		
24	56	2010	2010	11	12		黄砂日	37		7	2	3	4	7	4	6	1	3	63	36	2268	6934	
	57	2010	2010	11	13		黄砂日	30		7	2	3	4	7	4	3			88	29	2552		
	58	2010	2010	11	14		黄砂日	29		5	2	3	4	7	3	2	2	1	65	28	1820		
	59	2010	2010	11	15		黄砂日	14	1	2		2	4	4		1			21	14	294		
25	60	2010	2010	12	3		黄砂日	30	4	7	2	3	4	4	1	1			23	25	575	611	
	61	2010	2010	12	4		黄砂日	5	4										21	1	21		
	62	2010	2010	12	5		黄砂日	1	1										15	1	15		
26	63	2010	2010	12	11		黄砂日	13	7	2	3	1							35	13	455	484	
	64	2010	2010	12	12		黄砂日	1		1									29	1	29		
27	65	2010	2010	12	23		黄砂日	6		1	2	1	2						31	6	186	255	
	66	2010	2010	12	24		黄砂日	3		1				1		1			23	3	69		
28		2010	2011	2	4																		
		2010	2011	2	5																		
		2010	2011	2	6																		
		2010	2011	2	7																		
		2010	2011	2	8																		
29	67	2010	2011	3	20		黄砂日	2										2	69	2	138	138	
	68	2010	2011	3	22		黄砂日	10		6	3		1						22	10	220	220	

(1) 平成 20 (2008) 年 4 月 26 日～27 日

黄砂の観測は九州の 2 地点であり、SPM 全国濃度分布でも九州に高い地域がみられる。SPM 最高濃度は $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下でさほど高濃度を示してはいない。27 日は福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、九州西岸に移動性高気圧が位置しており、後方流跡線は、気塊が中国沿岸部や韓国上空を通過してきたことを示していた。硫酸イオンが 26 日の 23 時に $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ でピークを示し、27 日にかけて $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度で推移していた。この期間、HV、LV で TSP と微小粒子 ($<2.5 \mu\text{m}$) の粉じんが採取されており、金属成分とイオン成分が分析されている。TSP での A1 は、松江で $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とやや高い値を示し、微小粒子中の硫酸イオンは同じく松江で $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。福岡市(吉塚)での $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ 比も、26 日においては 0.7~0.8 で推移しており微小粒子が多い構成となっていた。

一方、砂塵嵐は 24 日 (2 日前) にモンゴル北部で発生している様子がみられ、CFORS において、Dust の低濃度帯が日本全土を覆っている結果を示した。

本事例は、九州への弱い黄砂の飛来と、西日本への中国沿岸部からの硫酸塩エアロゾルの影響を受けたと思われる。

表 5-2-1-1 気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点	SPM平均	県数	積算
2008/4/26	2	長崎 熊本	41	2	82

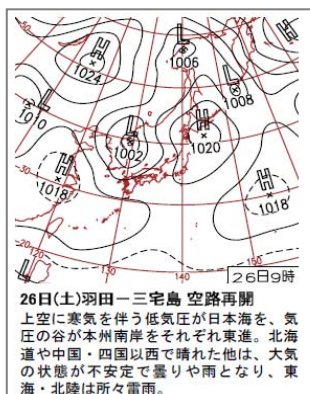


図 5-2-1-1 天気図

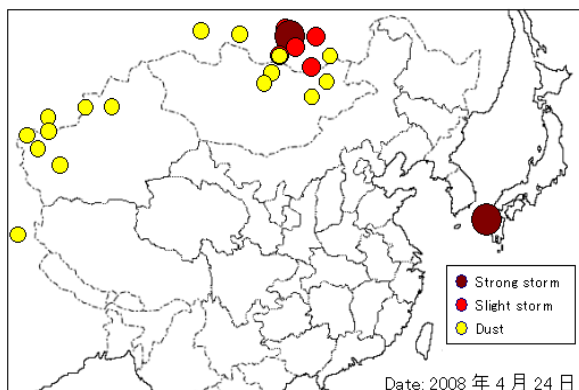


図 5-2-1-2 砂塵嵐発生状況

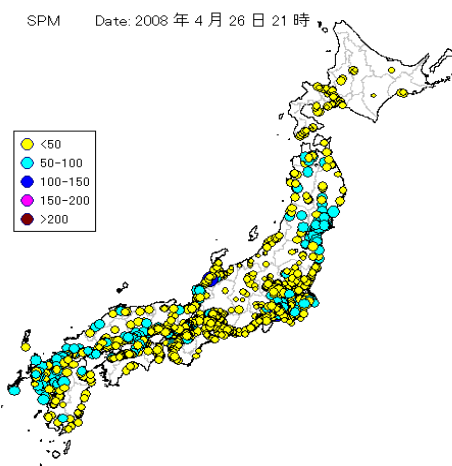


図 5-2-1-3 SPM 濃度全国分布

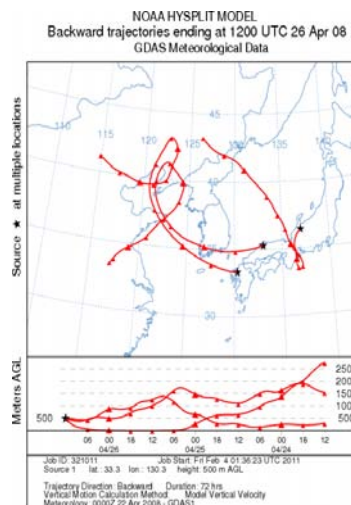


図 5-2-1-4 後方流跡線

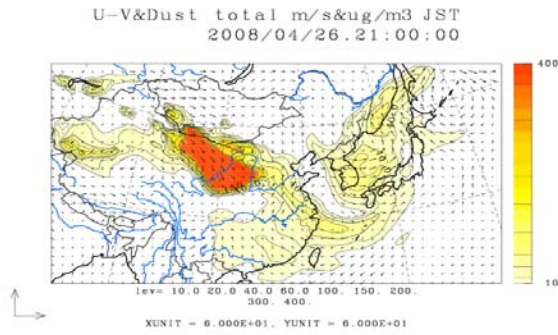


図 5-2-1-5 CFORS(dust)予測結果

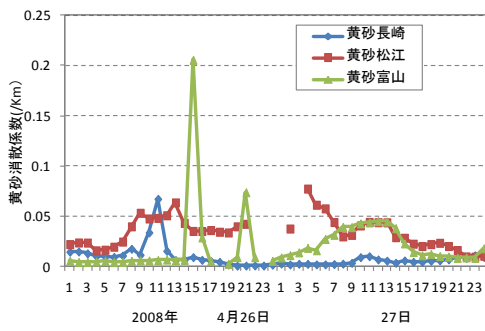


図 5-2-1-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

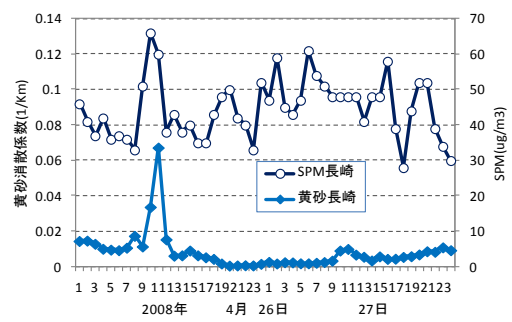


図 5-2-1-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

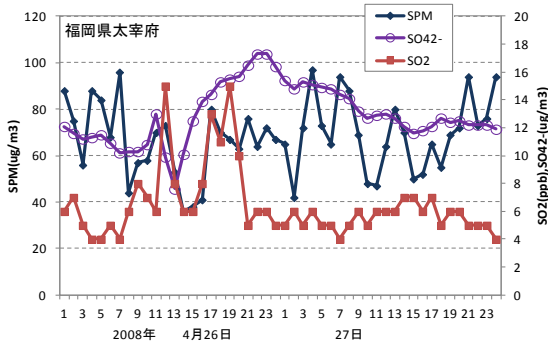


図 5-2-1-8 硫酸イオン等の経時変化

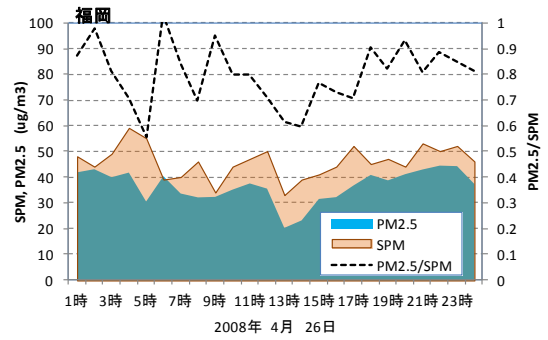


図 5-2-1-9 PM_{2.5}・SPM濃度の経時変化

(2) 平成 20 (2008) 年 5 月 22 日～23 日

黄砂の観測はなされていないが、黄砂実態調査で粉じんの採取が実施されているため、解析対象とした。SPM 濃度の全国分布状況は、九州北部、山陽、山陰、近畿、関東と $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地域が広く存在している。22 日、23 日の両日、松江で煙霧が観測されている。

気圧配置は、東シナ海で前線が形成されるものの、全国的には本州東方海上の高気圧に覆われており、各地で晴天となった。後方流跡線では、この時、中国沿岸部や韓国からの気塊であることがみられる。CFORS は、日本北部に低濃度の dust 帯が存在していたこと、sulfate が日本全土を覆っていることを示していた。福岡では、22 日の 16 時に硫酸イオンが急増し、21 時まで $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の濃度が継続して観測され、23 日の早朝まで $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度で推移している。また、 $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ 比も、0.9 以上であり SPM の殆どが微小粒子であることを示している。ライダーの結果を併せて観察すると、長崎の球形消散係数と福岡の硫酸イオン濃度に類似の挙動が見られ、二次生成粒子の存在をうかがわせている。

20 日 (2 日前) にモンゴル北部で砂塵嵐が観測され、東北・北海道で黄砂の可能性があり、また松江でも黄砂消散係数で 22 日夜中に黄砂の飛来が少しみられるが、全体としては硫酸塩エアロゾルの影響が大きいものである。

