# 平成 29 年度黄砂飛来状況調査報告書

平成 31 年 3 月

環境省

# 黄砂問題検討会委員名簿

(50音順)

		, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
	氏 名	所属・職名
委員	市瀬 孝道	大分県立看護科学大学 人間科学講座生体反応学研究室 教授
座長	岩坂 泰信	一般社団法人 環境創造研究センター 顧問
委員	植松 光夫	東京大学 大気海洋研究所 国際連携研究センター 名誉教授
委員	鵜野 伊津志	九州大学 応用力学研究所 地球環境力学部門 教授
委員	大黒 俊哉	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生圏システム学専攻 緑地創成学研究室 教授
委員	西川 雅高	東京理科大学環境安全センター 副センター長
委員	三上 正男	一般財団法人気象業務支援センター 参与
委員	吉川 賢	岡山大学 地域総合研究センター 特任教授

## 黄砂実態解明調査解析ワーキンググループ委員名簿

(50音順)

	氏 名	所 属・職 名
委員	清水 厚	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター広域大気環境研究室 主任研究員
座長	西川 雅高	東京理科大学環境安全センター 副センター長
委員	早崎将光	一般財団法人 日本自動車研究所 エネルギ・環境研究部 環境評価グループ 主任研究員
委員	原 由香里	九州大学 応用力学研究所 地球環境力学部門 助教
委員	森 育子	地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所 技師

### 報告書の要旨

#### 1. 調査目的

環境省では、2002 年度から、我が国に飛来してきた黄砂について、その実態を科学的に把握するために黄砂実態解明調査を実施している。本報告書は、2017 年度に飛来してきた黄砂についてその状況をとりまとめたものである。

#### 2. 黄砂の飛来状況

## 2. 1 黄砂の観測状況

黄砂の観測日数は2003年度から2005年度まで年々増加していたが、2008、2009年度と減少した。 2010年度に一時増加したが、2013年度はここ10年間で最も少ない日数であった。この数年間は少ない状況であるが、2015年度からやや増加傾向にある。

## 2. 2 黄砂日の SPM 濃度

黄砂日の SPM の平均濃度は、西日本の方が北・東日本よりも相対的に高濃度であった。

## 3. 煙霧の観測状況

煙霧の観測日数は 2005 年度から年々減少の傾向にある。2016 年度は過去 15 年間で最も少ない日数であったが、2017 年度はやや増加した。

#### 4. 2017 年度における黄砂日の事例解析

#### 4. 1 解析方法

黄砂を多角的に把握するため、天気図、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS 予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係、ACSA による大気汚染物質濃度の時間値、PM2.5/SPM の比などのデータを比較して飛来状況を解析した。また、これらの結果から黄砂の状況と大気汚染物質の混在状況についてレーダーチャートにより評価した。黄砂の状況把握には、アジア中央部での黄砂の発生状況、日本南岸に前線が位置する気圧配置、モンゴルからの方向を示す後方流跡線、ライダーでの黄砂消散係数と SPM 濃度の同時上昇、PM2.5/SPM の比の低下などがその判断として有効と思われた。また、大気汚染物質の混在状況については、SO42の上昇、中国沿岸部からの方向を示す後方流跡線、PM2.5/SPM の比の上昇などをもとに判断した。

## 4. 2 2017年度の黄砂

2017 年度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 5 日である。連続した日を1つの黄砂現象とすると、2 事例になる。黄砂2 事例について詳細にその状況を示した。

#### 4.3 黄砂日の解析結果

2017年度の気象台黄砂日2事例について、各事例の概要は以下のとおりである。

#### (1) 2017年5月6日~8日

北海道から九州まで全国的に黄砂が観測された。特に札幌では一時  $350\mu g/m^3$  を超える高濃度となり、黄砂の影響を強く受けたものと思われる。一方、人為起源系汚染物質は、5 月 6 日の福岡で $SO_4$ <sup>2</sup> が若干高い程度で、全体的に濃度が低い状況であり、黄砂との混在は少なかった。

#### (2) 2018年3月28日~29日

黄砂は、北海道と青森のみの観測であったが、同時に全国で煙霧が観測された。札幌での ACSA の  $SO_4$ <sup>2</sup> は欠測であるが、札幌に近い箟岳で  $SO_4$ <sup>2</sup> が高く、人為起源系大気汚染物質が黄砂と混在している様子がみられた。

#### 5. 2017 年度における煙霧日の事例解析

#### 5. 1 2017 年度の煙霧日

2017年度に気象台が日本国内のいずれかの地点で煙霧を観測した日は、合計で26日である。連続した日を1つの煙霧現象とすると、4事例になる。煙霧4事例について詳細にその状況を示した。

## (1) 2017年5月30日~6月2日

5月 31日では、関東地域、中部地域と九州地域の計 11 地点で広く煙霧が観測された。後方流跡線が日本の複数地点において上海からの気流を示しているほか、6月 1日から 2日にかけては、五島や隠岐で ACSA の  $SO_4$ <sup>2</sup>が増加している様子がみられるなど、都市部を中心とした地域的な汚染に加え、大陸からの汚染の影響が及んだ事例と考えられる。

#### (2) 2018年1月16日~23日

1月19日~20日は西日本を中心に11~12地点で観測された。後方流跡線やPM2.5成分などから、1月16日から17日あたりは関東地方を中心とした地域的な汚染によるもの、それ以降は大陸からの越境により西日本側を中心に影響が及んだ事例と考えられる。

#### (3) 2018年2月24日~3月1日

煙霧は、西日本を中心に観測されている。後方流跡線は、概ね大陸からの気流を示し、同時に SO4<sup>2</sup>が上昇している様子がみられ、西日本を中心に大陸からの影響が及んだ事例と考えられる。

#### (4) 2018年3月24日~31日

煙霧は、特に 3 月 25 日~29 日にかけて全国で 12 地点~26 地点と非常に広範囲で煙霧が観測された。また、3 月 28 日~29 日は北海道と青森で黄砂が観測されている。ACSA では  $SO_4$ 2 と  $NO_3$ 3 が、PM2.5 の増加とともに都市部以外の地域も含めて高い濃度で推移している様子がみられ、全国的に大陸からの影響が及んだ事例と考えられる。

## 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

ライダーから黄砂飛来の判定を行った。方法はライダー黄砂消散係数と SPM 濃度 (最大値 50μg/m³の条件を含む) の時間変動から黄砂を検出するものである。本方法で、2017 年度の黄砂飛来の可能性がある日を抽出したところ、長崎、松江、富山で 9 日抽出された。これらについて、多角的に解析を行った結果、いずれも黄砂飛来の可能性を示していた。

#### 6.2 黄砂の検出条件の検討

SPM の条件のみを  $50\mu g/m^3$  から  $40\mu g/m^3$  に変更して、黄砂の検出の有無を検証した。その結果、このような条件でも、黄砂の様子が観察され、小規模黄砂検出への適用の可能性がみられた。

## 7. 黄砂・煙霧日の PM2.5 濃度

#### 7. 1 黄砂·煙霧時における PM2.5 環境基準超過

2017 年度の黄砂日における PM2.5 平均濃度は 22.6µg/m³、日平均値 35µg/m³の超過率は 7.7%で、前年度と比較して、平均濃度(前年度: 23.9µg/m³)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。また、煙霧日における平均濃度 23.5µg/m³、日平均値 35µg/m³の超過率は 12.1%であり、前年度と比較して、平均濃度(前年度: 21.8µg/m³)、環境基準値超過率(前年度: 6.8%)ともに増加した。

## 7. 2 黄砂時・煙霧時における PM2.5 成分濃度

2017年度の成分分析調査結果のうち、PM2.5の重量濃度が20µg/m³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、成分の項目別に黄砂日と煙霧日で比較した。黄砂時は煙霧時と比較して、特にAl、Fe が顕著に上昇した。

## 7. 3 黄砂時・煙霧時 PM2.5の PMF 法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時に 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。因子数を 7 としたところ、それぞれ黄砂を含む土壌、重油燃焼、二次硫酸塩、鉄鋼・石炭、二次硝酸塩、バイオマス燃焼・自動車排ガス、海塩と思われる因子となった。

#### 8. PM2.5 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用

環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017 年 4 月から継続的な測定を開始している。PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14 (以下、ACSA」という。)では、全国 10 地点で PM2.5 や粗大粒子中の  $SO_4$ <sup>2</sup>、 $NO_3$  (硝酸イオン) などを測定している。そこで、ここでは ACSAの測定結果の利用について検討を行った。

#### 8. 1 年平均

PM10 は、日本の西側ほど濃度が高い傾向を示し、特に隠岐や五島の離島で高いことが特徴である。また、 $SO_4$ 2-も同様に西側ほど濃度が高い傾向を示すが、特異的に赤穂が高く、赤穂は地域的な影響が強い地域であると考えられる。一方で $NO_3$ は、東京、名古屋、大阪、赤穂などの都市部で高い傾向がみられた。

#### 8. 2 黄砂時における粗大粒子の成分濃度

黄砂時には、粗大粒子の濃度が高くなることが知られているため、ここでは 2017 年度に気象台で 観測された黄砂の 2 事例について、粗大粒子の成分濃度を PM10 と比較した。両事例ともに、粗大粒 子の成分では、硝酸イオンが PM10 と同時に上昇する現象がみられ、硝酸イオンが黄砂に付着してい た可能性があると考えられた。

#### 8. 3 PM2.5とPM10の比

PM10 は SPM よりも粗大な粒子の量的指標となるため、ここでは PM2.5/PM10 についてのとりまとめを行った。結果、黄砂時においては、PM2.5/SPM より PM2.5/PM10 で顕著な差が見られた。

## 9. 人工衛星データの利用

ここでは地球観測用の人工衛星におけるデータの活用について検討を行った。

## 9. 1 国内外における地球観測人工衛星の概要

黄砂の捕捉に適用できる可能性がある国内外の地球観測用の人工衛星について、ひまわり 8 号、CALIPSO、MODIS の概要をまとめた。このうち、CALIPSO、MODIS は、耐久年を大きく過ぎていることから、以降の検討では、ひまわり 8 号について検討することとした。

## 9. 2 2017 年度黄砂事例における PM2.5 成分濃度推移

ひまわり 8 号の衛星データから Dust RGB 処理をした画像から、2017 年度に観測された黄砂について、検証を行った。その結果、黄砂と示唆されるものが、大陸から日本へ飛来している様子を見ることができ、その範囲をある程度特定することができた。

# 黄砂飛来状況報告書 目次

1. 調査目的	1
2. 黄砂の観測状況	1
2.1 黄砂の観測状況	1
2.2 黄砂日の SPM 濃度 ···································	2
3. 煙霧の観測状況	8
4. 2017 年度における黄砂日の事例解析	9
4.1 黄砂日の事例解析	9
4.2 解析方法	9
4.3 2017 年度の黄砂	14
4.4 黄砂日の解析結果	15
(1) 黄砂事例 1 2017年5月6日~7日	15
(2) 黄砂事例 2 2018年3月29日~29日	23
5. 2017 年度における煙霧日の事例解析	31
5.1 煙霧日の事例解析	31
5.2 2017 年度の煙霧日	32
5.3 煙霧日の解析結果	33
(1) 煙霧事例 1 2017年5月30日~6月2日	33
(2) 煙霧事例 2 2018年1月16日~23日	38
(3) 煙霧事例 3 2018年2月24日~3月1日	46
(4) 煙霧事例 4 2018年3月24日~31日	52
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	60
6.1 ライダーによる黄砂検出日とその状況	60
6.2	66

7. 黄矿	少・煙霧日の PM2.5 濃度 ···································	71
7.1	黄砂時・煙霧時における PM2.5 環境基準超過	71
7.2	黄砂時・煙霧時における PM2.5 成分濃度	73
7.3	黄砂・煙霧時 PM2.5 の PMF 法による発生源寄与推定	74
8. PM	2.5 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用 ······	76
8.1	年平均値	77
8.2	黄砂時における粗大粒子の成分濃度	78
8.3	PM2.5 と PM10 の比	81
9. 人二	L衛星データの利用	84
9.1	国内外における地球観測人工衛星の概要	84
9.2	ひまわり 8 号 Dust RGB による黄砂事例の検証	88
	W ampre	
10. 今	後の課題	92
<del>*</del> * * *	-±\.11 1	0.0
<b>麥</b>	·献リスト	93

## 1. 調査目的

黄砂は、従来から黄河流域や既存の砂漠等から発生する自然現象としてとらえられてきたが、近年では過放牧や農地転換などによる耕地の拡大も原因とされ、人為的影響による環境問題として再認識されつつある。黄砂は、植物や交通機関に影響を与えるほか、呼吸器疾患等の健康影響の可能性が指摘されているが、飛来した黄砂の物理的、化学的な実態については必ずしも解明されていない。また、黄砂の飛来と同時に、中国大陸における産業活動に伴う人為的発生源からの影響も懸念される。

本報告書は、わが国における黄砂エアロゾルの飛来状況を科学的に把握するとともに、わが国に飛来した黄砂の実態解明 1~11)に資することを目的として、2017 年度に飛来してきた黄砂についてその状況をまとめたものである。

## 2. 黄砂の観測状況

2002 年度から 2017 年度の気象台発表の黄砂の観測日数について経年変化、黄砂地点別の飛来回数などを整理した。

また、浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために、2001 年から 2017 年にかけて、気象台が発表している黄砂観測日において都道府県ごとの SPM 平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じて算出し、各都道府県における黄砂現象を被る概略的な量的指標の推移を示した。

## 2. 1 黄砂の観測状況

気象台発表の黄砂日における年間延べ日数について、2002 年度から 2017 年度までの 16 年間を、図 2-1-1 にまとめた。2017 年度は、2016 年度に比べやや増加していた。また、図 2-1-2 には、2017 年度の黄砂延べ日数の経月変化を示す。黄砂観測日は 2017 年 5 月に突出して多いが、これは同月に数日間に渡って全国的に黄砂が観測されたことによる。

2017年度の観測地点毎の黄砂日数は、黄砂の多い地点順で図 2-1-3 に示している。上位は、東北・ 北海道地方と近畿地方であった。例年では上位に九州・中国地方が見られるが、2017年度は例年の傾 向と異なっていた。

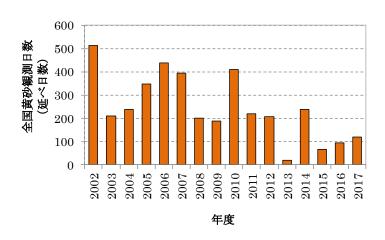


図 2-1-1 黄砂観測日数の経年変化

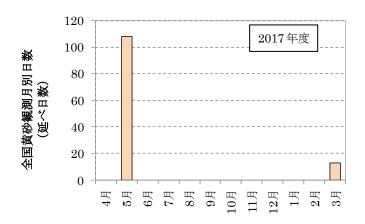


図 2-1-2 黄砂観測日数の経月変化(2017年度)

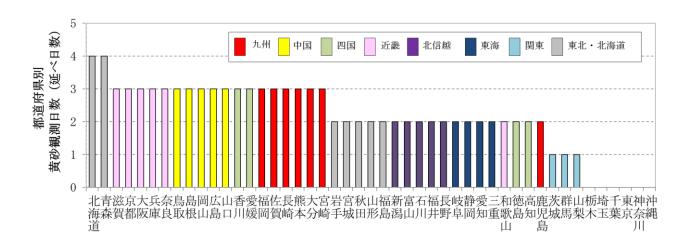


図 2-1-3 黄砂日の地点別日数 (2017 年度)

