

成分分析が実施された期間が煙霧と重なり、且つPM_{2.5}重量濃度が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した日のうち、特徴的なものについて、その様子を観察した。

2014年7月23～24日は関東地方12地点で煙霧が観測されている。図6-2-2のように、硫酸イオン濃度が高く、硝酸イオンは非常に低い。大陸の影響の様子がみられないことから、国内影響または火山の影響が考えられる（煙霧事例05）。この時、煙霧観測は12地点で、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は34測定地点中13地点である。

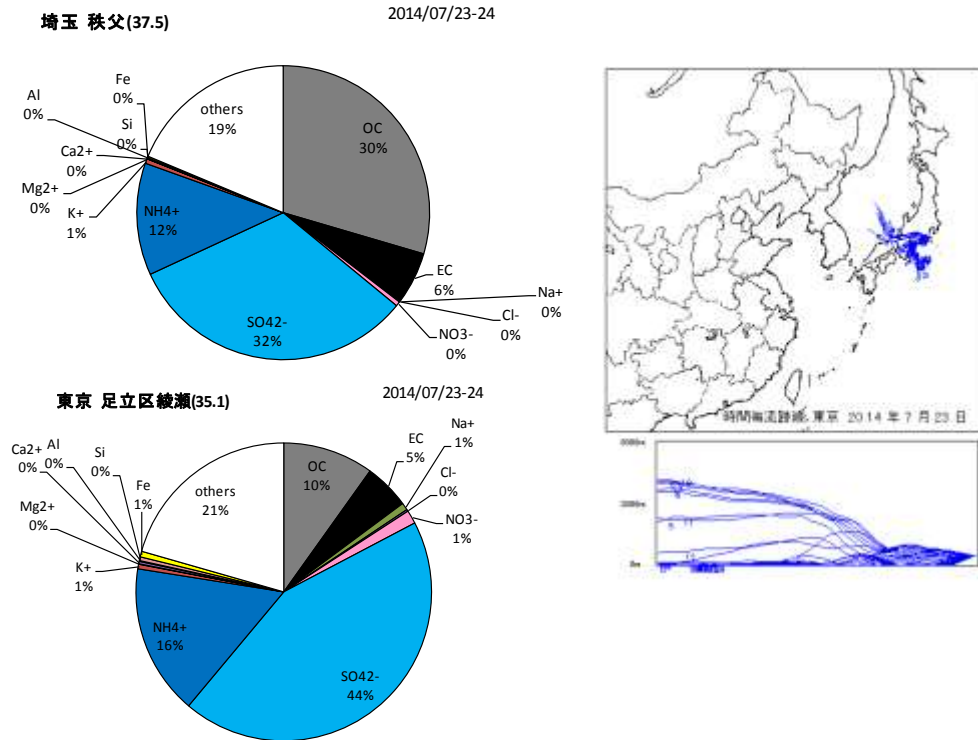


図 6-2-2 煙霧時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2014年7月23～24日)

2014年7月28～29日に東北地方で高濃度を示していたが、この直前の26日頃にシベリア クラスノヤルスク地方で大規模な森林火災（延焼面積73万ha）があっており、その影響が出て、OCの濃度が非常に高くなっていると思われる。この時、煙霧観測は6地点で、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は34測定地点中13地点である。

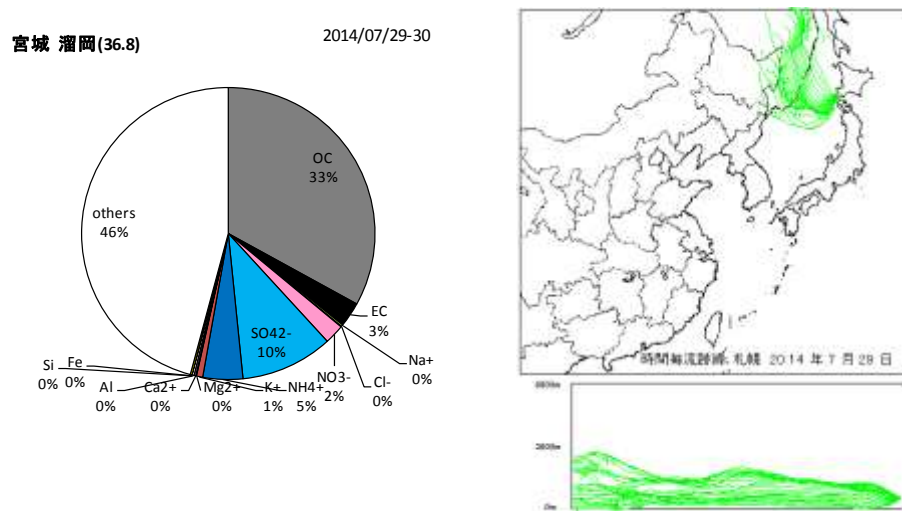


図 6-2-3 煙霧時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2014年7月28～29日)

2014年10月31～11月1日は、関東地方でのみの煙霧観測であるが、硝酸イオン濃度が高く、硫酸イオン濃度は低くなっており、国内での影響が大きいと考えられる。この時、煙霧観測は3地点で、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は13測定地点中7地点である。

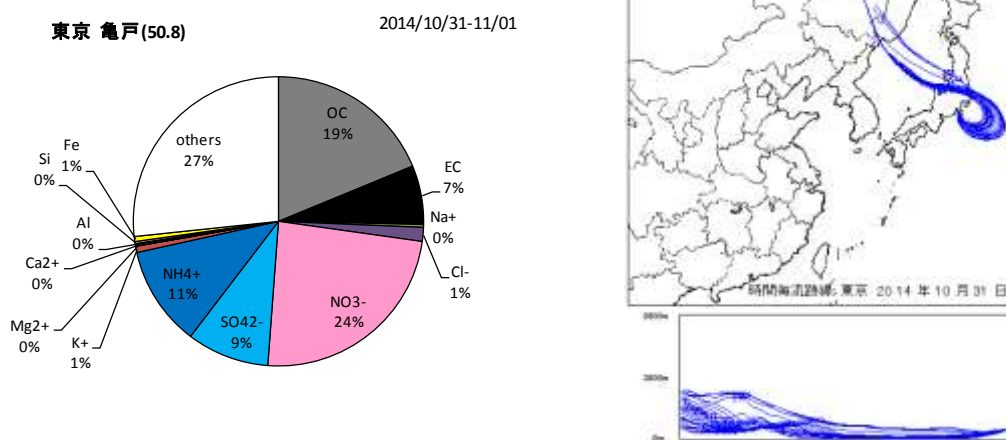


図 6-2-4 煙霧時の $\text{PM}_{2.5}$ 成分構成とその時の後方流跡線(2014年10月31～11月1日)

2015年1月26～27日も、埼玉、東京で煙霧の観測と $\text{PM}_{2.5}$ の高濃度が出現している。前の10月31～11月1日と類似した成分構成を示していることから、同様に国内影響が大きいと思われる。この時、煙霧観測は7地点で、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は18測定地点中3地点である。

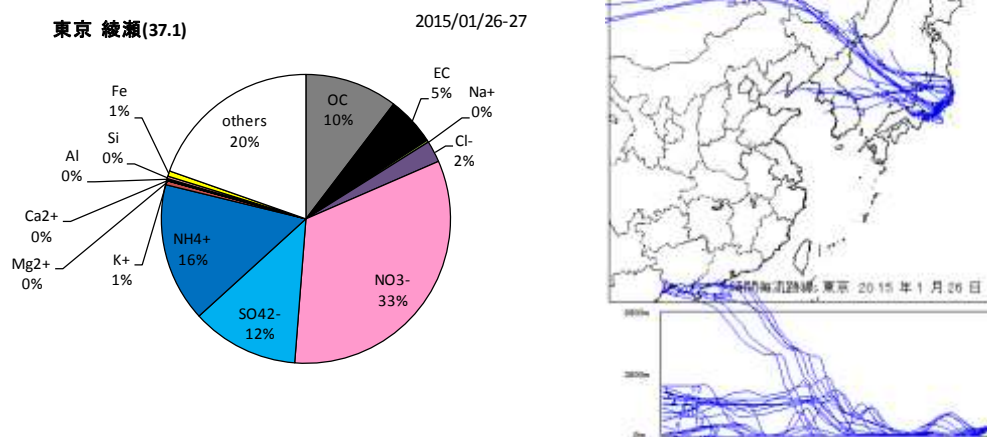


図 6-2-5 煙霧時の $\text{PM}_{2.5}$ 成分構成とその時の後方流跡線(2015年1月26～27日)

2015年2月4～5日は、九州のみの煙霧観測であるが、PM_{2.5}濃度は高くなっている。長崎県五島でPM_{2.5}濃度45μg/m³を示し、その時の成分は硫酸イオン濃度が16μg/m³まで上昇しており、後方流跡線の状況を含め、中国沿岸部からの影響と思われる。この時、煙霧観測は延べ6地点で、35μg/m³超は3測定地点中3地点である。