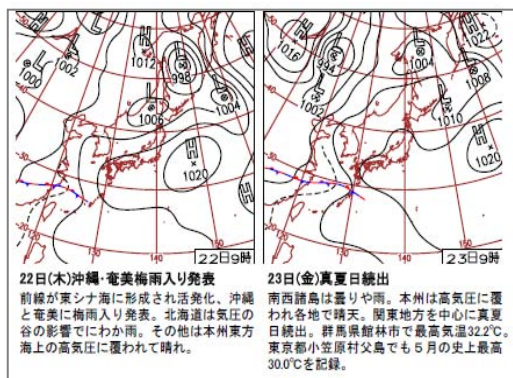


図 5-2-2-1 天気図

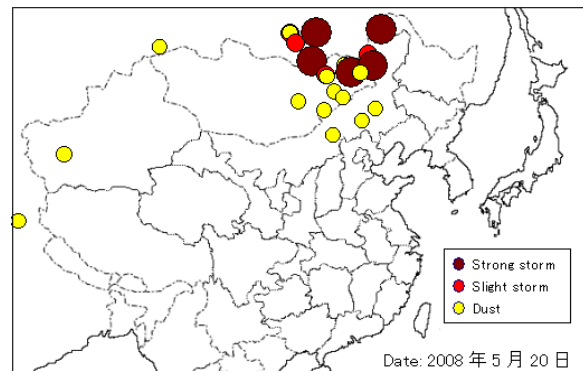


図 5-2-2-2 砂塵嵐発生状況

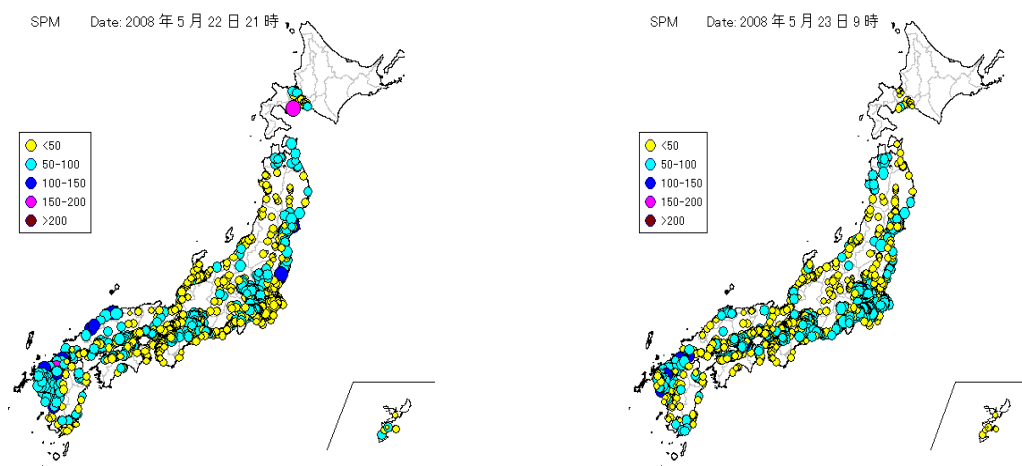


図 5-2-2-3 SPM 濃度全国分布

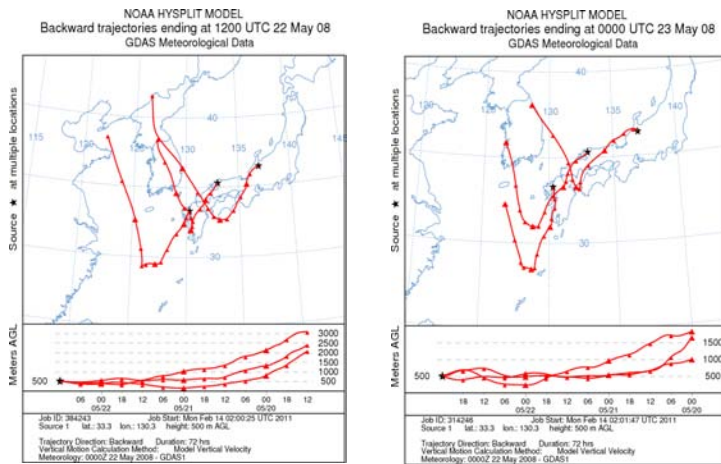


図 5-2-2-4 後方流跡線

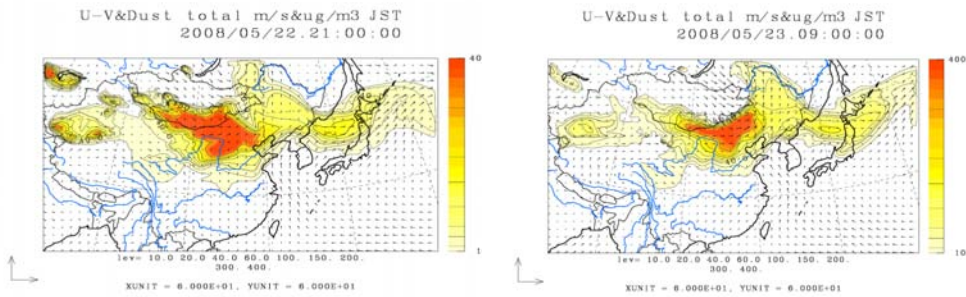


図 5-2-2-5(1) CFORS(dust)予測結果

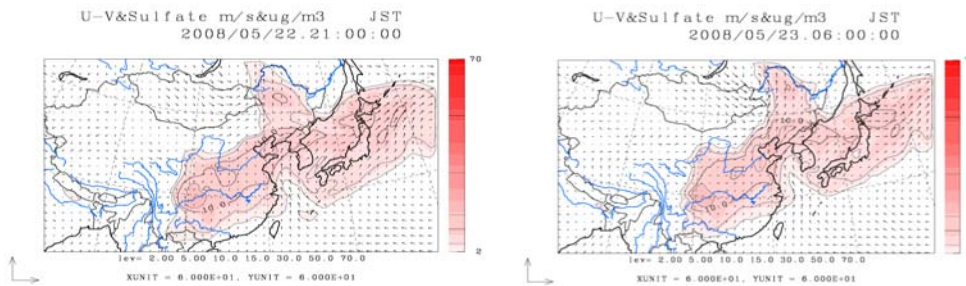


図 5-2-2-5(2) CFORS(sulfate)予測結果

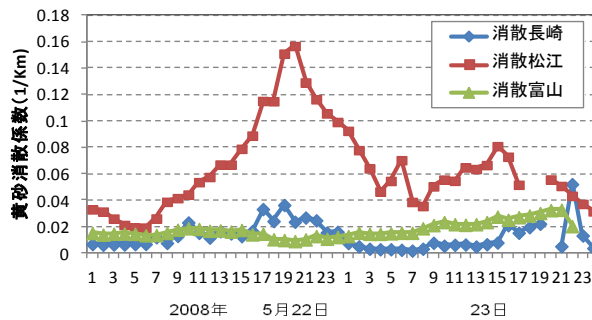


図 5-2-2-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

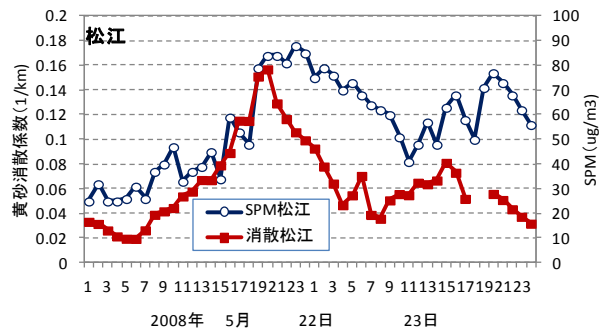


図 5-2-2-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

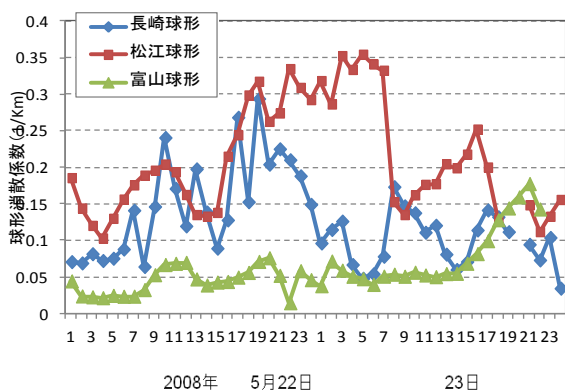


図 5-2-2-8 球形消散係数の経時変化

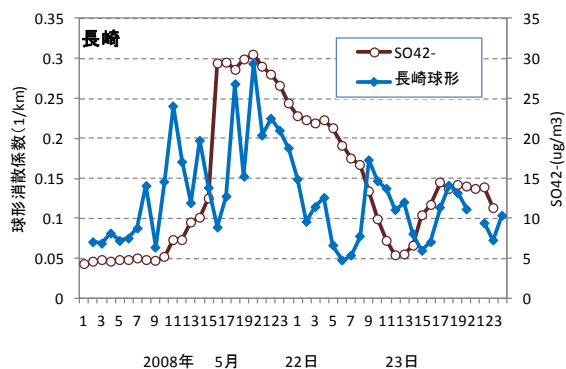


図 5-2-2-9 球形消散係数と SO₄²⁻ の経時変化

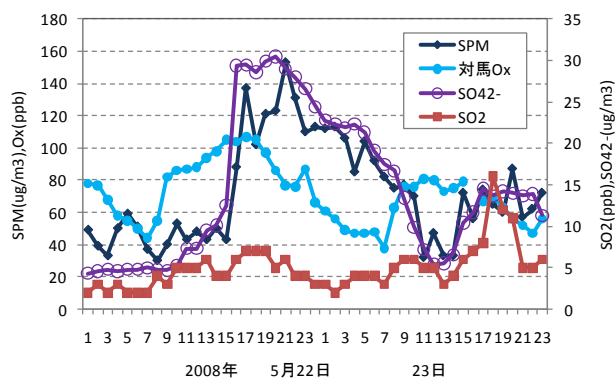


図 5-2-2-10 硫酸イオン等の経時変化

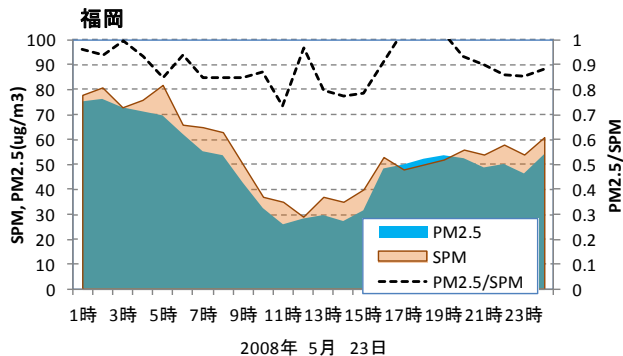
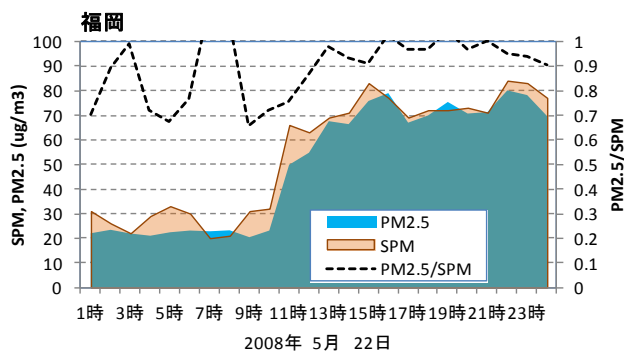


図 5-2-2-11 PM_{2.5}・SPM 濃度と PM_{2.5}/SPM 比の経時変化

(3) 平成 20 (2008) 年 5 月 31 日～6 月 1 日

黄砂の観測は、九州・山陰・北陸の数地点のみで規模は小さい。SPM の全国分布では、 $50\sim 150\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度が九州から山陰にかけてみられ、地域的な SPM 濃度の上昇がある。1 日には SPM 高濃度地域が北陸に広がっている。31 日は福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、日本南岸に低気圧とそれに伴う前線が南西に延びた黄砂特有のものであった。26、27 日には、モンゴル東部を中心に砂塵嵐の発生が観測されている。後方流跡線は、九州北部、山陰で砂塵嵐発生地域方向からのものになっている。CFORS では薄い黄砂の流れがみられる。ライダー観測結果をみると、31 日に長崎で SPM 濃度と黄砂消散係数が同期して推移しており、SPM 濃度が黄砂によって影響を受けたと考えられる。また、 $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ 比においても SPM の高濃度時に比率が 0.3～0.6 と比較的粗大粒子が多い構成である。この期間、TSP の採取も実施されており、松江、富山、新潟で A1 が $2.5\sim 3.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高くなっている。

一方、福岡では煙霧も観測されており、硫酸イオン時間値も最高で $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を少し超過している。また、長崎でのライダー球形消散係数と福岡の硫酸イオンに時間をずらした上昇が観察されている。