なお、黄砂は、これまで全国 59 ヶ所の気象台において目視観測で判定されていたが、平成 31 年 2 月に関東甲信地方における 9 ヶ所のうち 8 ヶ所が目視観測をやめることとなり、現在、全国 51 ヶ所で黄砂判定を行っている。

## 2. 2 黄砂日の SPM 濃度

SPM 濃度と黄砂現象を比較検討するために、2003 年から 2017 年について、気象台が発表している 黄砂観測日における都道府県ごとの SPM 平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観 測日数を乗じたものを、図 2-2-1(1)~(5)に示している。気象台黄砂観測日における SPM 平均濃度は、各都道府県における黄砂の強度を、また、その値に当該年の黄砂観測日数を乗じたものは、各年の各都 道府県における黄砂時の概略的な量的指標を示すと考えられる。

2017年は、それ以前と同様に、黄砂日の平均濃度は全体的に西側が東側より、相対的に高くなっている。

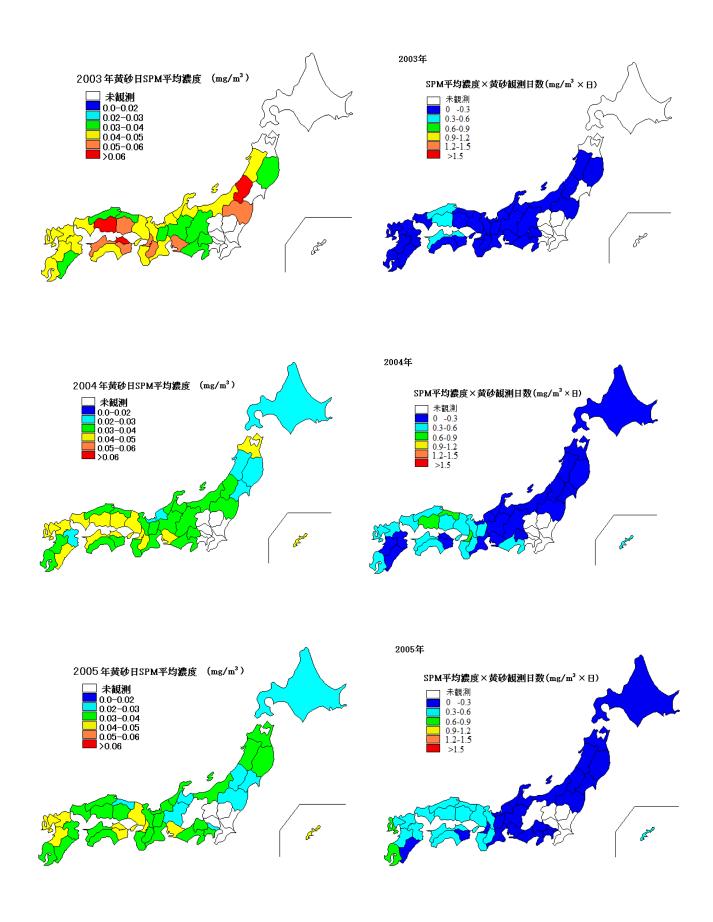


図 2-2-1(1) 黄砂日の SPM 平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

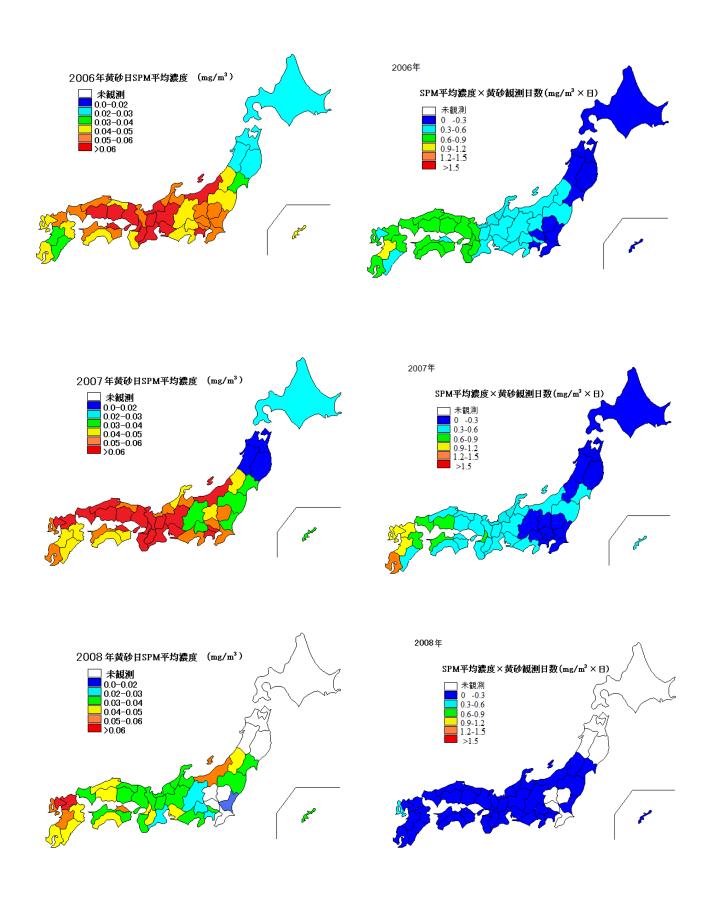


図 2-2-1(2) 黄砂日の SPM 平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

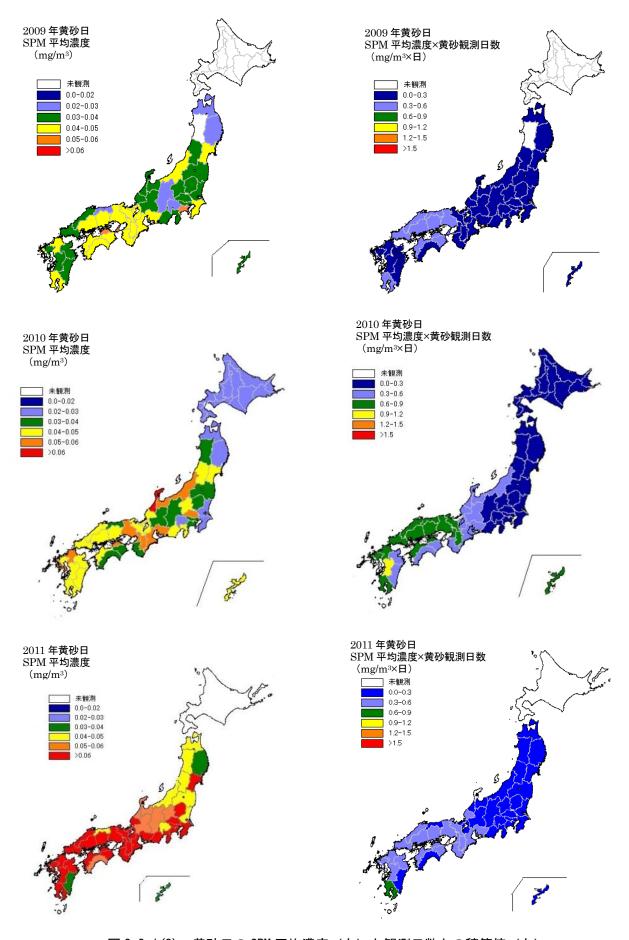


図 2-2-1(3) 黄砂日の SPM 平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

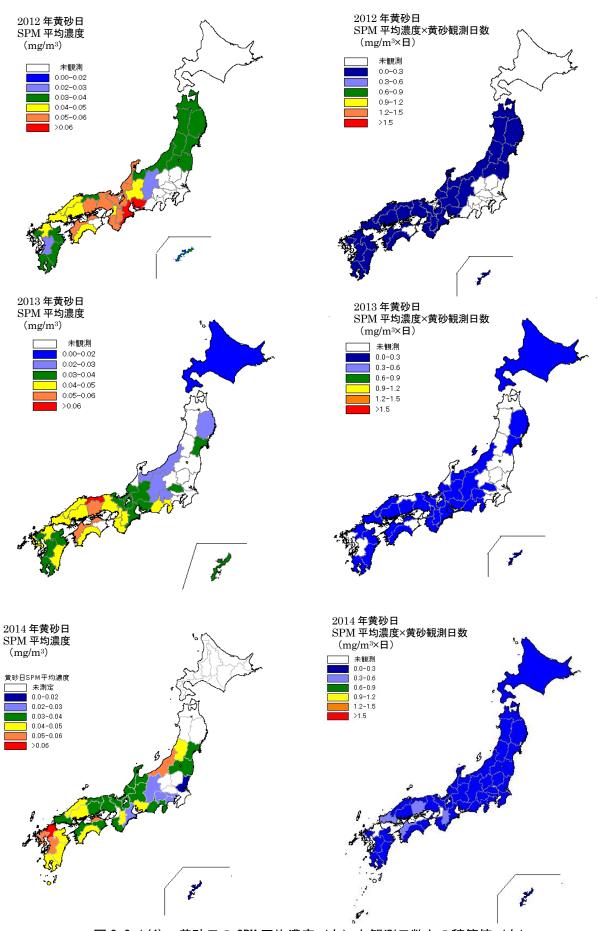


図 2-2-1(4) 黄砂日の SPM 平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

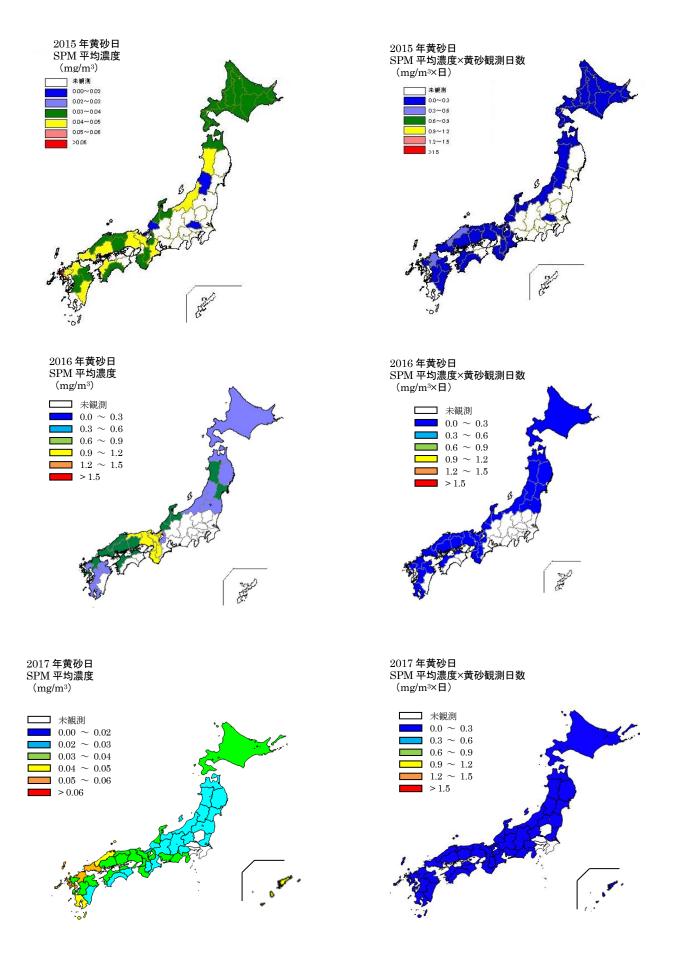


図 2-2-1(5) 黄砂日の SPM 平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

## 3. 煙霧の観測状況

煙霧は、2003 年度から 2017 年度までの 15 年間について、気象台観測の煙霧日の年間延べ日数を図 3-1 に示した。

また、図 3-2 には、2017 年度の煙霧延べ日数の経月変化を示している。煙霧観測日は 2018 年 3 月 に突出して多いが、これは同月に数日間に渡って全国的に煙霧が観測されたことによる。

2017年度の観測地点毎の煙霧日数は、煙霧の多い地点順で図 3-3 に示している。上位は、関東地方が多く、例年と同様の傾向である。

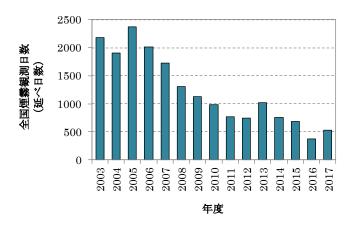


図 3-1 煙霧の経年変化



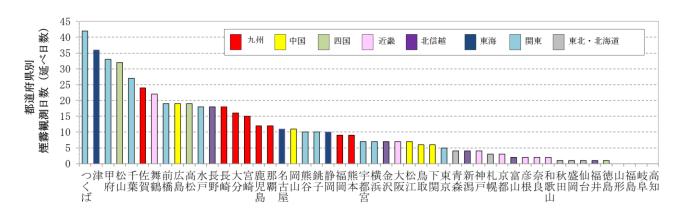


図 3-3 煙霧日の地点別日数

## 4. 2017 年度における黄砂日の事例解析

## 4. 1 黄砂日の事例解析

黄砂は、気象庁において「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」と定義されており、気象台では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塵が、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。

黄砂は、個々の事例によって、発生位置、経路、拡がり、濃さ、成分など様々な形態が考えられる。 これらはそれぞれ異なった様相を呈しており、またその特徴にも違いがみられる。これまでの調査において、年度別に各黄砂事例の解析を行っており、黄砂時には概ね次のような特徴がみられることが分かっている。

- ・後方流跡線がモンゴル付近からの大気の流れを示す
- ・日本で黄砂が観測される数日前に、大陸の黄土地帯で砂塵嵐の発生がみられる
- ・気圧配置で、日本南岸に前線が延びている
- ・ライダーの黄砂消散係数と SPM 濃度が同時に上昇する
- ・SPM 濃度が多地点で同時に上昇する
- ・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
- ・PM2.5/SPM の比が小さくなる (粗大粒子の割合が大きくなる)

ここでは、これまでの調査に引き続き、2017 年度における黄砂日の事例について、多角的に解析を行い、その状況を明らかにする。解析の項目は、黄砂観測地点、気象概況(天気図・大陸における砂塵嵐の発生)、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS(Chemical weather FORecasting System)の予測結果、57 子一観測結果、57 子一観測結果、57 子の現在大気活染物質の混在状況などを視覚的に把握しやすいようにレーダーチャートによる評価を実施した。

詳細は、次項のとおりである。

## 4. 2 解析方法

## (1) 黄砂観測地点

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測したと発表した地点 <sup>13)</sup>を示した。また、黄砂現象の規模の相対 的な比較の目安とするために、黄砂を観測した都道府県の全測定局の SPM 濃度日平均値を平均した値 に、観測した都道府県数を乗じた積算値(以下、「黄砂規模」という。)を算出した。また、気象台から 煙霧の観測が記録されている地点はそれを記している。

## (2) 気象概況

気象概況(天気図)は、気象庁のホームページから天気図と天気概況を引用した  $^{14}$ 。また、WMO のデータを基に、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表示した。有人観測地点における気象コード 33,34,35 を Severe duststorm、30,31,32 を Slight duststorm、07,08,09 を Dust、04 を Smoke、05 を Haze、06 を Widespread dust として分類した。

コード	コードの定義	本報告書における略称
04	Visibility reduced by smoke, e.g. veldt or forest fires, industrial smoke or volcanic ashes	smoke
05	Haze	Haze
06	Widespread dust in suspension in the air, not raised by wind at or near the station at the time of observation	Widespread dust
07	Dust or sand raised by wind at or near the station at the time of observation, but no welldeveloped dust whirl(s) or sand whirl(s), and no duststorm or sandstorm seen; or, in the case of ships, blowing spray at the station	
08	Well-developed dust whirl(s) or sand whirl(s) seen at or near the station during the preceding hour or at the time of observation, but no duststorm or sandstorm	Dust
09	Duststorm or sandstorm within sight at the time of observation, or at the station during the preceding hour	
30	Slight or moderate duststorm or sandstorm has decreased during the preceding hour	
31	Slight or moderate duststorm or sandstorm no appreciable change during the preceding hour	Slight duststorm
32	Slight or moderate duststorm or sandstorm has begun or has increased during the preceding hour	
33	Severe duststorm or sandstorm has decreased during the preceding hour	
34	Severe duststorm or sandstorm no appreciable change during the preceding hour	Severe duststorm
35	Severe duststorm or sandstorm has begun or has increased during the preceding hour	