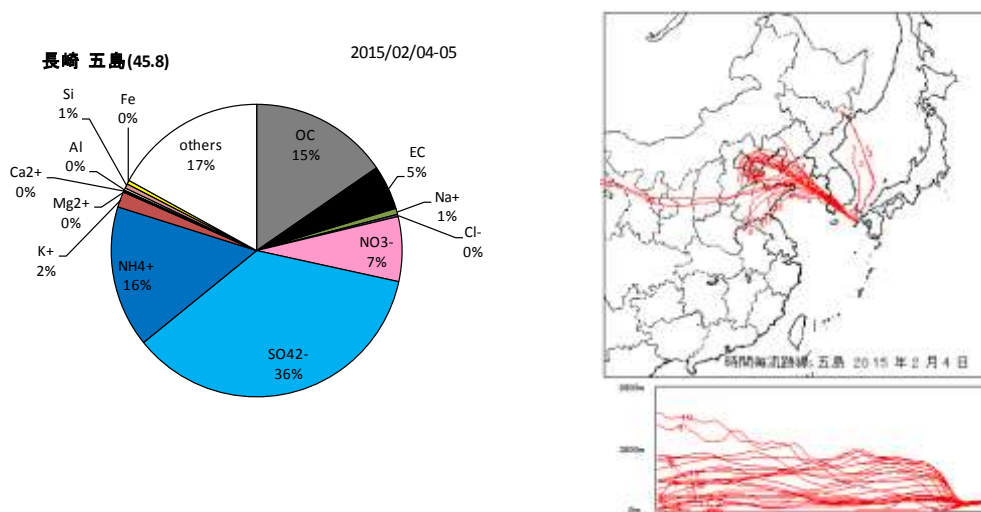


図 6-2-6 煙霧時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2015年2月4～5日)

6.3. 黄砂・煙霧時PM_{2.5}のPMF法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時に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。解析のためのソフトは、EPA-PMFv5.0を使用した。

計算に使用したサンプルは、黄砂・煙霧が観測された日に採取された535件である。成分は、OC, EC, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, V, Mn, Zn, Pb の15項目とした。因子数は5、6、7とし、その中でプロファイルの分離やBootstrapの結果が良好であった6を採用した。

図6-3-1に因子数6での発生源プロファイルを示す。

それぞれの因子の発生源については、次のように想定した、Factor1はAl、Feの割合が高く、黄砂を含む土壌を表す因子と思われる。Factor2はV、Niが高く、V/Ni比が2.7で、重油燃焼の一般的な値2.1~3.1²⁶⁾と近い。Factor3はSO₄²⁻・NH₄⁺で高く、二次生成された(NH₄)₂SO₄²⁻と考えられる。(NH₄)₂SO₄²⁻でのSO₄²⁻/NH₄⁺重量比は2.7となるが、ここでは2.87となっている。Factor4はZn、Fe、Pbなどの金属類が卓越しており、一般的には鉄鋼・石炭と見なされる、Factor5は、NO₃⁻、Cl⁻で高く、二次硝酸塩と考えられる。Factor6はOC、ECが顕著でバイオマスの燃焼によると想定した。バイオマスでのOC/EC比は2~4とされている²⁶⁾。ここでは4.7とやや高い。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。

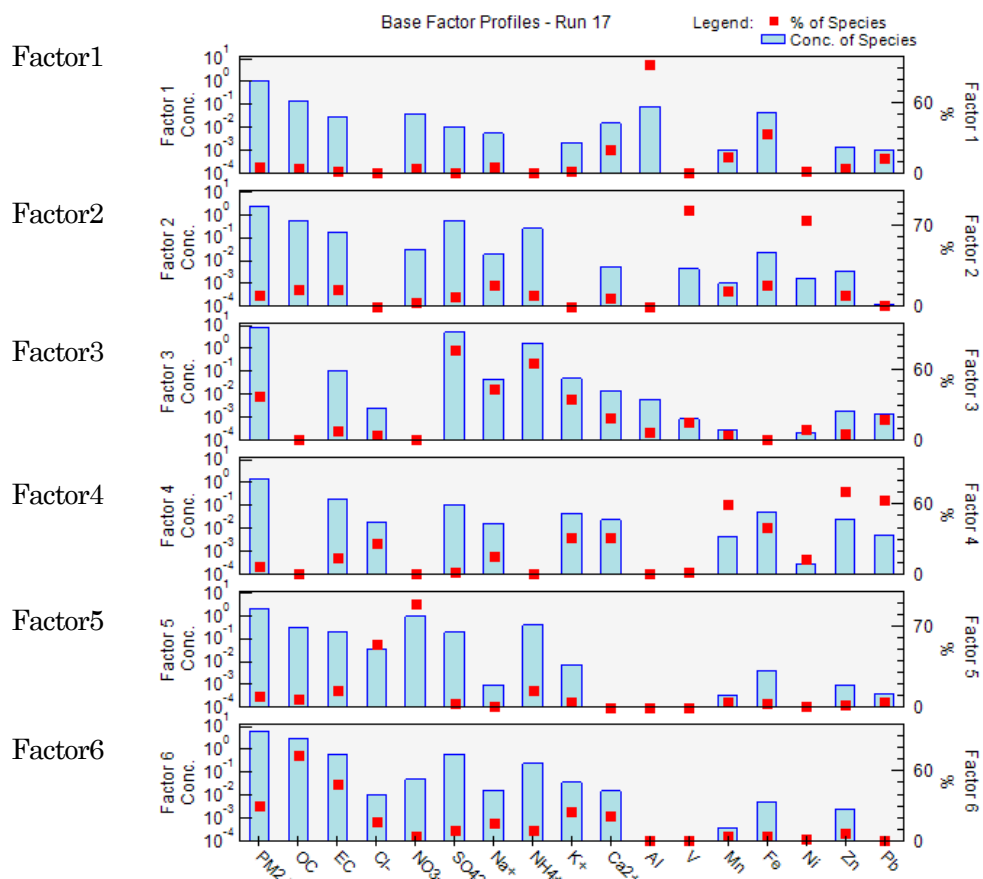


図6-3-1 PMF法による発生源プロファイル

図6-3-2には、すべてのサンプルを横軸にして、因子毎の寄与をグラフで示している。このうち、煙霧時で濃度が高くなった(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超)ケースを、図6-3-3に事例・地点別に構成グラフで示している。福岡での5月の事例や、関東での7月での事例などは、二次硫酸塩の影響が大きく出ている。一方、関東での1月の事例では二次硝酸塩の影響が強く出ているなど、事例によって寄与割合に大きな違いをみることができる。煙霧全体での平均発生源寄与は、図6-3-4に示す。