以上から、本事例では黄砂の影響が強く反映されているものの規模はそれほど大きくなく、若干の硫酸塩エアロゾルを含んで九州北部から北陸へ移動していたと考えられる。

表 5-2-3-1 気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点			SPM平均	県数	積算
2008/5/31	3	松江	佐賀	長崎	56.9	3	171
2008/6/1	2	輪島	長崎		39.6	2	79

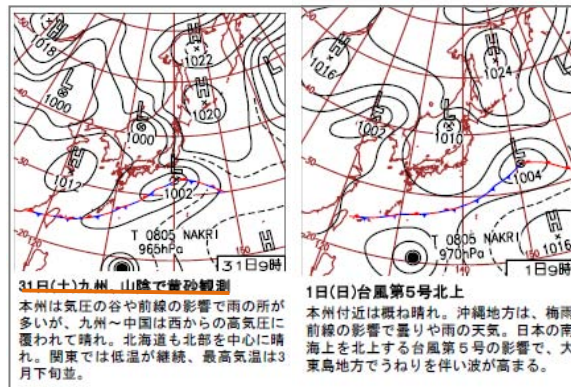


図 5-2-3-1 天気図

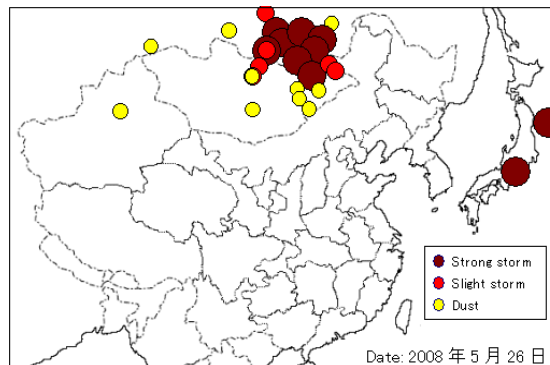


図 5-2-3-2 砂塵嵐発生状況

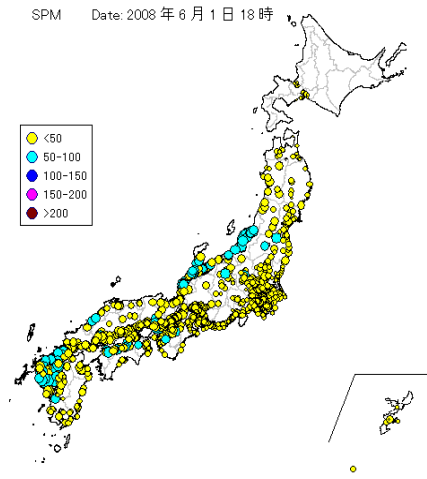
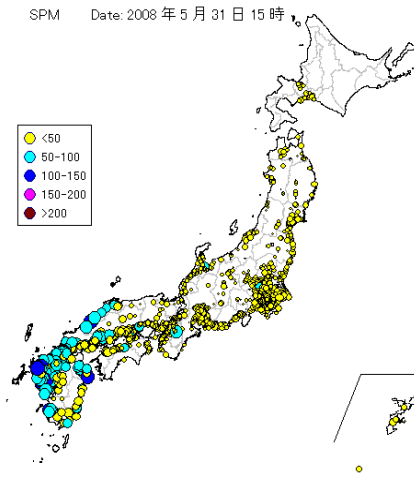


図 5-2-3-3 SPM 濃度全国分布

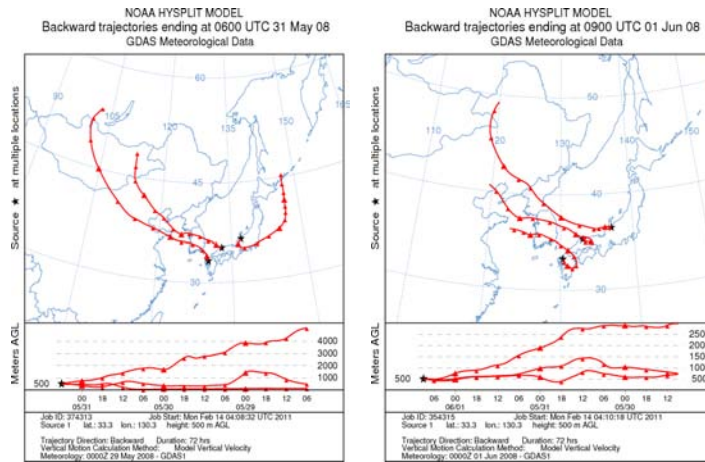


図 5-2-3-4 後方流跡線

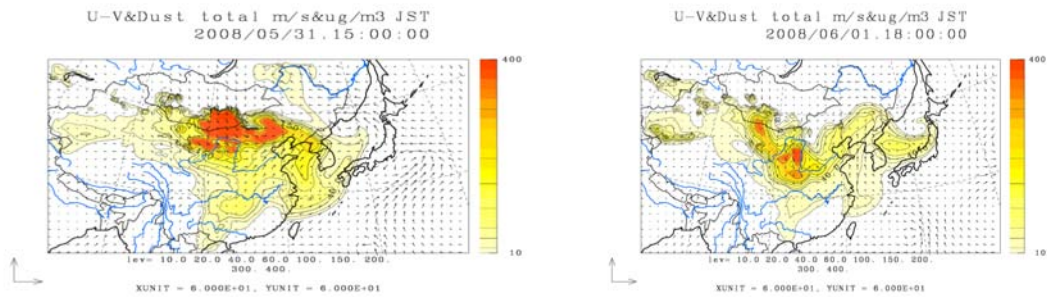


図 5-2-3-5(1) CFORS(dust)予測結果

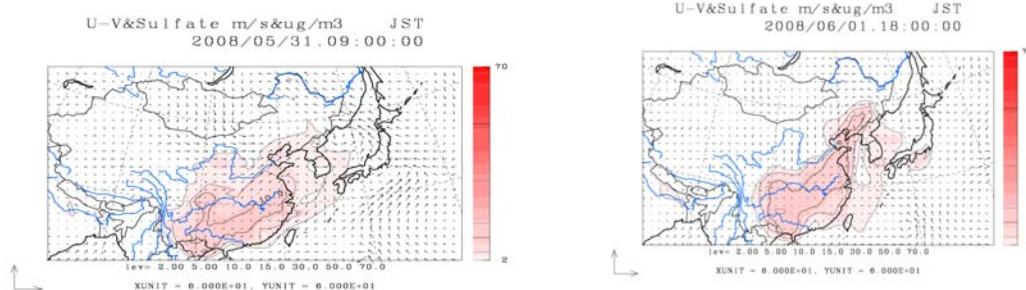


図 5-2-3-5(2) CFORS(sulfate)予測結果

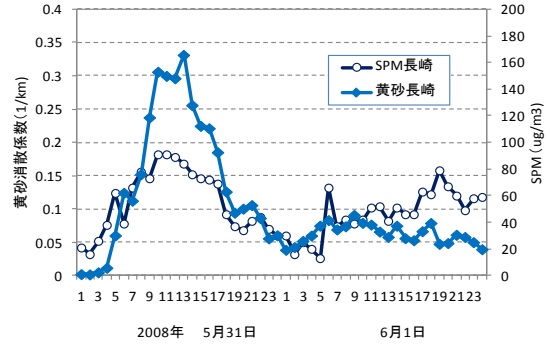
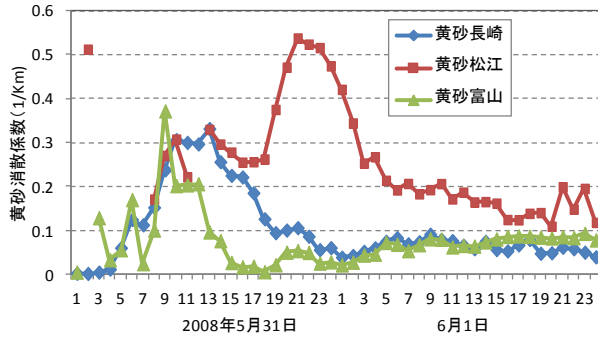


図 5-2-3-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

図 5-2-3-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

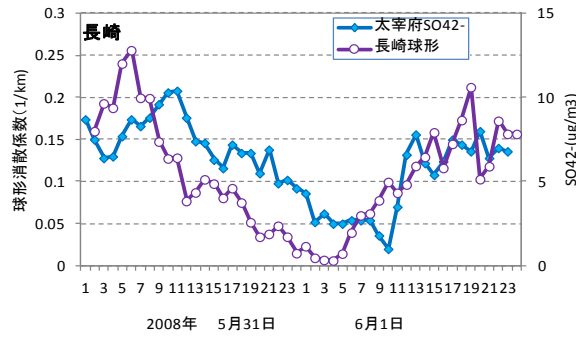


図 5-2-3-8 ライダー球形消散係数と SO₄²⁻の経時変化

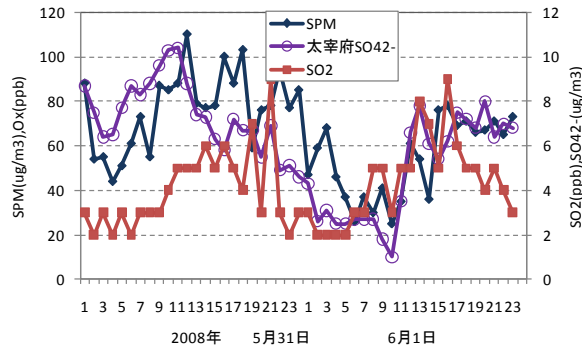


図 5-2-3-9 硫酸イオン等の経時変化

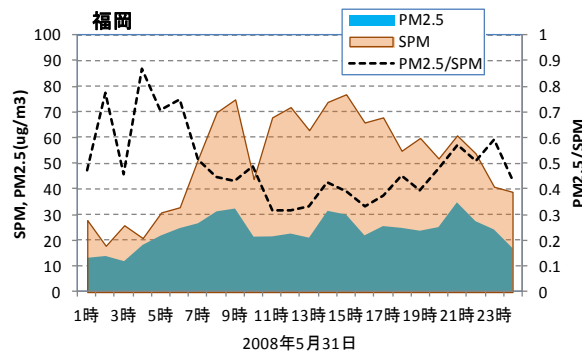


図 5-2-3-10 PM_{2.5}・SPM 濃度と PM_{2.5}/SPM 比の経時変化

(4) 平成 21 (2009) 年 2 月 11 日～13 日

黄砂の観測は、11日に13地点、12日に19地点で、九州・中国・関西まで広範囲にわたっている。SPMの全国分布は、11日から13日にかけて西日本を中心に50～150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の濃度で広がっていた。11日、12日の両日、福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、11日に移動性高気圧が日本全土を覆う一方で、中国大陸で発生した低気圧が12日には前線を伴い日本へ南下するとともに、日本南岸に新たな前線を形成している。後方流跡線によると11日には中国の沿岸部からの気塊であるが、12日から13日にはモンゴルからの気塊に変化していた。11日にモンゴル北部で砂塵嵐の発生が観測されている。CFORSでのdustの予測では、低濃度帯が12日に日本を通過することを示している。

硫酸イオン濃度は、20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度が11日の昼から13日の昼にかけて長期間続き、特に11日の夕方には、40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるピークが観測された。CFORSのsulfateの予測でも11日に西日本全体を覆っている様子がみられる。この事例は、硫酸塩エアロゾルの濃度が非常に高いのが特徴である。