### (3) SPM 濃度全国分布

SPM 濃度全国分布は、全国で行われている常時監視局の SPM 測定データ 12 から地域的に高濃度になっている時間の値を地図上に示した。

## (4)後方流跡線

後方流跡線は、アメリカ NOAA の HYSPLIT により気象データ GDAS を使い計算した  $^{19)}$ 。起点は、SPM 濃度が高くなった地点を考慮して決め、後方 72 時間とした。出発高度は、SPM 濃度との関連を評価するため地表面に近い 500m とし、1 日の時間毎の流跡線を一括して地図上に表示した。表示した計算結果のうち、地表付近のみを経由する流跡線については、解析に用いないようにした。

## (5) CFORS (Chemical weather FORecasting System)

CFORS は、九州大学応用力学研究所の鵜野らによって開発された化学物質輸送領域数値モデルである。本報告書内の図は、国立環境研究所で定常運用を行っているバージョン  $^{18}$  (RIAM/NIES-CFORS) による黄砂イベント当時に予測された黄砂等土壌性ダストと硫酸塩の高度  $0\sim1$ km における平均重量濃度の推定分布を表示している。

#### (6) ライダー

ライダー観測結果は、国立環境研究所公開のライダー観測結果でみることができる <sup>17)</sup>。国立環境研究所ではライダー観測結果から非球形粒子(黄砂)と球形粒子(大気汚染性エアロゾル)の消散係数を算出し、そのデータを公開している。これは、黄砂モニタリングのため 532nm の偏光解消度を利用して、非球形の黄砂と球形の大気汚染性エアロゾルを分離して、それぞれの散乱への寄与を推定したものである。数値データとして示されている消散係数 (/km) は、光が物質に衝突し物質への吸収や散乱によって単位長さ当たりに消失する割合である。この非球形粒子の消散係数 (以下、「黄砂消散係数」という。)のうち、下層である 150m~270m のデータを 1 時間毎に平均したものを経時変化グラフとして示した。さらに、下層での黄砂消散係数と SPM 時間値を経時変化グラフで表し、その類似性を検討した。

## (7) PM2.5 日平均濃度

PM2.5 日平均濃度による評価は全国分布図を作成し、微小粒子による汚染の拡がりをみた。PM2.5 濃度は、全国の常時監視局で測定しているものを使用した。また、PM2.5 濃度、SPM 濃度及び PM2.5/SPM の比の経時変化をグラフで表し、粗大粒子と微小粒子の比をみることで、黄砂の影響を観察した。また中国での PM2.5 濃度はアメリカ国務省が公表しているデータを使用した 20。

#### (8) 硫酸イオン等の大気汚染物質

 $SO_4$ <sup>2</sup> (硫酸イオン) は大気汚染物質の飛来を観察するために、 $SO_4$ <sup>2</sup>の1時間値を随時使用する。これまでの調査では、福岡県が太宰府市(福岡県保健環境研究所)で測定している SPA (5020i Thermo Fisher Scientific 社) のデータを使用していたが、今年度の SPA は欠測が多く、またデータが不安定であるため、本機のデータは使用せず、環境省で配備された ACSA-14 のデータを使用することとする。

### (9) PM2.5 自動測定器 ACSA-14 の活用

環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017 年 4 月から継続的な測定を開始している。PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14(以下、 $\lceil ACSA \rceil$  という。)では、全国 10 地点(図 4-2-1)において、PM2.5 中の  $SO_4$ <sup>2-</sup>(硫酸イオン)や  $NO_3$ <sup>-</sup>(硝酸イオン)などの 1 時間値を測定している。さらに、本装置では、PM10 も測定しており、粗大粒子(PM10-2.5)の成分も同時に出力される。

本調査では、ACSA のデータのうち、PM2.5、PM10、SO $_4$ <sup>2</sup>、NO $_3$ を使用するものとし、微小粒子 (PM2.5) と粗大粒子 (PM10-2.5) の成分が区別できるよう、表 4-2-1 に従って表記するものとする。

表 4-2-1	本調査で使用する	成分
1X T 4 I		ハヘノコ

	硫酸イオン	硝酸イオン
微小粒子側の成分	$\mathrm{fSO_{4}^{2^{-}}}$	fNO <sub>3</sub> -
(PM2.5)	(図表中ではfSO4 と表記)	(図表中では fNO3 と表記)
粗大粒子側の成分	$\mathrm{cSO_{4}^{2^{-}}}$	cNO₃⁻
(PM10-2.5)	(図表中では cSO4 と表記)	(図表中ではcNO3 と表記)

備考) 1. 硫酸イオン :塩化バリウム試薬添加後、硫酸バリウムの難溶性塩の懸濁を光散乱法で測定。

2. 硝酸イオン : 紫外吸光光度法 (200nm 付近)



図 4-2-1 PM2.5 成分連続モニタリングサイト配置図

また、ACSAのデータは、本調査において、今年度初めて取り扱うことから、「8. PM2.5 成分自動測定機 ACSA-14の測定結果の評価」で、黄砂に対するデータの利用について検討を行った。

なお、PM2.5 中の  $fSO_4$ <sup>2</sup> (硫酸イオン) と  $fNO_3$  (硝酸イオン) の精度については、「平成 30 年度 微小粒子状物質 ( $PM_{2.5}$ ) 成分自動測定結果の評価検討会 (第 1 回)」で検討されており、それによれば、ACSA-14 と自治体等による PM2.5 成分分析(フィルター法)との比較の結果、ACSA の出力値は、フィルター法との相関係数 r が 0.8 超であり、またフィルター法に対する傾きが 0.8~1.3 程度であったことが報告されている。

## (10) レーダーチャートによる評価

2016 年度黄砂飛来状況調査報告書で検討したレーダーチャートによる黄砂の評価をもとに行った。表 4-2-1 に示すように、数値をもとに分類するもの 6 項目、図から分類するもの 8 項目について、それぞれの満点を 6 として点数化し、黄砂項目と大気汚染項目に分けて合計点数を算出する。 さらに合計点数を満点で除し、それぞれの指数とする。この指数が典型的な黄砂の状況との差、及び汚染質混在の影響の大きさの程度を測る目安になる 30)。



図 4-2-2 黄砂の特徴を示すレー ダーチャート(例)

表 4-2-1 各項目の点数化一覧表

	1							
<b>西日</b> 友	点数							
項目名	6	5	4	3	2	1	0	
黄砂観測地点数	>30	20~30	15~20	10~15	5~10	0~5	0	
SPM 濃度	>300	200~300	150~200	100~150	50~100	20~50	>20	
PM2.5/SPM(低)	< 0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	$0.7 \sim 0.8$	0.8~0.9	>0.9	
煙霧観測地点数	>30	20~30	15~20	10~15	5~10	0~5	0	
PM2.5/SPM(高)	>0.9	0.8~0.9	0.7~0.8	0.6~0.7	0.5~0.6	0.4~0.5	< 0.4	
ACSA 硫酸イオン	>30	25~30	20~25	15~20	10~15	5~10	<5	

TT 口 A		点 数		
項目名	6	4	2	0
気圧配置	◎ (日本南岸近くに前線がある)	o (日本南岸に前線が ある)	▲ (日本周辺に前線 がある)	×(左記以外)
砂塵嵐	<ul><li>◎ (観測前に大陸で severe や slight が集中的に見られる)</li></ul>	o(観測前に大陸で severe や slight が見ら れる)	<b>Δ</b> (観測前に大陸で slight が見られる)	×(左記以外)
SPM 分布	◎ (全国で分布)	o(日本海側で分布)	▲(散発的に分布)	×(左記以外)
CFORS(d)	◎ (日本に dust 分布の高 濃度帯がある)	o (日本に dust 分布が ある)	▲ (日本に dust 分布 がわずかにある)	×(左記以外)
ライダー係数	<ul><li>◎ (複数地点で黄砂消散係数が高く、SPM変動と同期)</li></ul>	o (黄砂消散係数がや や高く、SPM 変動と同 期)	▲ (黄砂消散係数が やや高い)	×(左記以外)
後方流跡線(砂塵嵐通 過)	◎ (砂塵嵐発生地域を直線 的に通過)	o (砂塵嵐発生地域の 付近を通過)	<ul><li>▲ (砂塵嵐発生地域 からやや逸れて通 過)</li></ul>	×(左記以外)
後方流跡線(都市部通 過)	<ul><li>◎ (中国沿岸部を直線的に 通過)</li></ul>	o(中国沿岸部付近を 通過)	▲ (中国沿岸部から やや逸れて通過)	×(左記以外)
CFORS(s)	<ul><li>◎ (日本に sulfate 分布の 高濃度帯がある)</li></ul>	o(日本に sulfate 分布 がある)	▲ (日本に sulfate 分 布がわずかにある)	×(左記以外)

備考)項目名には、黄砂に関連するものは橙、大気汚染に関連するものは青で色分けしている。

## 4. 3 2017年度の黄砂

**2017** 年度に日本で観測された黄砂は表 4-3-1 のとおりで、2 事例、計 5 日であった。

このうち、2017年5月に観測された黄砂は全国的に広い範囲に影響を及ぼすものであり、5月7日に 46 地点、5月8日に44 地点で観測された。

また、2018年3月に観測された黄砂は、北海道と青森で観測されたものであるが、同時に煙霧が西日 本から北日本の広い範囲で観測された事例である。

PM2.5/SPM について、2017年5月の黄砂事例が0.6から0.7に対し、2018年3月の黄砂事例は全 国的に煙霧が観測されたこともあり、0.8前後でPM2.5の割合が比較的高い傾向にあった。

これに加えて、ACSA による PM2.5/PM10 を併記した。PM2.5/PM10 は、2017 年 5 月の黄砂事例で 0.29 から 0.42 であった。

表 4-3-1 2017 年度の黄砂日一覧

(SPM および PM2.5 濃度: μg/m³)

事	NT	ļ	朝日				黄砂	の規模		PM2.5	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
事例	No.	年	月	日	地点数	SPM 平均 濃度	県 数	SPM 積算	SPM 積算 合計	平均 濃度		
	1	2017	5	6	18	24.7	18	444.6		15.8	0.66	0.42
1	2	2017	5	7	46	32.4	40	1296.0	3370.8	20.8	0.67	0.29
	3	2017	5	8	44	41.8	39	1630.2		28.4	0.70	0.33
2	4	2018	3	28	8	36.1	2	72.2	100.0	29.1	0.81	0.58
	5	2018	3	29	5	28.5	2	57.0	129.2	20.9	0.79	0.41

<sup>※「</sup>PM2.5/SPM」は測定局毎に PM2.5/SPM を算出し、それを平均したものであり、表中の「SPM 平均濃度」と「PM2.5 平均濃度」から算出したものではない。 ※「PM2.5/PM10」について、2017 年 5 月は全国で黄砂が観測されたため 10 地点の平均値とし、2018 年 3 月は北海道と青森のみで黄砂が観測されたため札幌の値を示した。

## 4. 4 黄砂日の解析結果

## (1) 黄砂事例1 (2017年5月6日~8日)

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-1-1 と図 4-4-1-2 に示すとおりである。5 月 6 日に西日本を中心に 18 地点であったものが、翌日の5 月 7 日、8 日には、それぞれ46 地点と44 地点と全国的に非常に多くの地点で黄砂が観測された。なお、同期間に煙霧の観測はない。

天気図(図 4-4-1-3)をみると、前線が 5 月 6 日から 7 日にかけて日本を通過し、以降は日本の東岸に位置している。また、5 月 6 日は全国的に低気圧の影響を受けた一方で、大陸で発生した高気圧が東進しており、翌日の 5 月 7 日から 8 日には高気圧に覆われた。

この期間、SPM の時間値で、150µg/m³を超える地点がいくつか見られる(図 4-4-1-4)。特に、九州、中国地方と、大陸に近い地域で SPM 濃度が比較的高い傾向にあった。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると(図 4-4-1-5)、5 月 3 日から 4 日にかけて、黄土地帯を中心とした広範囲で Severe Duststorm が発生している。この時の気流の状況について、後方流跡線で確認したところ、長崎県、島根県、富山県、新潟県、北海道の複数地点において、大陸の砂塵嵐発生地域からの経路を示しており、大陸からの移流があったことが示唆された。さらに、CFORS においても、dust、sulfate ともに大陸からの影響が日本全国に及ぼしている様子が示された(図 4-4-1-7)。

ライダー黄砂消散係数(図 4-4-1-8)は、複数の地点で 5 月 6 日の朝方から上昇しており、5 月 8 日の 夜間まで高い値を維持しており、とくに福岡や五島では 5 月 9 日まで継続している状況が見られた。同 図に札幌での高度分布を併記しているが、低層で高い値がみられ、黄砂が地表面に影響を及ぼしていた ことが示唆される。ライダー黄砂消散係数と周辺の常時監視局における SPM の時間値とを対比(図 4-4-1-9)させると、福岡や札幌などで、両者の値の増減が同期して推移している様子が見られ、このときの SPM の上昇が黄砂による影響を受けていることを示唆していた。また、この 3 日間は、PM2.5 の日 平均値 (図 4-4-1-10) も上昇しており、西日本を中心に環境基準値を超過する地点が多くみられている。

人為起源系汚染物質については、5月6日に福岡のACSAで $fSO_4^2$ が $10\mu g/m^3$ を超える値を示した程度である(図4-4-1-12)。また7日は福岡ACSAの $fSO_4^2$ の濃度が低下しており、全国的にも定常的な濃度で、黄砂と大気汚染物質が混在した様子は見られなかった。

なお、北京では、本事例前の 5 月 4 日から 5 日に、PM2.5 濃度の 1 時間値が一時  $600\mu g/m^3$  を超える程の高濃度が数時間にわたって見られていた(図 4-4-1-13)。

以上の通り、本事例は人為起源系汚染物質が福岡などでみられるものの、全国的には人為起源系汚染物質の混在が少ない黄砂が、日本の広範囲に影響を及ぼした事例であった。

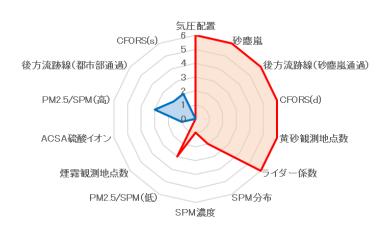


図 4-4-1-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-1-1 黄砂·煙霧観測地点

年	月	目	地点数	黄砂観測地点名										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	5	6	18	松江	鳥取	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	奈良	
				福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	宮崎	松山	高松			
		7	46	稚内	旭川	札幌	帯広	釧路	室蘭	函館	青森	秋田	盛岡	
				山形	仙台	福島	新潟	金沢	富山	長野	福井	前橋	水戸	
				岐阜	名古屋	津	静岡	松江	鳥取	京都	彦根	下関	広島	
2017				岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	
2017				鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島					
		8	8 44	網走	札幌	帯広	釧路	室蘭	函館	青森	秋田	盛岡	山形	
				仙台	福島	新潟	金沢	富山	長野	福井	岐阜	名古屋	甲府	
				津	静岡	松江	鳥取	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	
				大阪	和歌山	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	
				松山	高松	高知	徳島							

