

6. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検討

6. 1 ライダーによる黄砂検出日とその状況

黄砂の観測は全国の気象台で実施されているが、近年では気象台で観測されないような弱い黄砂による影響が懸念されている。

このような中、過去の黄砂問題検討調査においてライダーと SPM による検出方法について検討した結果、本方法により、気象台が観測した黄砂日以外の日でも黄砂粒子の飛来を示唆するデータがみられた。そこで、本方法で検出された日については、気象台で観測されないような弱い黄砂日として、例年、情報を蓄積している状況である。

ライダーによる黄砂検出の方法と 2017 年度における検出結果は以下のとおりである。

(1) 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、2017 年度の 1 年間である。また地点は、長崎（長崎県）、松江（島根県）、富山（富山県）の 3 地点である。

(2) ライダーによる黄砂検出の方法

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。本方法は、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、両者の相関係数と回帰式について、24 時間単位で計算を行い、その中から、次の条件に合致するものを抽出するものである。

- ①1 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
- ③SPM 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

(3) ライダーによる黄砂検出の結果

2017年度において、本方法で検出された日は、表6-1-3-1に示すとおりである。このうち、5月7日と5月8日は気象台で黄砂・煙霧が観測された日である。また、5月30日は煙霧日であるが、「5.3 煙霧日の解析結果(1)」で前述したとおり、黄砂が飛来した可能性がある。

このほかの4事例については、砂塵嵐の発生状況、後方流跡線、CFORSなどの詳細を次頁以降の①～④に示すが、いずれも黄砂の飛来が示唆された。

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

No	年	月	日	地点	1日のデータ数	相関係数	SPM日最大値(μg/m ³)	ライダー日最大値(/km)	地点黄砂日	全体黄砂日	全体煙霧日
1	2017	4	19	長崎	24	0.617	61	0.178			
2	2017	4	30	富山	24	0.642	51	0.070			
3	2017	5	7	松江	24	0.842	53	0.303	○	○	
	2017	5	7	長崎	24	0.606	70	0.229	○	○	
	2017	5	8	富山	24	0.696	62	0.163	○	○	
4	2017	5	30	松江	24	0.635	69	0.068			○
5	2018	1	2	松江	24	0.871	59	0.068			
	2018	1	3	長崎	24	0.865	64	0.130			
6	2018	3	11	松江	24	0.809	56	0.083			

備考 1. 地点黄砂日：当該地点で気象台により黄砂が観測された日

2. 全体黄砂日：日本のいずれかの地点で気象台により黄砂が観測された日

3. 全体煙霧日：日本のいずれかの地点で気象台により煙霧が観測された日

① 2017年4月19日

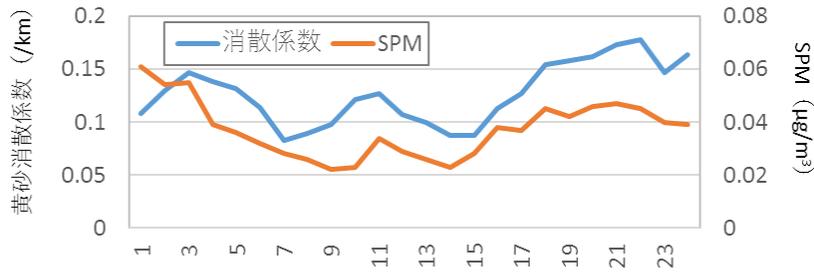


図 6-1-1-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

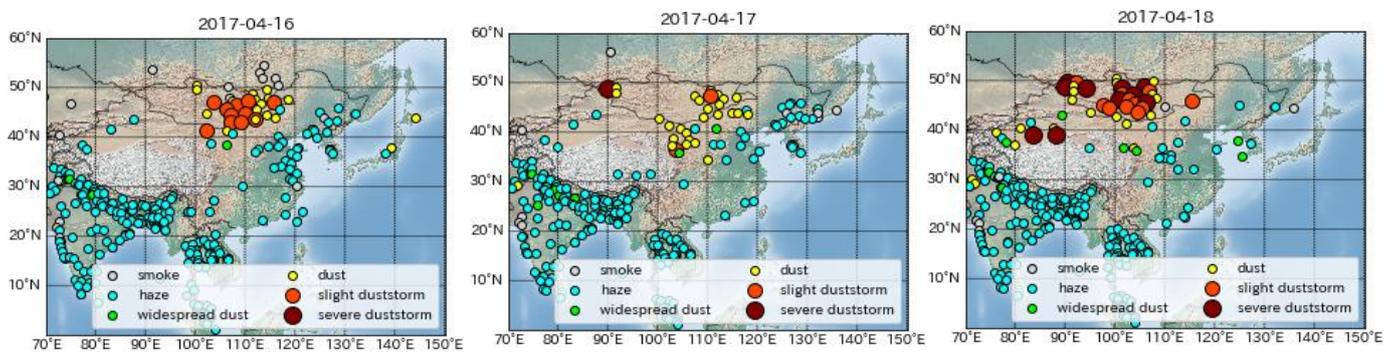


図 6-1-1-2 砂塵嵐の発生状況

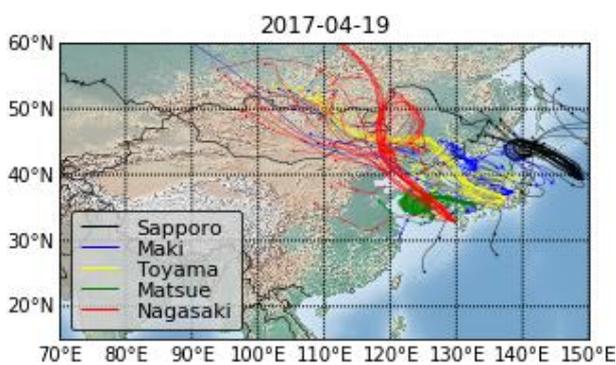


図 6-1-1-3 後方流跡線

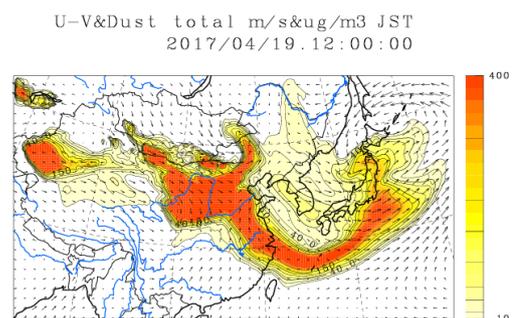


図 6-1-1-4 CFORS (dust)