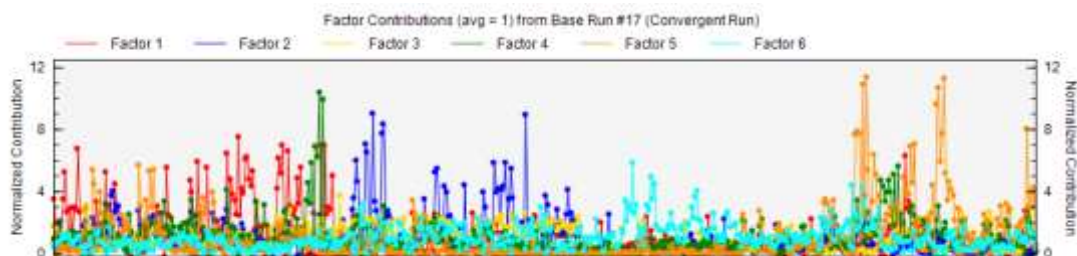


図6-3-2 PMF法による各因子の発生源寄与（横軸はサンプル毎）

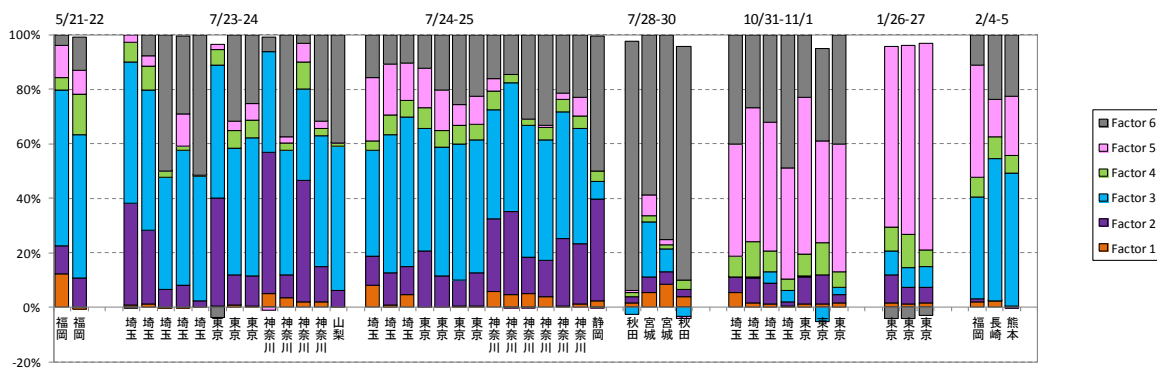


図6-3-3 日毎・地点毎の発生源寄与推定

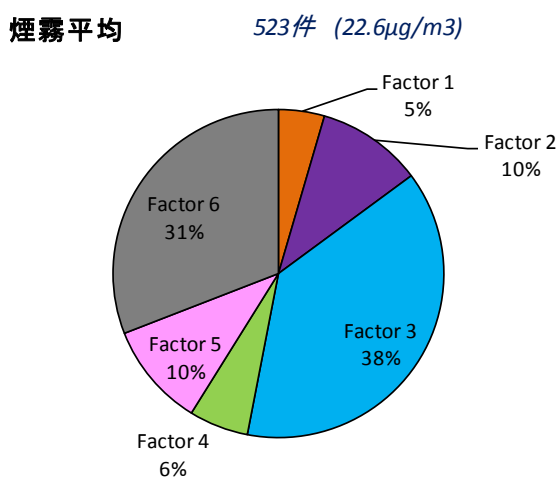


図6-3-4 煙霧時の平均発生源寄与推定割合

7. ライダー消散係数と SPM 濃度

7.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出

(1) 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^{18), 20), 24)}について、2014 年度データを検討した。

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 26（2014）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 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/km 以上であること

表 7-1-1 に、3 地点で抽出した日を示している。1 年間で、長崎 8 日、松江 5 日、富山 5 日となった。

表 7-1-1 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														
No.	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	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
1	2014	5	3	24	0.081	0.030	90	37	0.791	848	11.7	●		
2	2014	5	21	23	0.081	0.037	56	34	0.842	539	14.7	●		
3	2014	5	27	23	0.248	0.115	108	61	0.942	408	14	●	○	◎
4	2014	6	2	23	0.173	0.043	64	37	0.606	315	23.2	●	○	
5	2015	1	10	24	0.065	0.042	52	39	0.632	361	23.9	●		
6	2015	1	11	24	0.153	0.056	86	34	0.787	422	10.1	●		
7	2015	3	22	23	0.239	0.158	152	95	0.757	585	2.8	●	○	
8	2015	3	23	22	0.115	0.057	61	21	0.872	490	-7	●	○	◎
松江														
	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	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
1	2014	5	3	23	0.080	0.047	64	27	0.720	651	-3.7	●		
2	2014	5	30	17	0.188	0.142	52	32	0.952	477	-35.9	●	○	◎
3	2014	6	1	24	0.167	0.134	73	39	0.630	304	-1.1	●	○	◎
4	2015	2	15	23	0.054	0.030	69	37	0.656	1447	-5.4	●		
5	2015	3	22	24	0.275	0.126	53	30	0.832	138	12.6	●	○	◎
富山														
	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	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
1	2014	5	27	22	0.165	0.072	71	35	0.676	311	12.4	●	○	
2	2014	5	28	24	0.132	0.076	79	45	0.842	453	10.3	●	○	
3	2014	6	1	23	0.096	0.059	70	54	0.647	361	32.9	●	○	◎
4	2015	2	23	23	0.103	0.051	66	43	0.777	430	21.6	●	○	◎
5	2015	2	24	24	0.231	0.157	91	60	0.772	368	2.2	●	○	◎

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

7.2 ライダーによる黄砂検出比の状況

観測日以外でライダーによる黄砂日とされた日の後方流跡線を、長崎は図 7-2-1 に、松江は図 7-2-2 にそれぞれ示している。いずれも黄砂の飛来を予測させる流れを示している。

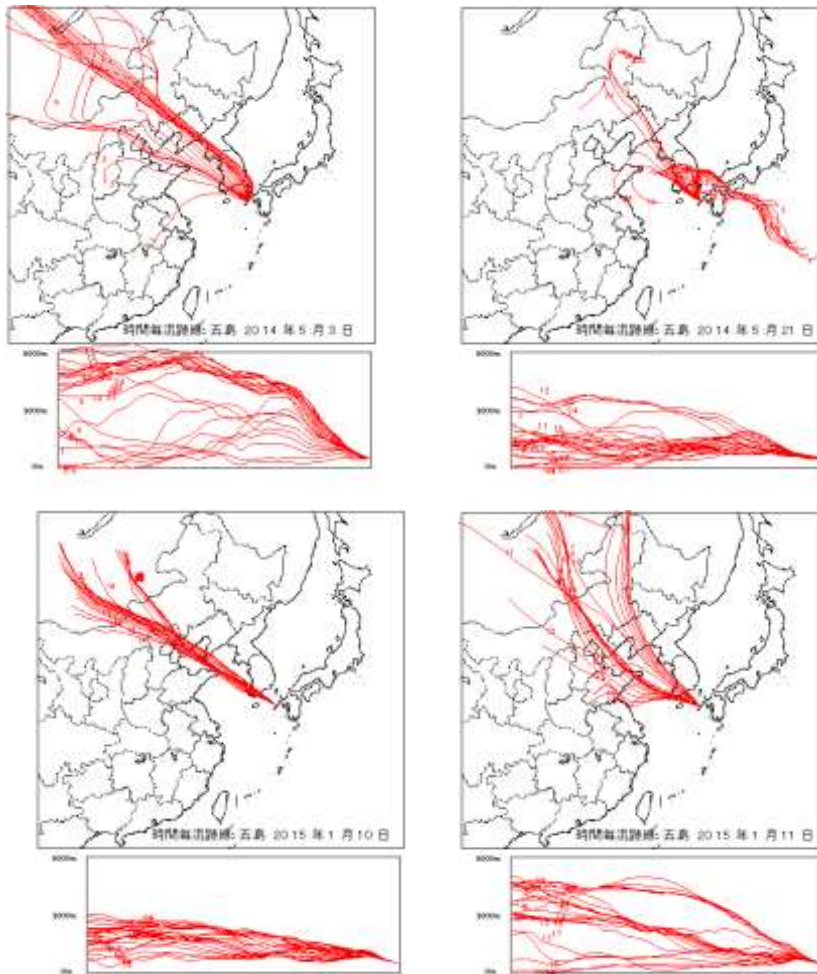


図 7-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の後方流跡線（五島）

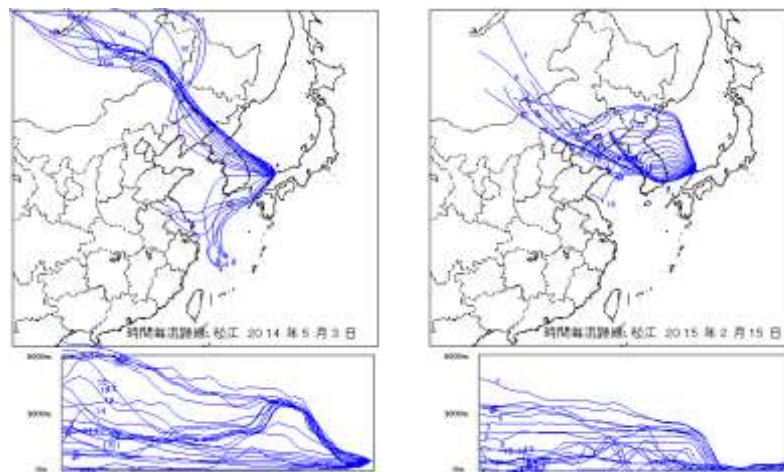


図 7-2-2 松江でのライダーによる黄砂検出時の後方流跡線

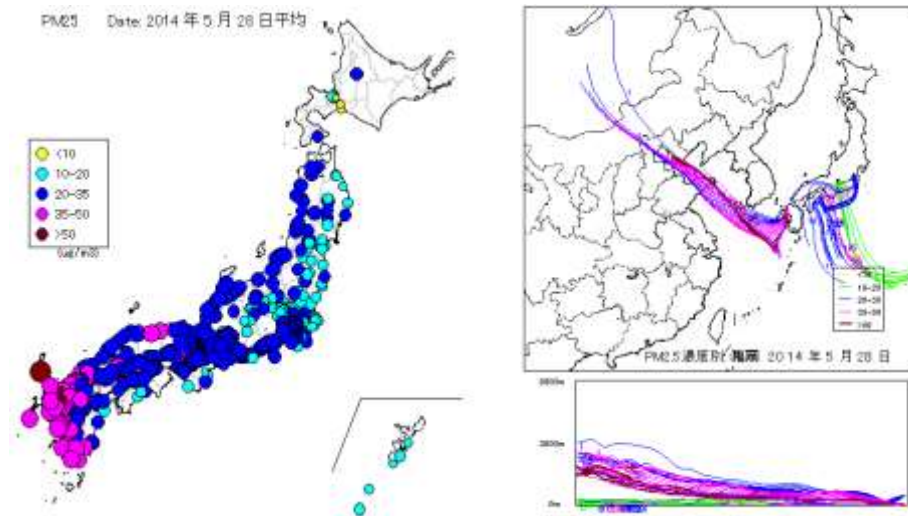
8. 後方流跡線とPM_{2.5}濃度

PM_{2.5}の高濃度と後方流跡線の関係を見るために、1時間毎の後方流跡線をPM_{2.5}時間値と対応して色分けして観察した。PM_{2.5}データの対象とした測定地点は、福岡は糸島局、東京は氷川局である。

