

図 5-3-8-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

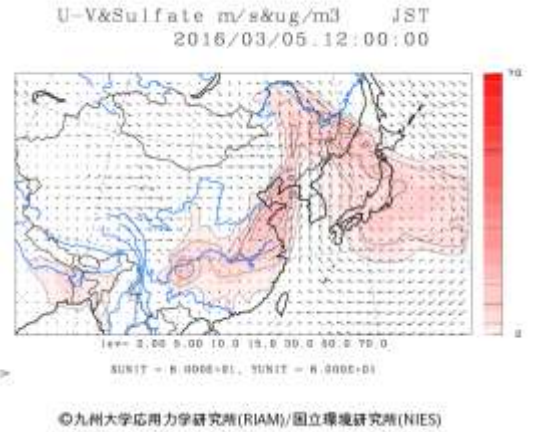


図 5-3-8-6 CFORS 予測結果

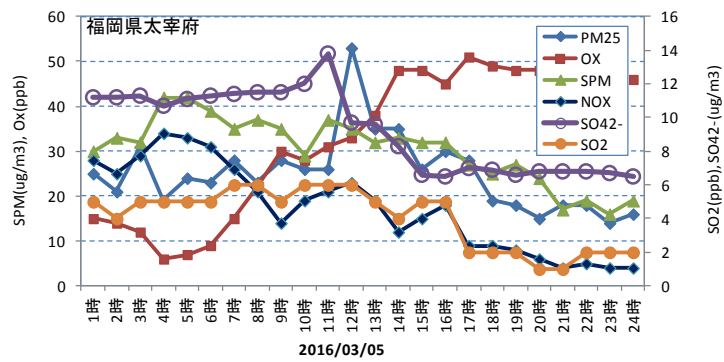


図 5-3-8-7 硫酸イオン濃度

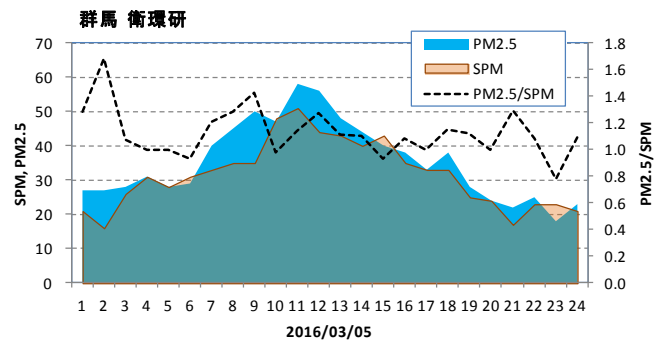


図 5-3-8-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

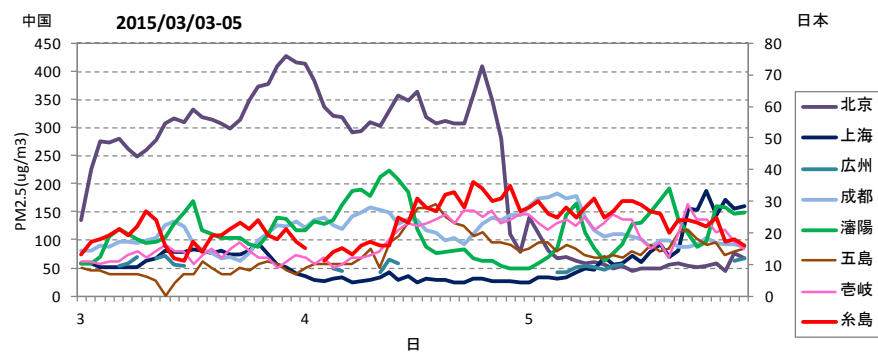


図 5-3-8-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

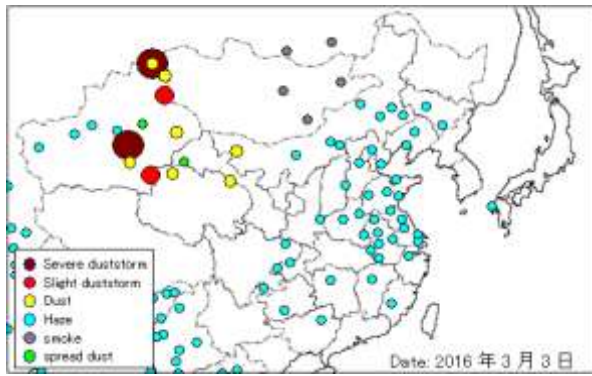


図 5-3-8-10 砂塵嵐発生状況

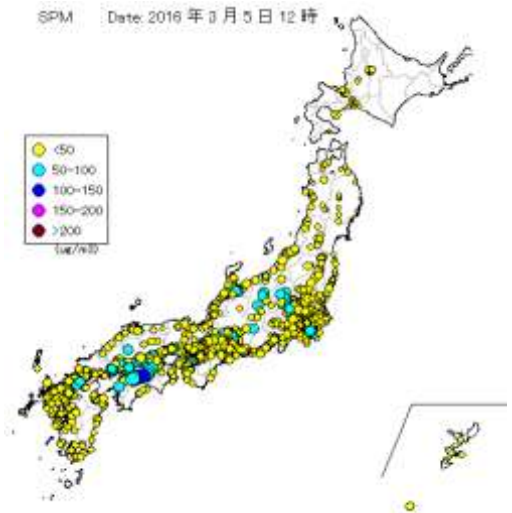


図 5-3-8-11 SPM 濃度全国分布

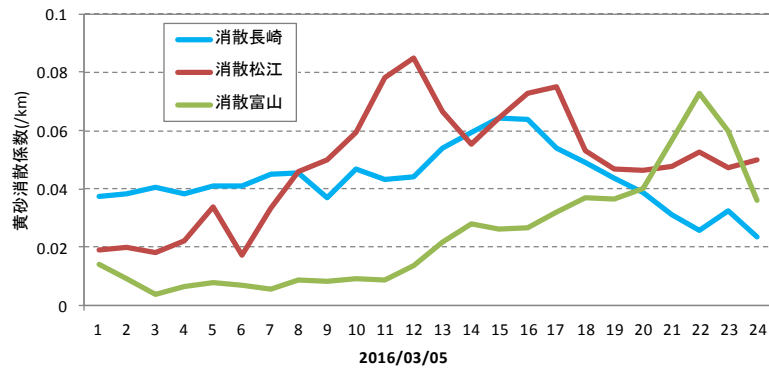


図 5-3-8-12 ライダー黄砂消散係数の経時変化

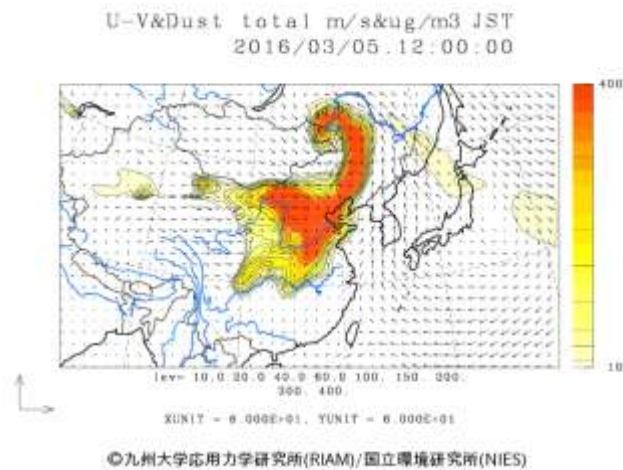


図 5-3-8-13 CFORS (dust) の予測結果

(9) 煙霧事例 09 (2016年3月8日)

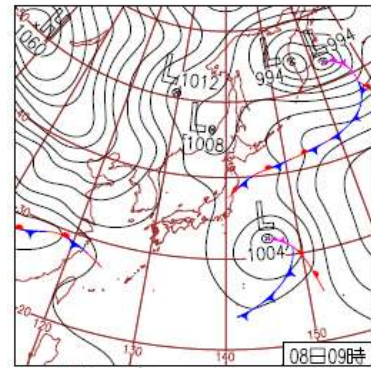
煙霧観測は西日本が主であり、7日には中国全域でHazeが観測されている。PM_{2.5}高濃度は九州・四国であり、CFORSはsulfateの飛来を予測している。後方流跡線は全国で中国沿岸部からの流れを示している。煙霧の観測された福岡での硫酸イオン濃度は12~14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度と高い。長崎、松江、富山のライダー黄砂消散係数が0.07以上であり黄砂の飛来を示した。特に長崎の黄砂消散係数値が高く、北陸・山陰よりも九州域の黄砂濃度が高い傾向が見られる。また、この日北海道では黄砂が来たのではないかとの報告がある²⁷⁾。黄砂飛来の状況を探るために、図5-3-9-10、-11、-12、-13に、ライダー消散係数、SPM濃度全国分布、札幌での後方流跡線図、CFORS(dust)予測結果をまとめた。これらのデータから、九州から北海道まで日本海側には黄砂の飛来があったことと、瀬戸内海沿岸部および関東の煙霧現象とは異なるものと思われる。

表 5-3-9-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2016	3	8	13	熊谷 長崎	東京 熊本	金沢 大分	大阪	岡山	徳島	高松	松山	福岡	佐賀



図 5-3-9-1 黄砂・煙霧観測地点



8日(火)気温高い

サハラ付近で低気圧が発達し、北海道で暴風雪。広尾で最大瞬間風速25.4m/s。全国的に気温高く4~5月並。太平洋側の広い範囲で濃霧となり交通に影響。長野市でウメ開花。