② 2017年4月30日

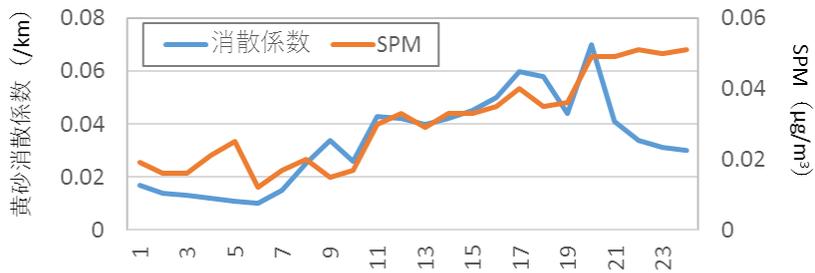


図 6-1-2-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

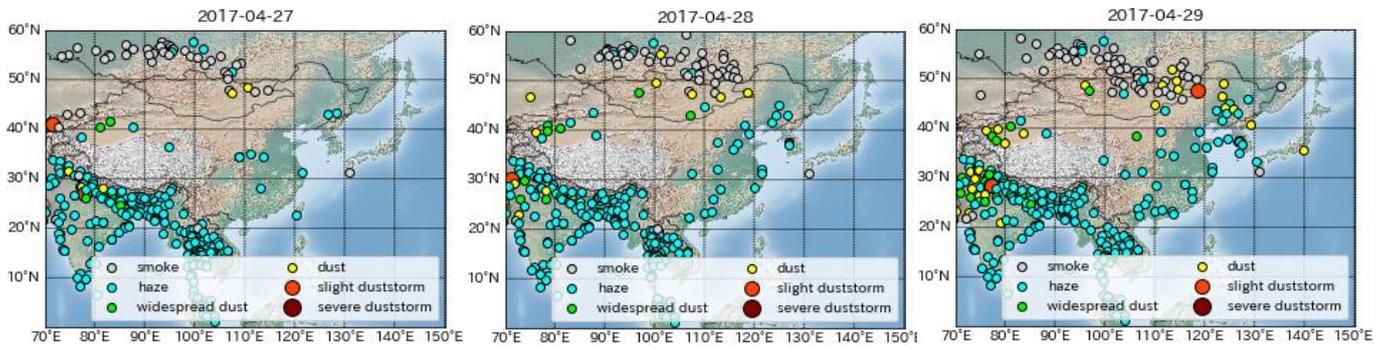


図 6-1-2-2 砂塵嵐の発生状況

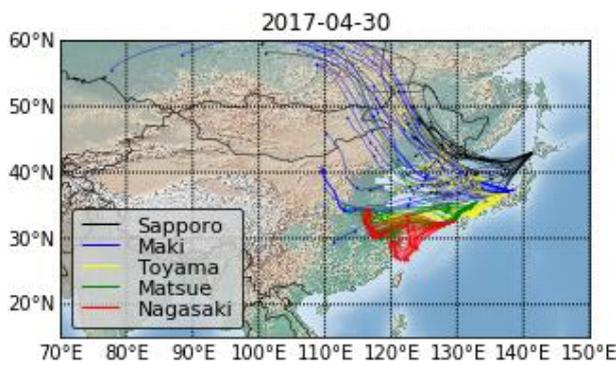


図 6-1-2-3 後方流跡線

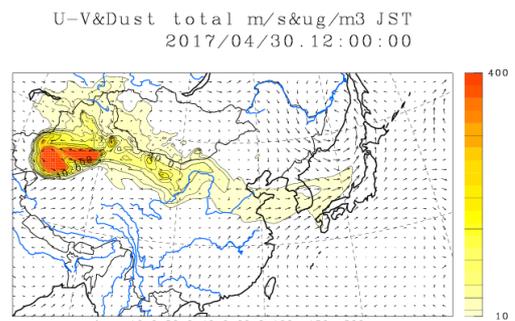


図 6-1-2-4 CFORS (dust)

③ 2018年1月2日～1月3日

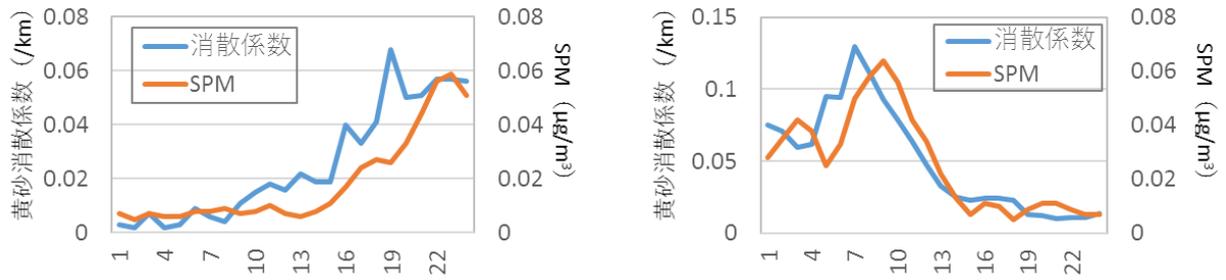


図 6-1-3-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移 (左: 松江 1 月 2 日、右: 長崎 1 月 3 日)