表 5-2-4-1 気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
		松江	鳥取	広島	神戸	和歌	大分	熊本	鹿児島	宮崎	松山			
2009/2/11	13	松江	鳥取	広島	神戸	和歌	大分	熊本	鹿児島	宮崎	松山	37.1	10	371
2009/2/12	19	高松	高知	徳島								58.7	18	1057
		津	松江	鳥取	下関	広島	岡山	神戸	和歌山	山口	福岡			
2009/2/13	5	佐賀	大分	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島		48.4	5	242

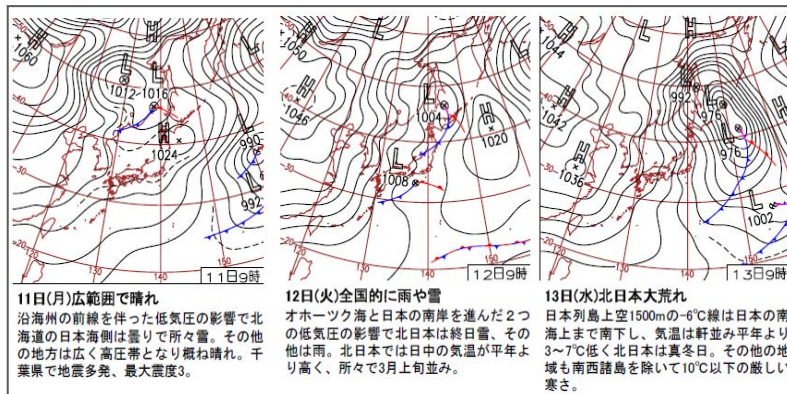


図 5-2-4-1 天気図

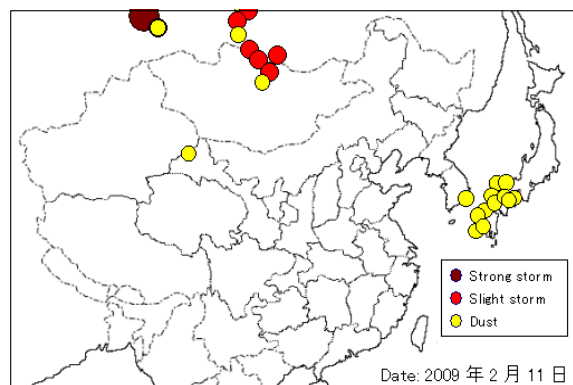


図 5-2-4-2 砂塵嵐発生状況

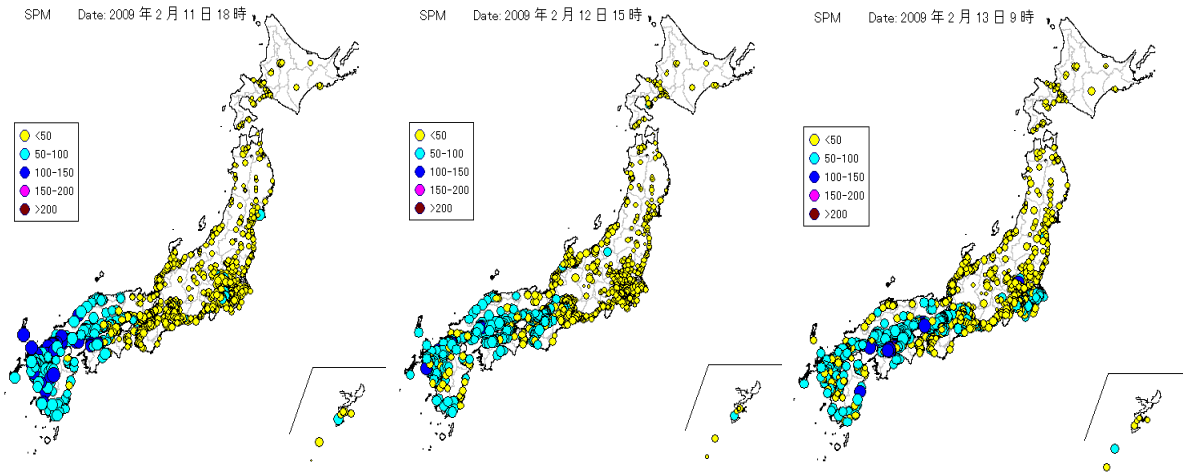


図 5-2-4-3 SPM 濃度全国分布

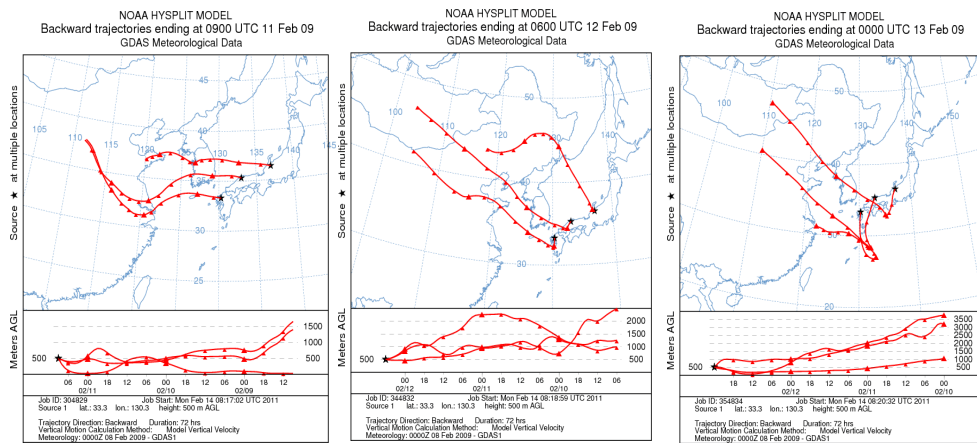


図 5-2-4-4 後方流跡線

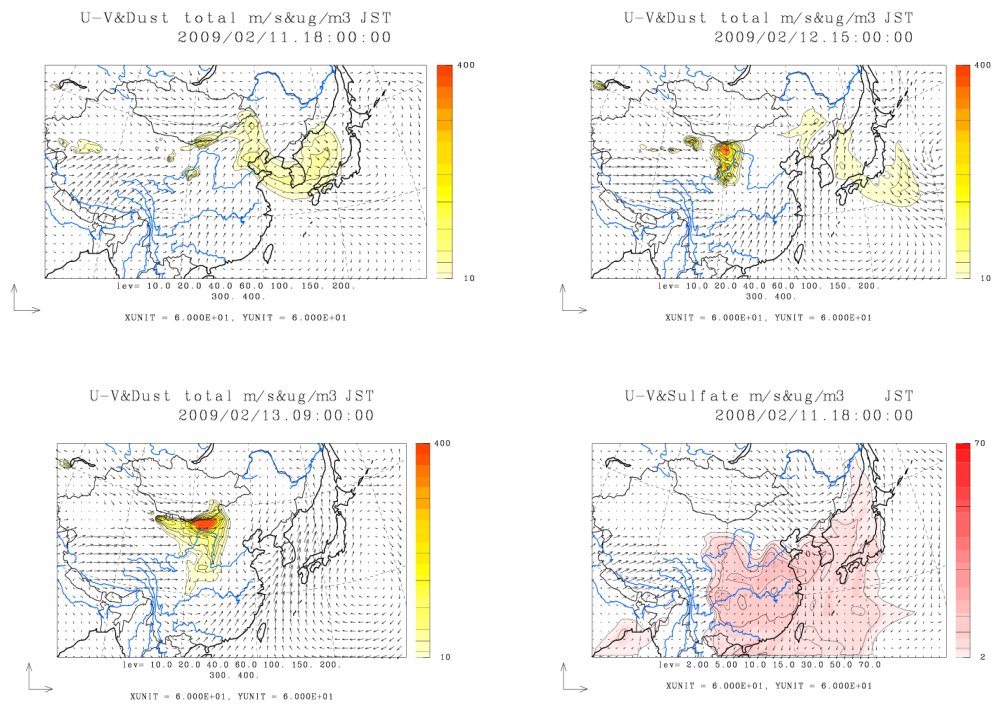


図 5-2-4-5 CFORS(dust・sulfate)予測結果

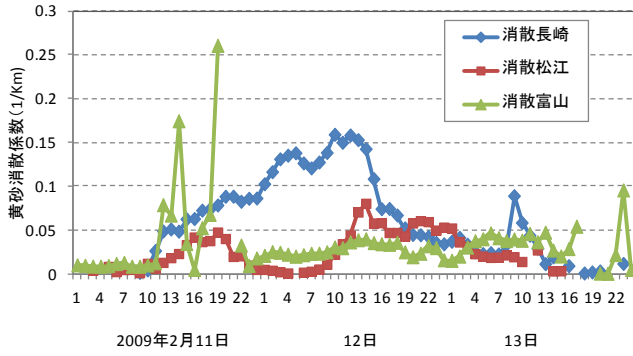


図 5-2-4-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

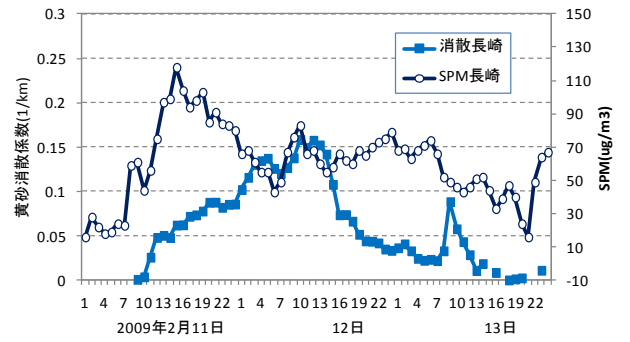


図 5-2-4-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

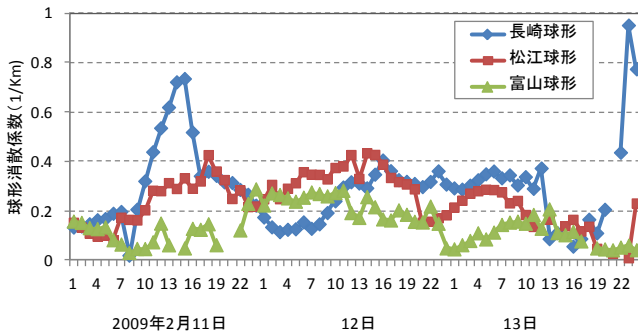


図 5-2-4-8 ライダー球形消散係数の経時変化

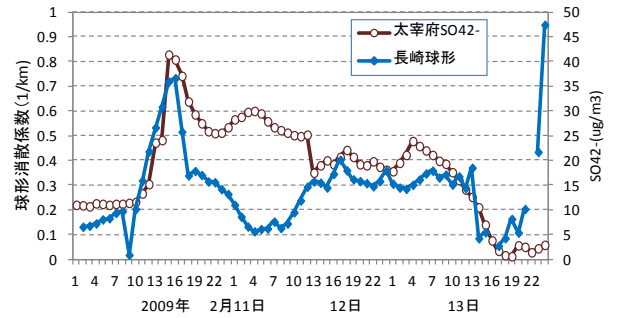


図 5-2-4-9 球形消散係数とSO₄²⁻の経時変化

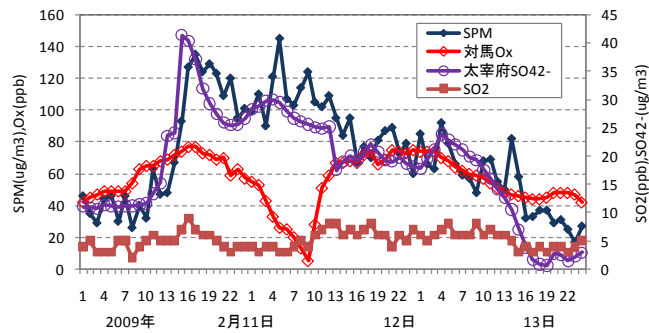


図 5-2-4-10 硫酸イオン等の経時変化

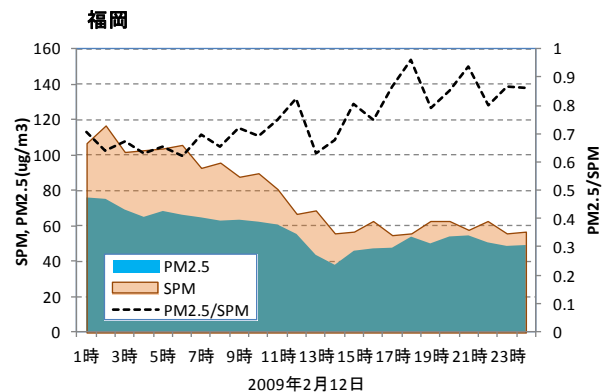
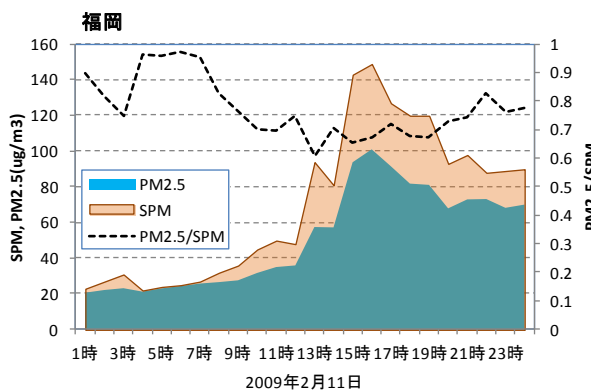


図 5-2-4-11 PM_{2.5}・SPM 濃度とPM_{2.5}/SPM 比の経時変化

(5) 平成 21 (2009) 年 2 月 15 日

黄砂は、北陸、山陰で観測されているが、SPM 濃度の顕著な上昇はみられない。後方流跡線においては、タクラマカン砂漠方向からの気塊を示すものの、大きな砂塵嵐の発生は観測されていない。規模、濃度ともに小さな黄砂の飛来とみられる。

表 5-2-5-1 気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点	SPM平均	県数	積算
2009/2/15	3	福井 松江 鳥取	18.2	3	55

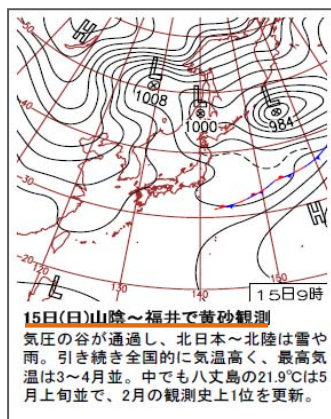