図 5-3-9-2 天気図

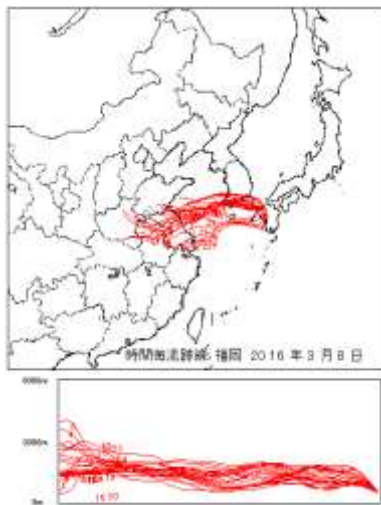


図 5-3-9-3 後方流跡線

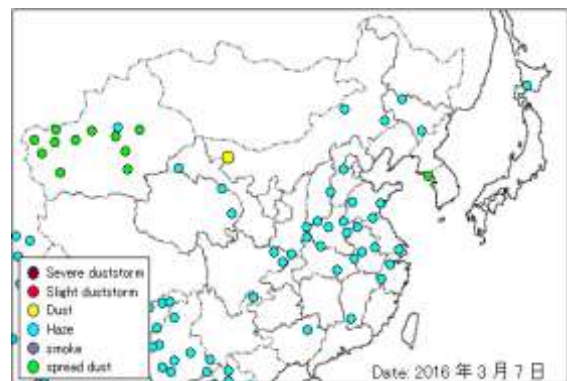


図 5-3-9-4 Hazeの観測状況

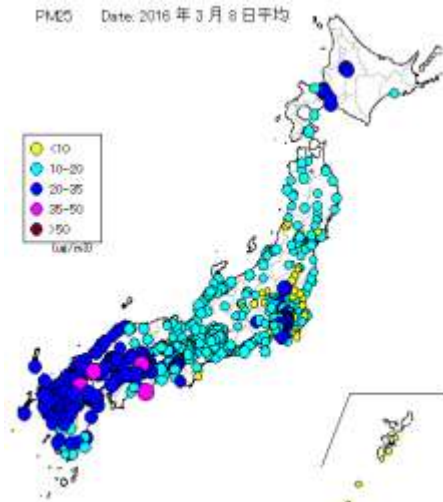


図 5-3-9-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

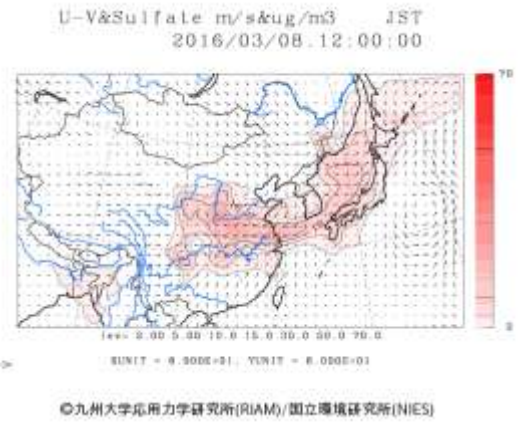


図 5-3-9-6 CFORS 予測結果

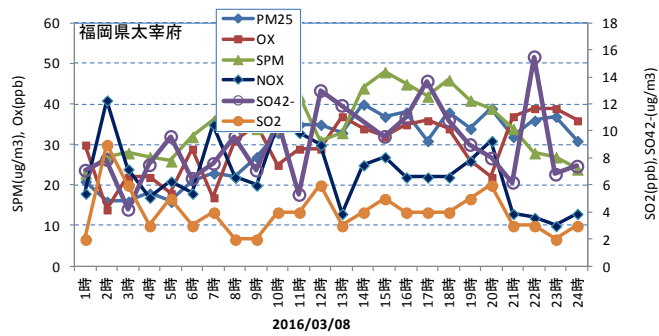


図 5-3-9-7 硫酸イオン濃度

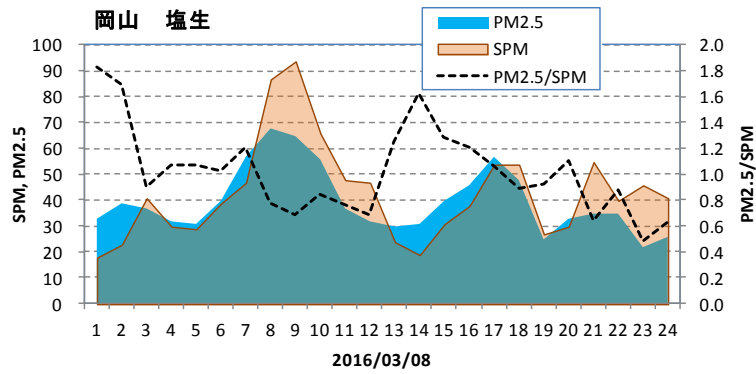


図 5-3-9-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

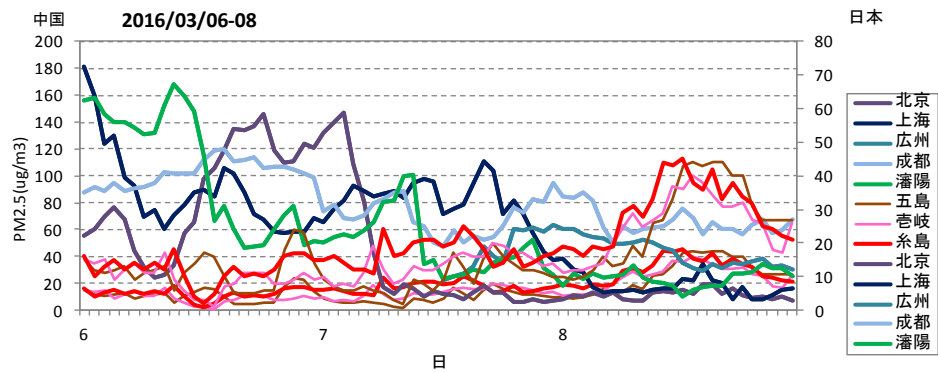


図 5-3-9-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

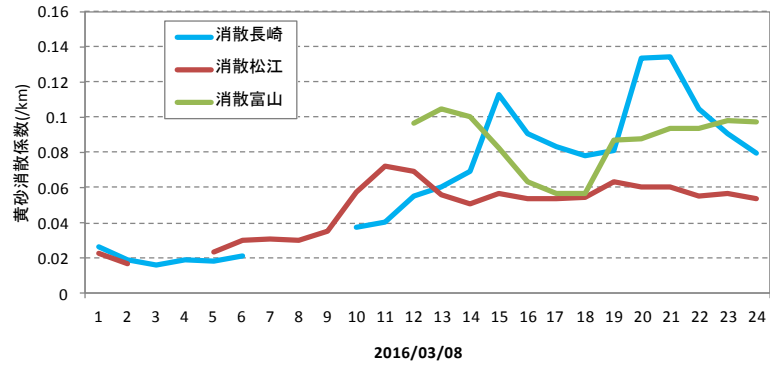


図 5-3-9-10 ライダー黄砂消散係数の経時変化

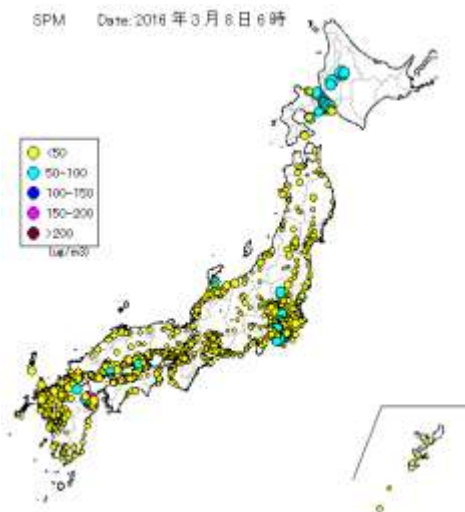


図 5-3-9-11 SPM 濃度の全国分布

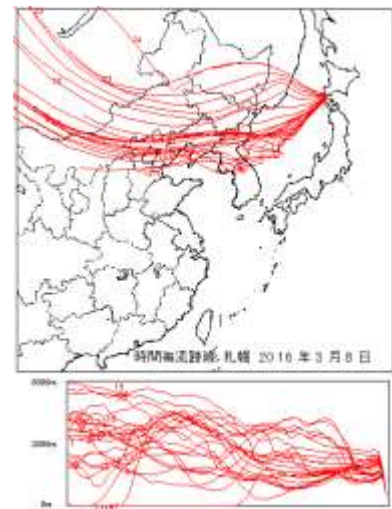


図 5-3-9-12 札幌での後方流跡線

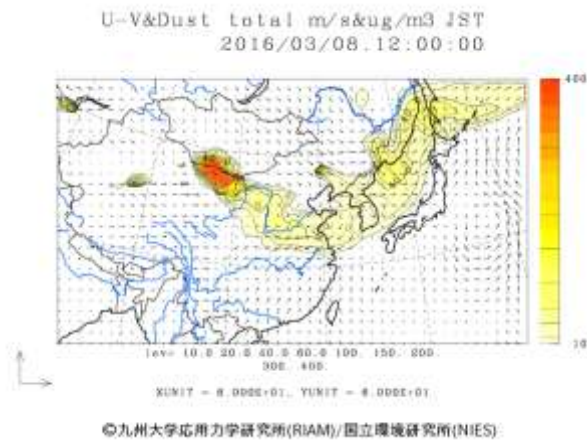


図 5-3-9-13 CFORS (dust) の予測結果

6. ライダー消散係数と SPM 濃度

6.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出

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^{28,29,30)}について、平成 27（2015）年度データを検討した。

使用データ

使用したデータは、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（長崎、松江、富山）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。期間は、平成 27（2015）年度の 1 年間である。

気象台黄砂日における黄砂消散係数と SPM 濃度の関係

黄砂によって SPM 濃度が上昇した場合、ライダーにおける黄砂消散係数と SPM 濃度には、相関関係の存在が予想される。そこで、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、地点別に表 6-1-1 に示している。

- ① 1 日のデータが 12 時間以上揃っていること
- 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が 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 $0.05/\text{km}$ 以上であること