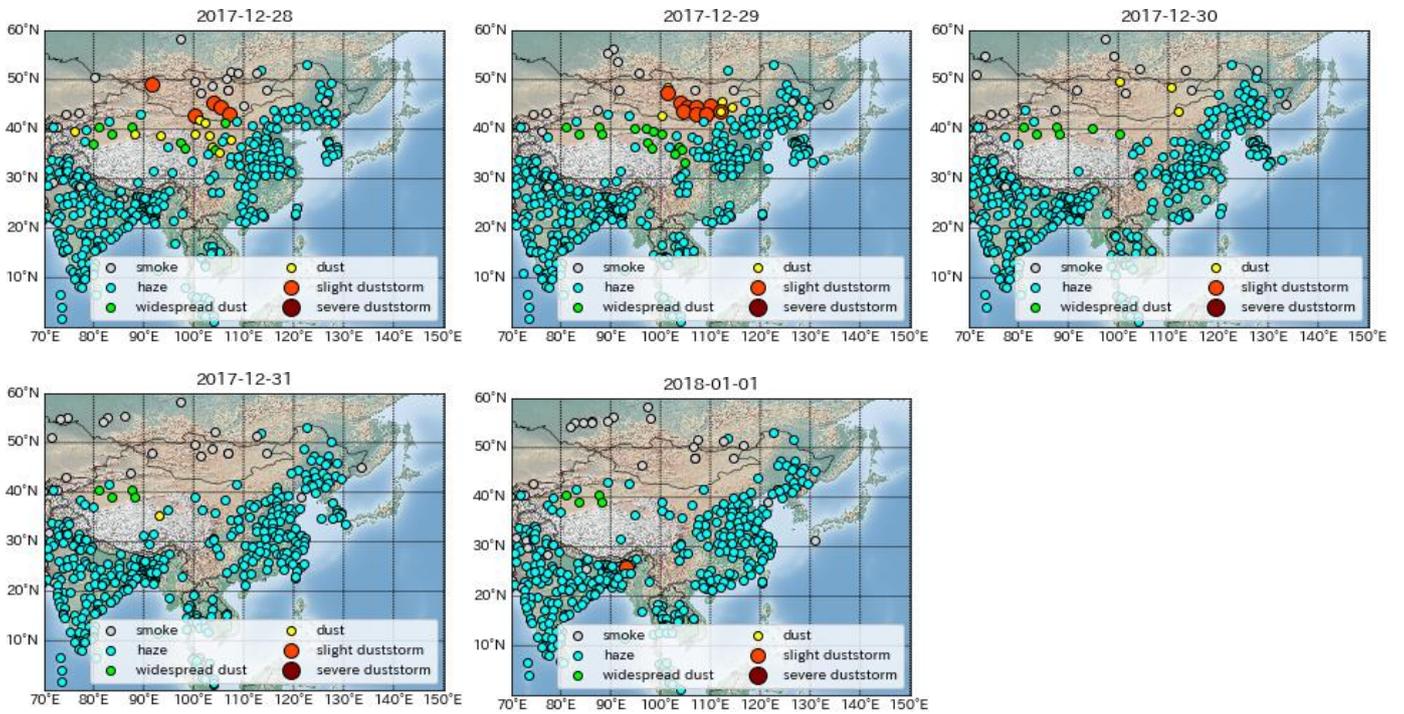


図 6-1-3-2 砂塵嵐の発生状況

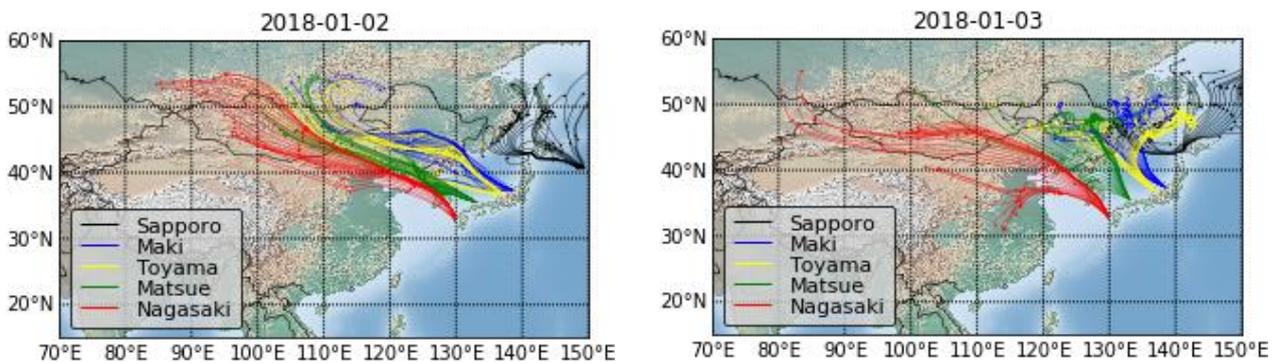


図 6-1-3-3 後方流跡線

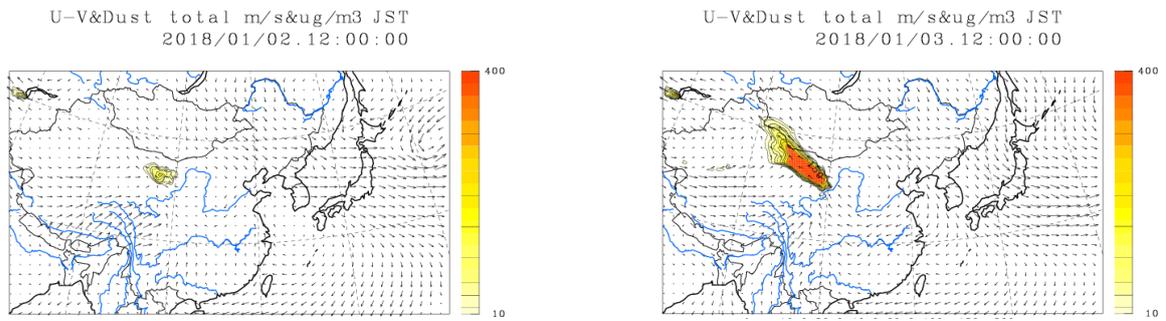


図 6-1-3-4 CFORS (dust)

④ 2018年3月11日

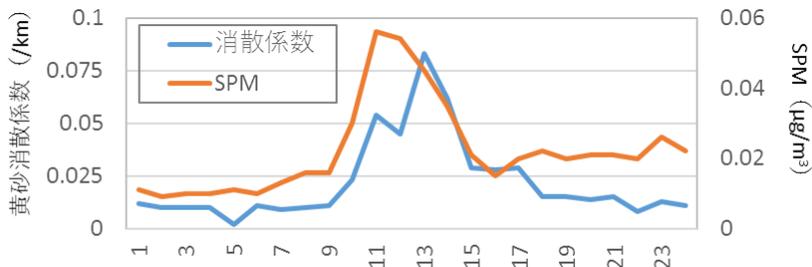


図 6-1-4-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

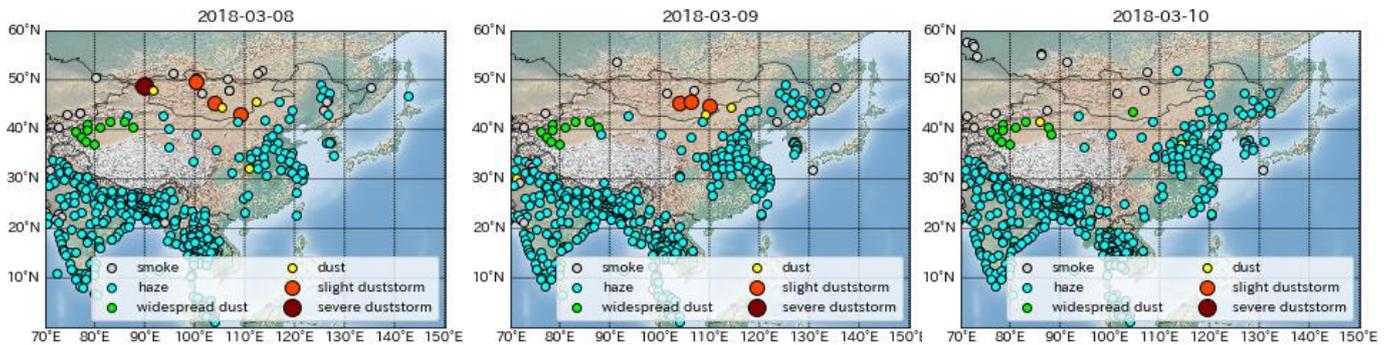


図 6-1-4-2 砂塵嵐の発生状況

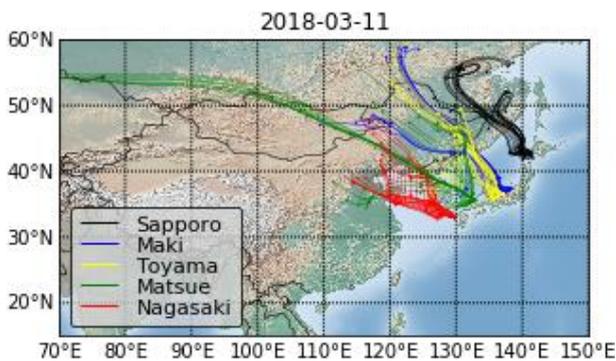


図 6-1-4-3 後方流跡線

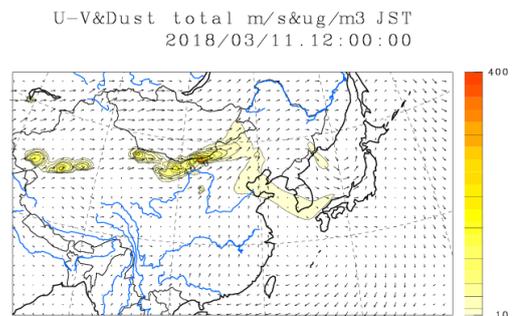


図 6-1-4-4 CFORS (dust)

6. 2 黄砂の検出条件の検討

ここでは、前述した検出条件のうち「③SPM 濃度の日最大値が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であること」について、SPM 濃度の日最大値をさらに下げても黄砂が検出されるか検討するため、「SPM 濃度の日最大値が $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満」の条件で実施した。検出結果は、表 2 のとおりである。なお、2018 年 3 月 26 日と 30 日は煙霧が観測された日である。3 月 26 日は全国 26 地点で、また 30 日はつくば、静岡、佐賀の 3 地点で煙霧が観測された。

そのほかについては、砂塵嵐の発生状況、後方流跡線、CFORS などの詳細を次頁以降の①～⑤に示すが、いずれも黄砂の飛来が示唆された。

このように $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の条件においても黄砂の飛来が見られるため、今後も継続的に情報の蓄積を行っていくものとする。

表 6-2-1 「SPM 濃度の日最大値が $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満」の条件で検出された日

No	年	月	日	地点	1 日の データ数	相関係数	SPM 日最大値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ライダー 日最大値 (/km)	地 点 黄 砂	全 国 黄 砂	全 国 煙 霧
1	2017	4	12	長崎	24	0.735	40	0.078			
2	2017	11	9	富山	23	0.654	45	0.056			
3	2018	2	23	長崎	24	0.661	46	0.050			
4	2018	3	4	富山	23	0.811	41	0.114			
5	2018	3	15	富山	24	0.714	46	0.350			
6	2018	3	26	松江	24	0.656	40	0.097			○
7	2018	3	30	長崎	24	0.723	42	0.124			○