図 5-2-5-1 天気図

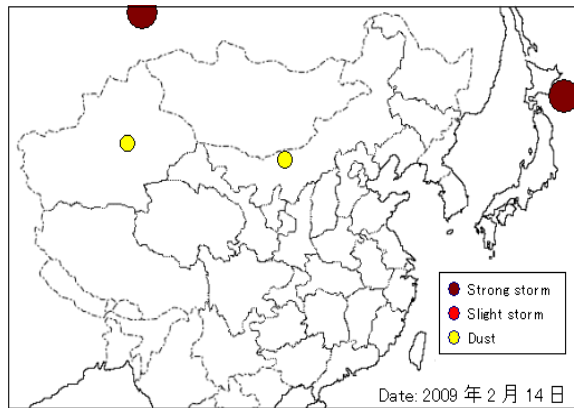


図 5-2-5-2 砂塵嵐発生状況

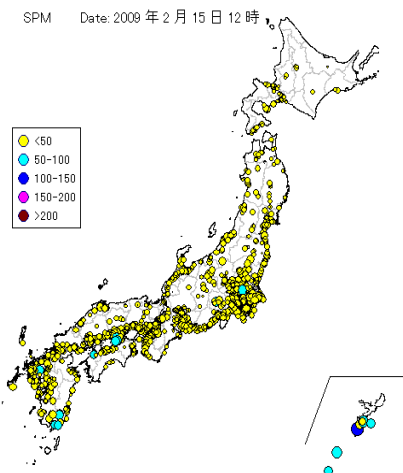


図 5-2-5-3 SPM 濃度全国分布

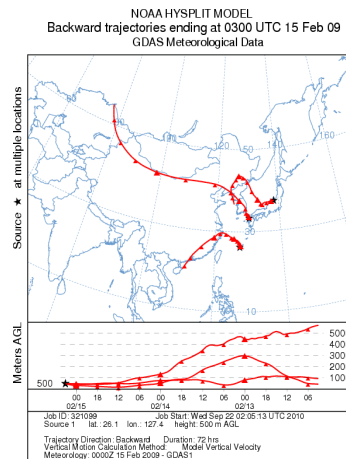


図 5-2-5-4 後方流跡線

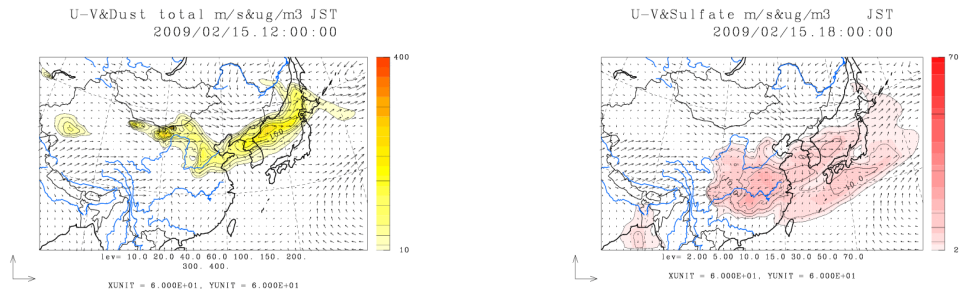


図 5-2-5-5 CFORS(dust・sulfate)予測結果

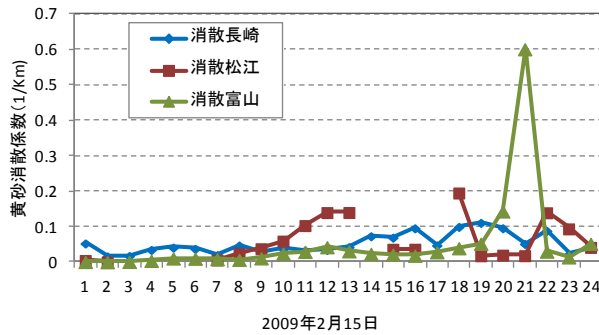


図 5-2-5-6 ライダー-黄砂消散係数の経時変化

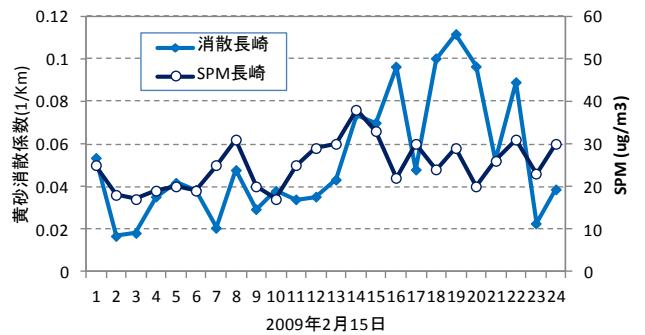


図 5-2-5-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

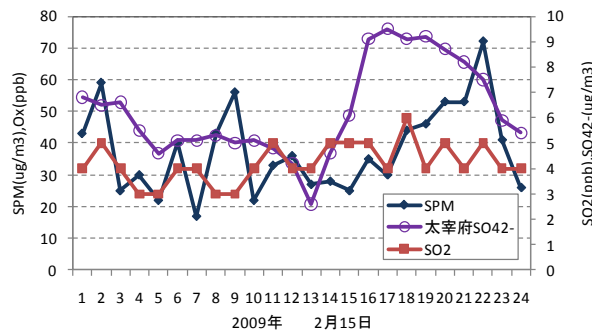


図 5-2-5-8 硫酸イオン等の経時変化

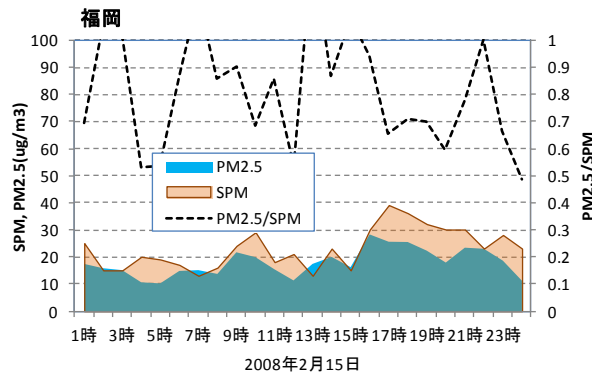


図 5-2-5-9 PM_{2.5}・SPM 濃度と PM_{2.5}/SPM 比の経時変化

(6) 平成 21 (2009) 年 2 月 20 日～22 日

黄砂は、20 日に 11 地点、21 日には 23 地点で、九州・中国・関西・関東までと広く観測されており、SPM 濃度もそれらの地域で $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるエリアがみられる。

気圧配置は、中国大陸で発達した低気圧が、20 日に前線を伴い日本へ南下後、21 日に日本東方で活発な低気圧が新たに発達し、日本南岸へ向けた長い前線が形成されている。20 日は、後方流跡線が中国の沿岸部からの気塊を示し、21 日からは中国内陸部以北からとなっている。硫酸イオン濃度は最高で $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と高く、ライダーの球形消散係数も硫酸イオンと同時に上昇するなど硫酸塩エアロゾルの影響も示している。21 から 22 日においては後方流跡線が中国大陸内陸部の砂漠地帯からの流れを示すとともに、長崎のライダー黄砂消散係数と SPM の濃度が同時に上昇するなど黄砂の影響がみられた。

硫酸イオンの上昇から、まず硫酸塩エアロゾルが九州に飛来し、その後、黄砂が飛来した事例と考えられる。

表 5-2-6-1 気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
2009/2/20	11	松江	鳥取	下関	広島	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	26.5	10	265
2009/2/21	23	福井	東京	松江	鳥取	舞鶴	下関	広島	岡山	神戸	大阪	33.4	20	668
		奈良	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	松山	高松			
2009/2/22	1	大阪	徳島	那覇								32.9	1	33