1 年間で抽出されたのは、表 6-1-1 に示す長崎 6 日、松江 2 日、富山 1 日である。

表 6-1-1 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

単位) SPM : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、消散係数 : km^{-1}

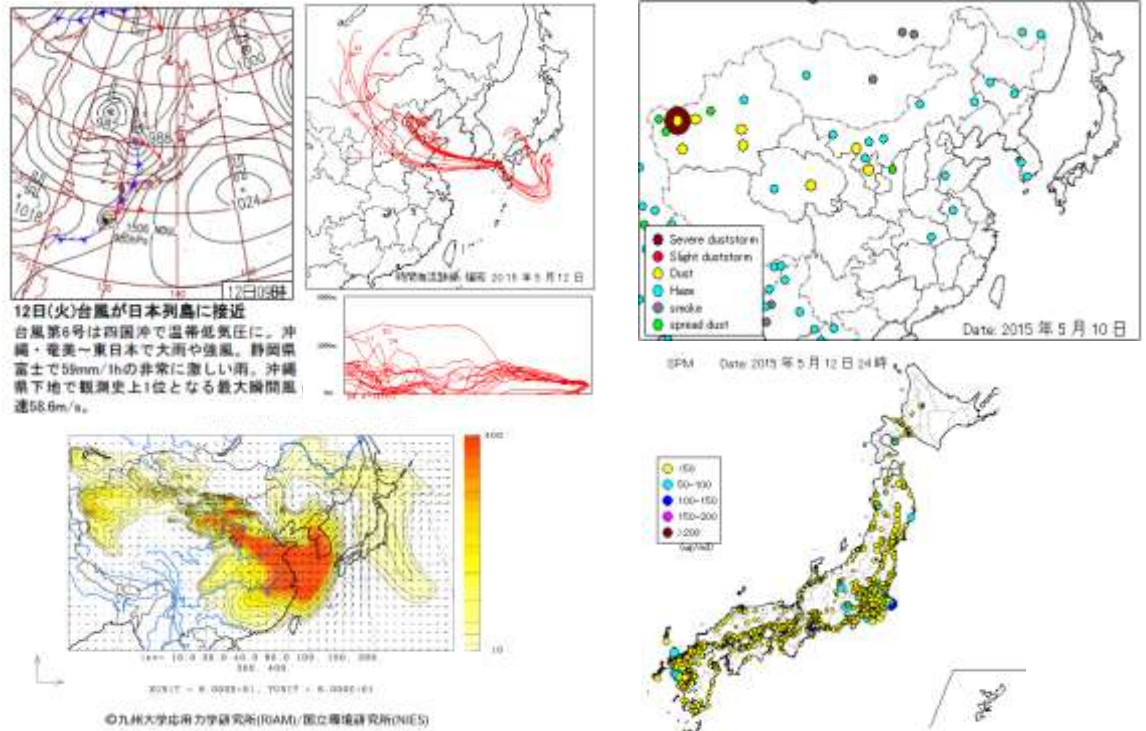
年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	5	12	長崎	18	0.082	0.034	56	25.1	0.626	394.1	11.5	●		
2015	2015	5	16	長崎	17	0.054	0.028	57	35.6	0.767	670.5	16.9	●		
2015	2015	6	13	長崎	20	0.227	0.099	77	48.9	0.917	171.5	31.9	●	○	◎
2015	2016	1	4	長崎	21	0.055	0.024	102	51.3	0.819	1728.8	9.8	●		
2015	2016	2	21	長崎	24	0.088	0.047	54	27.3	0.630	299.4	13.1	●		
2015	2016	3	8	長崎	21	0.135	0.065	78	51.0	0.894	470.0	20.3	●		
年度	年	月	日	地点	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	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	6	13	松江	24	0.139	0.093	63	45.6	0.712	258.6	21.7	●	○	◎
2015	2015	6	14	松江	24	0.078	0.034	55	29.8	0.682	470.2	14.0	●		
年度	年	月	日	地点	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	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	6	14	富山	24	0.115	0.073	65	48.7	0.621	189.0	34.9	●		

(注) 消散黄砂日：ライダーによる黄砂日 全体黄砂日：日本のいずれかの地点で気象台により観測された黄砂
地点黄砂日：当該地点で気象台により観測された黄砂

6.2 ライダーによる黄砂検出日の状況

気象台の黄砂観測日以外での黄砂の検出は、長崎でのライダーによる黄砂日 5 事例が主であることから、これらの日の状況を日毎に図 6-2-1 に示している。いずれのケースも、天気図、後方流跡線の軌跡、CFORS (dust)、砂塵嵐の発生状況などをみると、黄砂の飛来が予測される状況である。

2015年5月12日



2015年5月16日

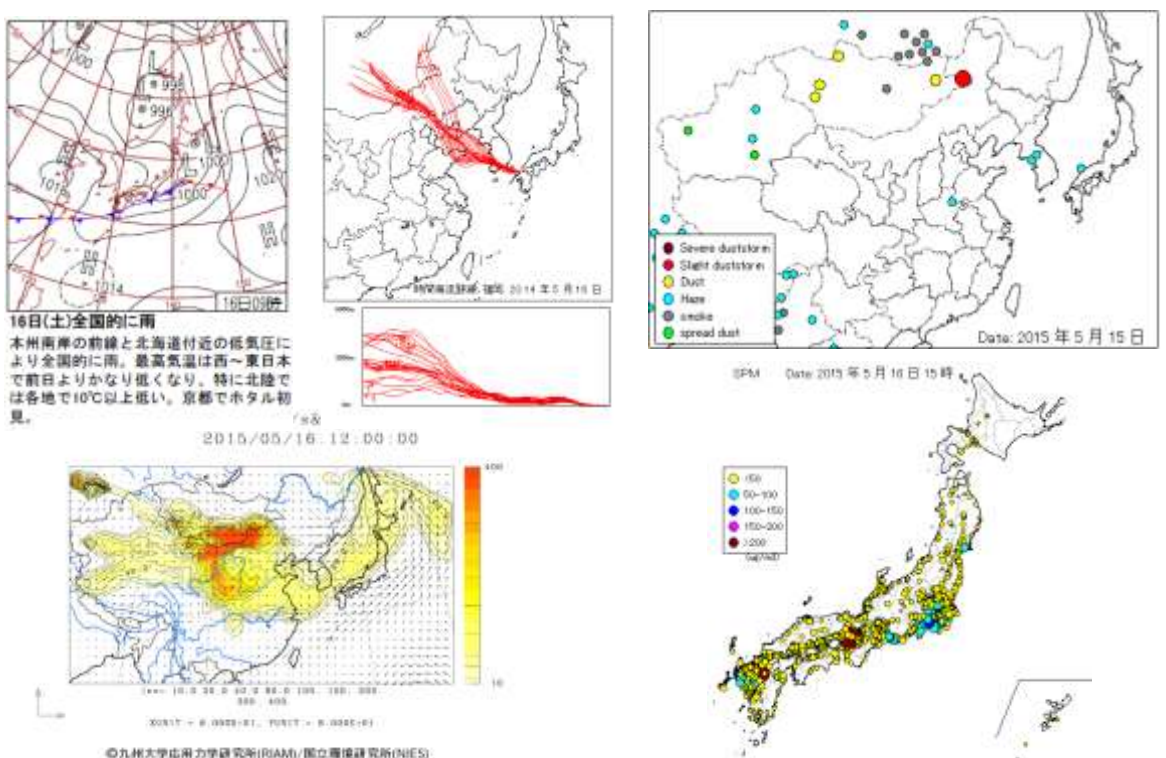
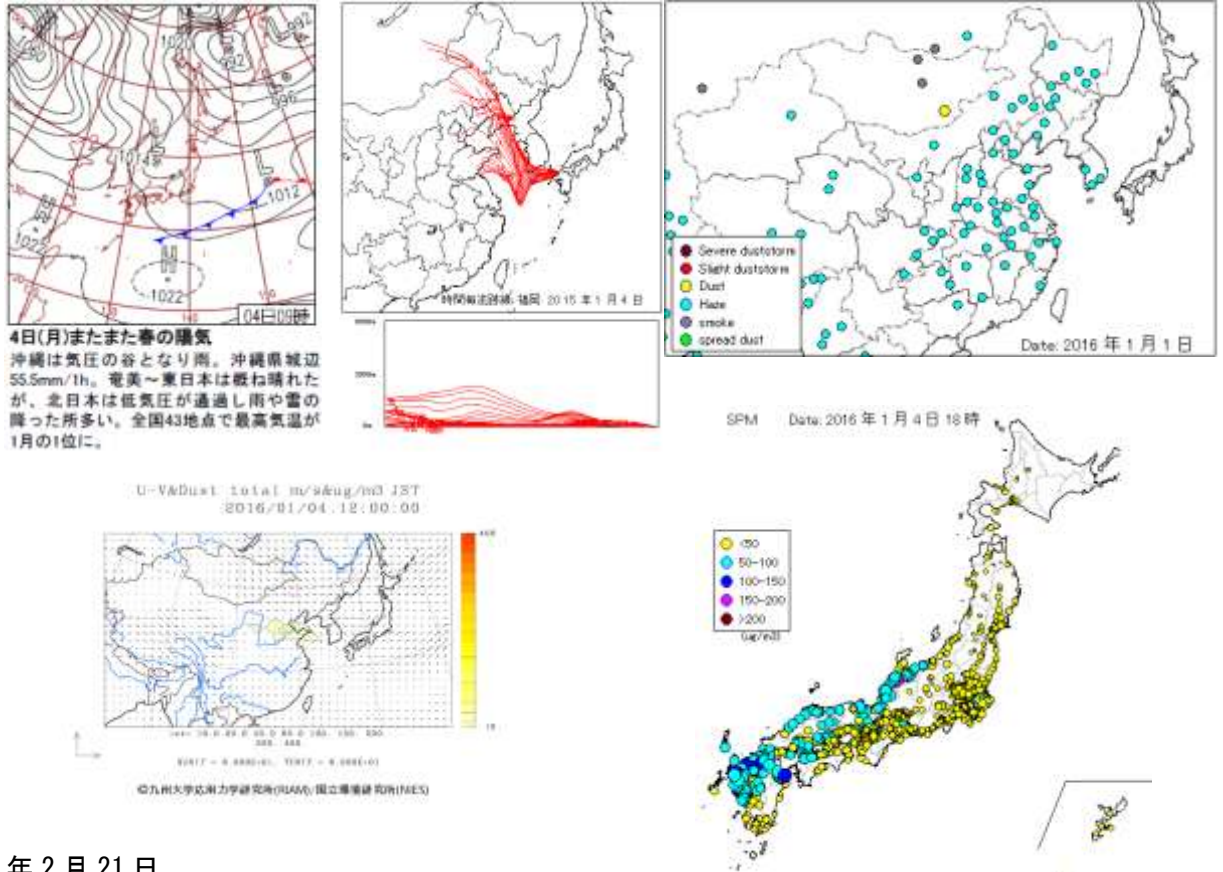


図 6-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の状況(1)