備考 1. 地点黄砂日：当該地点で气象台により黄砂が観測された日

2. 全体黄砂日：日本のいずれかの地点で气象台により黄砂が観測された日

3. 全体煙霧日：日本のいずれかの地点で气象台により煙霧が観測された日

① 2017年4月12日

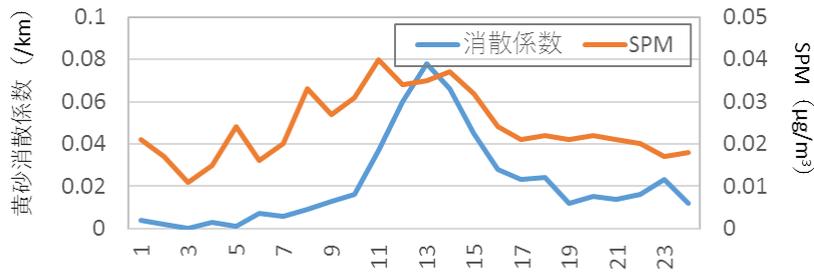


図 6-2-1-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

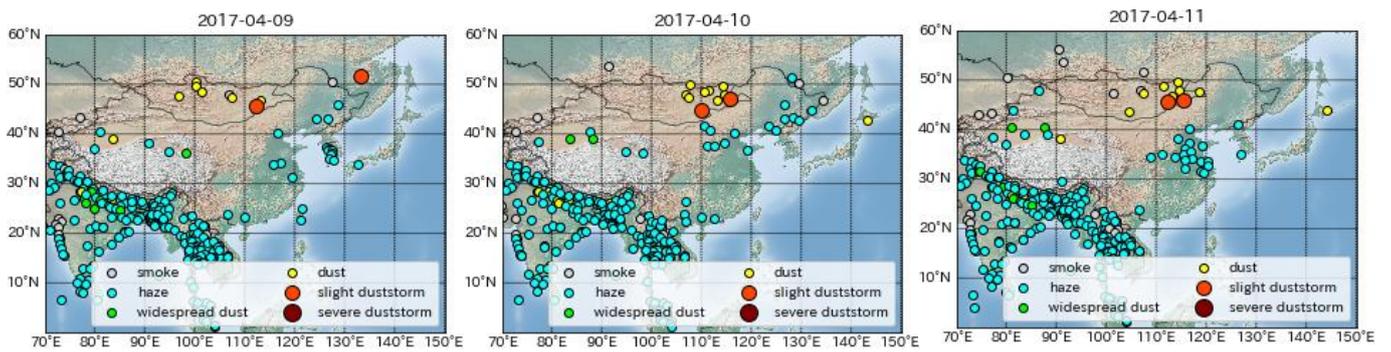


図 6-2-1-2 砂塵嵐の発生状況

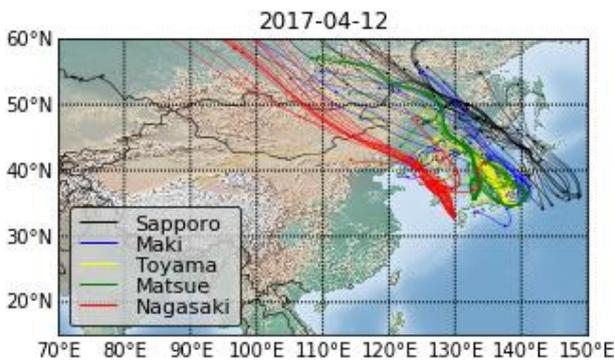


図 6-2-1-3 後方流跡線

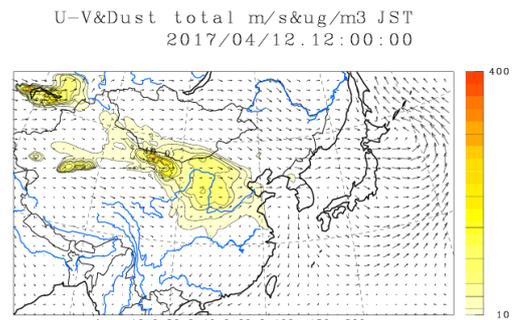


図 6-2-1-4 CFORS (dust)

② 2017年11月9日

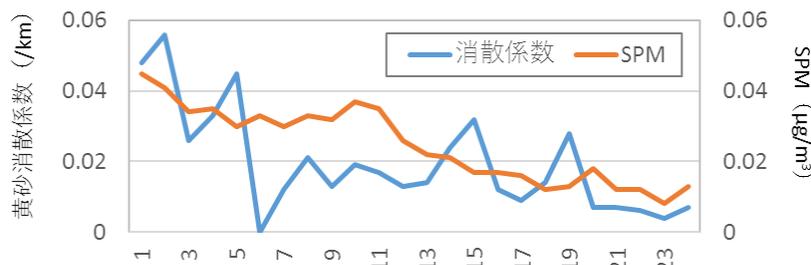


図 6-2-2-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

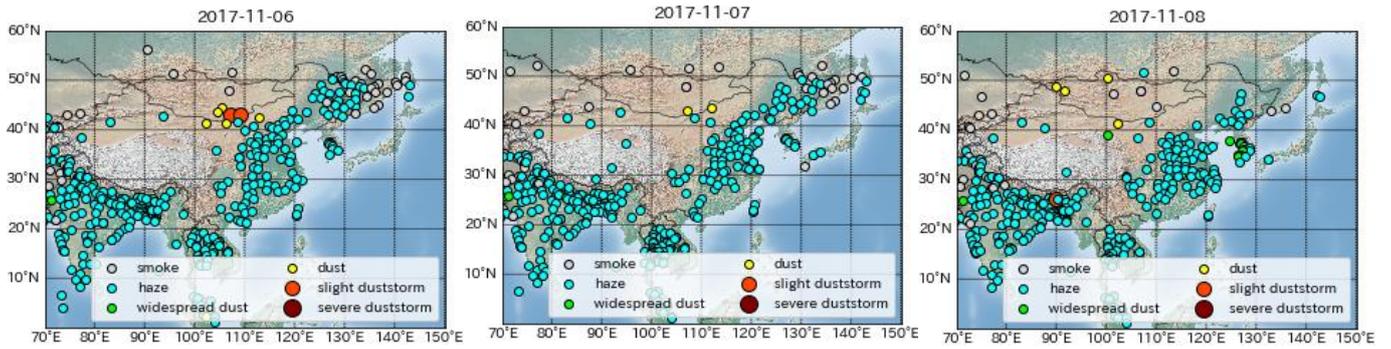


図 6-2-2-2 砂塵嵐の発生状況

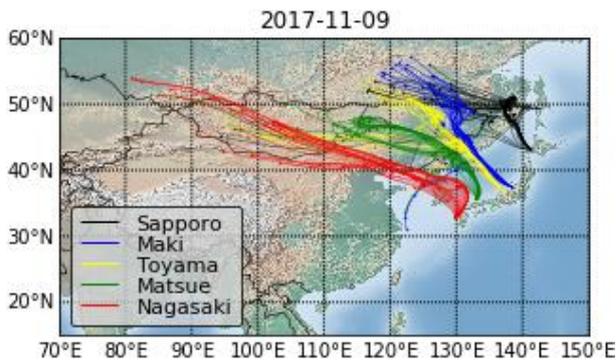


図 6-2-2-3 後方流跡線

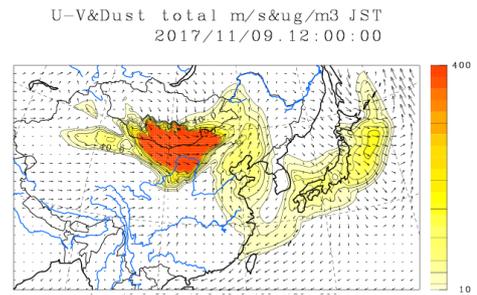


図 6-2-2-4 CFORS (dust)