黄砂時のPM_{2.5}上昇として、2014年5月28日、2015年3月22日の2例を図8-1に示す。PM_{2.5}濃度上昇地点の後方流跡線は、概ね大陸の内陸部と沿岸部の両方の気流の通過を示している。

煙霧時のPM_{2.5}上昇として、2014年7月23日と12月30日の2例を図8-2に示す。7月23日の関東地方を中心にPM_{2.5}が上昇し、後方流跡線は近い地域からのものになっている。一方12月30日の九州地方でのPM_{2.5}上昇は、中国沿岸部の影響であることを示している。

2014年5月28日



2015年3月22日

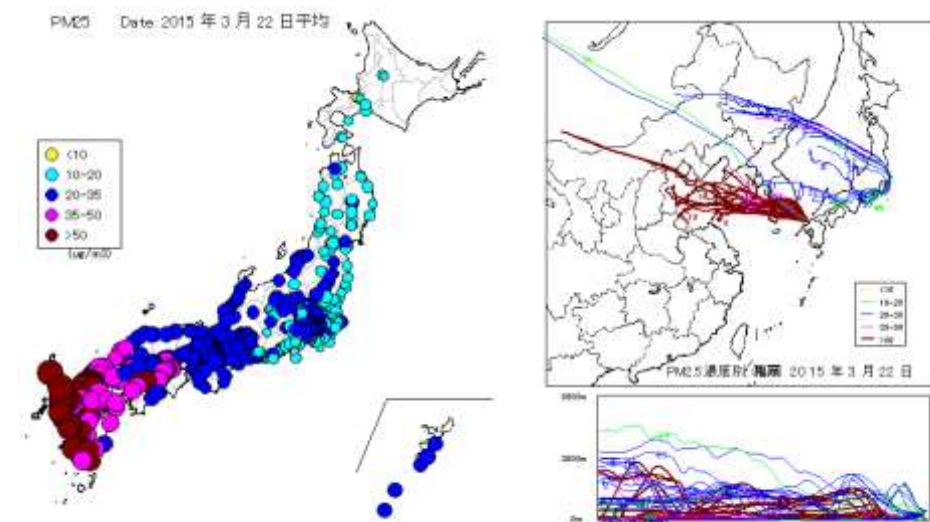
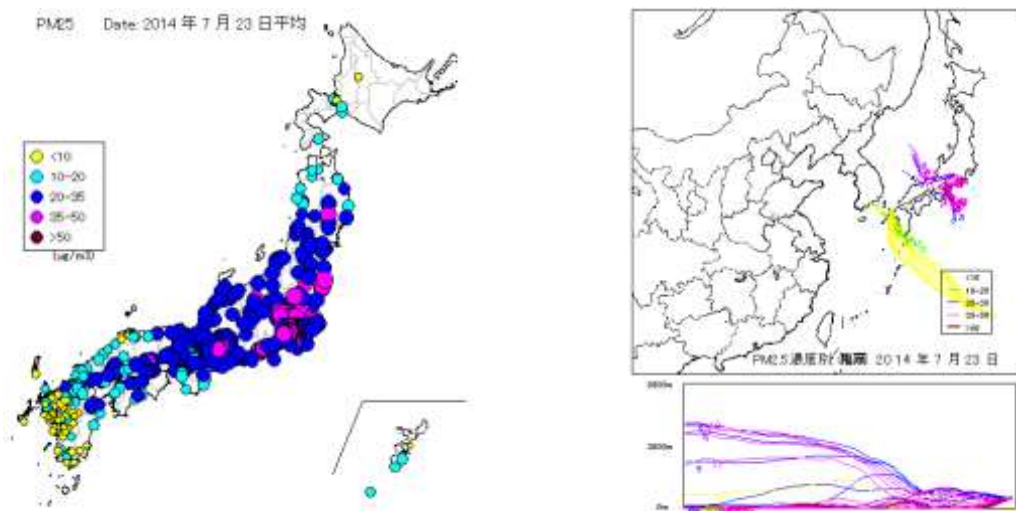


図8-1 黄砂時のPM_{2.5}全国分布と後方流跡線

2014年7月23日



2014年12月30日

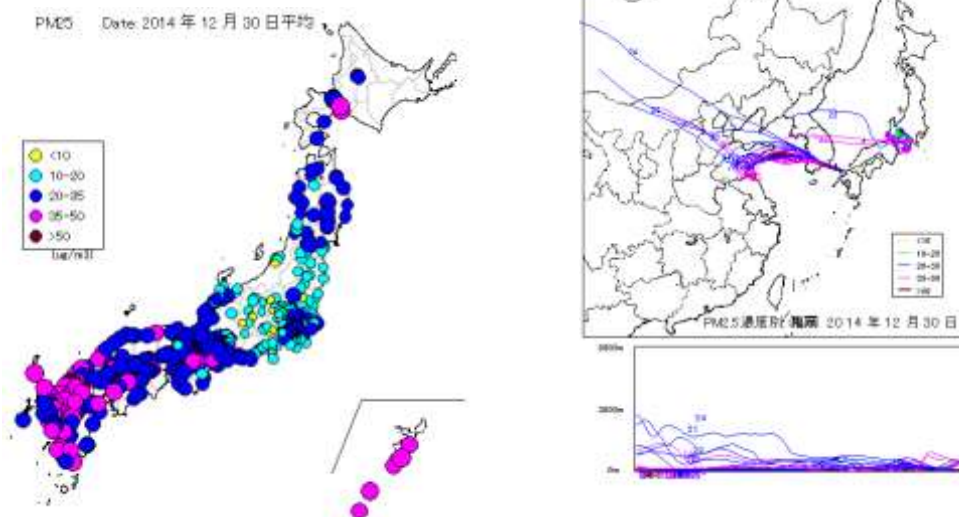


図8-2 煙霧時のPM_{2.5}全国分布と後方流跡線

9. 黄砂の分類

黄砂は、その発生状況や気流によって、日本へ飛来してくる際には様々な様相を呈し、健康へ与える影響も異なってくるのが考えられることから、個々の黄砂の特徴を明らかにすることは重要である。過去の黄砂事例を解析する過程で、黄砂を特徴づける要素について把握することが可能になってきた。ここでは、過去の事例解析をもとに、黄砂を分類する方法について検討を行った。

分類の主要な目的は、黄砂であることの確認、大きさ、汚染物質の混在とその程度である。解析対象は気象台で観測された黄砂が中心となるが、黄砂と同様に視程の悪化を招き、さらに中国大陸からの越境汚染の影響も懸念される煙霧も加えた。

黄砂の要素として収集するのは次の9項目である。この中で、青字は定性的に分類するもの、赤字は定量的に分類できるものを示している。

- ①気圧配置、 ②砂塵嵐の発生、 ③後方流跡線の軌跡、 ④CFORS (dust) による予測、
- ⑤黄砂観測地点、 ⑥ライダー黄砂消散係数、 ⑦SPM 濃度の地域的上昇
- ⑧SPM 最大濃度、 ⑨PM_{2.5}/SPM 比