2016年1月4日



2016年2月21日

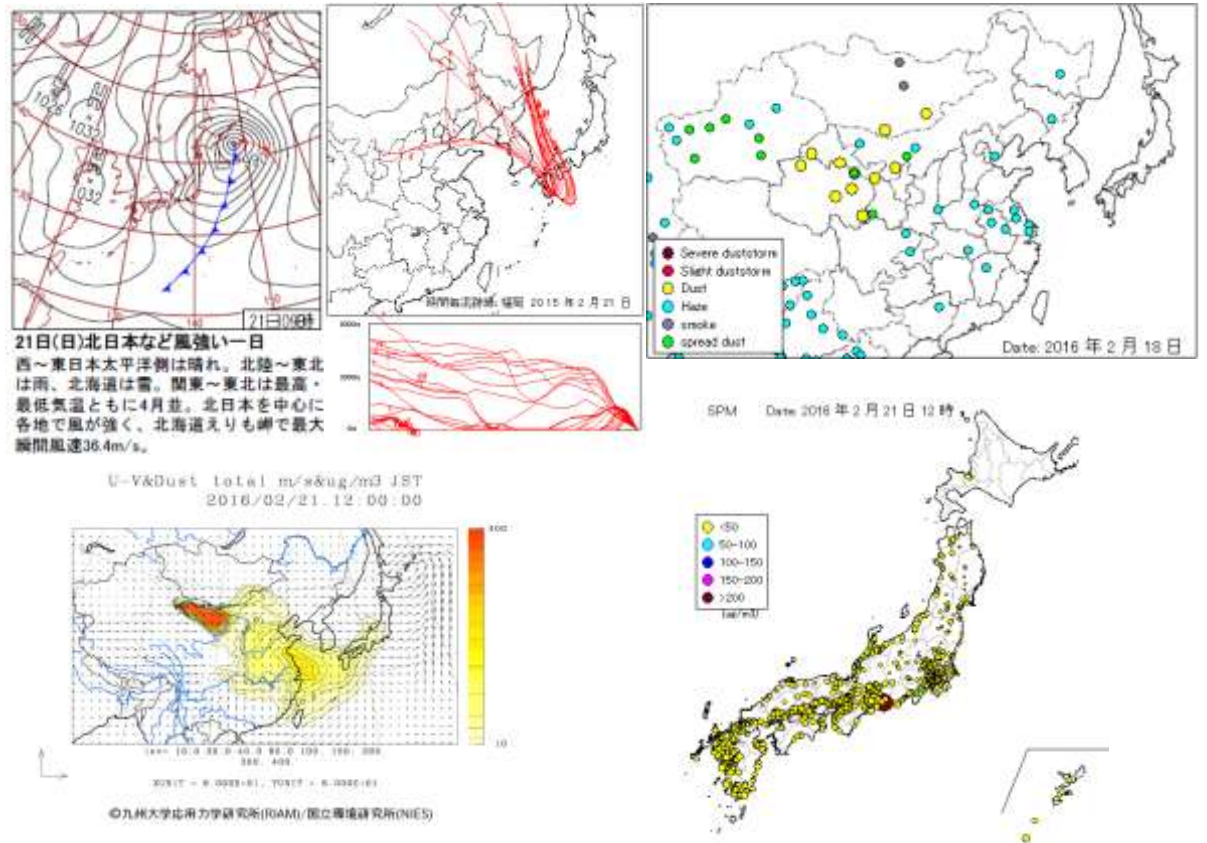


図 6-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の状況(2)

2016年3月8日

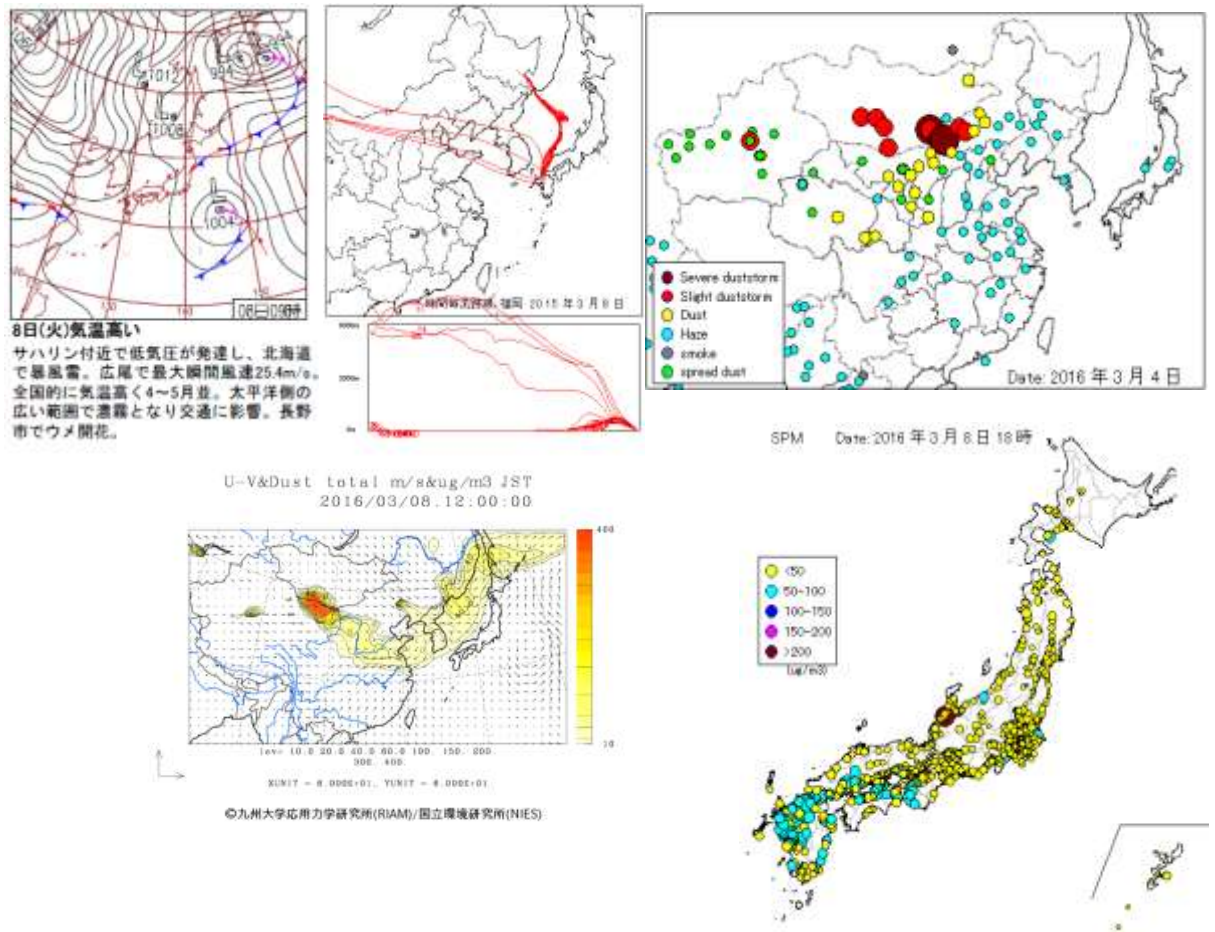


図 6-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の状況(3)

6.3 黄砂の検出条件の検討

気象台で黄砂が観測されていない状況でも、6.1に設定した条件で、黄砂の確認が可能であることが分かってきた。一方、黄砂については低濃度でも健康に影響を及ぼすとの報告も出てきていることから、検出条件のSPM濃度をさらに下げることが検討した。表6-3-1はSPM日最大値を $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上としたときの抽出日である。

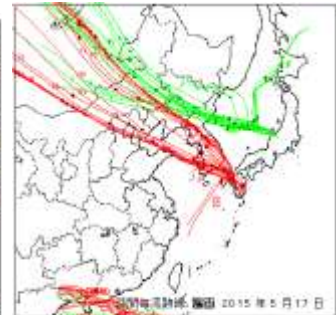
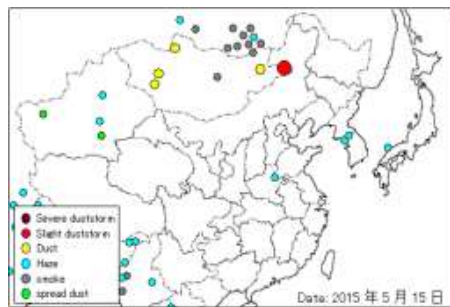
表 6-3-1 黄砂消散係数とSPM時間値による黄砂の検出 (SPM濃度 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)

単位) SPM : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、消散係数 : km^{-1}

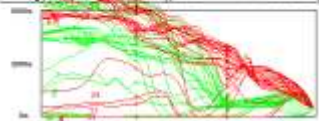
年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	5	17	長崎	24	0.0522	0.03695	43	33.917	0.6523	467.2	16.7			
2015	2016	2	24	長崎	24	0.0845	0.02783	48	21.125	0.6270	282.6	13.3			
2015	2016	2	26	長崎	19	0.062	0.03331	46	24.895	0.8201	606.6	4.7			
2015	2015	4	27	松江	24	0.077	0.04036	42	24.125	0.6171	403.3	7.8			
2015	2015	5	20	富山	21	0.0968	0.03504	40	22.286	0.6211	216.2	14.7		○	
2015	2015	10	9	富山	24	0.0711	0.04862	47	30.792	0.6846	347.2	13.9			
2015	2016	3	29	富山	24	0.1068	0.02603	45	26.083	0.7717	350.1	17.0			

検出された7日の中で、富山の5月20日は黄砂事例04で示しているように松江のみで観測された日である。それ以外も、以下に示すように、おおむね黄砂の存在が推定できる。

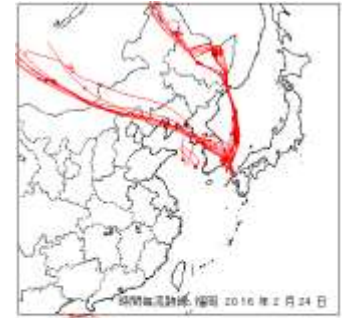
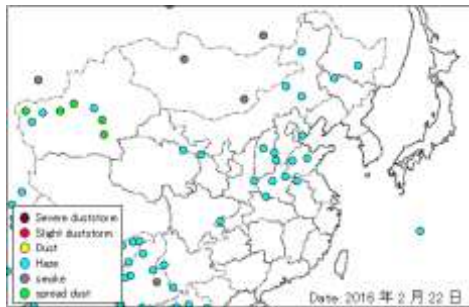
2015年5月17日長崎