③ 2018年2月23日



図 6-2-3-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

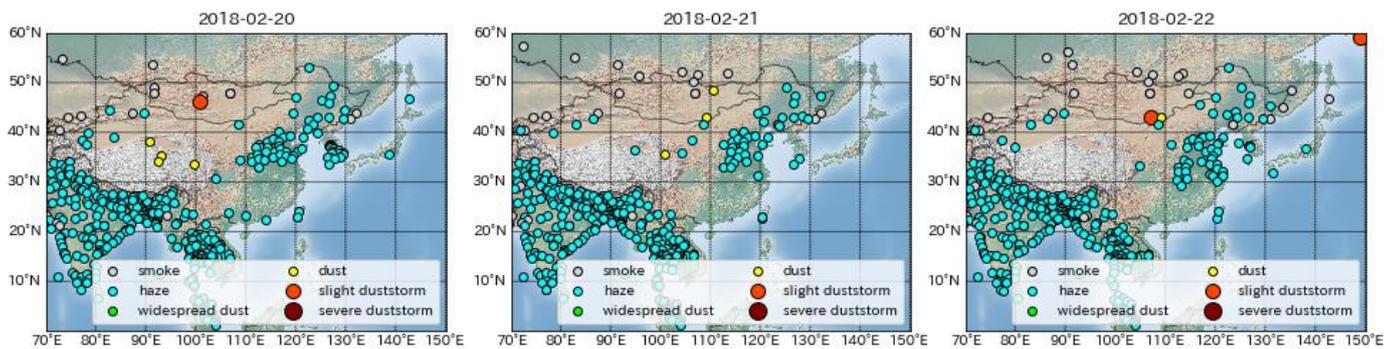


図 6-2-3-2 砂塵嵐の発生状況

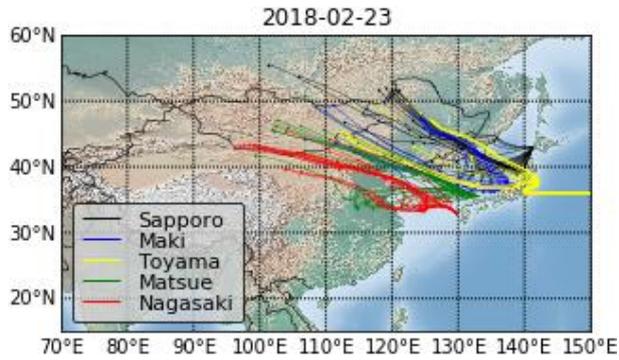


図 6-2-3-3 後方流跡線

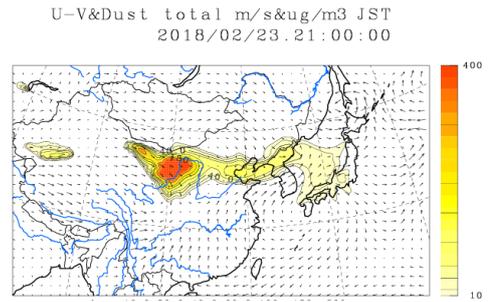


図 6-2-3-4 CFORS (dust)

④ 2018年3月4日



図 6-2-4-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

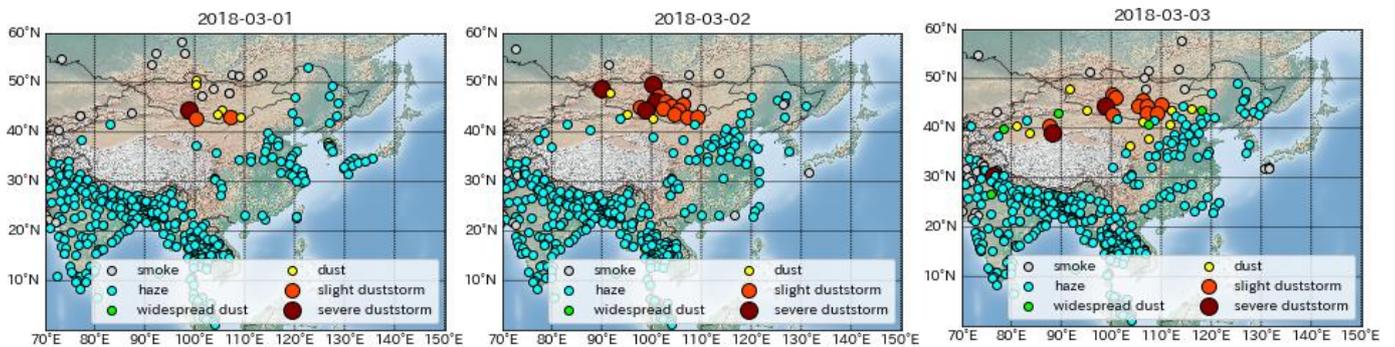


図 6-2-4-2 砂塵嵐の発生状況

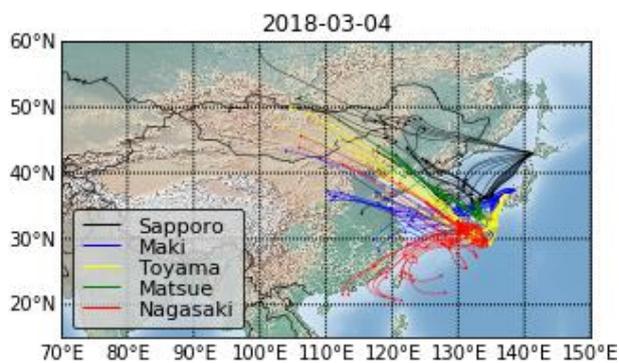


図 6-2-4-3 後方流跡線

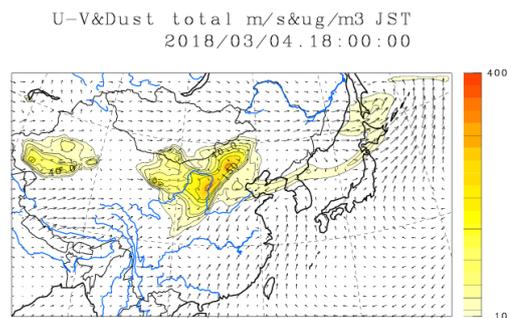


図 6-2-4-4 CFORS (dust)