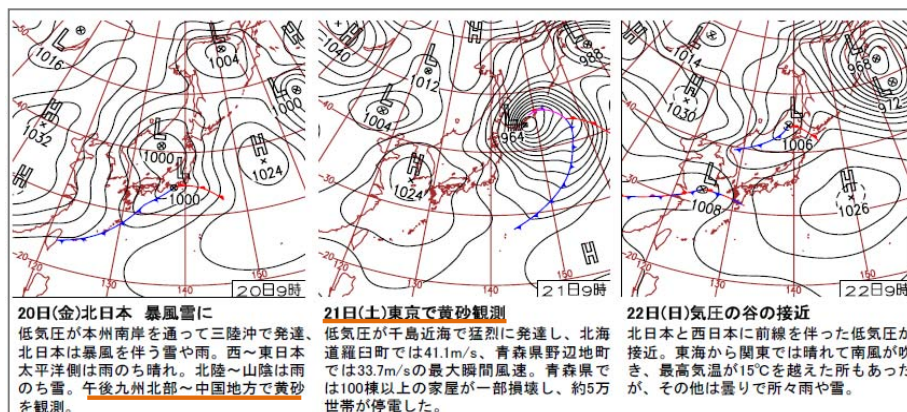


図 5-2-6-1 天気図

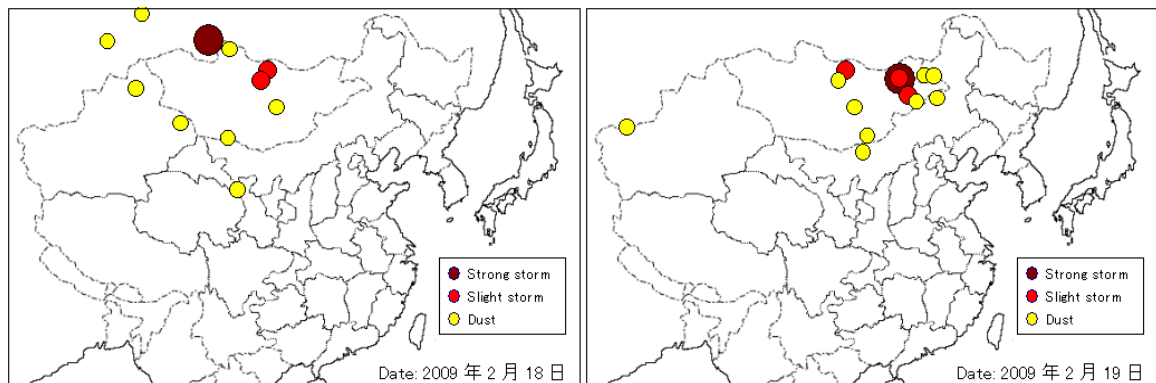


図 5-2-6-2 砂塵嵐発生状況

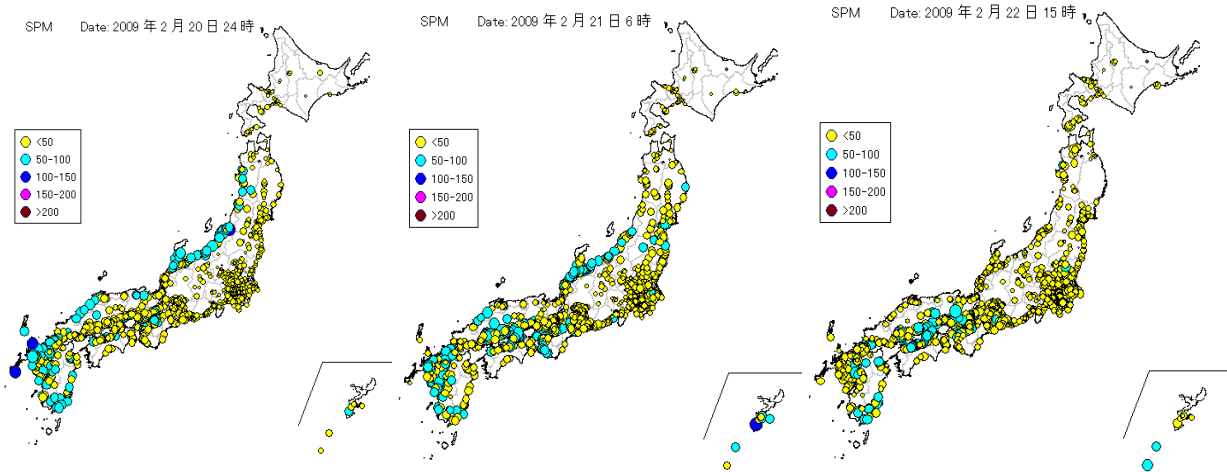


図 5-2-6-3 SPM 濃度全国分布

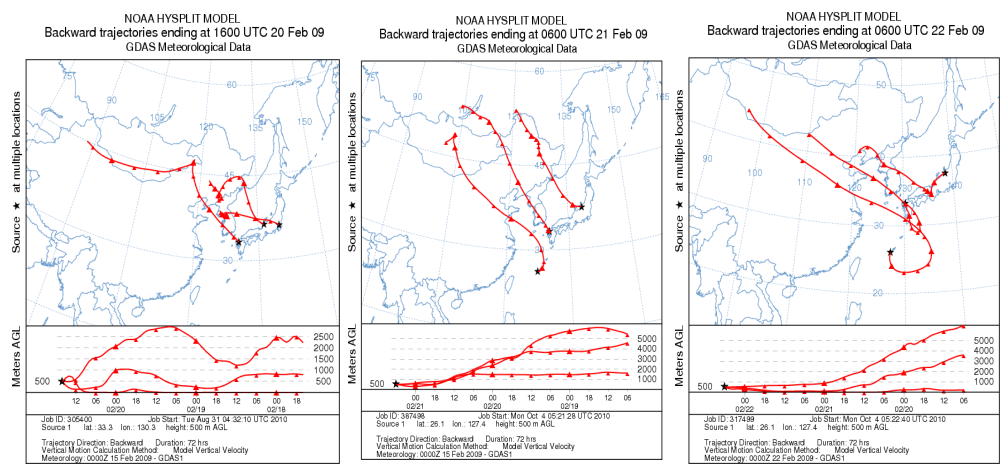


図 5-2-6-4 後方流跡線

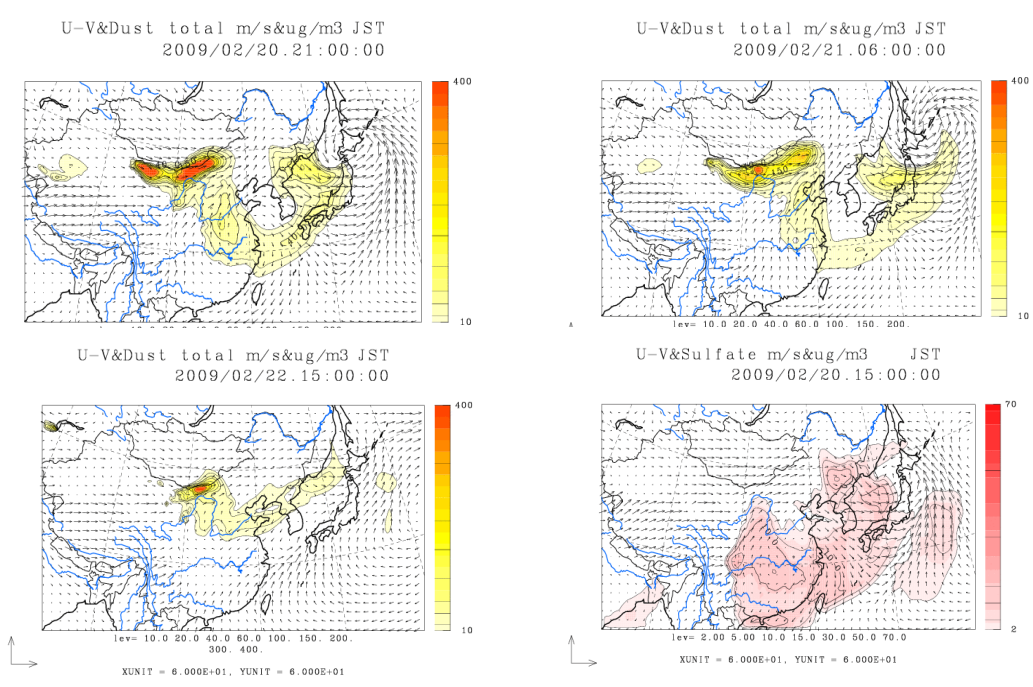


図 5-2-6-5 CFORS(dust・sulfate)予測結果

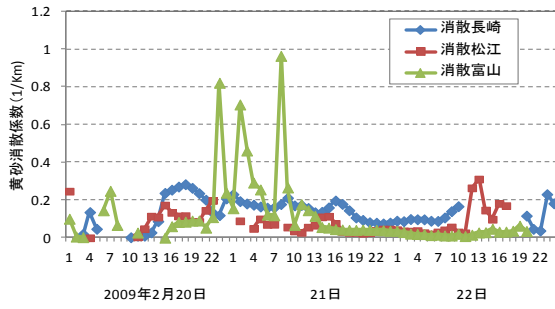


図 5-2-6-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

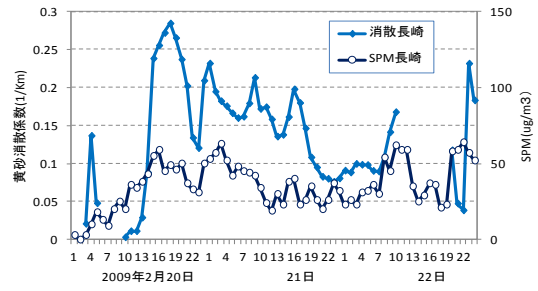


図 5-2-6-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

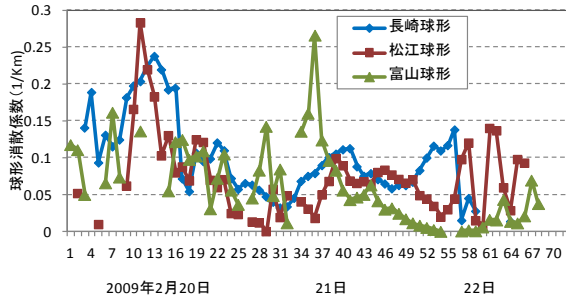


図 5-2-6-8 ライダー球形消散係数の経時変化

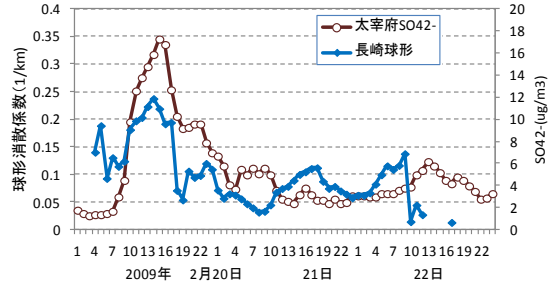


図 5-2-6-9 球形消散係数とSO₄²⁻の経時変化

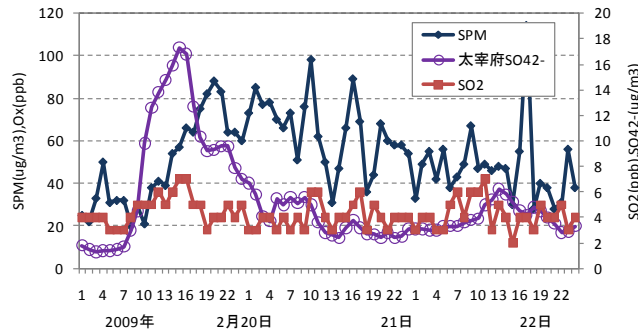


図 5-2-6-10 硫酸イオン等の経時変化

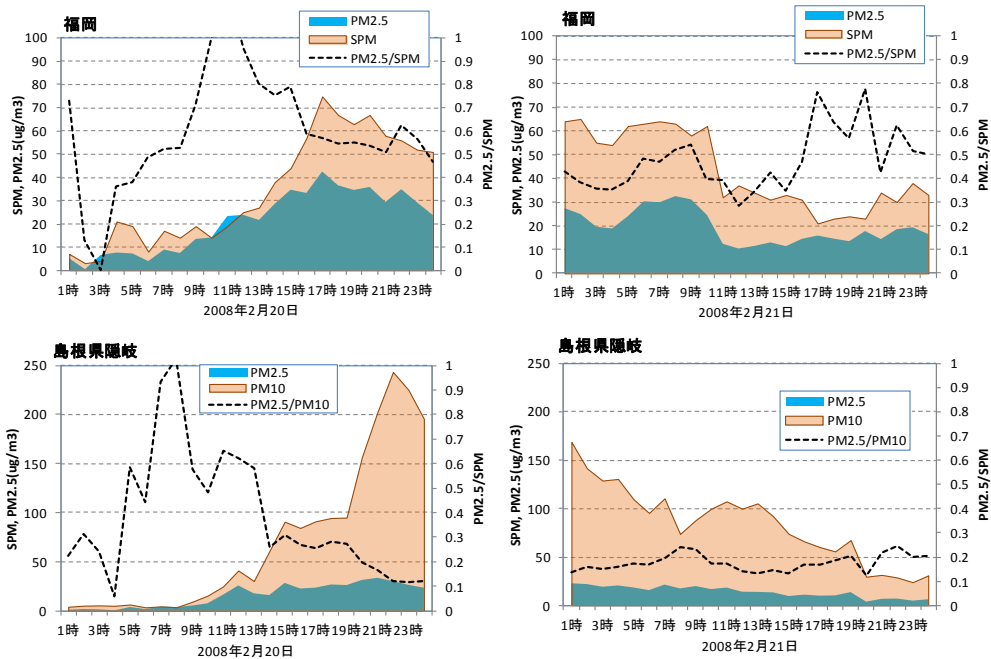


図 5-2-6-11 PM_{2.5}・SPM 濃度とPM_{2.5}/SPM 比の経時変化

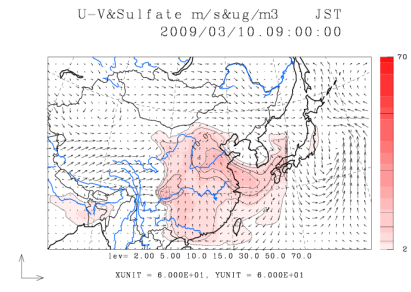
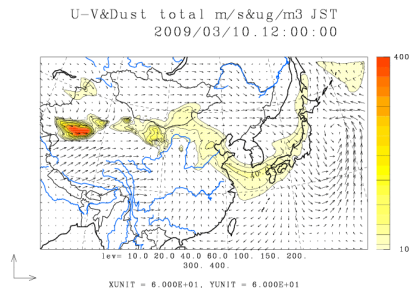


図 5-2-7-5 CFORS(dust・sulfate)予測結果

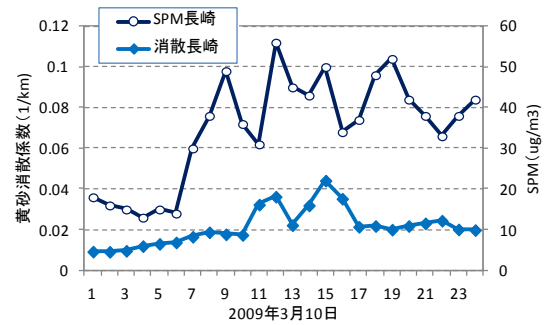
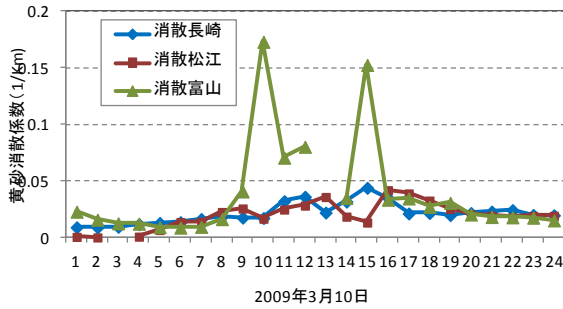


図 5-2-7-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

図 5-2-7-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

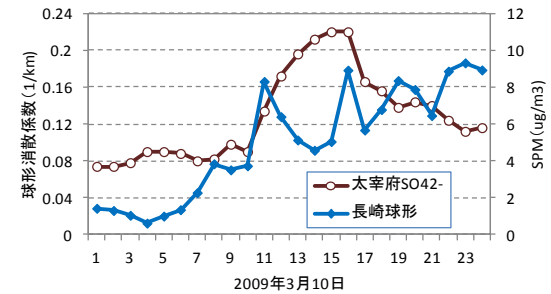
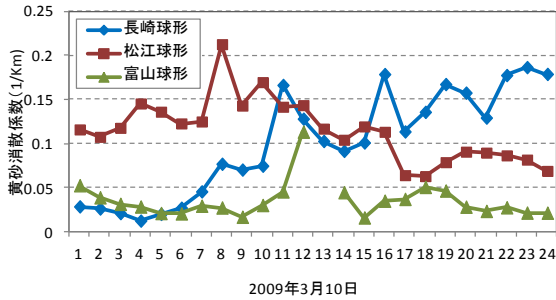


図 5-2-7-8 ライダー球形消散係数の経時変化

図 5-2-7-9 球形消散係数とSO₄²⁻の経時変化

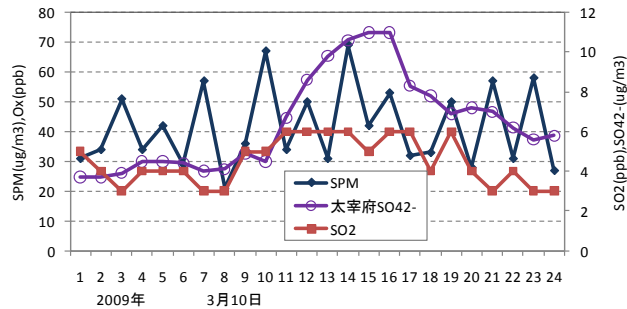


図 5-2-7-10 硫酸イオン等の経時変化

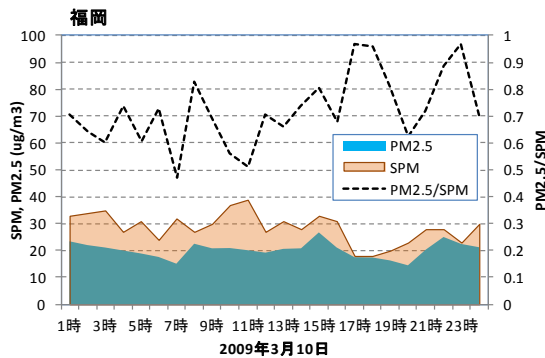


図 5-2-7-11 PM_{2.5}・SPM 濃度とPM_{2.5}/SPM 比の経時変化

(8) 平成 21 (2009) 年 3 月 16~19 日

黄砂は、16 日に 27 地点、17~18 日には 40 地点以上と広範囲に観測されており、高濃度の SPM 濃度も中国・関西・北陸・関東と広い範囲でみられている。