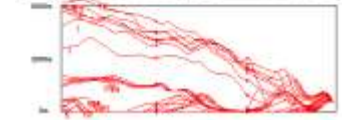
17日(日)南と北で雨
 高気圧に覆われて広く晴れ。前線の影響を受けた奄美は終日雨となったが最高気温は6月並と高め。北海道は寒気を伴った低気圧の通過時に雨となり最高気温は4月並と低め。



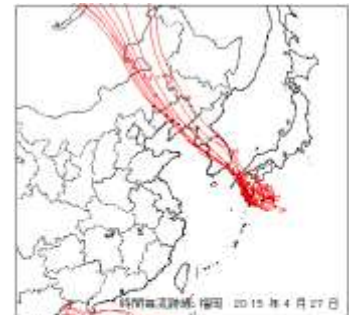
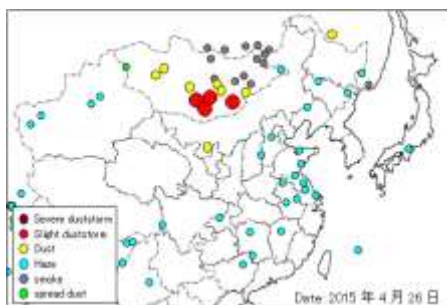
2016年2月24日長崎



24日(水)最高気温上がらず
 寒気入り山陰～北日本日本海側で雷や雨。湿った気流の影響した沖縄・奄美や北東気流の入った関東付近は曇りや雨。最高気温は全国的に平年より低く北海道は5～8℃低い。



2015年4月27日松江



27日(月)本州・北海道で真夏日
 暖かい南風の流入に日射も加わり気温上昇。全国の6割、563地点で夏日。沖縄・九州以外では今年初となる本州11地点と北海道8地点で真夏日。37地点で最高気温が4月の1位。

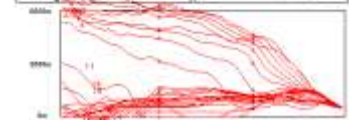
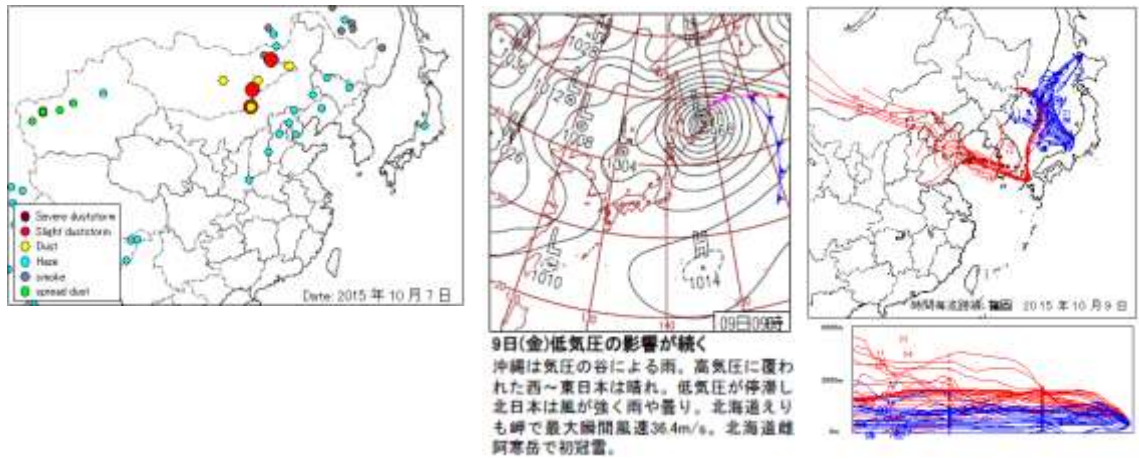


図 6-3-1 長崎と松江でのライダーによる黄砂検出時の状況

2015年10月9日富山



2016年3月29日富山

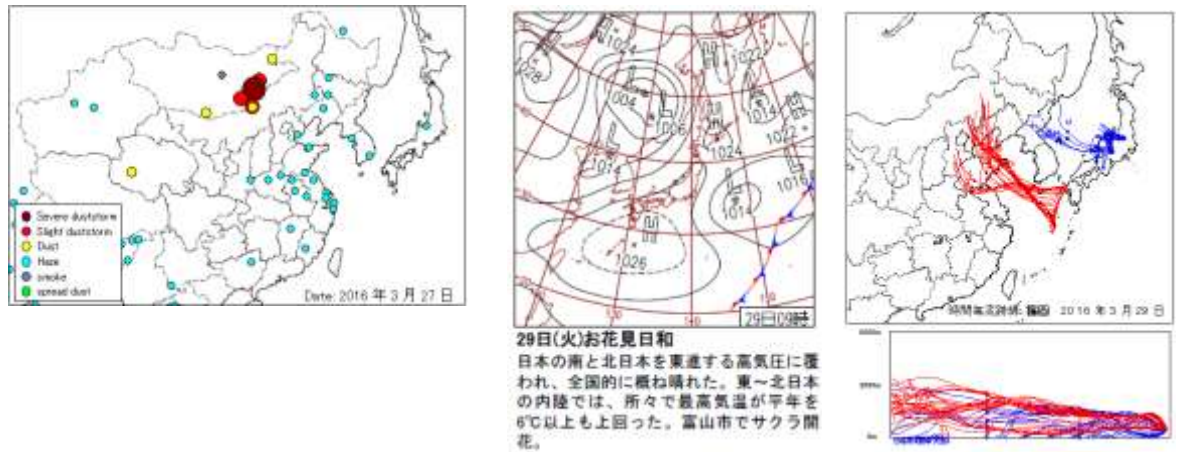


図 6-3-2 富山でのライダーによる黄砂検出時の状況

SPM濃度を $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした場合も黄砂の様子が観察できることから、さらに、その濃度を $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ と下げ抽出したものを表 6-3-2 に示した。9月16日、12月23日には黄砂との関係がみられないようであるが、それ以外は、図 6-3-3 のように黄砂の存在をうかがわせている。

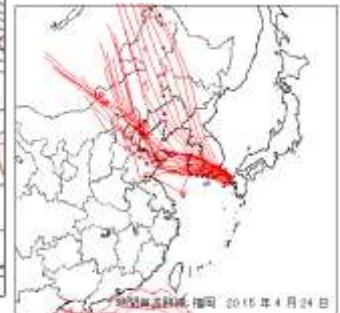
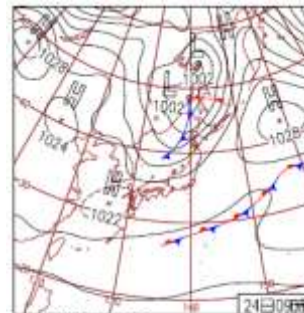
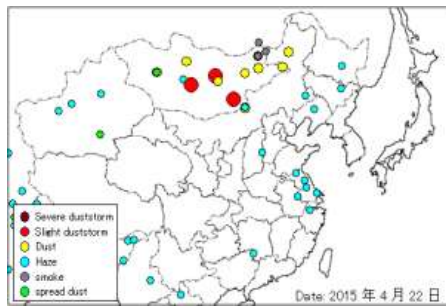
表 6-3-2 黄砂消散係数と SPM 時間値による黄砂の検出 (SPM 濃度 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)

単位) SPM : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、消散係数 : km^{-1}

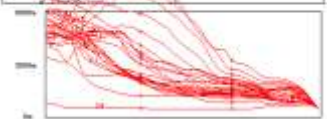
年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	4	24	長崎	24	0.0645	0.04304	39	28.417	0.8996	508.3	6.5			
2015	2015	9	16	長崎	12	0.2128	0.01928	30	18.833	0.7332	57.5	17.7			
2015	2015	10	28	長崎	24	0.0859	0.04302	39	23.708	0.7356	315.4	10.1			
2015	2015	12	23	長崎	16	0.3135	0.0526	33	21.375	0.6199	39.7	19.3			
2015	2016	2	9	松江	24	0.074	0.0276	36	17.542	0.7433	464.0	4.7			

SPM濃度が低い場合でも、最大値を $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした場合は、ほとんど黄砂の様子がうかがえ、低濃度の黄砂の検出には有効と思われる。

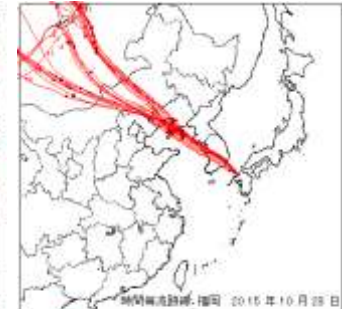
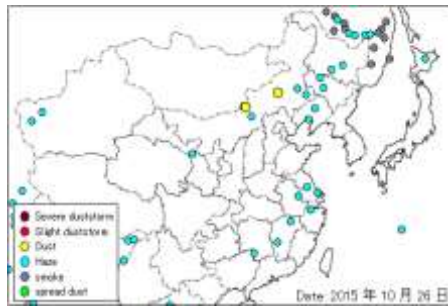
2015年4月24日長崎



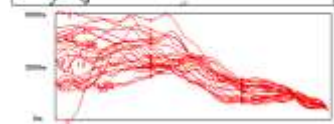
24日(金)晴天続く
 高気圧に覆われ広い範囲で晴れ。沖縄・奄美は湿った気流により所々で雨。北日本では寒冷前線に伴う雨雲が通過。全国的に気温が高く東北でも夏日。函館市でサクラ満開。



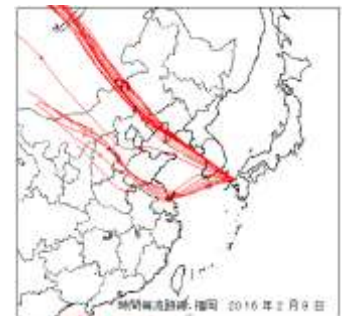
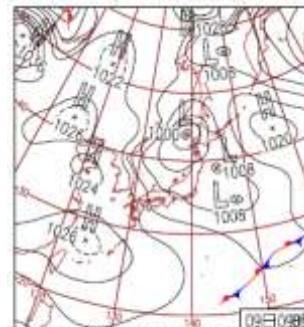
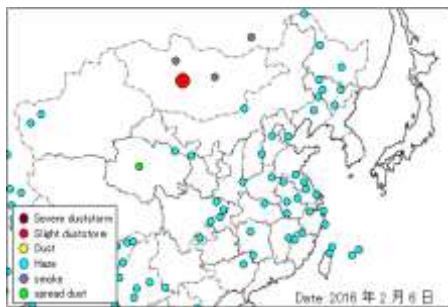
2015年10月28日長崎