大気汚染の要素としては、次の5項目で、これらの項目は大気汚染の強度を判断する指標とする。

- ①煙霧観測地点、 ②硫酸イオン濃度、 ③PM_{2.5}/SPM 比、 ④後方流跡線の軌跡
- ⑤CFORS (sulfate) の予測

これらの要素について、定性的な項目については、◎、○、△、×の4段階に、定量的要素は7段階に分けて点数化する。以下、それぞれの判断基準について項目毎に詳述する。

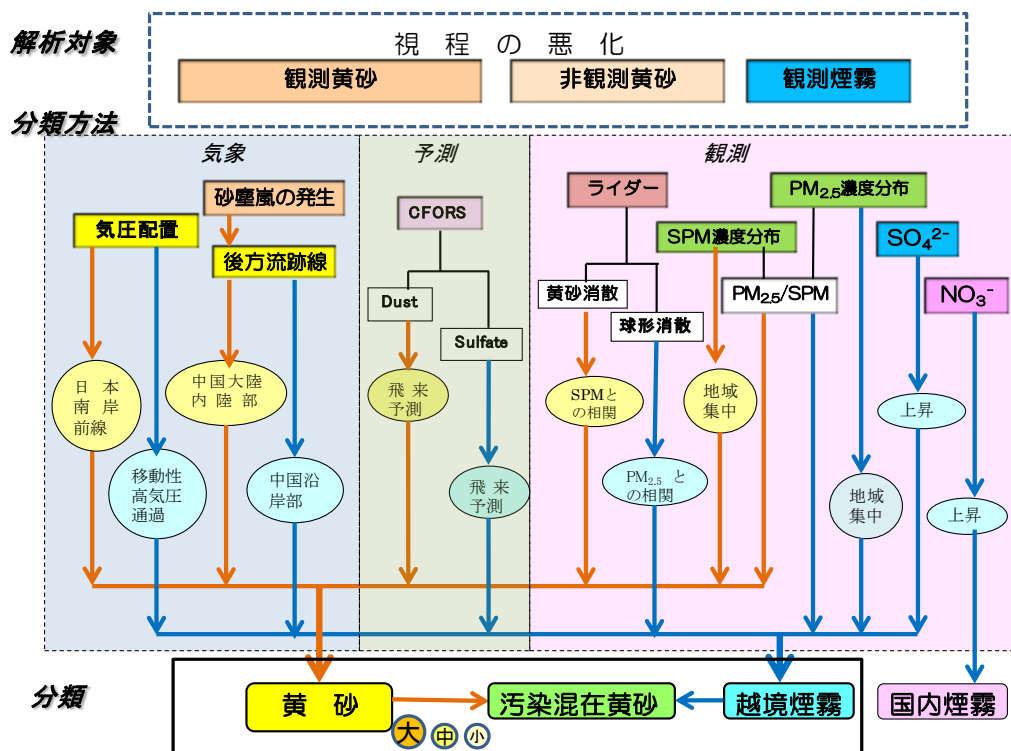


図 9-1 黄砂分類の手順

9.1 黄砂要素項目

① 気圧配置

黄砂が日本に飛来してくる場合の気圧配置は、中国黄土地帯で発生した低気圧が西進し、日本の東岸もしくは南岸付近には前線がある場合が多い。これは、黄土地帯で低気圧によって高くまで巻き上げられた（～3000m）砂塵が、偏西風によって東に進み、日本付近の前線の影響により降下してくることによると思われる。

図 9-1-1 の左は、大きな黄砂が観測された事例（2007/4/2 : 53 地点）を示している。中央の 2009/10/19 の事例は、低気圧、前線ともにみられているが黄砂観測は 6 地点と少ないケースで、逆に 2012/4/23 の事例では、前線はみられていないが黄砂観測は 22 地点と多いケースになる。

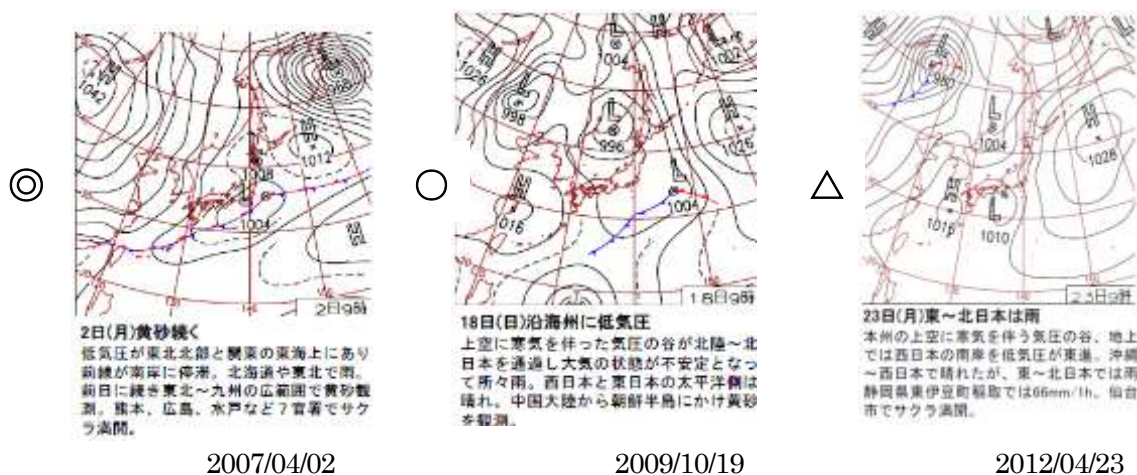


図 9-1-1 気圧配置の分類例

② 砂塵嵐の発生

世界気象資料から砂塵嵐の観測状況を見ると、日本での黄砂観測 1～2 日前に、モンゴル南部から内モンゴルを中心に、その発生がみられるケースが多い。日本へ影響を及ぼしている黄砂は、モンゴル南部から内モンゴルに広がるゴビ砂漠、バダインシャラン砂漠での発生が多いようである。過去 10 年間に日本国内 30 地点以上で黄砂が観測された 17 事例のうち 16 事例では、この地域において砂塵嵐が広い範囲で観測されている。

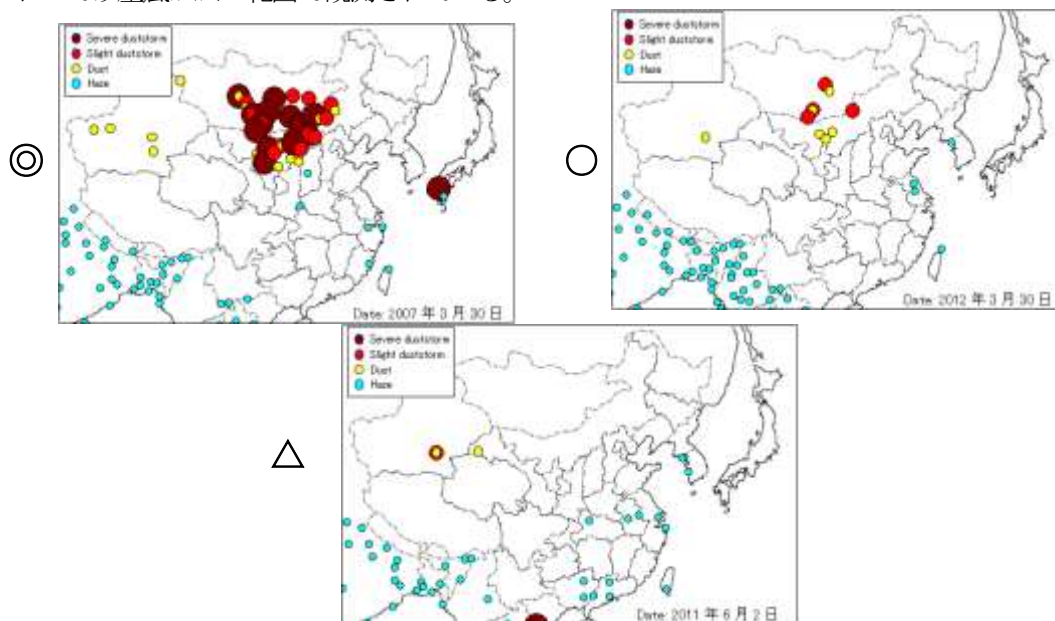


図 9-1-2 砂塵嵐発生状況の分類例

③後方流跡線の軌跡

主に砂塵嵐が観測されているモンゴル南部から内モンゴルにかけての地域から後方流跡線が延びている場合に、日本への影響が強く出ている。過去 10 年間に日本国内 30 地点以上で黄砂が観測された 17 事例のうち、14 事例ではこの地域からの後方流跡線の軌跡となっている。