⑤ 2018年3月15日



図 6-2-5-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

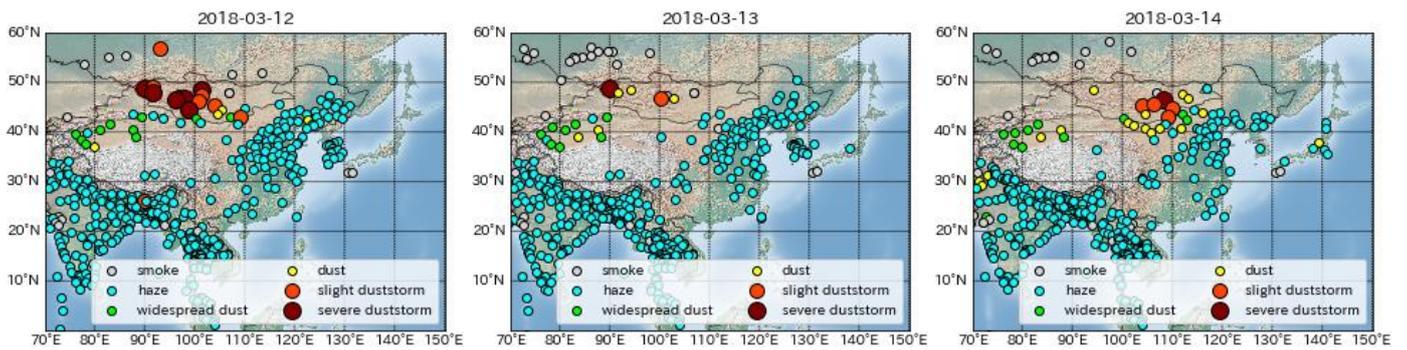


図 6-2-5-2 砂塵嵐の発生状況

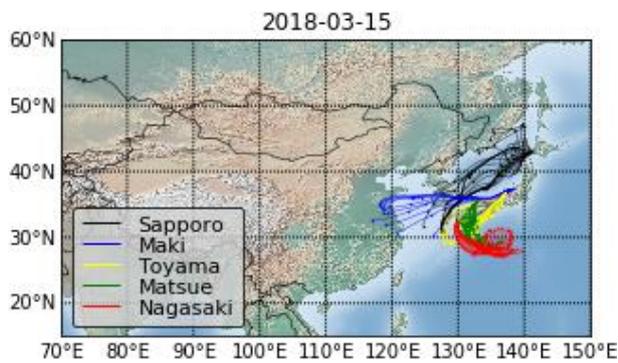


図 6-2-5-3 後方流跡線

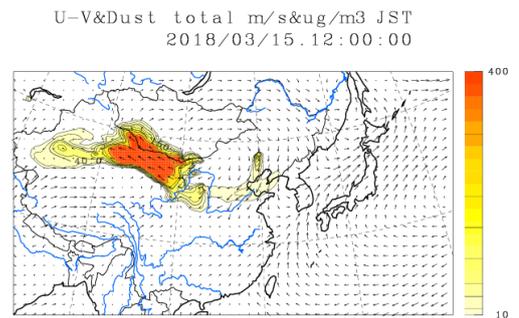


図 6-2-5-4 CFORS (dust)

7. 黄砂・煙霧日のPM2.5濃度

黄砂は、PM2.5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、2017年度の黄砂、煙霧時のPM2.5濃度との関係を検討した。

7. 1 黄砂時・煙霧時におけるPM2.5環境基準超過

評価対象測定局は、全国の1,081局である。

2017年度における日数×局（1日当たりの測定時間が21時間以上）は、385,282（日×局）であり、平均濃度は11.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。このうち、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、3,011（日×局）で、全体の0.8%であった。

図7-1-1には、全体と黄砂日および煙霧日でのPM2.5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1,903（日×局）、黄砂時の平均濃度は22.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は146（日×局）（7.7%）であり、前年度と比較して平均濃度（前年度：23.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は減少しているものの、環境基準値超過率（前年度：6.1%）はやや増加した。

一方、測定局における煙霧観測日は11,206（日×局）、煙霧時の平均濃度は23.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は1359（日×局）（12.1%）であり、前年度と比較して、平均濃度（前年度：21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、環境基準値超過率（前年度：6.8%）はともに増加した。

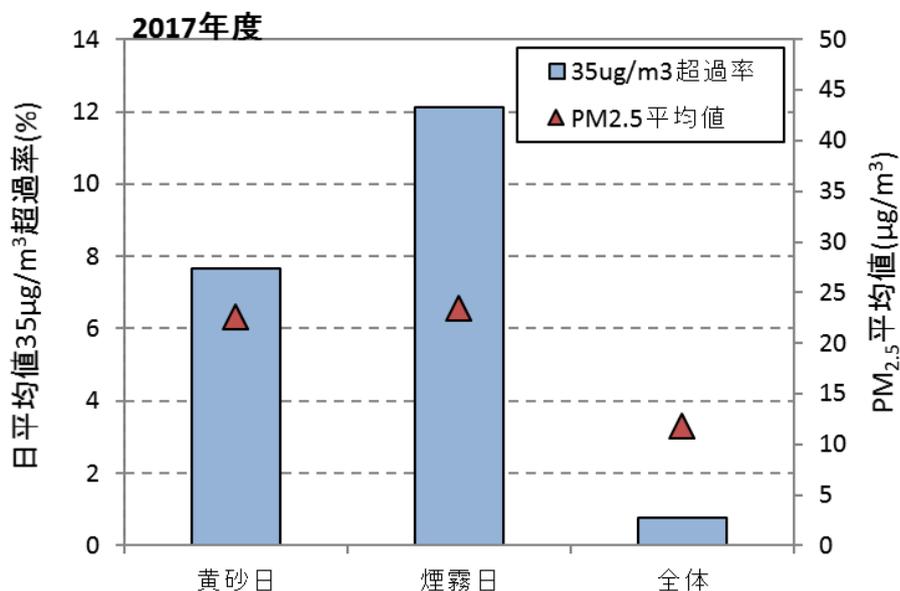


図7-1-1 黄砂日、煙霧日のPM2.5平均濃度と環境基準超過率(2017年度)

2017年度の黄砂観測日数と黄砂日のPM2.5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PM2.5環境基準超過日数を図7-1-3に示す。黄砂時の環境基準超過日数は、西日本で多い。一方、煙霧時の環境基準超過日数は、東西で大きな差はみられない。

図7-1-4に、PM2.5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。この図から、PM2.5環境基準超過時において、その際に黄砂あるいは煙霧が観測されることが多いことが分かる。

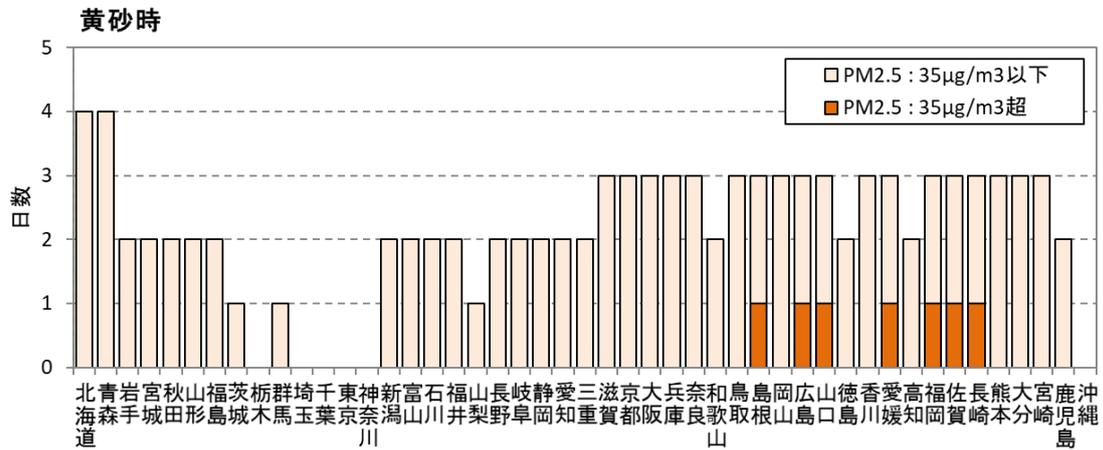


図7-1-2 都道府県別の黄砂日数とPM2.5環境基準超過日数(2017年度)

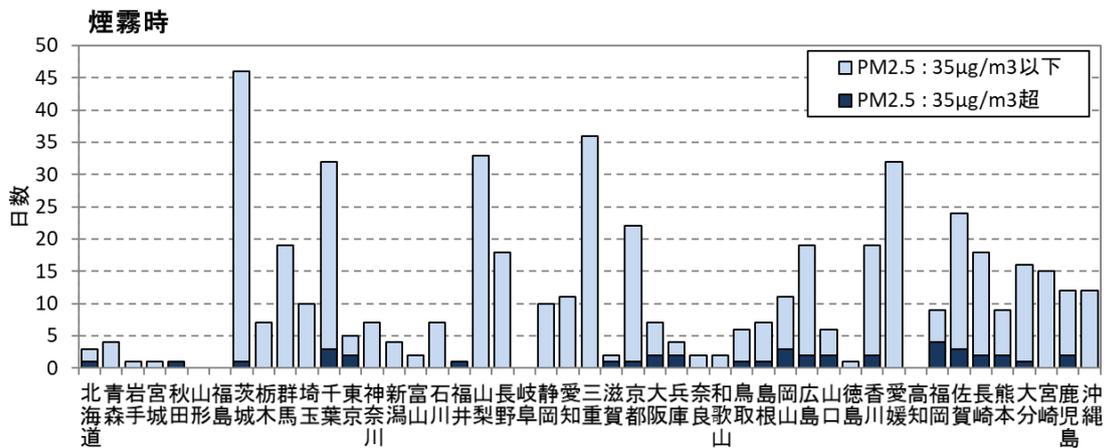


図7-1-3 都道府県別の煙霧日数とPM2.5環境基準超過日数(2017年度)