28日(水)関東で夏日
 冬型の気圧配置となり、北陸～北日本の日本海側で雨。太平洋側では晴れ。関東では気温上昇し9月中旬並となり、夏日の地点多い。青森市でイチョウ黄葉。



2016年2月9日松江



9日(火)北海道付近に低気圧
 寒気を伴う気圧の谷の通過で大気不安定となり山陰～北日本で雨や雪。北日本では一部でふぶきに。沖縄・奄美や九州、関東は晴れ。山形県浜中で最大瞬間風速36 km/h。

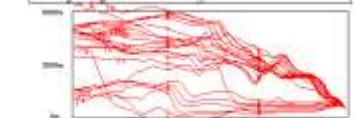


図 6-3-3 長崎・松江でのライダーによる黄砂検出時の状況

7. 黄砂・煙霧日の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いると思われる。また、越境による煙霧の存在も、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。そこで、平成27(2015)年度の黄砂、煙霧時のPM_{2.5}濃度との関係を検討した。

7.1 黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}環境基準超過³³⁾

評価対象測定局は、全国の979局である。

平成27(2015)年度において環境基準値1日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数×局は5074で、全体334693(日×局)の1.5%である。図7-1-1には、全体と黄砂日および煙霧日でのPM_{2.5}平均濃度と環境基準超過率をグラフで示している。測定局における黄砂観測日は910(日×局)、黄砂時の平均濃度は26.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は191(日×局)(21.0%)である。平成27(2015)年度は、前年に比べ黄砂の飛来は減っており、半分以下の割合になっている。測定局における煙霧観測日は11993(日×局)、煙霧時の平均濃度は26.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は2091(日×局)(17.7%)である。

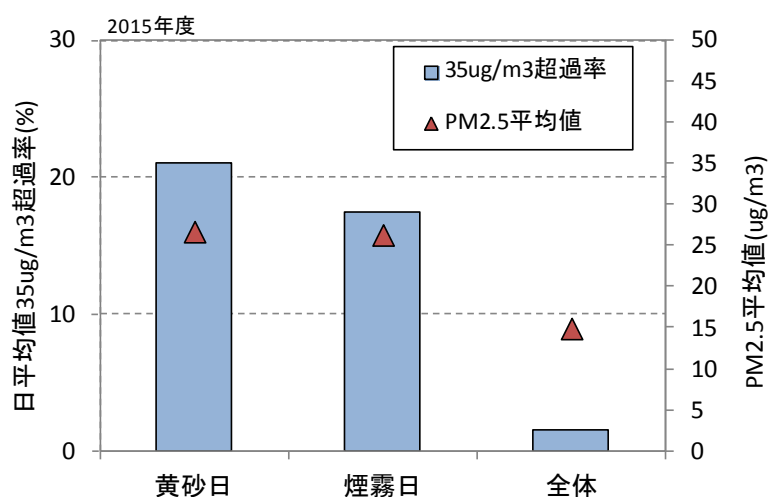


図7-1-1 黄砂日、煙霧日のPM_{2.5}平均濃度と環境基準超過率(2015年度)

平成27(2015)年度の黄砂観測日数と黄砂日のPM_{2.5}環境基準超過日数を、都道府県別に図7-1-2に示す。同様に、観測日数と、煙霧日のPM_{2.5}環境基準超過日数を図7-1-3に示す。黄砂では西日本での環境基準超過が多くなっている。2015年度は、北海道でも黄砂によりPM_{2.5}濃度上昇しているのが特徴である。煙霧では、環境基準超過は東北・北海道で低くなっているのが顕著である。

図7-1-4に、PM_{2.5}環境基準超過日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数を地点別に示している。関東以西で環境基準超過日数の半分近くを占めていることが分かる。

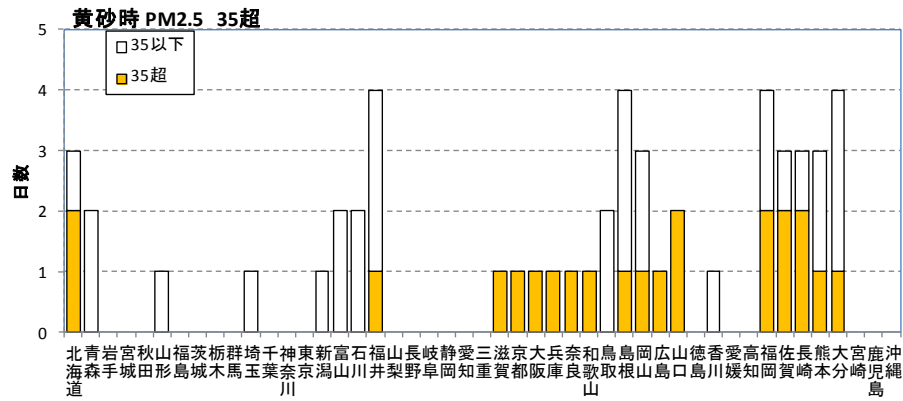


図 7-1-2 都道府県別の黄砂日数と PM_{2.5} 環境基準超過超日数 (2015 年度)

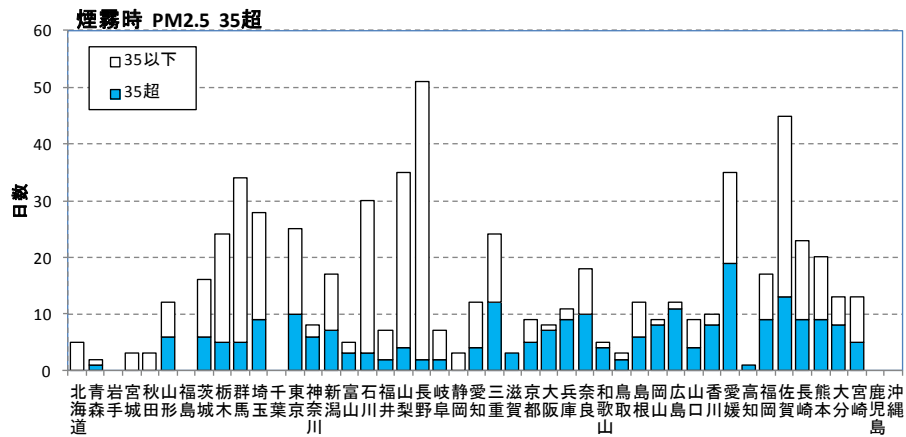


図 7-1-3 都道府県別の煙霧日数と PM_{2.5} 環境基準超過超日数 (2015 年度)

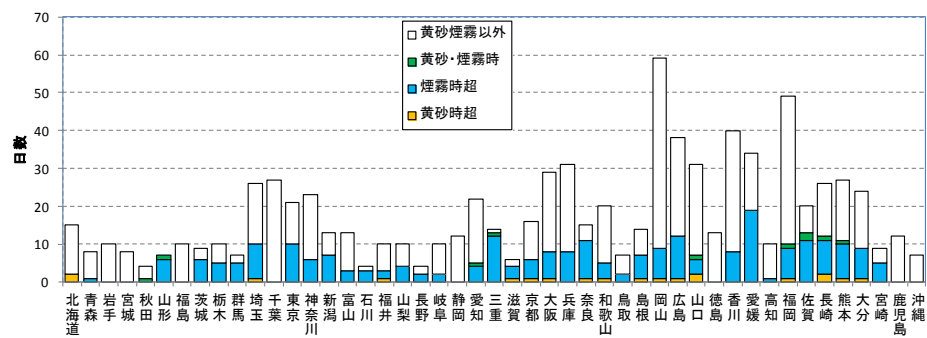


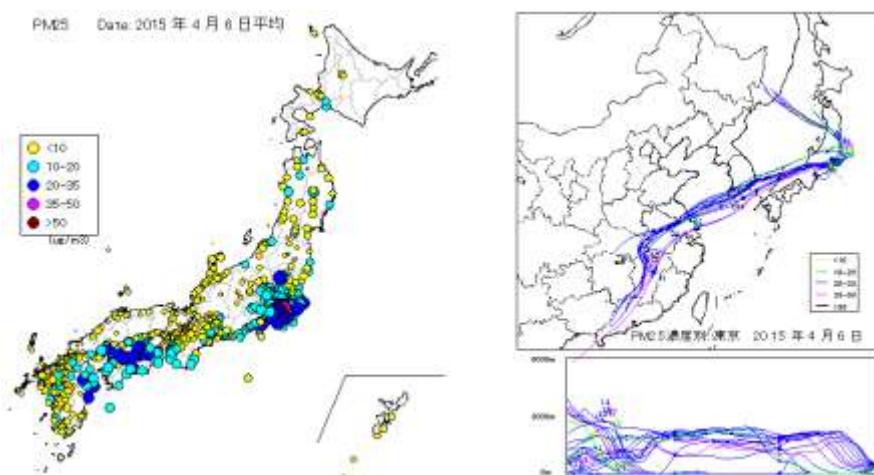
図 7-1-4 地点別の PM_{2.5} 環境基準超過日に占める黄砂・煙霧の割合 (2015 年度)

PM_{2.5} 高濃度として、「PM_{2.5} 日平均値が 10 地点以上で 35µg/m³ を超え、且ついずれかの地点で日最高時間値が 70µg/m³ を超えたもの」を選択すると、表 7-1-1 のように、18 日が抽出された。この抽出された日は、黄砂 1、煙霧 16、その他 2 と、圧倒的に煙霧のケースが多かった。抽出された日の PM_{2.5} 全国分布図と PM_{2.5} 時間値と対応させた後方流跡線については、多くは前章の事例で示されている。事例に含まれていない 4 月 6 日、7 月 8 日、12 月 10 日、12 月 21 の 4 日について、図 7-1-5 に示している。いずれの日も関東地域での上昇であり、後方流跡線の軌跡では、4 月 6 日に大陸からの影響が推測される以外は、近辺からの影響を受けたと思われる。全体では、越境影響の日と国内影響の日が同程度と思われた。