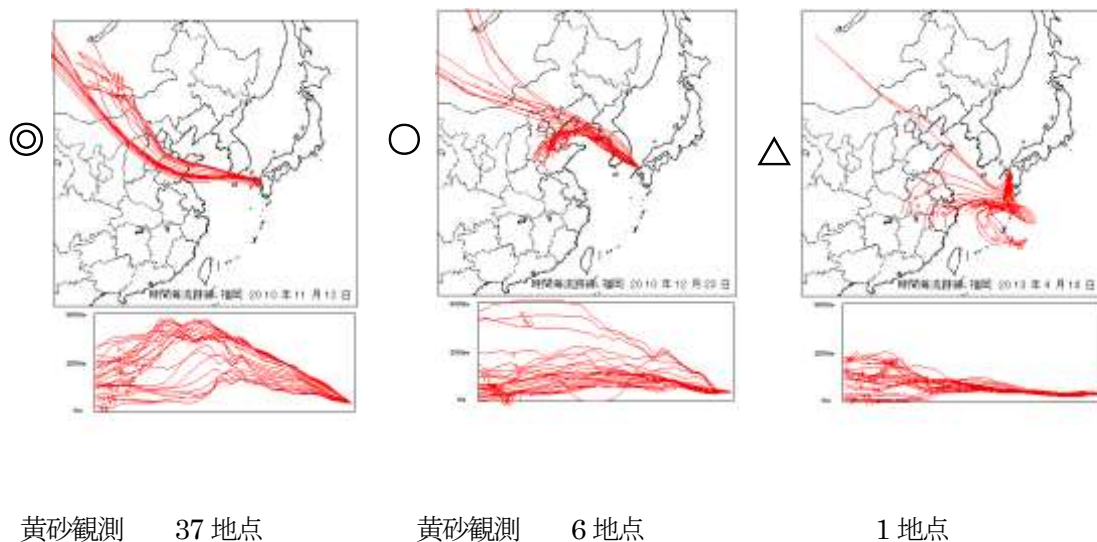


図 9-1-3 後方流跡線軌跡の分類例

④黄砂観測地点

黄砂を観測した气象台の数を、7 段階に分類する。

30 以上=6、20~30=5、15~20=4、10~15=3、5~10=2、1~5=1、なし=0

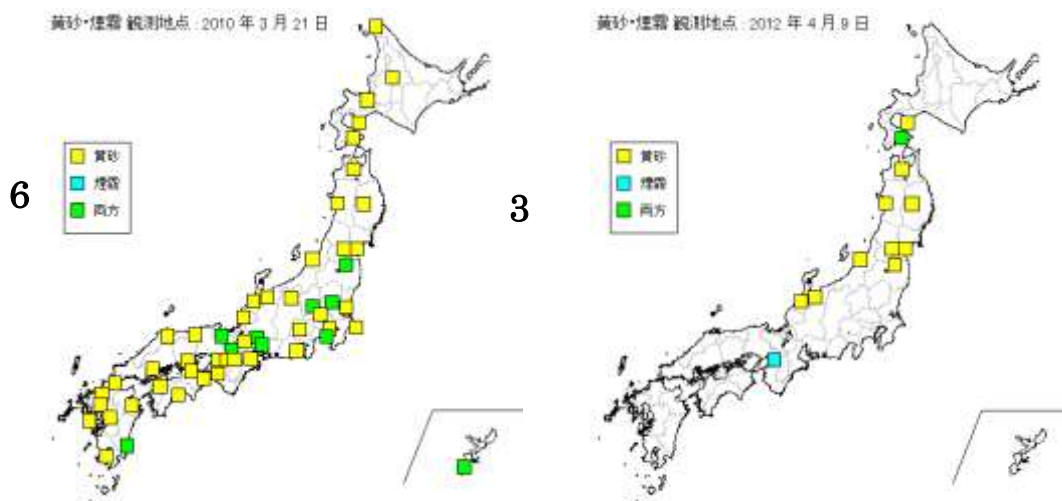


図 9-1-4 黄砂観測地点の表示例

⑤CFORS (dust) による予測

黄砂の予測システムである CFORS (dust) での予測図を 4 段階に分ける。

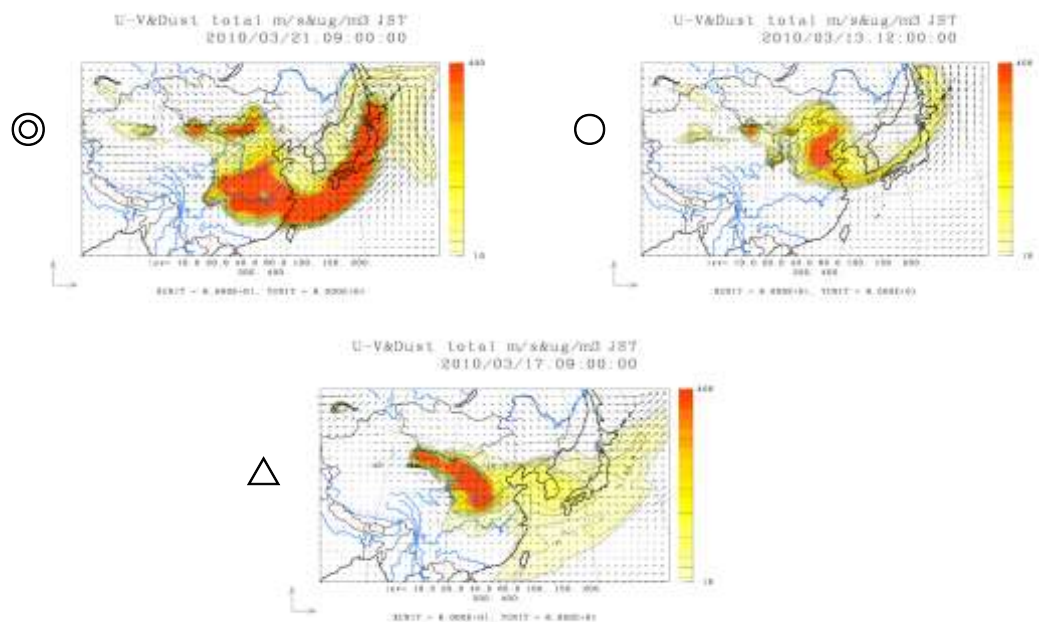


図 9-1-5 CFORS (dust) 予測の分類例

⑥SPM 濃度の地域の上昇

黄砂が飛来してきた地域では、SPM 濃度が集中的に上昇する。その広さ、濃度の高さは事例によって異なり、黄砂の大きさを示す指標となる。全国地図での SPM 高濃度の分布の様子から、4 段階に分類する

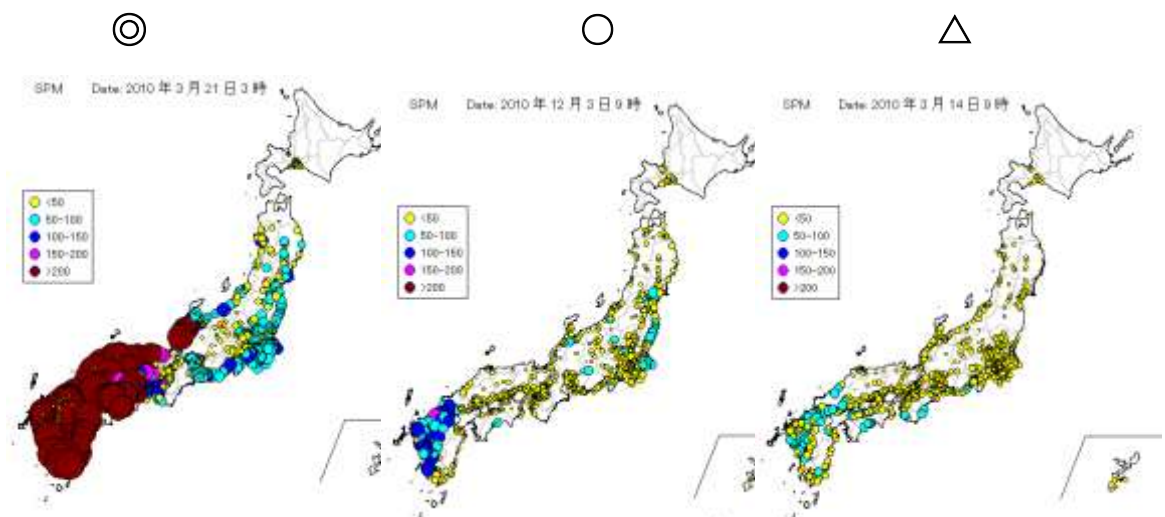


図 9-1-6 SPM 濃度全国分布の分類例

⑦SPM 最大濃度

SPM 濃度は高濃度の集中的な分布とともに、濃度の大きさは黄砂の強度を示す指標となる。図 9-1-7 は、黄砂日とそれ以外の日の 2009 年度の SPM 濃度の頻度分布である。黄砂の場合は $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超すような高濃度を示すケースもしばしば観測される。SPM 最大濃度については、7 段階に分類する。

300 以上=6、200~300=5、150~200=4、100~150=3、75~100=2、50~75=1、50 以下=0

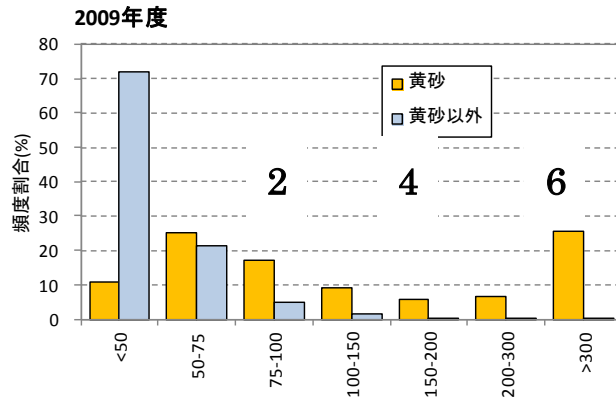


図 9-1-7 SPM 最大濃度の頻度分布

⑧PM_{2.5}/SPM 比

黄砂は砂塵の飛来が中心となるため、一般的には PM_{2.5}/SPM 比は低くなる傾向にある (図 9-1-8)。黄砂時で SPM 濃度が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の日・測定局を抽出して、PM_{2.5}/SPM の平均値の頻度分布を示すと 9-1-9 になる。図 9-1-10 は、地域的に広く比が低い状況であることを示している。PM_{2.5}/SPM 比を 7 段階に分類する。