※この期間に煙霧を観測した地点はなかった。

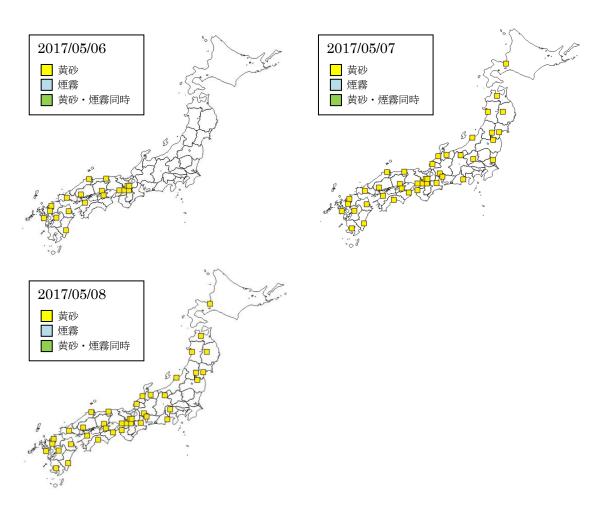
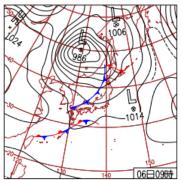
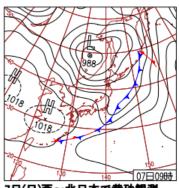


図 4-4-1-2 黄砂·煙霧観測地点



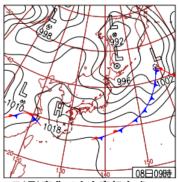
6日(土)西日本で黄砂を観測

南西諸島と日本海の前線がそれぞれ 東進。沖縄県伊原間41.5mm/1hの激 しい雨。東海の一部や関東を除き西 〜北日本も雨。西日本各地で黄砂を 観測、1967年以降最も遅い観測初日。



7日(日)西〜北日本で黄砂観測

視程は稚内4kmなど北海道と九州で 10km未満。高気圧に覆われて概ね時 れたが沖縄・奄美や北海道は雨、関 東で雷雨の所も。北日本各地で強風。 網走市でエゾヤマザクラ満開。



8日(月)東北で山火事相次ぐ

高気圧に覆われ広く晴れて関東中心 に真夏日。寒気伴う低気圧の影響で 北海道は雨や雷。網走・釧路でひょう。 関東~東北で強風・突風被害。最大風 速青森県八戸21.6m/s。各地で黄砂。

## 図 4-4-1-3 天気図

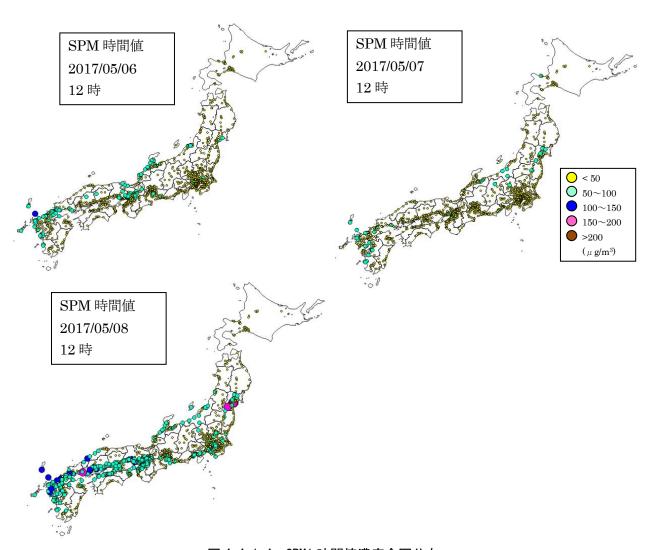


図 4-4-1-4 SPM1 時間値濃度全国分布

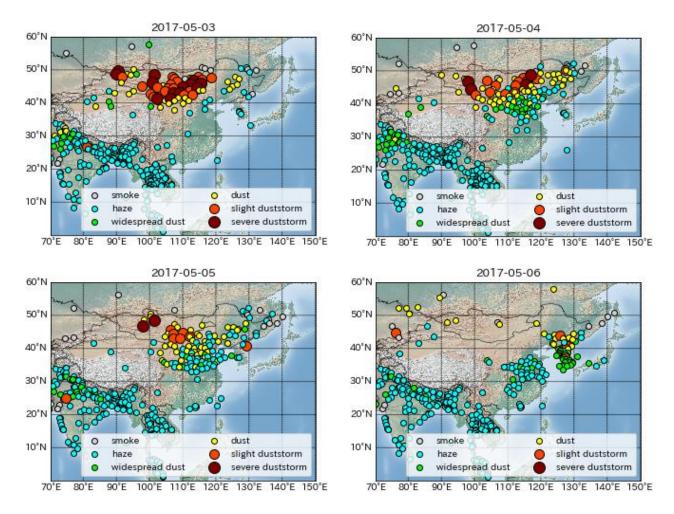


図 4-4-1-5 砂塵嵐発生状況

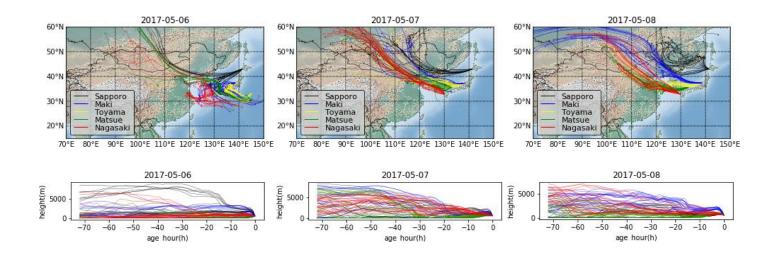


図 4-4-1-6 後方流跡線

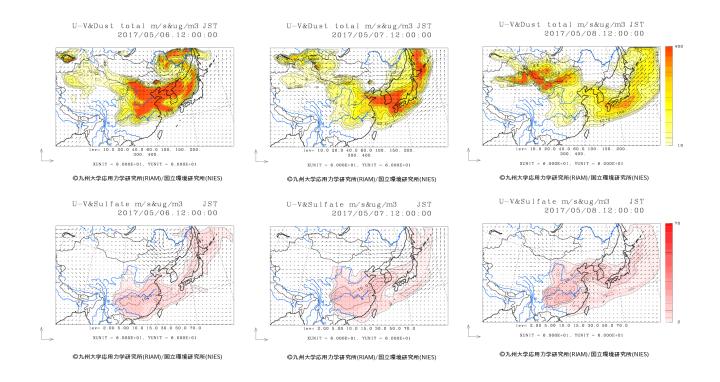
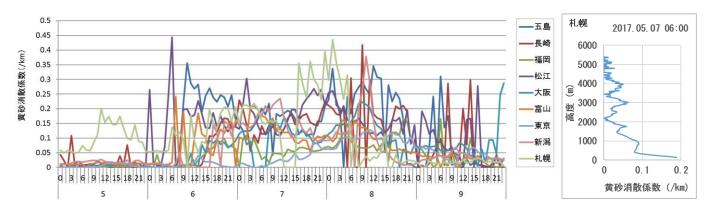


図 4-4-1-7 CFORS (dust • sulfate) 予測結果



備考)経時変化は、150m~270mの平均値である。

図 4-4-1-8 ライダー黄砂消散係数の経時変化(全国比較)と 札幌における黄砂消散係数の高度分布

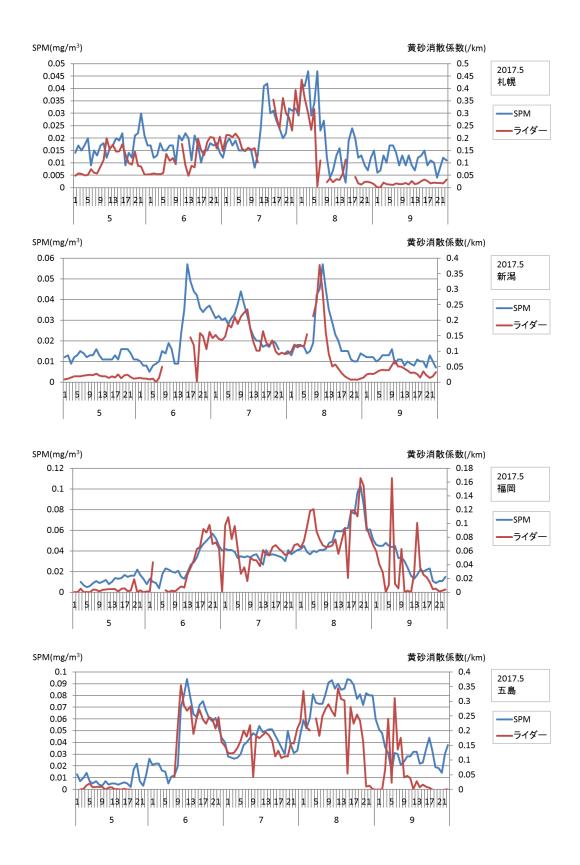
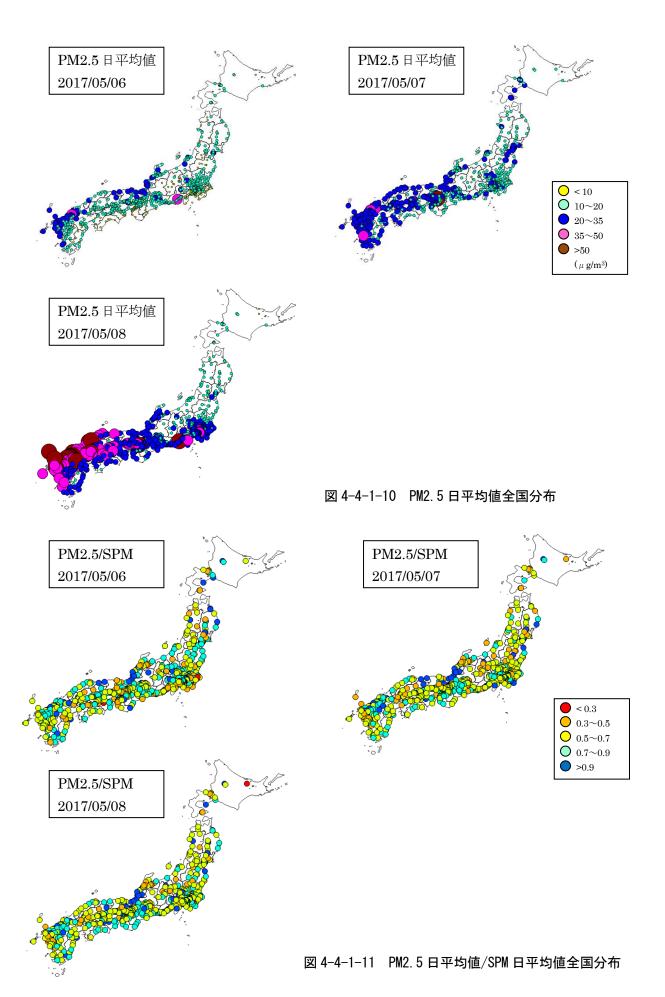


図 4-4-1-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

20



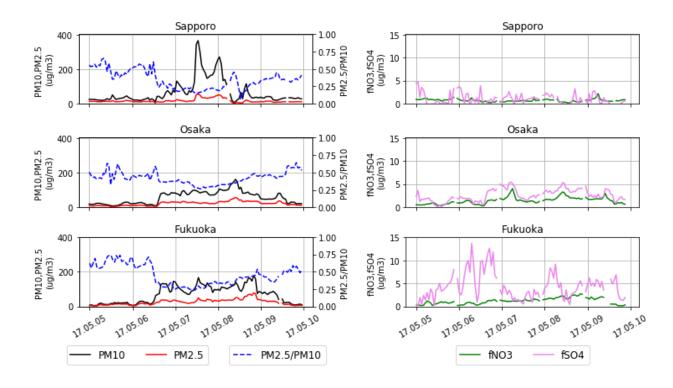


図 4-4-1-12 PM10 及び PM2.5 とその成分の経時変化

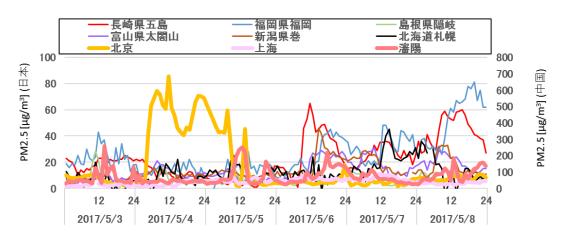


図 4-4-1-13 日本・中国での PM2.5 濃度

### (2) 黄砂事例2 (2018年3月28日~29日)

本事例は、3月28日から29日の2日間で観測された黄砂である。黄砂の観測地点は表4-4-2-1及び図4-4-2-2に示すとおり、両日ともに北海道と青森のみであった。また、本事例では、関東地方や中部地方を中心に10地点以上で煙霧が観測され、3月28日の青森では黄砂と煙霧の両方が観測されている。

天気図(図 4-4-2-3)では、3月28日に日本の北西側にあった前線が東進しており、29日に青森あたりに位置しており、北日本では大陸の影響を受けやすいと思われる気象状況である。

この期間の SPM 濃度は、図 4-4-2-4 に示すとおりであるが、札幌や青森で黄砂が観測されているものの、SPM 濃度が上昇している様子がみられない。 さらにライダーの黄砂消散係数 (図 4-4-2-5) でも札幌で高い値がみられなかった。そこで 3 月 28 日 10 時における札幌の黄砂消散係数の高度分布をみたところ、低層では高い値は確認されず、高度 2000m と 4000m 付近に極大値がみられ、黄砂が上空を飛来していたことが示唆された。

大陸では、日本で黄砂が観測される前の 3 月 25 日から 27 日にかけて、ゴビ砂漠付近で砂塵嵐の発生が確認される(図 4-4-2-7)。札幌における起点高度 500m の後方流跡線(図 4-4-2-8)は、砂塵嵐発生地帯から若干外れた気流を示していたが、2000m と 4000m を起点高度とした後方流跡線(図 4-4-2-9)では、砂塵嵐発生地域からの気流が確認された。また CFORS(図 4-4-2-10)でも、大陸からの dust が日本の北側に及ぼしている様子が示されている。加えて、CFORS の sulfate では、大陸南岸からの影響が日本全体に及ぶ様子が示されていた。

PM2.5 日平均値(図 4-4-2-11)は全国的に高く、関東地方や中部地方を中心に環境基準  $35\mu g/m^3$  を超過した地点が多くみられる。この期間、札幌の ACSA の  $fSO_4$ 2-が欠測しているが、 $fNO_3$ -が  $10\mu g/m^3$ 程度を示しており、また、札幌に比較的近く、周辺に汚染源がない箟岳の ACSA で  $fSO_4$ 2-が  $20\mu g/m^3$  を超える高濃度がみられた(図 4-4-2-13)。

中国では、本事例前に、上海、北京、瀋陽いずれも  $50\sim100\mu g/m^3$  程度の PM2.5 濃度が観測され、その後北京は濃度が上昇し、3 月 27 日の夜間に  $200\mu g/m^3$  を超える高濃度となっていた(図 4-4-2-14)。

以上の通り、この事例では、北海道付近の上空を黄砂が飛来している一方で、地表付近では人為起源 系汚染物質による影響を強く受けた事例と考えられた。

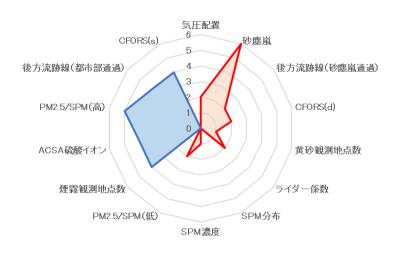


図 4-4-2-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-2-1 黄砂•煙霧観測地点

年	月	日	地点 数	黄砂観測地点名										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2018	3	28	8	稚内	旭川	網走	札幌	帯広	釧路	室蘭	青森			
		29	5	網走	札幌	帯広	釧路	青森						