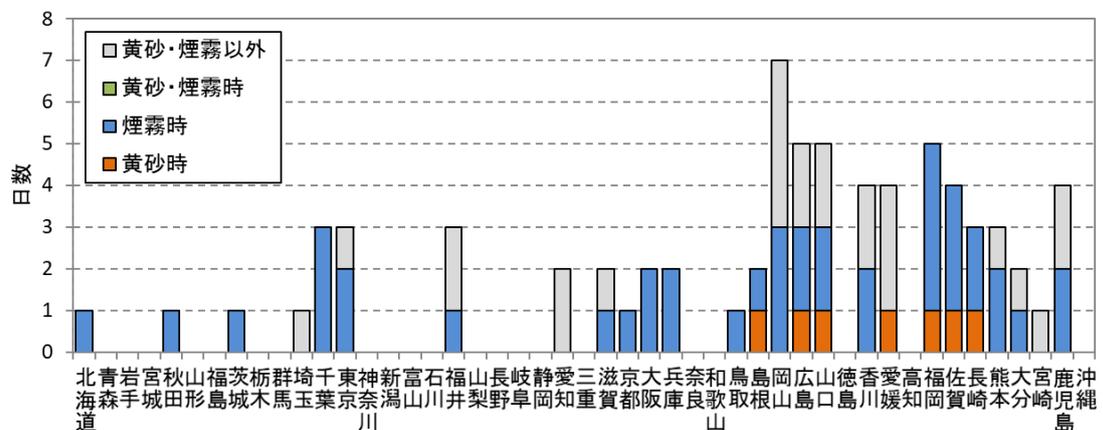


図7-1-4 地点別のPM2.5環境基準超過日に占める黄砂・煙霧の割合(2017年度)

7. 2 黄砂時・煙霧時におけるPM2.5成分濃度

全国の自治体では、毎年度、4季にわたってPM2.5の成分分析を実施している。ここでは、2017年度の成分分析調査結果のうち、PM2.5の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であり、かつ黄砂もしくは煙霧が観測された地点を抽出し、金属成分について項目別に黄砂日と煙霧日で比較した。

PM2.5の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であり、かつ黄砂が観測された日の検体は、2017年5月7日の滋賀県長浜局、5月8日の滋賀県長浜局と奈良県桜井局の計3検体である。一方で、PM2.5の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上で、かつ煙霧が観測された日の検体は、326検体であった。

黄砂時および煙霧時における金属成分・イオン成分の平均とPM2.5中の含有率は、図7-2-1と図7-2-2のとおりである。黄砂時にはAlとFeが顕著に高く、煙霧時には硫酸イオンが高くなるほか、硝酸イオン、アンモニウムイオンがやや高くなる傾向がみられた。

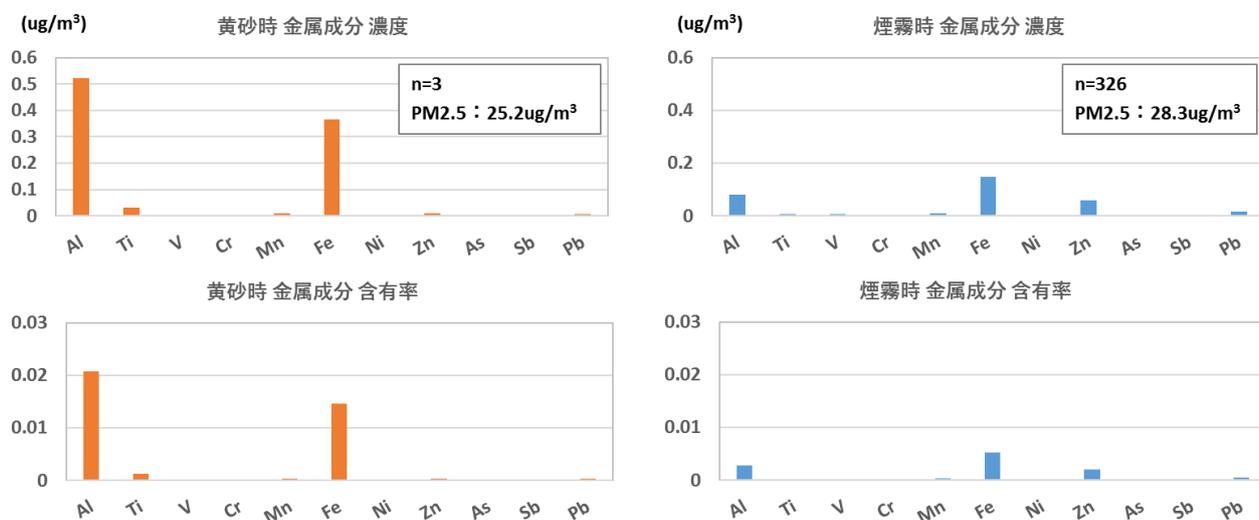


図7-2-1 黄砂時および煙霧時におけるPM2.5金属成分（上段：濃度、下段：含有率）

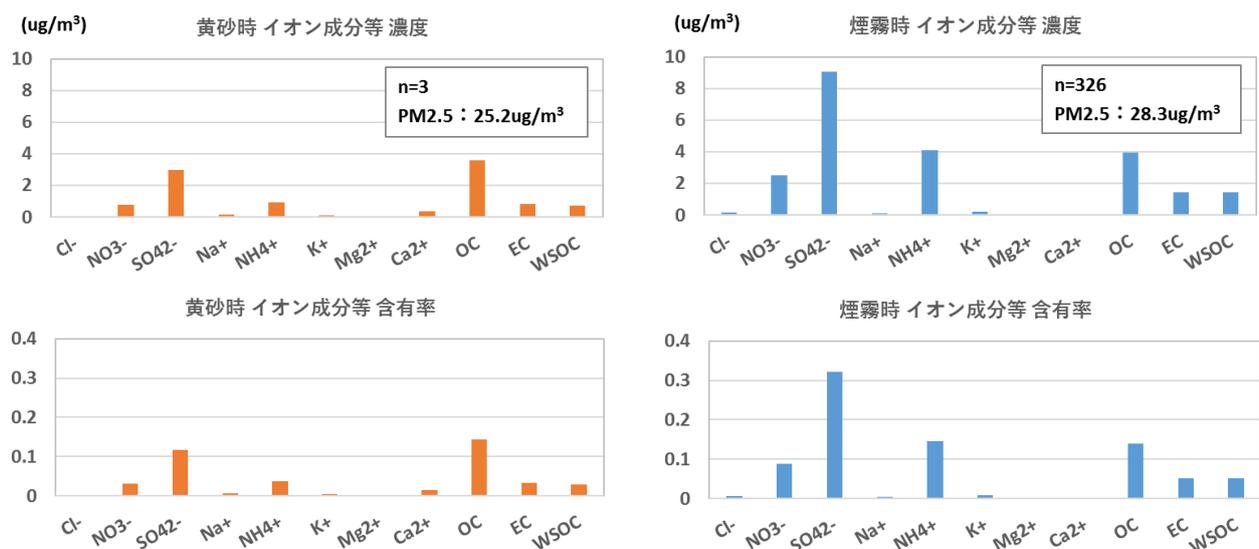


図7-2-2 黄砂時および煙霧時におけるPM2.5イオン成分等（上段：濃度、下段：含有率）

7. 3 黄砂・煙霧時 PM2.5 の PMF 法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時で PM2.5 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。PM2.5 の発生源寄与は、PMF (Positive Matrix Factorization) 法により求めた。PMF 法はリセプターモデルの一種であり、発生源の組成や特徴をもとにしたサンプルから発生源の寄与を定量化するものである。ソフトは、EPA-PMFv5.0 を使用した。