0.9 以上=0、0.8~0.9=1、0.7~0.8=2、0.6~0.7=3、0.5~0.6=4、0.4~0.5=5、0.4 以下=6

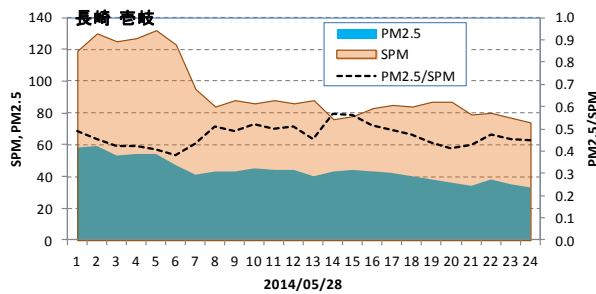


図 9-1-8 黄砂時の PM_{2.5}/SPM の経時変化

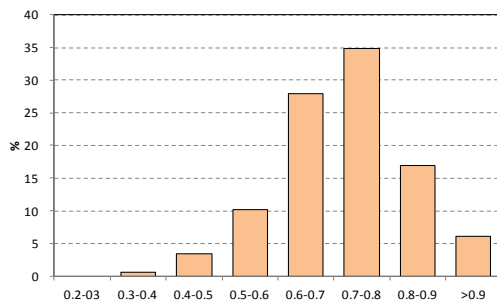


図 9-1-9 黄砂時の PM_{2.5}/SPM 比の頻度分布

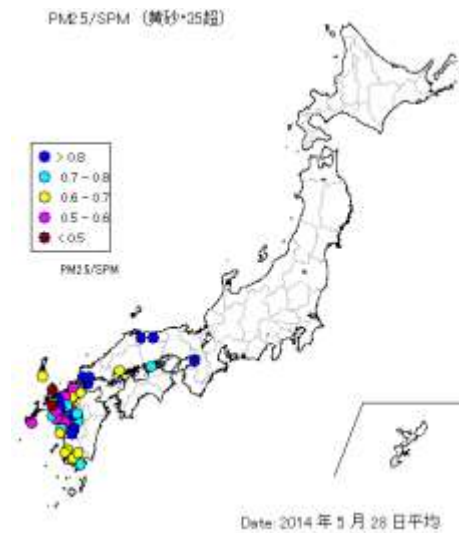


図 9-1-10 黄砂・高濃度日の PM_{2.5}/SPM の地域分布

⑨ライダー黄砂消散係数

ライダー黄砂消散係数は非球形粒子の存在を示し、SPM 濃度との関連も大きい(図 9-1-11、図 9-1-12)。黄砂消散係数は、気象の影響を受けて高い数値を示すことがあるため、その数値のみで判断することは難しい。ここでは、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係が、相関係数 0.6 以上、SPM 濃度 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 (日最大値)、黄砂消散係数 0.05/km 以上 (日最大値) などの値を目安に、4 段階に分類する。

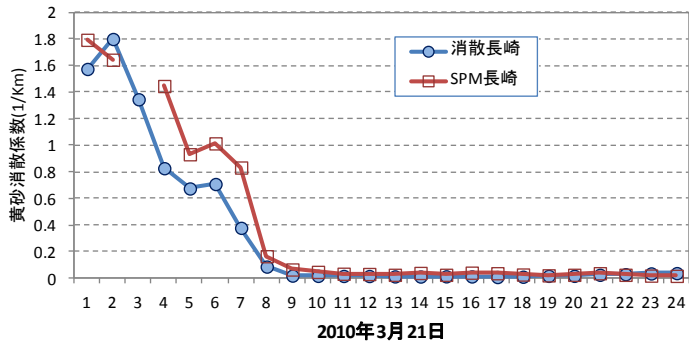


図 9-1-11 黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

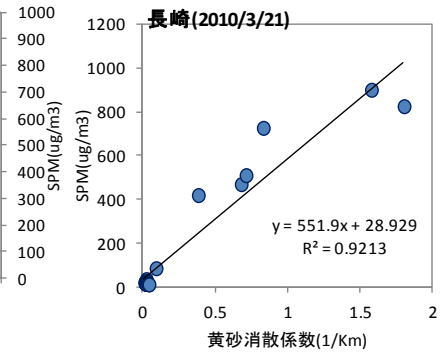


図 9-1-12 黄砂消散係数と SPM の相関

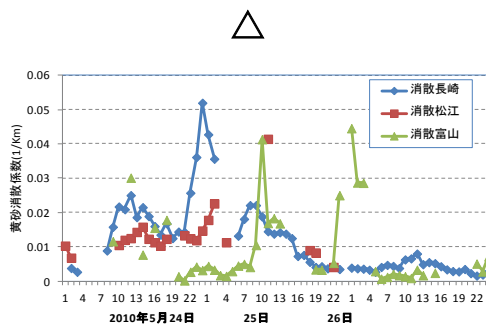
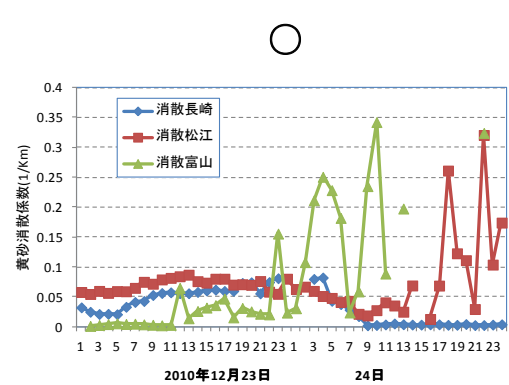
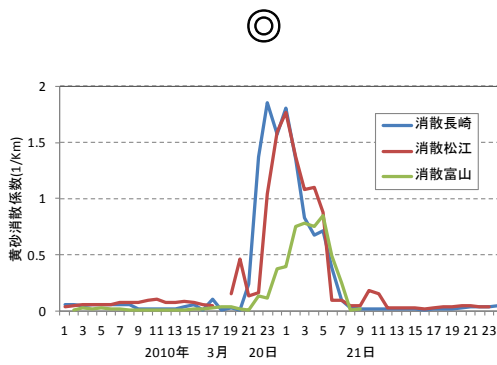


図 9-1-13 黄砂消散係数の分類例

(2) 大気汚染要素項目

PM_{2.5}を含む大気汚染物質の大陸からの飛来は、煙霧の形で観測される場合が多い。また、視程の低下という現象は黄砂と類似しており、黄砂における大気汚染物質の混在を考える場合、煙霧についても把握しておく必要がある。ここでは、黄砂観測時に、硫酸エアロゾルを中心とした汚染物質が同時飛来しているか否かを中心に検討した。

① 煙霧観測地点

煙霧を観測した気象台の数を、7段階に分類する。

30以上=6、20~30=5、15~20=4、10~15=3、5~10=2、1~5=1、なし=0

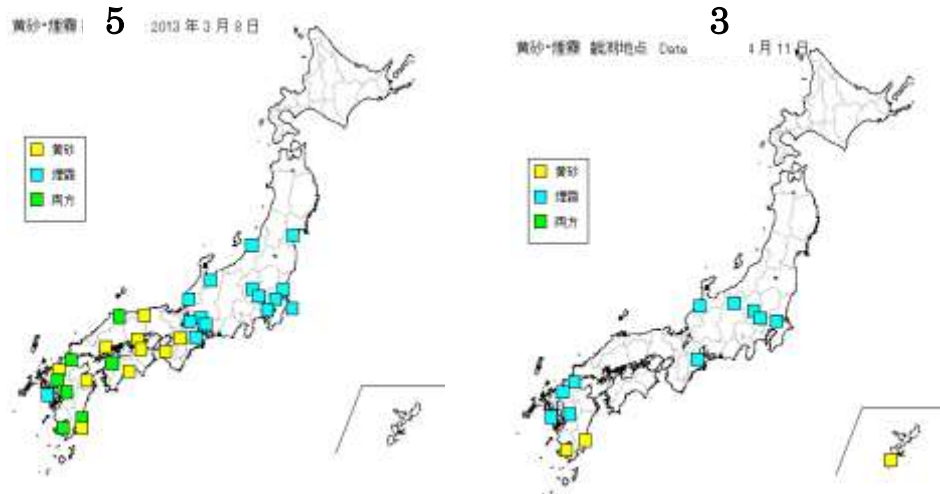


図9-2-1 煙霧観測地点の表示例

② 後方流跡線の軌跡

煙霧観測時には、後方流跡線は中国沿岸部からの軌跡が多い。この地域の集中する工業地帯の影響と思われ、黄砂の場合の軌跡とは異なっている。後方流跡線の軌跡を4段階に分ける。