表 7-1-1 PM_{2.5} 高濃度日における黄砂・煙霧の状況

No.	年	月	日	PM _{2.5} >35 地点数	日平均 値最大	日最高値 最大	黄砂 観測	煙霧 観測	事例解析
1	2015	4	6	16	53.6	135		○	
2	2015	4	28	12	54.5	126		○	煙霧事例01
3	2015	6	13	15	48.8	88	○	○	黄砂事例05
4	2015	7	8	13	46.9	106			
5	2015	7	31	18	54.9	97		○	
6	2015	8	1	49	64.7	132		○	
7	2015	8	2	41	62.1	90		○	煙霧事例02
8	2015	8	3	20	53.4	110		○	
9	2015	8	4	16	59.5	97		○	
10	2015	8	5	21	61.0	95		○	
11	2015	10	10	69	67.3	194		○	煙霧事例03
12	2015	10	21	12	51.9	100		○	煙霧事例04
13	2015	10	24	23	53.3	103		○	
14	2015	12	10	108	66.6	132		○	
15	2015	12	21	17	51.4	136			
16	2016	1	4	73	61.0	112		○	煙霧事例05
17	2016	1	5	38	54.5	105		○	
18	2016	2	1	28	59.9	95		○	煙霧事例06

2015年4月6日



2015年7月8日

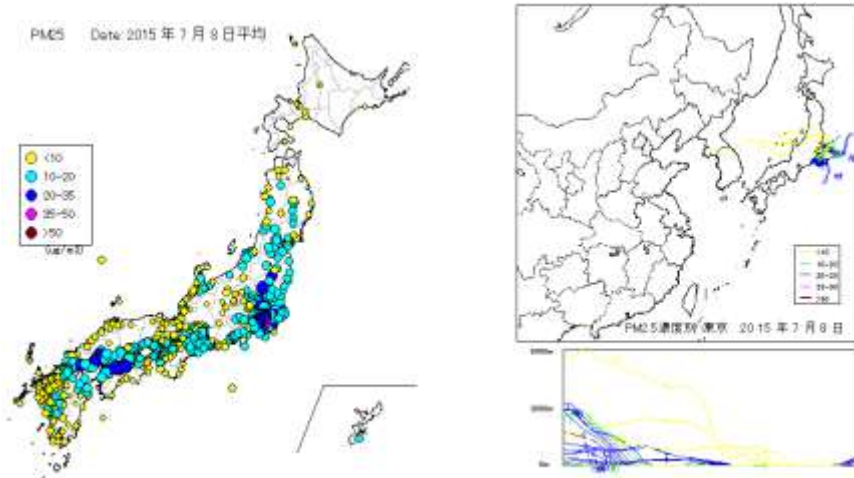
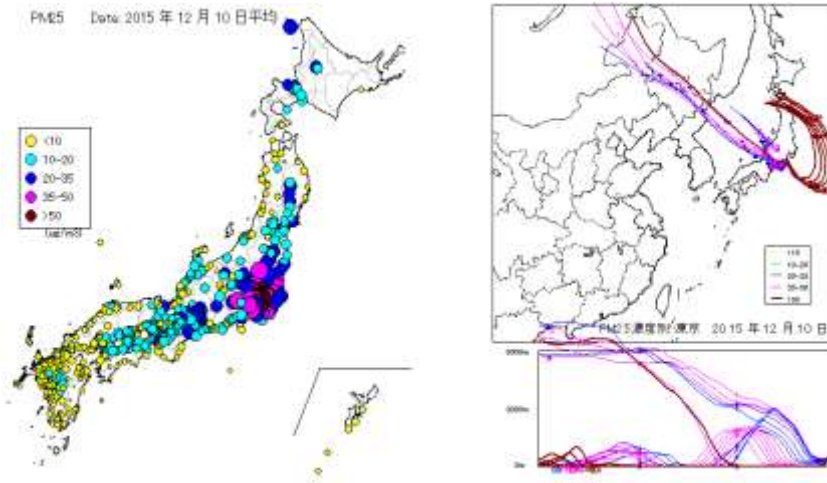


図 7-1-5 PM_{2.5} 高濃度日の日平均値分布とその日の後方流跡線(1)

2015年12月10日



2015年12月21日

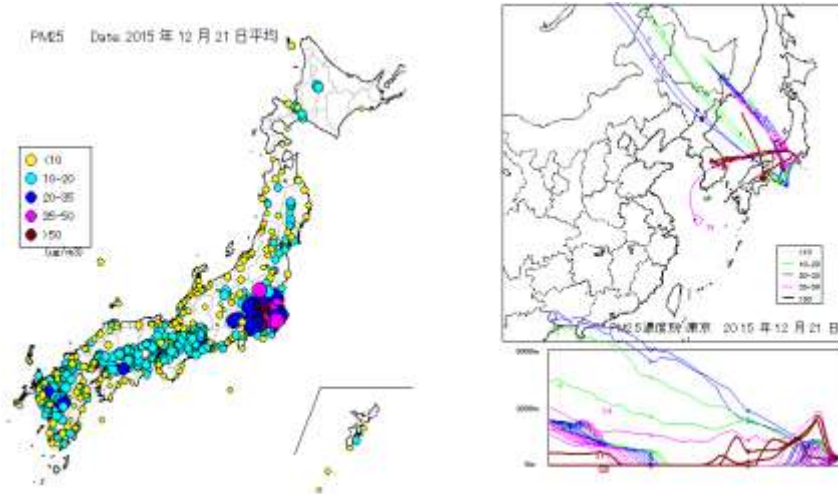


図 7-1-5 PM_{2.5} 高濃度日の日平均値分布とその日の後方流跡線(2)

7.2 黄砂・煙霧時のPM_{2.5}成分濃度

全国の自治体では、年間を四季に分けてPM_{2.5}の成分濃度調査を実施している。平成27(2015)年度に環境省に集約されたPM_{2.5}成分濃度データをもとに、黄砂・煙霧日を抽出して、その特徴を探った。

黄砂が観測されサンプルの成分濃度を、図7-2-1に示す。2015年5月7～8日での北海道落石岬、青森県根岸小、5月19～21日の島根県浜田、6月11～14日の福岡県柳川である。

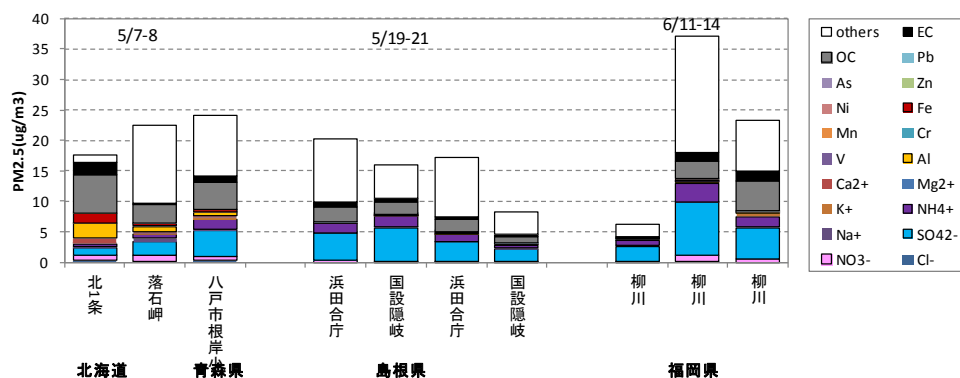


図 7-2-1 黄砂時のPM_{2.5}成分濃度

成分分析が実施された期間が煙霧と重なり、かつPM_{2.5}重量濃度が35μg/m³を超過した日の季節別の構成の違いを図8-2-2に示す。冬に硝酸イオンの濃度が高くなっている様子がみられる。

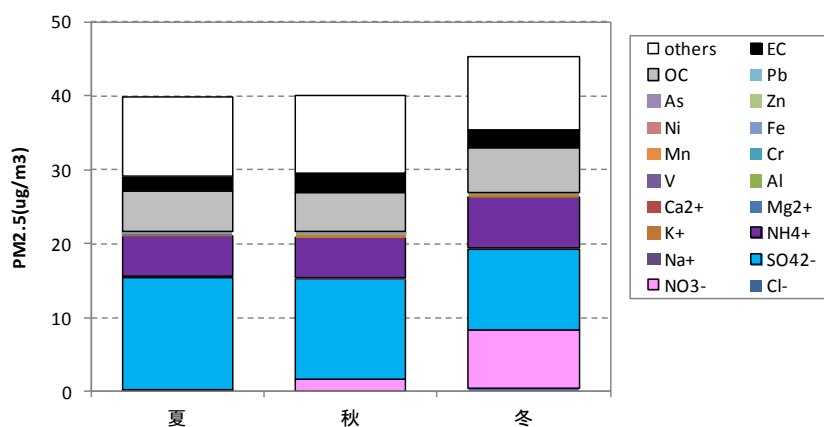


図 7-2-2 煙霧時のPM_{2.5}>35μg/m³時の季節別PM_{2.5}成分平均濃度

同時期に採取された PM_{2.5} 成分濃度について、その分布が特徴的なものをピックアップした。

①2015年5月13～14日

PM_{2.5} の上昇は顕著ではないが、AI 濃度が全国的に上昇している。ライダー黄砂消散係数による黄砂検出 (p. 56) で、前日の長崎での黄砂飛来が推測されており、その影響による AI の上昇と考えられる。

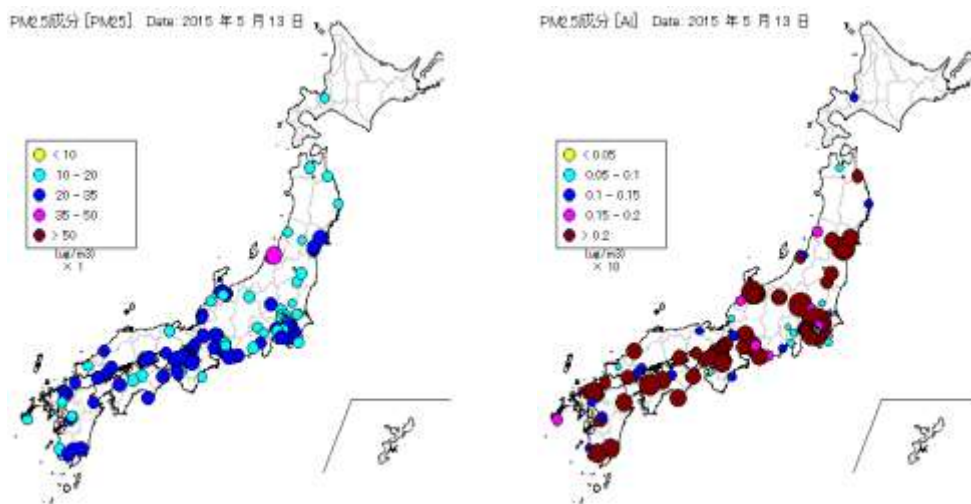


図 7-2-3 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分 (AI) の分布

②2015年8月2～3日

煙霧事例 02 (p. 33) での大規模な煙霧で、この時の SO₄²⁻ の 10µg/m³ を超す濃度分布が全国的なものであることが分かる。また、同じ期間に都市部を中心に V の高濃度が観測されている。