年	月	目	地点 数	煙霧観測地点名										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2018	3	28	18	青森	水戸	つくば	東京	銚子	千葉	横浜	甲府	静岡	名古屋	
				津	舞鶴	京都	大阪	神戸	奈良	高松	長崎			
		29	29 12	水戸	つくば	銚子	千葉	横浜	長野	甲府	静岡	金沢	舞鶴	
				神戸	松江									

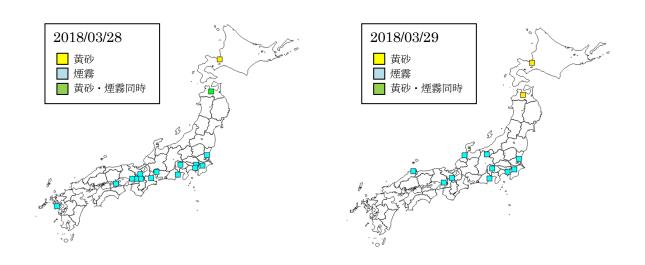
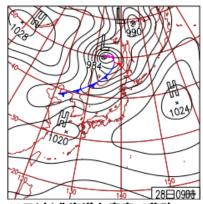
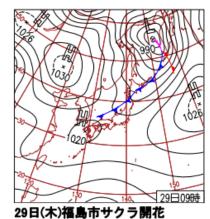


図 4-4-2-2 黄砂・煙霧観測地点



28日(水)北海道と青森で黄砂 本州付近は高気圧に覆われて晴れ。 沖縄・奄美~東日本では夏日の所も。 最高気温は、北海道宇登呂で7月中旬 並の21.0℃をはじめ、全国のアメダ ス1/4の地点で3月1位の値。



東〜北日本を寒冷前線通過するが活動は不活発。東北で所々雨のほか全国的に概ね晴れ。最低気温は北日本太平洋側中心に5月並。最高気温は東日本中心に75地点で3月1位の値。

図 4-4-2-3 天気図

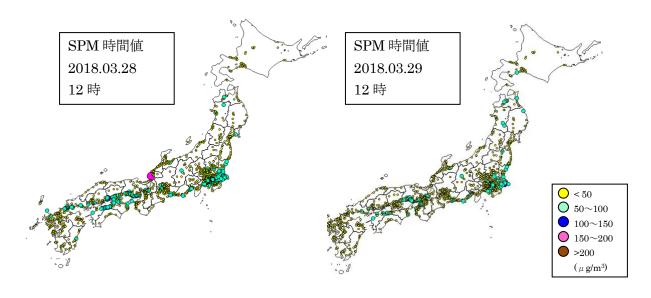
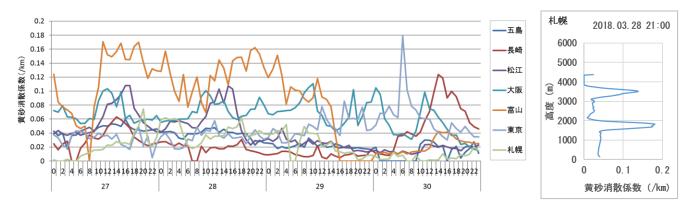


図 4-4-2-4 SPM 濃度全国分布



備考) 1. 新潟と福岡は、降水の影響等で高めに検出されており、ここでは参照しない。

2. 経時変化は、150m~270mの平均値である。

図 4-4-2-5 ライダー黄砂消散係数の経時変化(全国比較)と 札幌における黄砂消散係数の高度分布

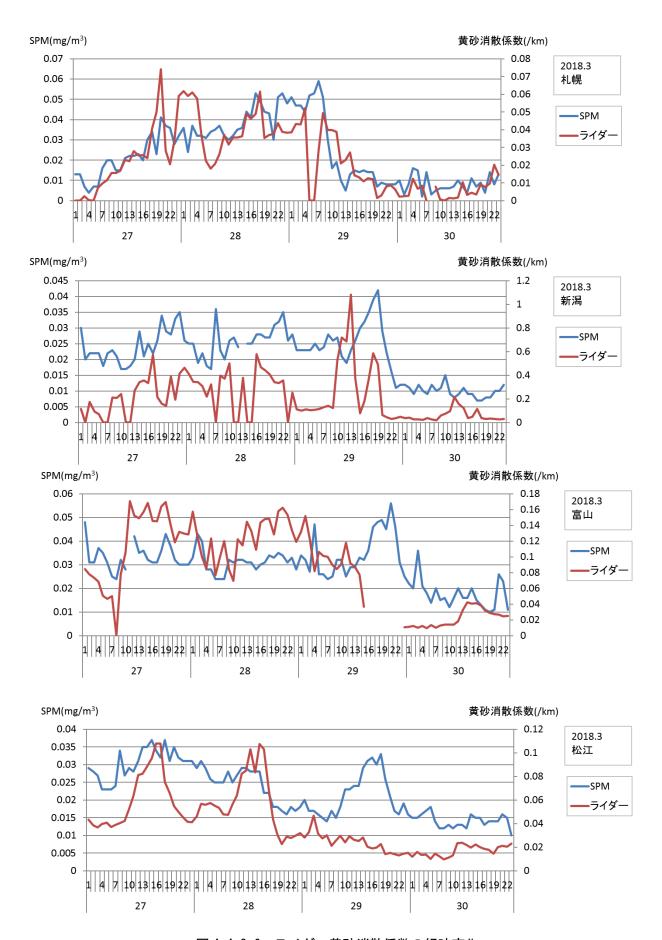


図 4-4-2-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

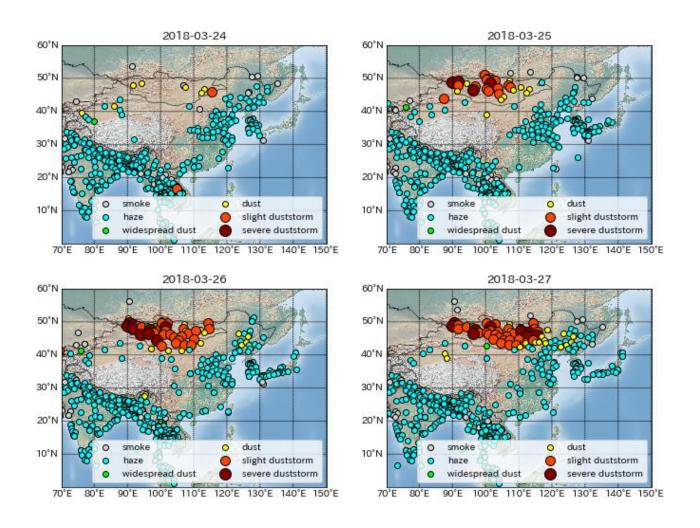


図 4-4-2-7 砂塵嵐発生状況

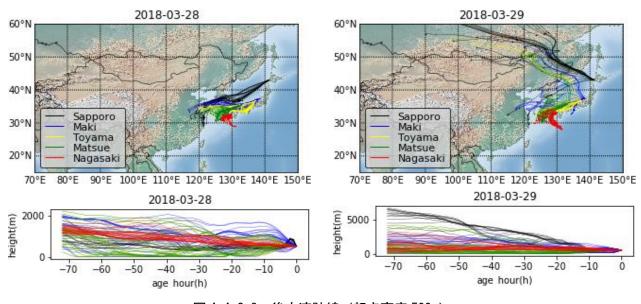


図 4-4-2-8 後方流跡線(起点高度 500m)

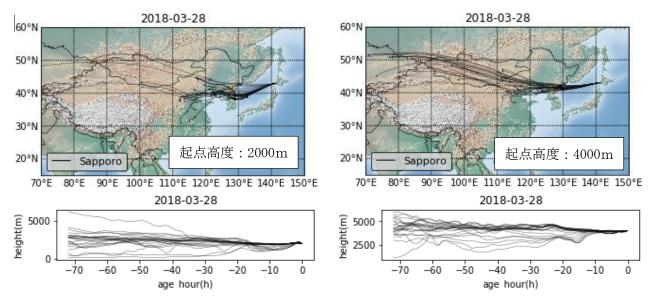


図 4-4-2-9 後方流跡線(左図:起点高度 2000m、右図:起点高度 4000m)

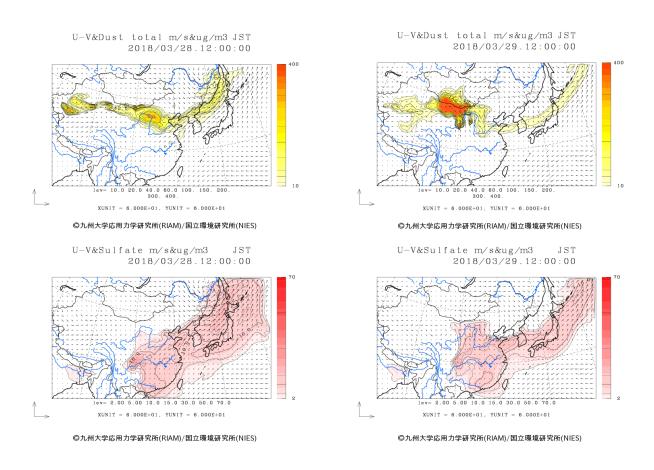


図 4-4-2-10 CFORS (dust · sulfate) 予測結果

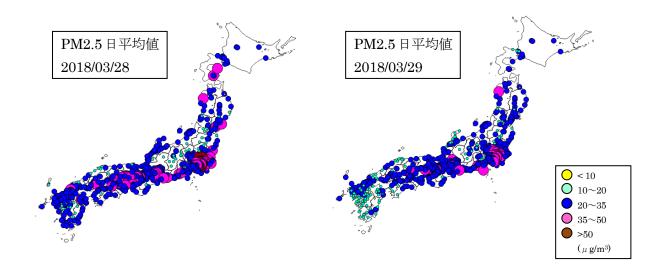


図 4-4-2-11 PM2.5日平均値 全国分布

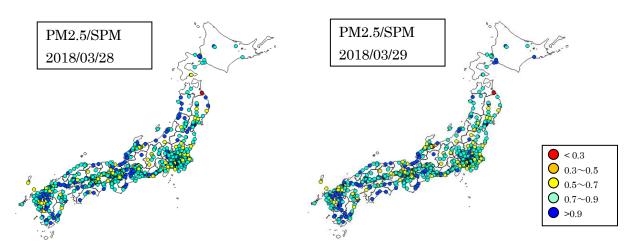


図 4-4-2-12 PM2. 5 日平均値/SPM 日平均値 全国分布

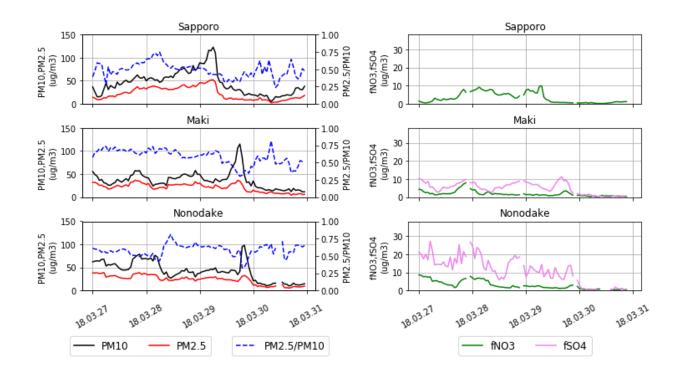


図 4-4-2-13 PM10 及び PM2.5 とその成分の経時変化

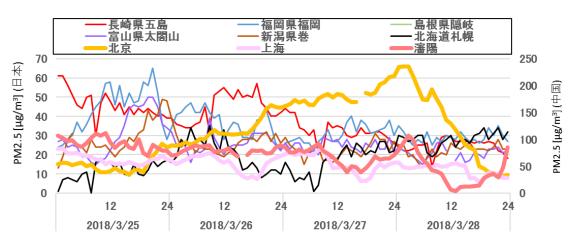


図 4-4-2-14 日本・中国での PM2.5 濃度

# 5. 2017 年度における煙霧日の事例解析

## 5. 1 煙霧日の事例解析

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。 煙霧は、黄砂時よりも微小粒子状物質 (PM2.5) の割合が高くなるような特徴がみられ、PM2.5 による影響も懸念される。

そのため、本調査では黄砂と並び、煙霧の状況もまとめた。これまでの調査から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。

- ・後方流跡線が中国沿岸部からの大気の流れを示す
- ・気圧配置で、移動性高気圧が日本を通過している
- SO<sub>4</sub><sup>2</sup>-の濃度が上昇する
- ・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
- ・PM2.5/SPM の比が大きい(粗大粒子の割合が小さい)

## 5. 2 2017 年度の煙霧日

2017年度に日本で観測された煙霧のうち、10地点以上で同時に観測された事例は、表 5-2-1に示す とおりである。なお、PM2.5/SPM は、概ね 0.7 から 0.9 程度で、黄砂時(0.6 から 0.7)と比較し、若 干高い値を示した。また、ACSA の PM2.5/PM10 は、黄砂時 (0.29 から 0.58) と比較し、煙霧時は 0.42~0.67 と高い傾向にあった。

表 5-2-1 2017 年度の煙霧日一覧

(SPM および PM2.5 濃度: μg/m³)

10 2		十尺。	· /	, <b>–</b>	晃				(0)	111 03 04 0		· M 8/ III /
		其	月日				煙霧0	)規模		SPM		
事例	No.	年	月	目	地点数	PM2.5 平均濃度	県 数	PM2.5 積算	PM2.5 積算 合計	平均濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
	1		5	30	1	24.1	1	24.1		30.5	0.80	0.52
1	2	2017	J	31	11	27.1	10	271.0	401.4	37.0	0.75	0.54
1	3	2017	6	1	3	27.3	3	81.9	401.4	36.4	0.77	0.54
	4		U	2	1	24.4	1	24.4		34.4	0.77	0.42
	5			16	1	17.4	1	17.4		19.7	0.98	0.56
	6			17	3	22.3	3	66.9		30.4	0.72	0.51
	7			18	3	13.7	3	41.1		18.0	0.82	0.55
2	8	9019	1	19	12	30.3	12	363.6	939.3	35.7	0.85	0.57
2	9	2018	T	20	11	26.7	11	293.7	959.5	31.5	0.91	0.56
	10			21	3	22.9	3	68.7		24.2	0.93	0.55
	11			22	1	10.4	1	10.4		12.5	0.87	0.67
	12			23	5	15.5	5	77.5		15.5	0.91	0.61
	13	2010		24	9	29.5	9	265.5	795.5	33.5	0.90	0.63
	14		2	25	4	25.6	4	102.4		31.1	0.88	0.66
3	15			26	7	22.1	7	154.7		26.6	0.86	0.63
Э	16	2018		27	1	14.3	1	14.3		18.0	0.74	0.61
	17			28	4	21.9	4	87.6		26.1	0.82	0.58
	18		3	1	11	17.1	10	171.0		22.6	0.77	0.49
	19			24	1	24.5	1	24.5		30.0	0.80	0.57
	20			25	18	38.5	16	616.0		45.9	0.86	0.59
	21			26	26	35.8	22	787.6		43.0	0.85	0.58
4	22	2018	3	27	17	34.4	15	516.0	2685.7	42.3	0.83	0.58
4	23	2016	J	28	18	25.4	15	381.0	4000.1	31.8	0.78	0.58
	24			29	12	28.7	10	287.0		38.0	0.79	0.52
	25			30	3	17.0	3	51.0		22.1	0.74	0.47
	26			31	1	22.6	1	22.6		35.6	0.69	0.51