気圧配置は黄砂時によく見られる日本南岸に前線が存在するようなものではなく、大陸からの移動性高気圧が日本の南を通過するパターンになっている。また、後方流跡線も黄砂特有の中国内部からの直線的な経路ではなく、中国沿岸部からに近い。しかし、CFORSでは黄砂の日本への移流を示しており、ライダーの消散係数でも松江へ比較的大規模な黄砂の飛来と、富山、長崎への弱い黄砂を示している。黄砂は3日間広い範囲で継続されており、大規模な黄砂の飛来と考えられる。一方、 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であるが硫酸イオン濃度が上昇していること、 SO_2 が全国的にやや高めであること、CFORSの硫酸イオンで日本への流れが予測されていること、後方流跡線が気塊の中国沿岸部の通過を示すなど、硫酸塩エアロゾルとの同時飛来も否定できない。成分濃度調査では、粉じん濃度の上昇と伴にA1の上昇があり、また硫酸イオン濃度も $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 近くまでになっている。また、この時期中国 (Wulatezhongqi)で14日12時に PM_{10} が $3087 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、韓国 (Sokcho)で16日15時に $539 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示している。ソウルでは17日がHazeと黄砂、18日は黄砂のみと解析されている^{iv}。

表 5-2-8-1 気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
2009/3/16	27	輪島	金沢	富山	福井	岐阜	名古屋	津	御前崎	静岡	松江	29.8	20	596
		鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山			
		奈良	山口	大分	松山	高松	高知	徳島						
2009/3/17	46	若松	盛岡	輪島	新潟	金沢	富山	宇都宮	福井	前橋	熊谷	46.8	40	1872
		水戸	岐阜	名古屋	甲府	つくば	銚子	津	御前崎	静岡	東京			
		横浜	千葉	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山			
		神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本			
		鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島							
2009/3/18	41	若松	山形	仙台	輪島	新潟	金沢	富山	長野	宇都宮	福井	42.1	36	1516
		熊谷	水戸	岐阜	名古屋	甲府	つくば	津	御前崎	静岡	東京			
		横浜	千葉	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山			
		神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	鹿兒島	宮崎	高松					
		徳島												
2009/3/19	4	若松	仙台	つくば	御前崎						37.6	4	150	