計算の条件は下記のとおりとした。

PMF の計算の条件

<p>【件数】</p> <p>黄砂：4 件、煙霧：441 件 (2017 年度に観測された黄砂・煙霧の期間と、環境省が実施した成分分析の調査期間が一致した全国のデータ)</p> <p>【成分数】</p> <p>以下の全 19 項目 イオン成分：Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 無機元素成分：Al、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、As、Pb 炭素成分：OC、EC</p> <p>【因子数】</p> <p>7 因子</p>
--

図 7-3-1 に因子数 7 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、As、Sb、Pb 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²⁸⁾。鉄鋼・石炭の一般的な Pb/Zn 比は 0.8 とされているが、ここでは 0.45 と低い。

Factor2 は NO₃⁻、Cl⁻ で高く、二次生成された NH₄NO₃ などの粒子と考えられる。NH₄NO₃ の NO₃⁻/NH₄⁺比は 3.4 であり、ここでは 3.2 と近い値を示した。

Factor3 は SO₄²⁻、NH₄⁺などで高く、二次生成された(NH₄)₂SO₄²⁻と考えられる。(NH₄)₂SO₄²⁻の SO₄²⁻/NH₄⁺比は 2.7 となるが、ここでは 2.6 と同程度である。

Factor4 は OC、EC で高く、バイオマスの燃焼によるものと想定される。バイオマス由来の OC/EC 比は 2~4 とされて²⁷⁾おり、ここでは 3.2 と範囲内であった。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 V、Ni などが高く、重油燃焼と思われる。重油燃焼の一般的な V/Ni 比は 2.1~3.1 とされて²⁹⁾おり、ここでは 2.7 と範囲内であった。

Factor6 は Al、Ti の割合が高く、黄砂を含む土壌を表す因子と思われる。黄砂時の Al/Fe 比は 1.15~1.75 とされて³¹⁾おり、ここでは 2.2 と若干高い値であった。

Factor7 は Na⁺、Mg²⁺などで高く、海塩によるものと想定される。海塩の Mg²⁺/Na⁺比は 0.11 とされて³⁰⁾おり、ここでは 0.13 と同程度である。

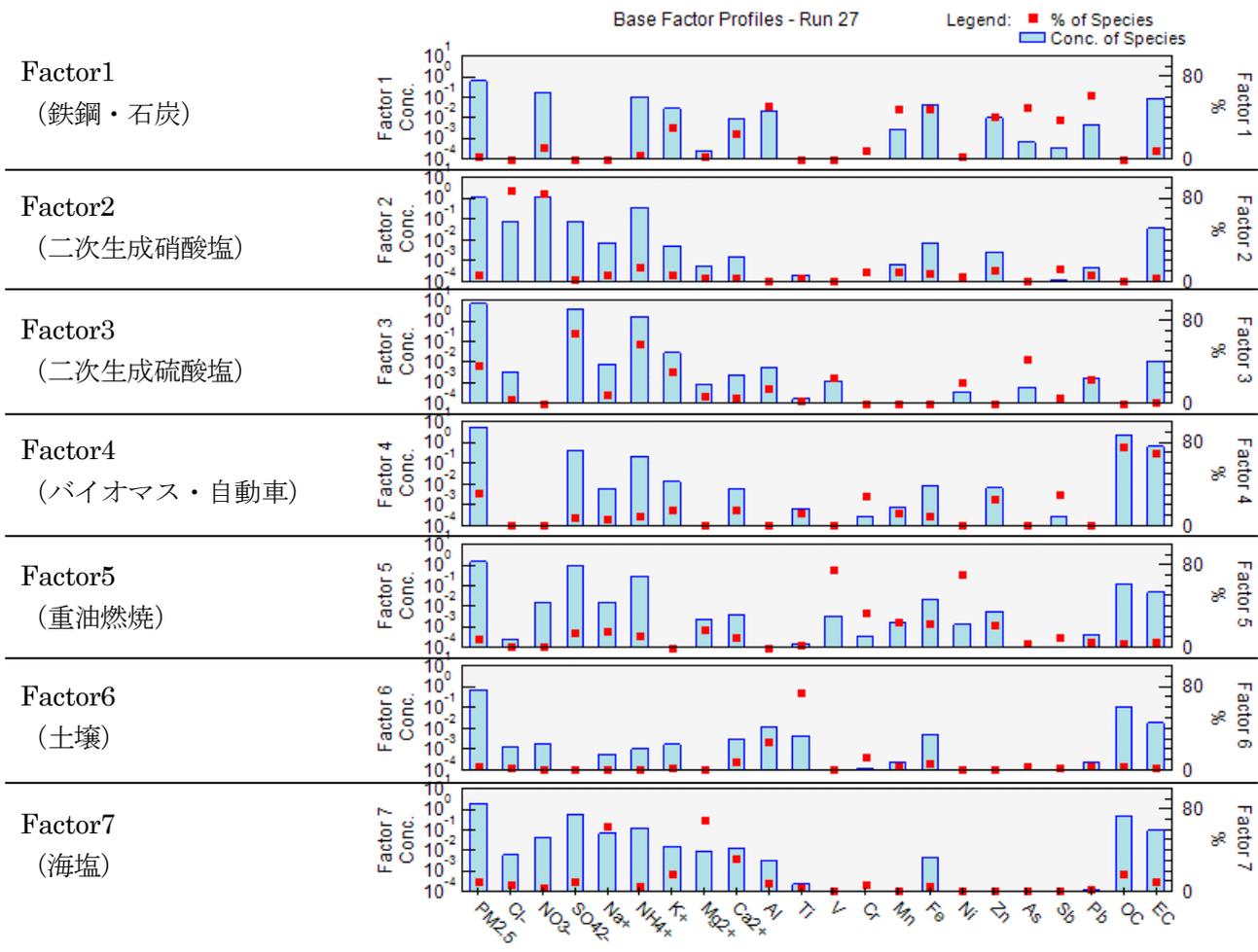


図 7-3-1 発生源プロフィール

2017 年度に観測された黄砂・煙霧の期間と、環境省が実施した成分分析の調査期間が一致した全国の調査結果 445 件について、PMF による発生源寄与平均組成の結果は、図 7-3-2 に示すとおりである。

平均組成は、二次生成硫酸塩の寄与が最も高く 37.3%を示し、次いでバイオマス・自動車の寄与が高く 31.6%を示した。

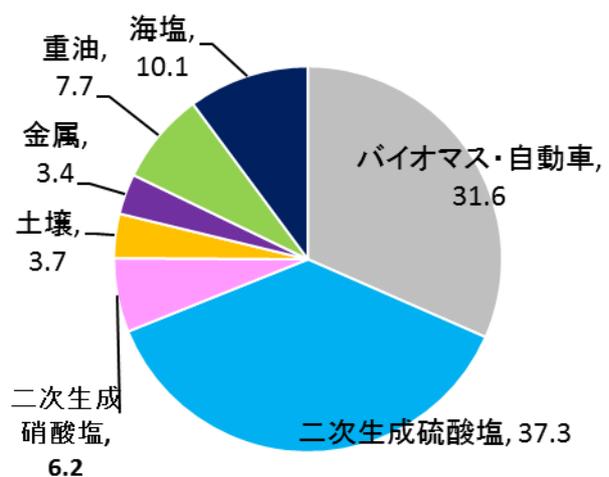


図 7-3-2 黄砂・煙霧時の各寄与濃度の平均組成