<sup>※「</sup>PM2.5/SPM」は測定局毎に PM2.5/SPM を算出し、それを平均したものであり、表中の「SPM 平均濃度」と「PM2.5 平均濃度」から算出したものではない。 ※「PM2.5/PM10」について、10 地点の平均値を示した。

### 5.3 煙霧日の解析結果

### (1) 煙霧事例1 (2017年5月30日~6月2日)

本事例は、2017年5月30日から6月2日の4日間で観測されたもので、特に5月31日において、 関東地域、中部地域と九州地域の計11地点で広く煙霧が観測された(表5-3-1-1、図5-3-1-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-1-3)と、Haze は上海付近で観測されており、このときの気流を後方流跡線で確認(図 5-3-1-4)したところ、日本の複数地点において上海からの気流を示していた。 さらに CFORS(図 5-3-1-5)においても、Sulfate が中国南岸から日本へ影響を及ぼしている様子が示されていた。なお、5 月 27 日、28 日は大陸で砂塵嵐が観測されており、その後 5 月 30 日では松江のライダーで黄砂飛来の可能性が示唆されている。

PM2.5 は、5 月 30 日に西日本中心で、5 月 30 日は西日本に加えて日本海側の広い範囲で高濃度を観測し、多くの地点で環境基準を超過していた(図 5-3-1-6)。

ACSA の測定では、PM2.5 が 5 月 30 日から上昇しており、赤穂のほかに、大阪や名古屋などの都市部で高い値が見られた。このとき、5 月 30 日に赤穂の ACSA で  $30\mu g/m^3$  を超える  $fSO_4$ 2 を観測した。また、6 月 1 日から 2 日にかけては、五島の ACSA で  $fSO_4$ 2 が増加し  $20\mu g/m^3$  を超えた。また、この期間は隠岐の ACSA でも  $10\mu g/m^3$  を超える  $fSO_4$ 2 が観測された(図 5-3-1-7)。

なお、北京では、5 月 28 日に最大で  $150\mu g/m^3$  を超える高濃度の PM2.5 を観測している(図 5-3-1-8)。

以上から、本事例は、都市部を中心とした地域的な汚染に加え、大陸からの汚染の影響が及んだ事例と考えられる。

表 5-3-1-1 煙霧観測地点

年	月	目	地点数					煙霧観	測地点				
	Л			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		30	1	名古屋									
	5	31	11	水戸	つくば	宇都	前橋	東京	甲府	名古屋	津	大阪	大分
2017			11	宮崎									
	6	1	3	富山	大阪	松山							
		2	1	鹿児島									

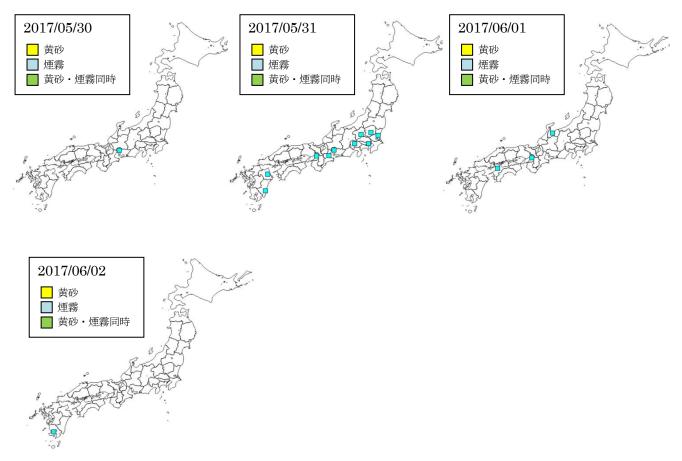


図 5-3-1-1 黄砂·煙霧観測地点

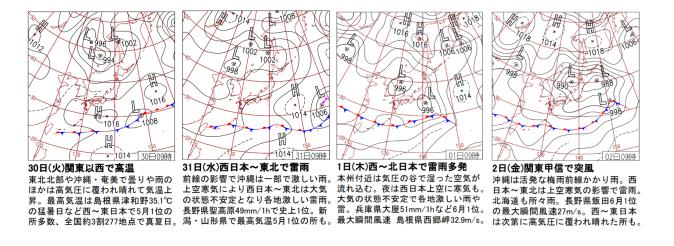


図 5-3-1-2 天気図

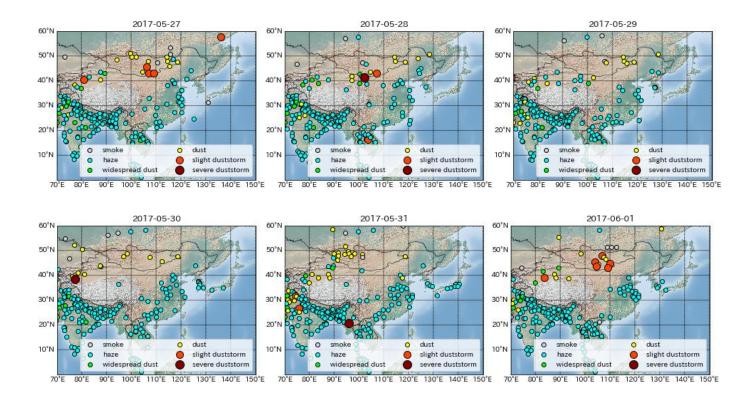


図 5-3-1-3 Haze の観測状況

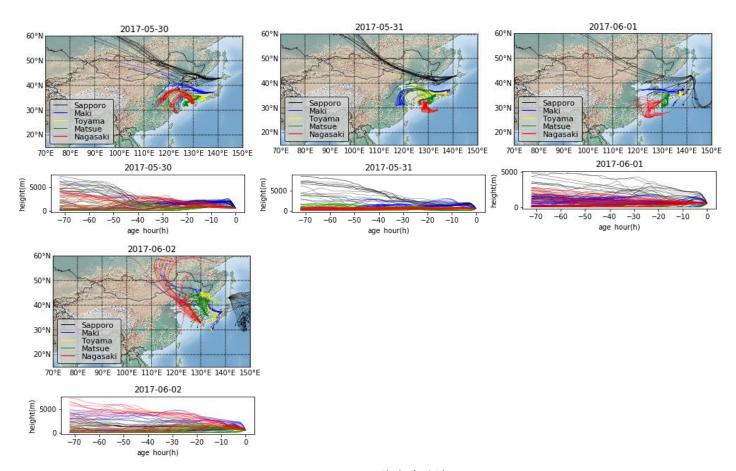
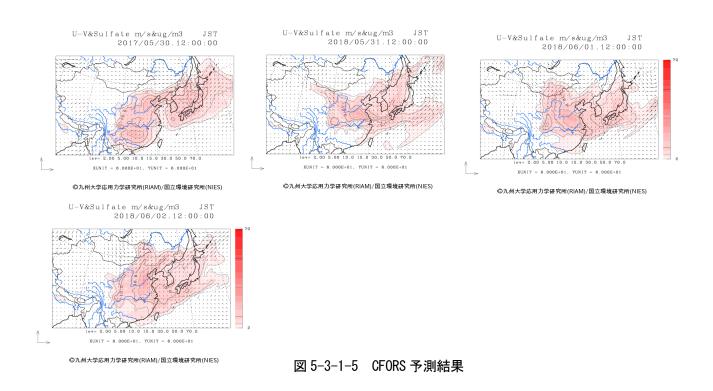


図 5-3-1-4 後方流跡線



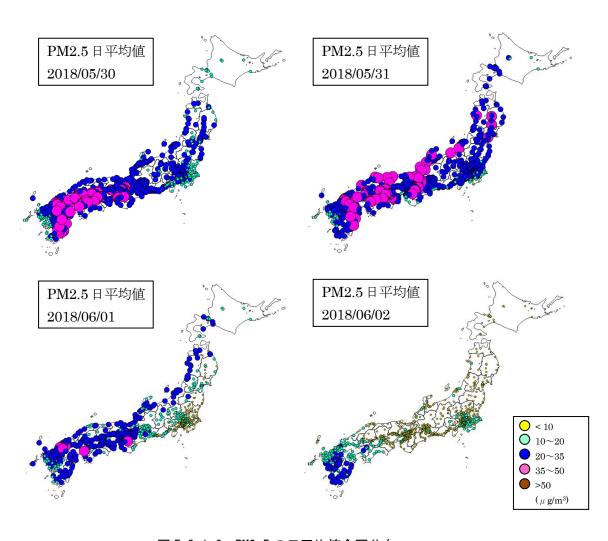


図 5-3-1-6 PM2.5の日平均値全国分布

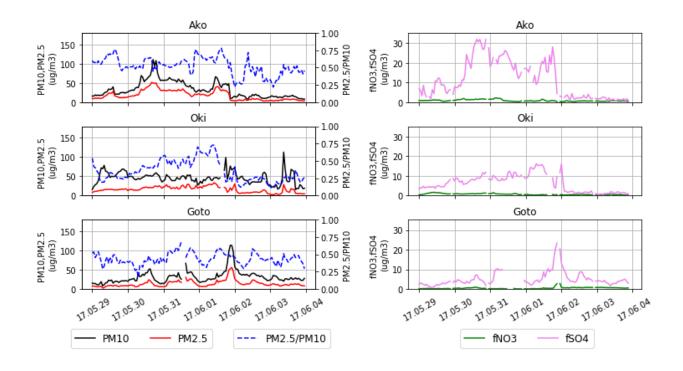


図 5-3-1-7 PM10 及び PM2.5 とその成分の経時変化

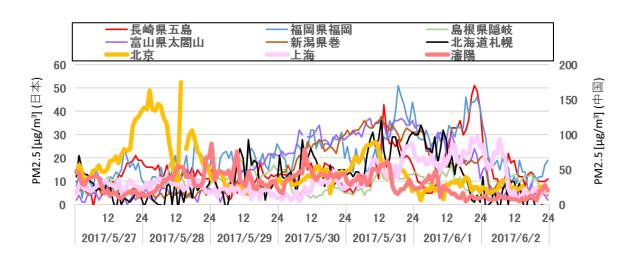


図 5-3-1-8 日本・中国での PM2.5 濃度

### (2) 煙霧事例2(2018年1月16日~23日)

煙霧が観測された期間のうち、1月19日~20日は西日本を中心に11~12地点で観測された(表 5-3-2-1、図 5-3-2-1)。

天気図(図5-3-2-2)では、1月19日から20日に移動性高気圧が東進している様子が見られる。

大陸では広い範囲で Haze が観測されており(図 5-3-2-3)、このときの後方流跡線は、1 月 17 日までは日本周辺で留まるものであるが、1 月 18 日以降では大陸からの気流を示していた(図 5-3-2-4)。また、CFORS では中国南岸からの Sulfate の影響が日本に及ぼしている様子が見られた(図 5-3-2-5)。

PM2.5 濃度は、1 月 16 日~17 日まで関東地域と瀬戸内海周辺で環境基準値の超過地点がみられる(図 5-3-2-6)。その後、1 月 19 日から 20 日では、九州、中国、四国地方の広い範囲で環境基準値の超過が多地点で観測された。

ACSA によれば、1月18日から19日にかけては五島、隠岐において $fNO_3$ 、 $fSO_4$ 2-が高く、特に五島では両成分とも $20\mu g/m^3$ を超える高濃度となるなど、離島で高濃度の汚染物質が見られ、大陸からの影響が示唆された。さらに1月23日の明け方前に五島と福岡の両地点で、PM2.5と合わせて、同時に $fSO_4$ 2-と $fNO_3$ が突出して高くなった。両地点ともに一時的ではあるが、 $fNO_3$ 、 $fSO_4$ 2-がともに $20\mu g/m^3$ を超えた(図5-3-2-7)。

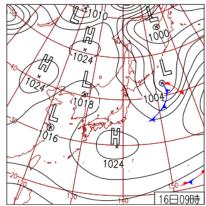
なお、中国の北京では、図 5-3-2-8 のとおり 1 月 13 日~14 日及び 18 日で  $200\mu g/m^3$  を超える高濃度が見られ、その後、五島や福岡でも  $80\mu g/m^3$  前後の高濃度になる様子が確認される。

以上のとおり、1月16日から17日あたりは関東地方を中心とした地域的な汚染によるもの、それ 以降は大陸からの越境により西日本側を中心に汚染の影響が及んだ事例と考えられる。

			tile ⊢					煙霧観	測地点				
年	月	日	地点 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		16	1	津									
		17	3	水戸	前橋	千葉							
	1	18	3	金沢	舞鶴	鳥取							
		19	12	舞鶴	大阪	岡山	広島	高松	松山	下関	福岡	大分	長崎
2018			12	熊本	鹿児島								
2016	1	20	11	甲府	広島	徳島	高松	松山	大分	長崎	佐賀	熊本	宮崎
		20	11	鹿児島									
		21	3	甲府	高松	宮崎							
		22	1	千葉									
		23	5	熊谷	高松	松山	長崎	宮崎					

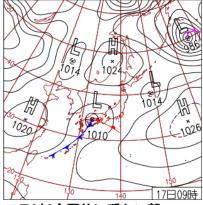


図 5-3-2-1 黄砂·煙霧観測地点



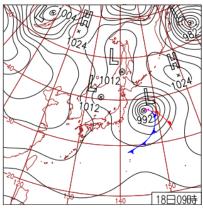
## 16日(火)気温上昇 西から雨

南から暖かい空気が入り最低気温が平年並の西~東日本でも最高気温は3~4月並、平年差+10℃以上の所も。前線を伴った低気圧接近により西日本では次第に雨。銚子市でウメ開花。



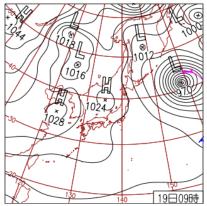
#### 17日(水)全国的に暖かい朝

朝の最低気温は平年より10℃以上高く西·東日本では5月並の所も。低気圧は夜には関東沿岸へ。静岡県では激しい雨、日降水量は富士112mmで、西·東日本では1月1位の所も。



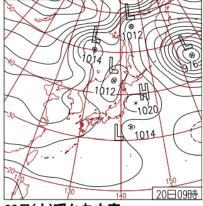
## 18日(木)引き続き全国的に高温

低気圧が北日本を東進し、北陸~北日本は曇りや雨または雪。奄美と西~東日本の太平洋側は高気圧に覆われ概ね晴れ、その他は曇りや雨。最低・最高気温が全国の所々で4月並。



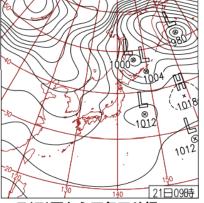
#### 19日(金)石垣市ヒカンザクラ開花

大陸の高気圧が本州付近に張り出す。 西~東日本は晴れや曇り、沖縄・奄 美は曇りや雨、北日本は寒気の影響 で日本海側では曇りや雪だが太平洋 側では晴れ。静岡市・東京でウメ開花。



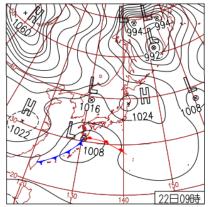
#### 20日(土)暖かな大寒

山陰・北陸〜北日本は曇りや雨または 雪。その他は高気圧に覆われ概ね晴 れたが関東は気圧の谷の影響で曇り。 最低気温は平年より高い所が多く最 高気温も全国的に平年より高め。



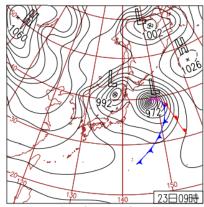
#### 21日(日)西から天気下り坂

北日本中心に冬型の気圧配置。北海 道は局地的に風雪強まり最大瞬間風 速えりも岬で32.3m/s。高気圧に覆わ れた西・東日本太平洋側も気圧の谷接 近で次第に雲広がる。下関で初霜。