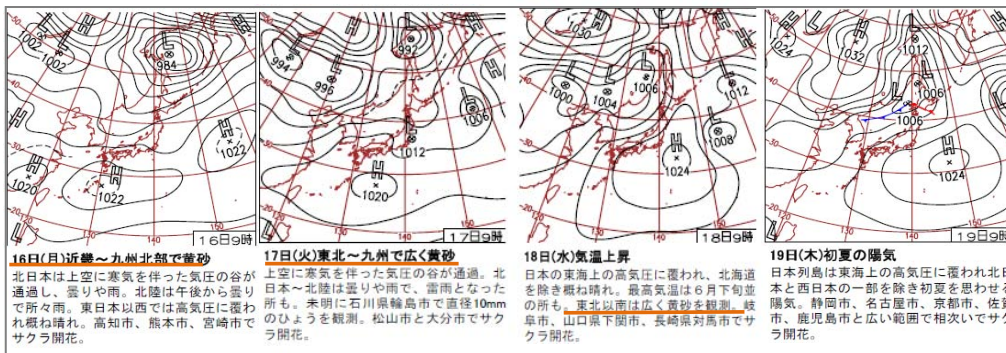


図 5-2-8-1 天気図

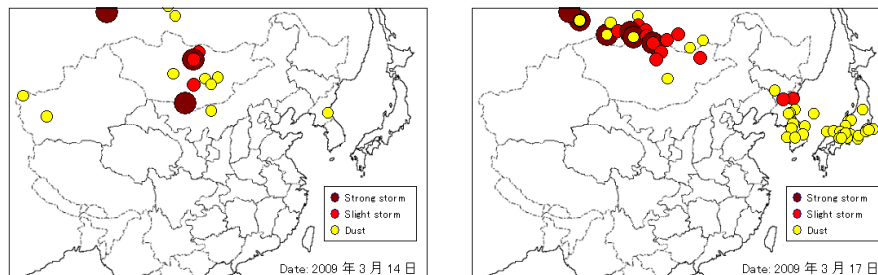


図 5-2-8-2 砂塵嵐発生状況

^{iv} 第 4 回日中韓黄砂共同研究ワーキンググループ I 会合 (2011.11: 北京) 資料より

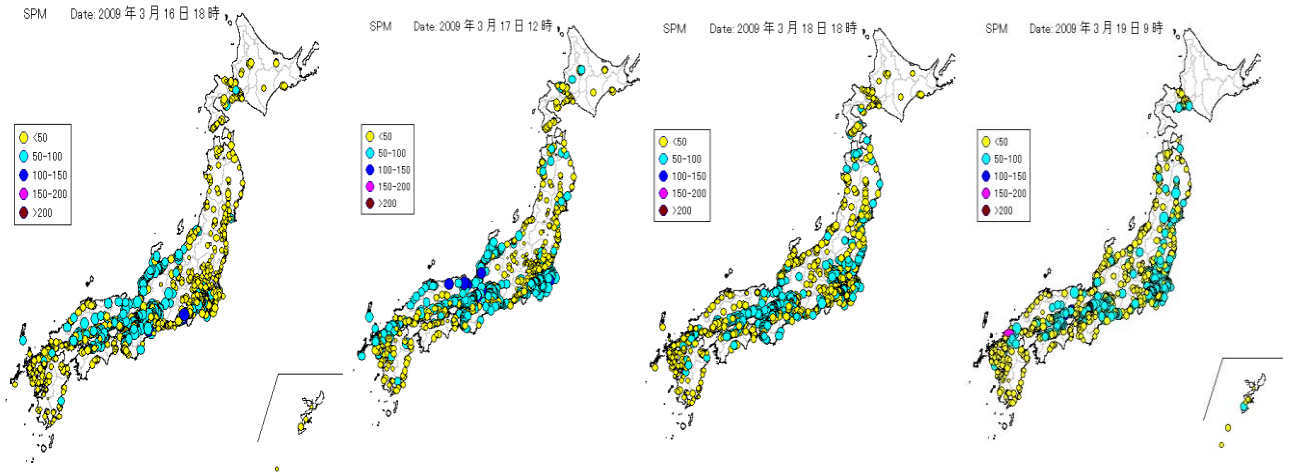


図 5-2-8-3 SPM 濃度全国分布

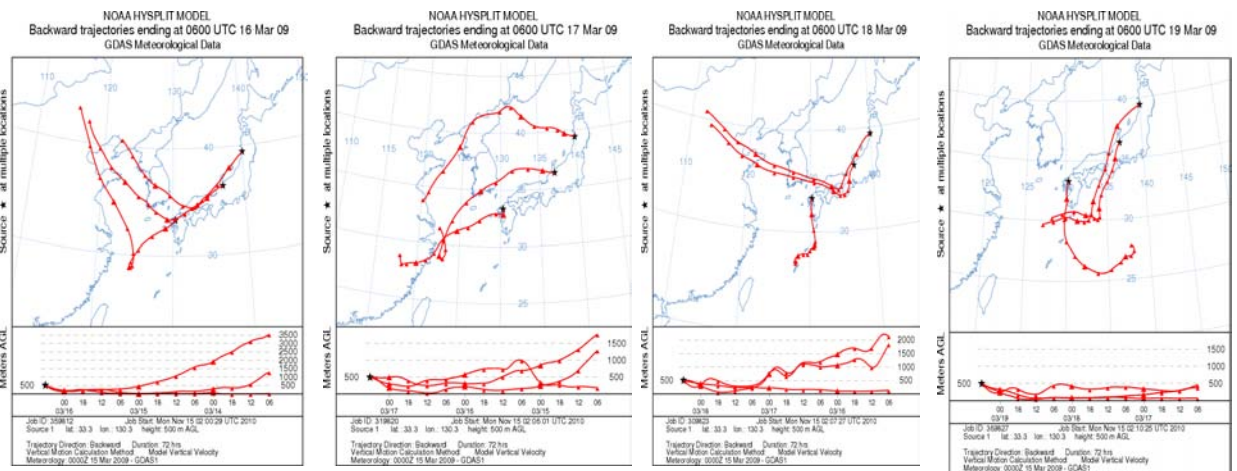


図 5-2-8-4 後方流跡線

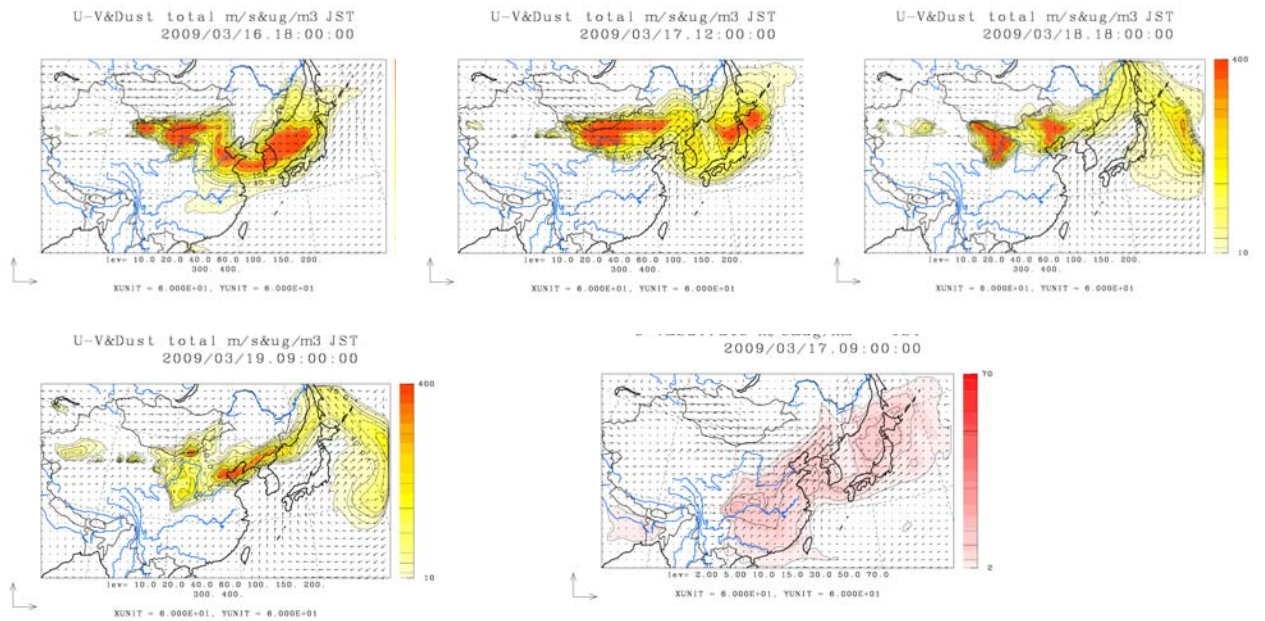


図 5-2-8-5 CFORS(dust+sulfate)予測結果

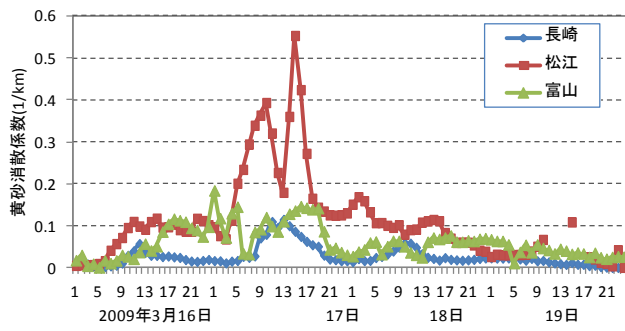


図5-2-8-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

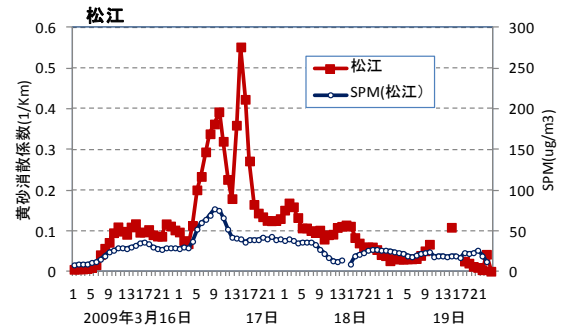


図5-2-8-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

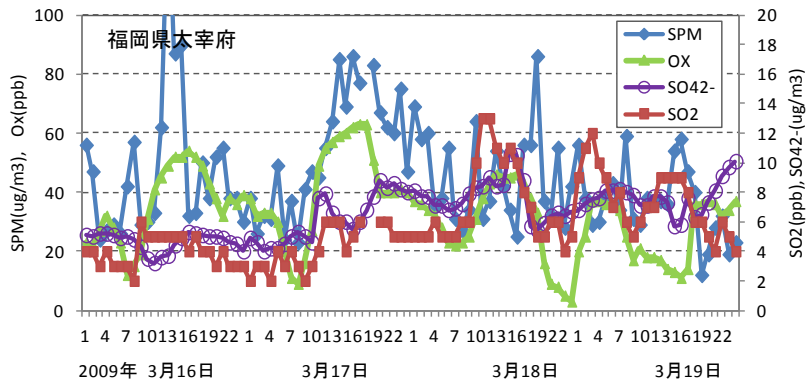


図5-2-8-8 硫酸イオン等の経時変化

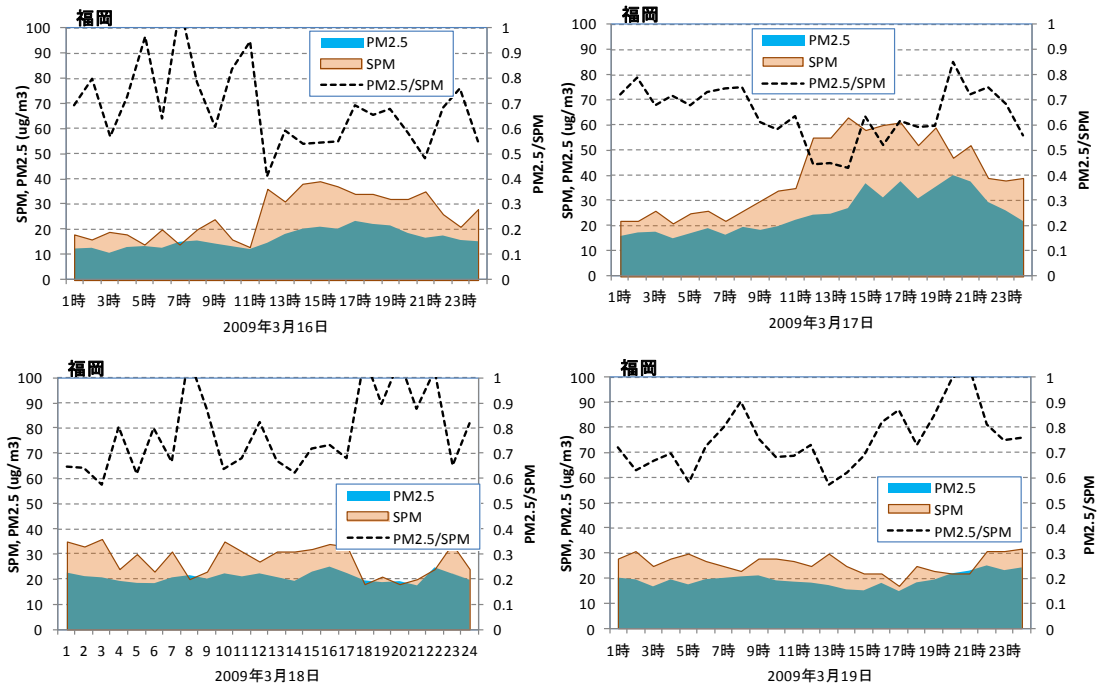


図5-2-9-9 PM_{2.5}・SPM濃度とPM_{2.5}/SPM比の経時変化