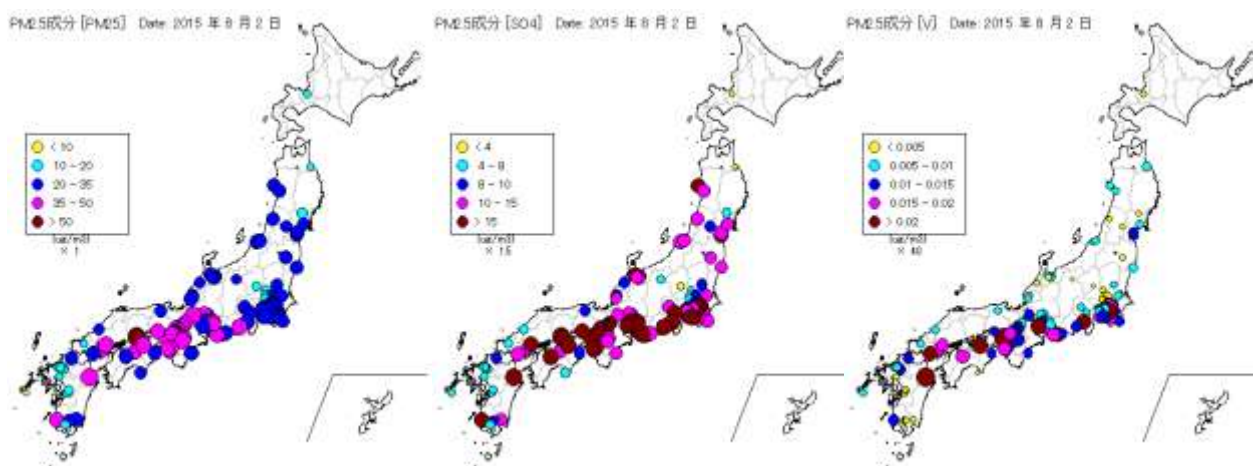


図 7-2-4 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分 (SO₄²⁻、V) の分布

③2015年10月21～22日

煙霧事例04 (p. 39) に示したもので、九州を中心にPM_{2.5}が上昇し、SO₄²⁻濃度の上昇が西日本に限定されている。

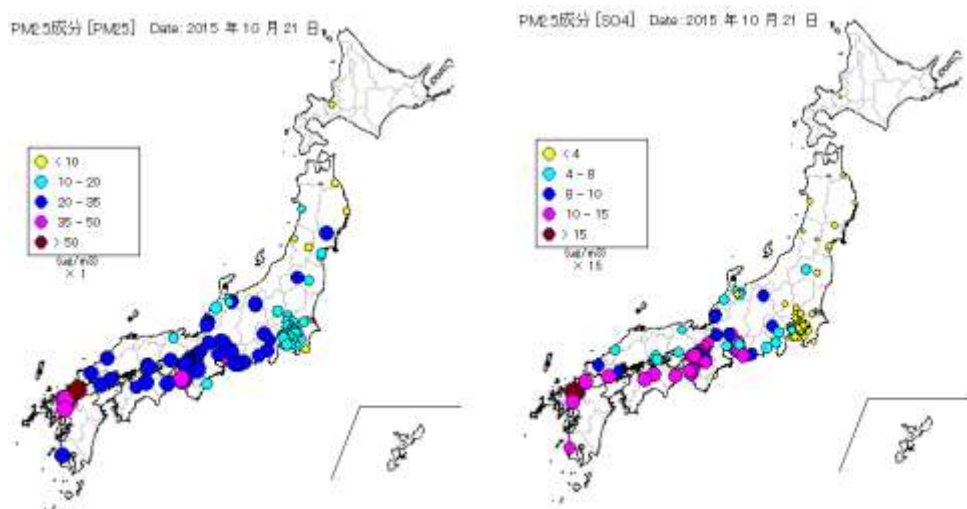


図 7-2-5 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分(SO₄²⁻)の分布

④2016年1月31日～2月1日

煙霧事例06 (p. 44) で示したもので、NO₃濃度が九州地域で高くなっている。

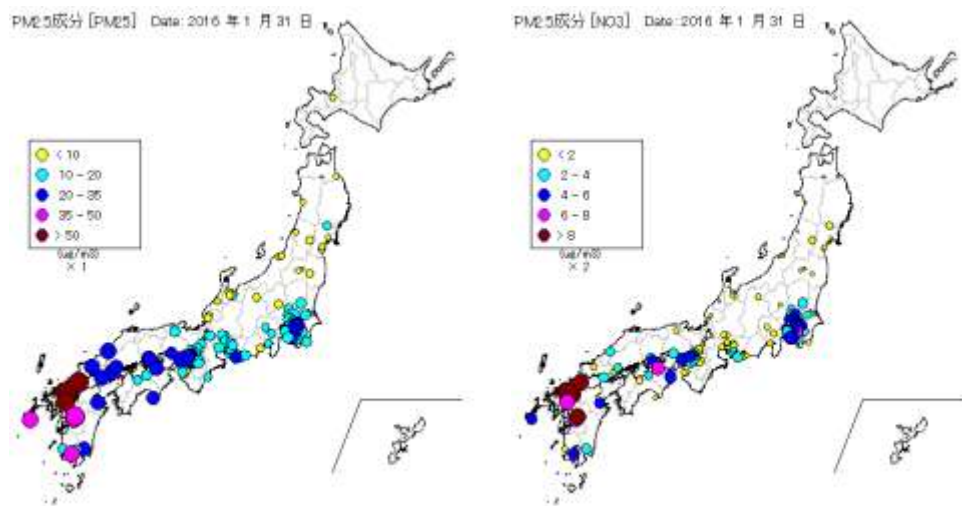


図 7-2-6 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分(NO₃)の分布

7.3 黄砂・煙霧時 PM_{2.5} の PMF 法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時で PM_{2.5} 成分濃度調査が実施された期間に、黄砂・煙霧が観測された日、地点を選択して PMF 解析を行った。計算の条件は下記の通りである。ソフトは、EPA-PMFv5.0 を使用した。

PMF の計算の条件

件数 : 黄砂・煙霧時 1057 件

成分数 : OC, EC, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Pb (19 項目)

図 7-3-1 に因子数 6 での発生源プロファイルを示す。それぞれの因子については次のように想定した。

Factor1 は Zn, Sb, Fe, Pb, Mn, Cr などの金属類が卓越しており、一般的には鉄鋼・石炭とみなされる³⁵⁾。

Factor2 は V, Ni が高く、重油燃焼と思われる。V/Ni 比が 3.2 で、重油燃焼の一般的な値 2.1~3.1³⁷⁾ と近い。

Factor3 は SO₄²⁻, NH₄⁺, As, Pb で高く、二次生成された (NH₄)₂SO₄²⁻ と考えられる。(NH₄)₂SO₄²⁻ の SO₄²⁻/NH₄⁺ 重量比は 2.7 となるが、ここでは 2.58 とほぼ同程度である。

Factor4 は OC, EC, K⁺ で高く、バイオマスの燃焼によるものと想定される。バイオマスでの OC/EC 比は 2~4 とされている³⁴⁾ おり、ここでは 4.3 とほぼ近い。また、他の因子に比べ EC も高いことから、自動車排ガスもこの中に含まれると思われる。

Factor5 は Al, Fe, Mn, Ca²⁺ の割合が高く、黄砂を含む土壌を表す因子と思われる。Al/Fe は 1.77 で、黄砂の場合³⁹⁾ と近い。

Factor6 は NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺ で高く、二次生成された NH₄NO₃ と考えられる。NH₄NO₃ の NO₃⁻/NH₄⁺ 重量比は 3.4 であり、ここでは 3.5 とほぼ同じである。

Factor1

(金属関連)

Factor2

(重油燃焼)

Factor3

(二次硫酸塩)

Factor4 (バイオ・自動車)

Factor5

(土壌)

Factor6

(二次硝酸塩)

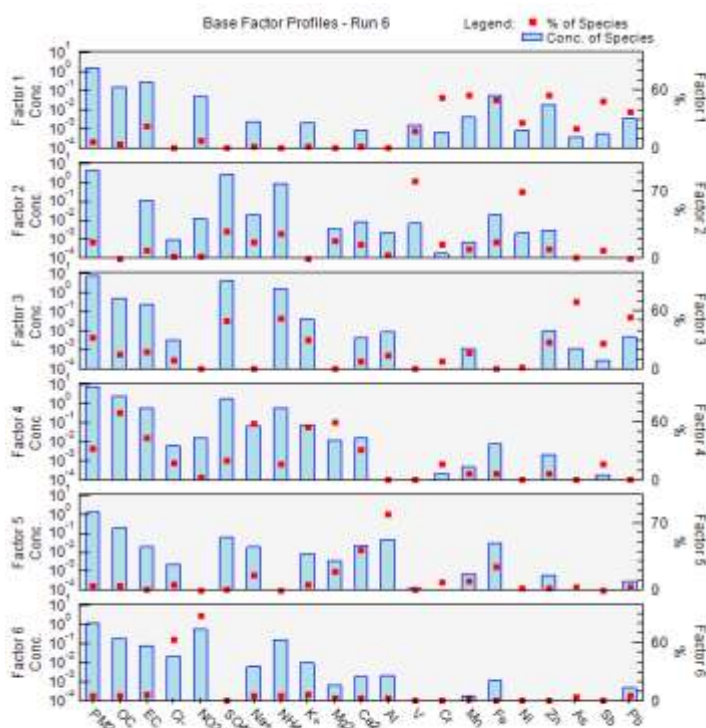


図 7-3-1 PMF 法による発生源プロファイル