#### 22日(月)東京で最深積雪23cm

20cm超は2014年2月以来4年ぶり。低 気圧が南岸を進み夜は伊豆諸島付近 へ。北日本の一部を除き全国的に雨 や雪、関東中心に大雪。甲府·横浜な ど初雪。奄美市でヒカンザクラ開花。



#### 23日(火)本白根山で噴火

草津白根山の本白根山で新たな複数の火口から噴火。日本海北部で低気圧急発達、西から冬型の気圧配置へ。日本海側で風雪強まり雷も。最大瞬間風速新潟県両津39m/sなど1月1位。

図 5-3-2-2 天気図

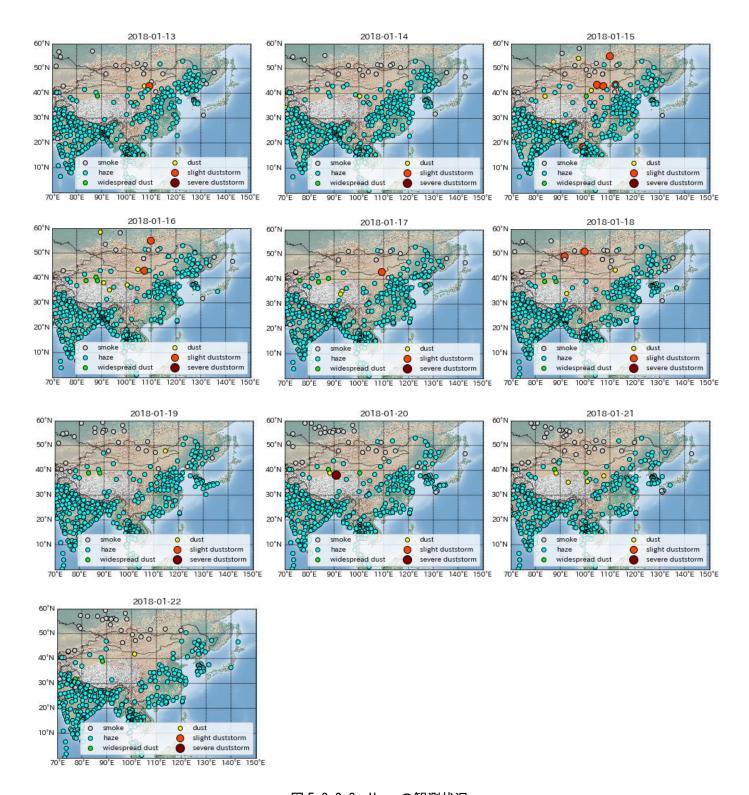


図 5-3-2-3 Haze の観測状況

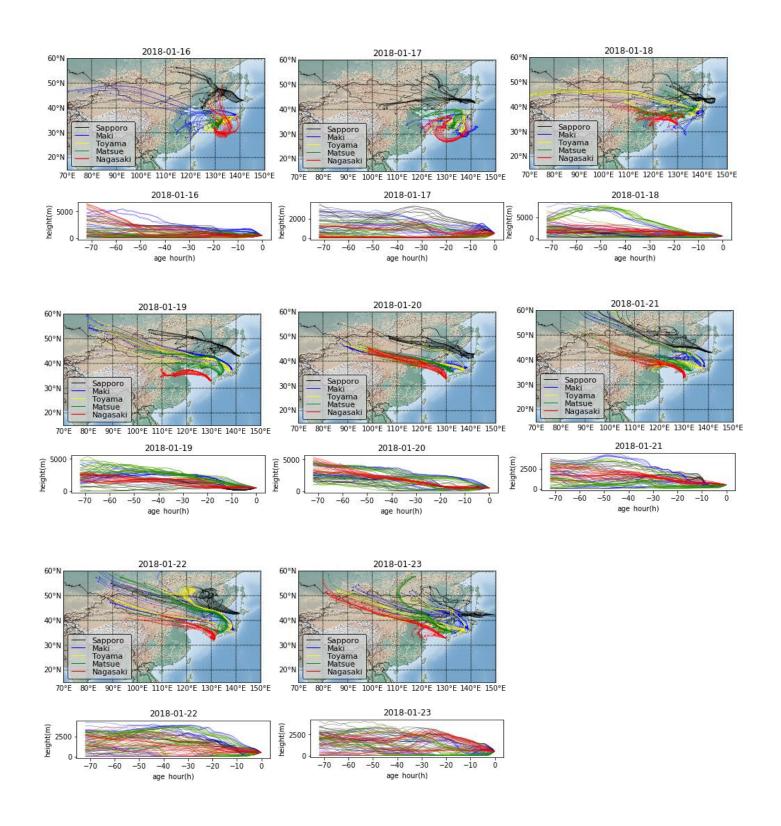


図 5-3-2-4 後方流跡線

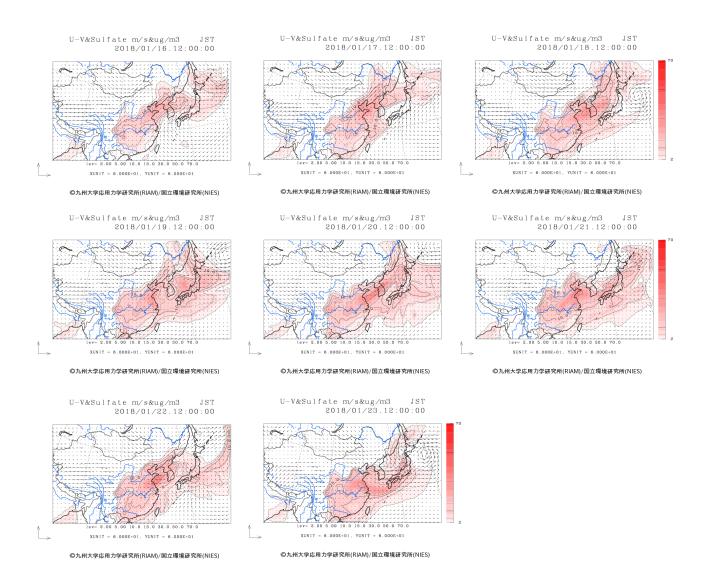


図 5-3-2-5 CFORS 予測結果

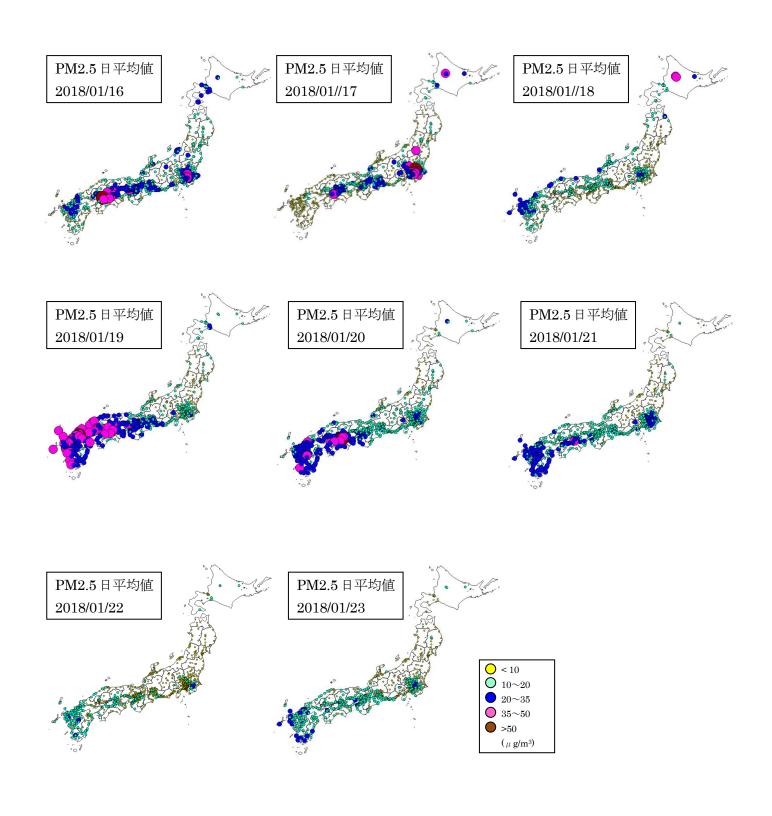


図 5-3-2-6 PM2.5 の日平均値全国分布



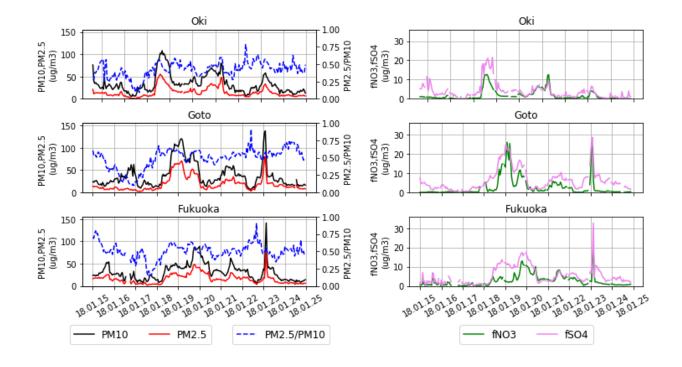


図 5-3-2-7 PM10 及び PM2.5 とその成分の経時変化

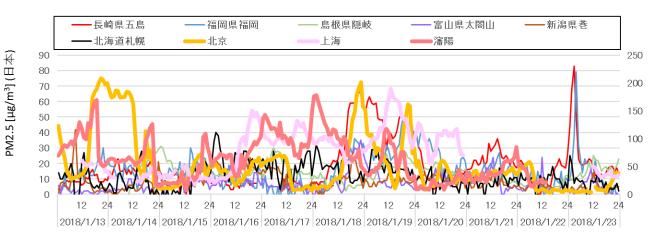


図 5-3-2-8 日本・中国での PM2.5 濃度

### (3) 煙霧事例3 (2018年2月24日~3月1日)

煙霧は2月24日 $\sim$ 3月1日06日間で観測された。表5-3-3-1と図5-3-3-1に示すとおり、この期間は、概ね西日本を中心に観測されている。

天気図では、西高東低の気圧配置が多い気象状況である(図 5-3-3-2)。このとき大陸では、Haze は非常に広い範囲で観測されていた(図 5-3-3-3)。さらに後方流跡線が、大陸からの気流を示し、2 月 24 日などでは砂漠地帯からの気流も示されていた(図 5-3-3-4)。CFORS でも大陸からの Sulfate の影響を示唆している(図 5-3-3-5)。この期間の PM2.5 は、図 5-3-3-6 のとおりであるが、特に 2 月 24 日において西日本の広い範囲で環境基準値の超過が見られた。

ACSA では、PM2.5 が福岡、五島、隠岐において、煙霧が観測される前日の2月23日からの上昇が見られ、また同時に $fSO_4$ 2が上昇していた。その後も継続して $fSO_4$ 2が全国的に高い状況が続いている(図5-3-7)。

なお、本事例前の中国では、瀋陽での PM2.5 高濃度が目立ち、2 月 26 日に  $200\mu g/m^3$  を超える高濃度が観測された(図 5-3-3-8)。また、北京でも翌日の2 月 27 日に  $200\mu g/m^3$  の PM2.5 が見られる。日本では、2 月 22 日~24 日にかけて、五島や隠岐の離島で  $60\mu g/m^3$  を越える濃度が確認された。

以上から、本事例は西日本を中心に大陸からの汚染の影響が及んだ事例と考えられる。

表 5-3-3-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数		煙霧観測地点										
+	71			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		24	9	津	舞鶴	広島	松江	鳥取	高松	松山	長崎	佐賀			
	2	25	4	津	広島	高松	松山								
		26	7	甲府	津	奈良	広島	高松	松山	大分					
2018		27	1	甲府											
		28	4	つくば	甲府	津	舞鶴								
	9	1	11	大阪	高松	松山	下関	福岡	大分	長崎	佐賀	熊本	宮崎		
	3	1	1   11	鹿児島											

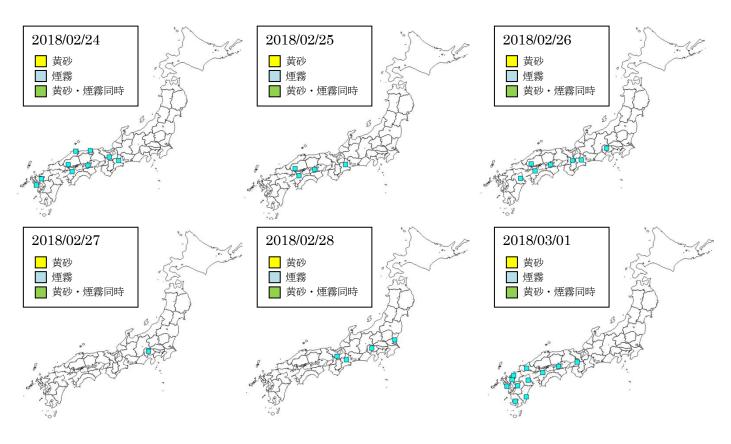
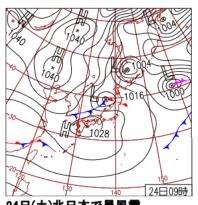
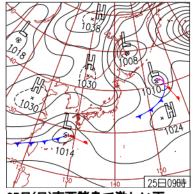


図 5-3-3-1 黄砂·煙霧観測地点



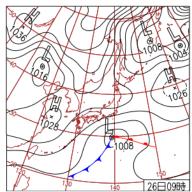
#### 24日(土)北日本で暴風雪

低気圧が発達しながらオホーツク海 を進み、日本海の低気圧が東北を通 過。北陸・東北と、北海道日本海側で 雪や雨。北海道では最大瞬間風速が 本泊35m/sなど8地点で2月1位。



#### 25日(日)南西諸島で激しい雨

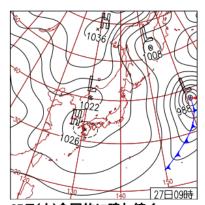
沖縄・奄美は低気圧・前線通過時に雨 風が強まり鹿児島県喜界島で2月1位 の45mm/1h。西~東日本も曇りや雨。 最深積雪北海道幌加内324cmは道内 史上1位、音威子府281cmも史上1位。



26日(月)北海道で積雪増える

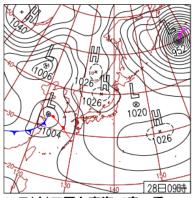
最深積雪は北海道幌糠275cm、美唄 167cmで共に史上1位タイ。低気圧が 日本の南を東進し西日本太平洋側は 所々雨。日中~夜は高気圧に覆われ 晴れた所多い。大阪市などウメ開花。

図 5-3-3-2 (1) 天気図



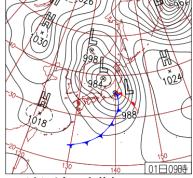
27日(火)全国的に晴れ続く 低気圧が日本海から東北へ進み、北 日本は寒気の影響もあり東北中心に

雪。その他は高気圧に覆われ概ね晴れ。内陸中心に冷え込み、所々で平年より10℃以上低い最低気温に。



28日(水)四国と東海で春一番

黄海の低気圧が急速に発達・東進し 西から雨で雷も。九州北部は大荒れ、 夜は東日本も雨。北陸〜北日本は晴 れで一部で雪。最深積雪 宮城県駒ノ 湯165cmは史上1位。



1日(木)列島、大荒れ

急速に発達する低気圧により全国的 に大荒れ。山形県飛島の最大風速 30.2m/sは3月の記録更新。関東中心 に最高気温20℃以上。近畿、関東で 春一番。沖縄県で震度5弱。