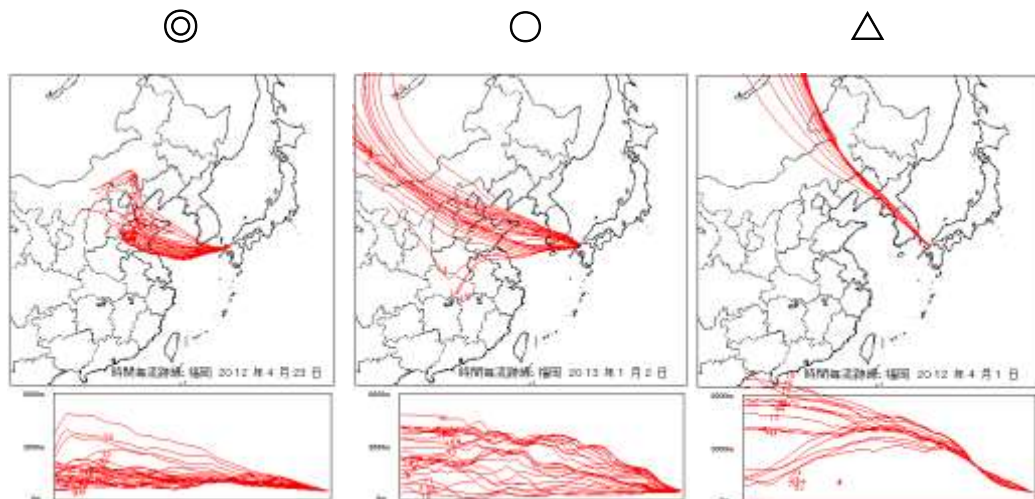


図9-2-2 後方流跡線の分類例

③硫酸イオン濃度

硫酸イオン濃度の上昇は、大陸からの汚染物質の越境の重要な指標となる。これは、中国が日本より二酸化硫黄濃度が高く、二次生成粒子として寿命の長い硫酸イオンを高濃度で生成していると考えられるからである。

図 9-2-3 に、硫酸イオン濃度の日平均、黄砂日、煙霧日に分けた頻度分布を示している。この図から、煙霧日に濃度が高いこと、また、黄砂日にも高い濃度がみられることが分かる。硫酸イオン濃度を7段階に分ける。

30以上=6、25~30=5、20~25=4、15~20=3、10~15=2、5~10=1、5以下=0

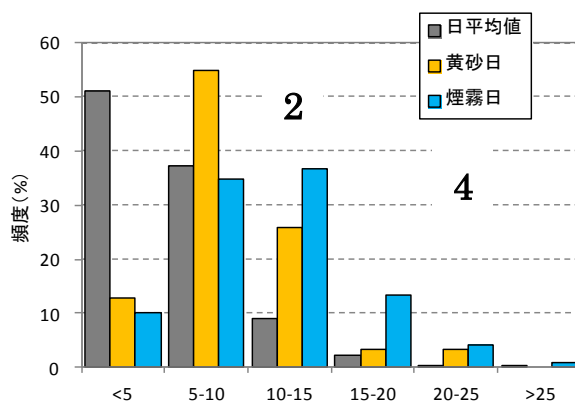


図 9-2-3 硫酸イオン濃度の日平均、黄砂日、煙霧日の頻度分

④PM_{2.5}/SPM 比

煙霧は微粒子である PM_{2.5} の値が高くなり、SPM との比でもその割合が高くなると思われる。図 9-2-4 に、煙霧時の PM_{2.5}/SPM 比を示している。煙霧時で PM_{2.5} 濃度が 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の日・測定局を抽出して、PM_{2.5}/SPM の平均値の頻度分布を示すと図 9-2-5 になる。ここでは、PM_{2.5}/SPM 比を7段階に分類する。

0.9以上=6、0.8~0.9=5、0.7~0.8=4、0.6~0.7=3、0.5~0.6=2、0.4~0.5=1、0.4以下=0

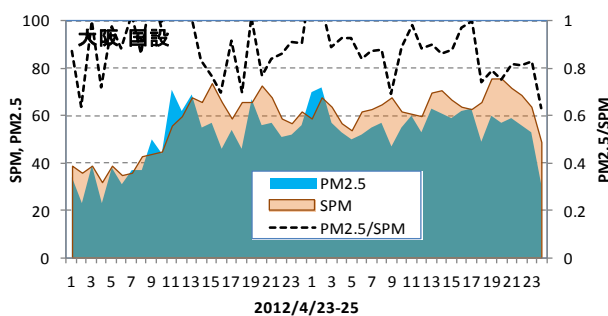


図 9-2-4 煙霧時の PM_{2.5}/SPM の経時変化

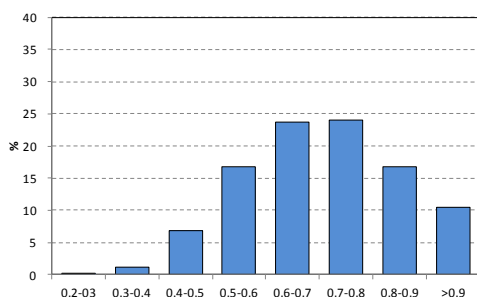


図 9-2-5 煙霧時の PM_{2.5}/SPM 比の頻度分布

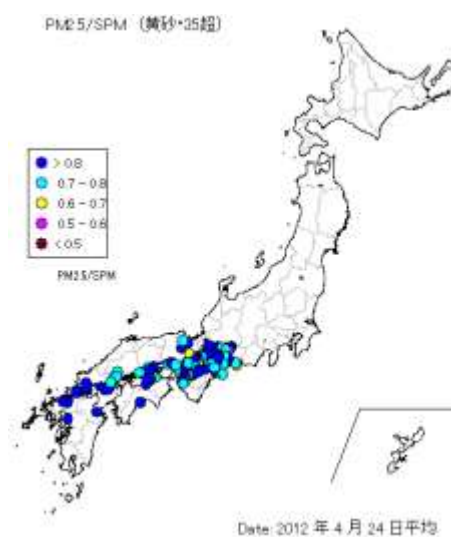


図 9-2-6 煙霧・高濃度日の PM_{2.5}/SPM の地域分布

⑤CFORS(sulfate)の予測

硫酸エアロゾルの予測システムである CFORS(sulfate)での予測図を4段階に分ける。

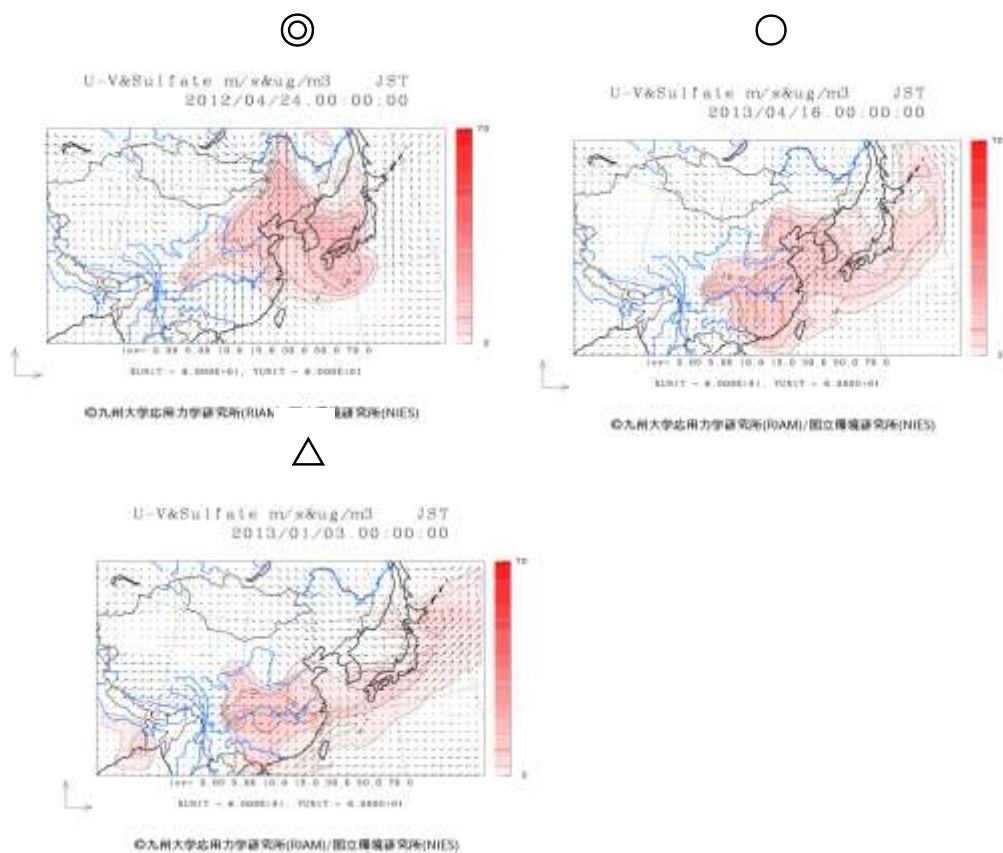


図 9-2-7 CFORS(sulfate) 予測の分類例