### 図 5-3-3-2 (2) 天気図

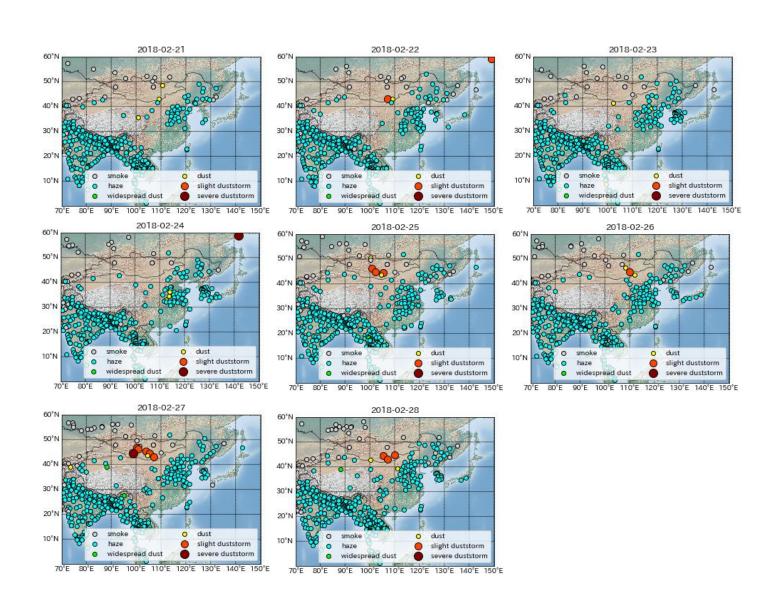


図 5-3-3-3 Haze の観測状況

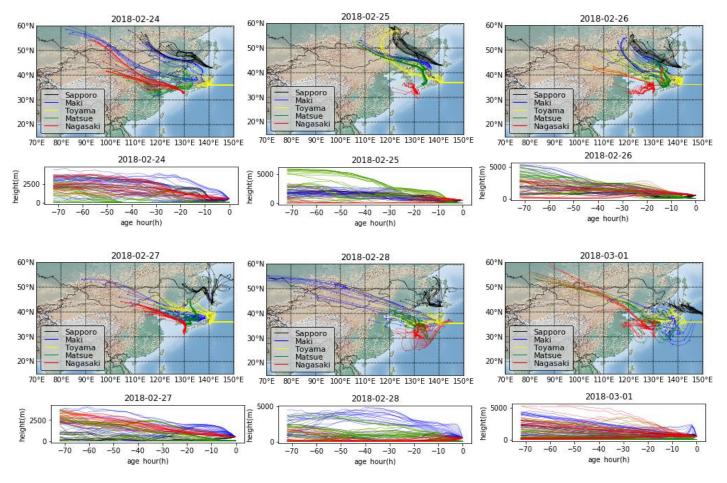


図 5-3-3-4 後方流跡線

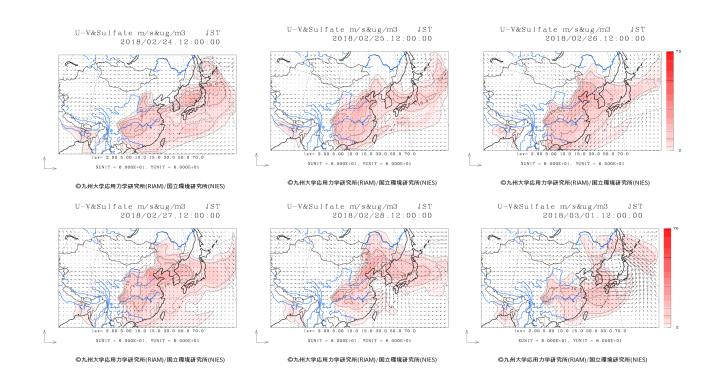


図 5-3-3-5 CFORS 予測結果

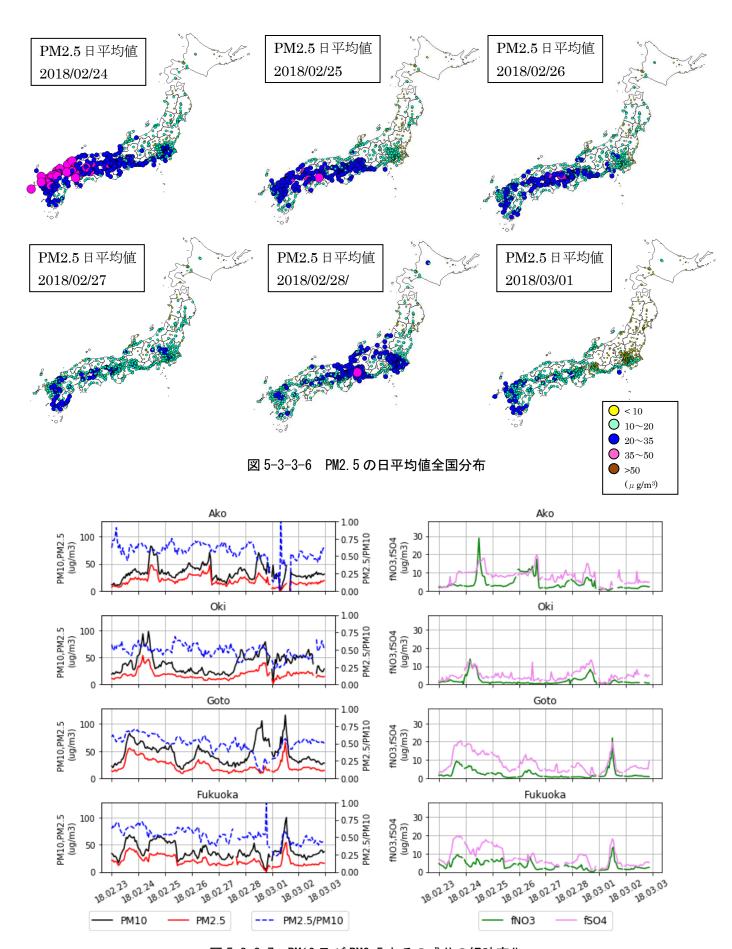


図 5-3-3-7 PM10 及び PM2.5 とその成分の経時変化

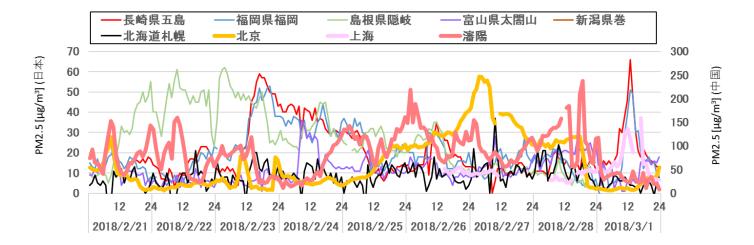


図 5-3-3-8 日本・中国での PM2.5 濃度

#### (4) 煙霧事例4(2018年3月24日~31日)

煙霧は、3月 24日 $\sim$ 31日の8日間と長期にわたって観測されたが、特に3月 25日 $\sim$ 29日にかけては全国で12地点 $\sim$ 26地点と非常に広範囲で煙霧が観測された(表 5-3-4-1、図 5-3-4-1)。また、3月 28日 $\sim$ 29日は北海道と青森で黄砂が観測されている。この期間の黄砂の詳細については、14. 4 黄砂日の解析結果」に前述した。

大陸では、この期間は Haze が大陸に広がっている様子が見られた(図 5-3-4-4)。なお、3 月 25 日から 27 日にかけては、大陸の広範囲で砂塵嵐が観測されている。このときの気流は、後方流跡線によれば、3 月 27 日までは北京や上海からの気流を示す地点が多い(図 5-3-4-3)。また CFORS においても図 5-3-4-5 のとおり大陸による sulfate の影響が示唆された。

PM2.5 濃度は煙霧の観測地点と同様の地点で環境基準値の超過地点がみられる(図 5-3-4-6)。

ACSA では、PM2.5 が 3 月 24 日に五島と隠岐で上昇し始め、その後、福岡、赤穂などで高濃度になっている様子がみられた。このとき、それぞれの ACSA の  $fSO_4$ 2 と  $fNO_3$ 7が、PM2.5 の増加とともに、都市部以外の地域も含めて高い濃度で推移している。 $fNO_3$ 7は五島、隠岐、赤穂のほか、巻、東京、名古屋などで、また、 $fSO_4$ 2 は五島、福岡のほかに、東京、大阪、箟岳などで、 $20\mu g/m^3$  を頻繁に超過している状況であった(図  $5\cdot3\cdot4\cdot7$ )。

中国の PM2.5 濃度では、図 5-3-4-8 のとおり北京と瀋陽で高濃度が見られ、両者ともに 3 月 24 日に  $200\mu g/m^3$  を超える高濃度が観測されている。また、日本では、25 日から 26 日で五島や福岡で  $60\mu g/m^3$  を超える濃度が確認される。

以上から、本事例は都市部で地域的な汚染があるものの、全国的には大陸からの汚染の影響が強く及んだ事例と考えられる。

耒	5-3-4-	1 煙霧観測地:	5
~~	., ., 4	1 V+ 32 tr //// /// /	

年	月	日	地点					煙霧観	測地点				
+	Л	Д	数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		24	1	長崎									
		25	18	長野	富山	金沢	舞鶴	岡山	広島	松江	鳥取	高松	松山
			10	下関	福岡	大分	長崎	佐賀	熊本	鹿児島	那覇		
				青森	秋田	水戸	つくば	銚子	千葉	静岡	津	金沢	福井
	3	26	26	彦根	舞鶴	京都	大阪	神戸	岡山	広島	松江	高松	松山
				下関	福岡	長崎	佐賀	熊本	鹿児島				
2018		27	17	青森	盛岡	水戸	つくば	東京	千葉	横浜	長野	静岡	津
2010	J		17	大阪	神戸	和歌山	岡山	高松	長崎	熊本			
		28	18	青森	水戸	つくば	東京	銚子	千葉	横浜	甲府	静岡	名古屋
		40		津	舞鶴	京都	大阪	神戸	奈良	高松	長崎		
		29	12	水戸	つくば	銚子	千葉	横浜	長野	甲府	静岡	金沢	舞鶴
		49	12	神戸	松江								
		30	3	つくば	静岡	佐賀							
		31	1	那覇									

年	月	H I		П	П	П	П	H	H	Н	П	П	Н	日	Ħ	地点		黄砂観測地点名									
		H	数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
2018	3	28	8	稚内	旭川	網走	札幌	帯広	釧路	室蘭	青森																
		29	5	網走	札幌	帯広	釧路	青森																			

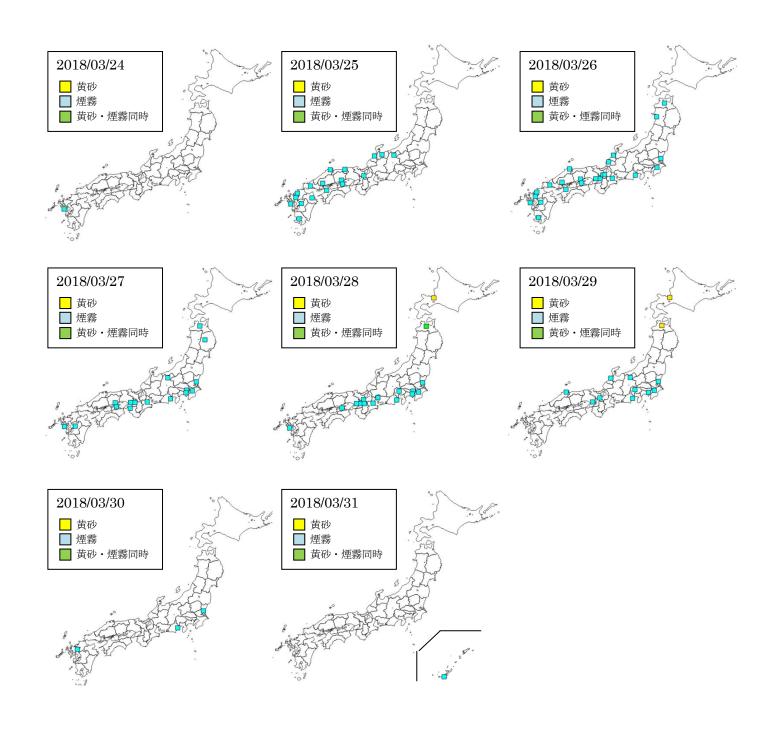
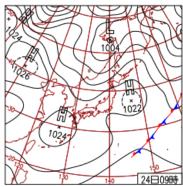
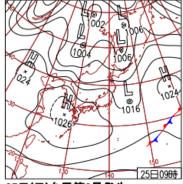


図 5-3-4-1 黄砂·煙霧観測地点



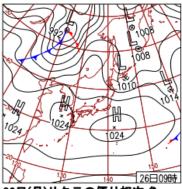
#### 24日(土)東京でサクラ満開

高気圧に覆われ全国的に概ね晴れ。 関東は気圧の谷の影響で所々で雨。 最低気温は沖縄・奄美〜西日本と北 日本で真冬並の所があったが、最高 気温は西〜北日本で4月上・中旬並。



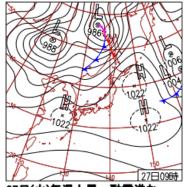
#### 25日(日)台風第3号発生

沖縄・奄美や西・東日本は高気圧に 覆われて晴れ。気圧の谷が通過した 北日本は雪や雨のち晴れまたは曇り。 最高気温は各地で4月並。前橋・水 戸・岡山市でサクラ開花。



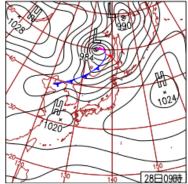
## 26日(月)サクラの便り相次ぐ

日本付近は高気圧に広く覆われ北日本の一部を除き晴れ。全国的に気温 も上昇し初夏の陽気。松江・津・宇 都宮市でサクラ開花。長崎・熊本・ 大阪・岐阜・熊谷市でサクラ満開。



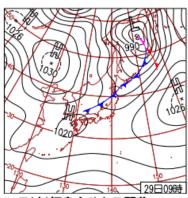
#### 27日(火)気温上昇、融雪進む

暖気に覆われ日中の気温は各地で4月 下旬~5月中旬並。18地点で3月の最 高気温更新。彦根・富山市でサクラ開 花。福岡・名古屋・横浜市などでサク ラ満開、名古屋市最早1位タイ。



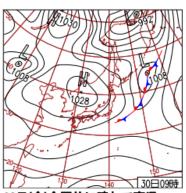
## 28日(水)北海道と青森で黄砂

本州付近は高気圧に覆われて晴れ。 沖縄・奄美〜東日本では夏日の所も。 最高気温は、北海道宇登呂で7月中旬 並の21.0℃をはじめ、全国のアメダ ス1/4の地点で3月1位の値。



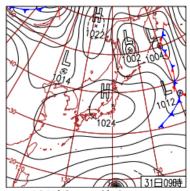
## 29日(木)福島市サクラ開花

東〜北日本を寒冷前線通過するが活動は不活発。東北で所々雨のほか全国的に概ね晴れ。最低気温は北日本太平洋側中心に5月並。最高気温は東日本中心に75地点で3月1位の値。



#### 30日(金)全国的に晴れて高温

高気圧に覆われ全国で晴れ。最高気温は昨日より下がったものの3~4月並、九州中心に17地点で3月の記録更新。仙台市でサクラ開花。大分・富山市でサクラ満開。



#### 31日(土)晴れの日続く

高気圧に覆われ全国的に晴れ。放射 冷却により、最低気温は東北南部な どで平年より5℃前後低い。最高気温 は全国的に高く、福岡県太宰府の 25.4℃は5月下旬並で3月1位の値。

図 5-3-4-2 天気図

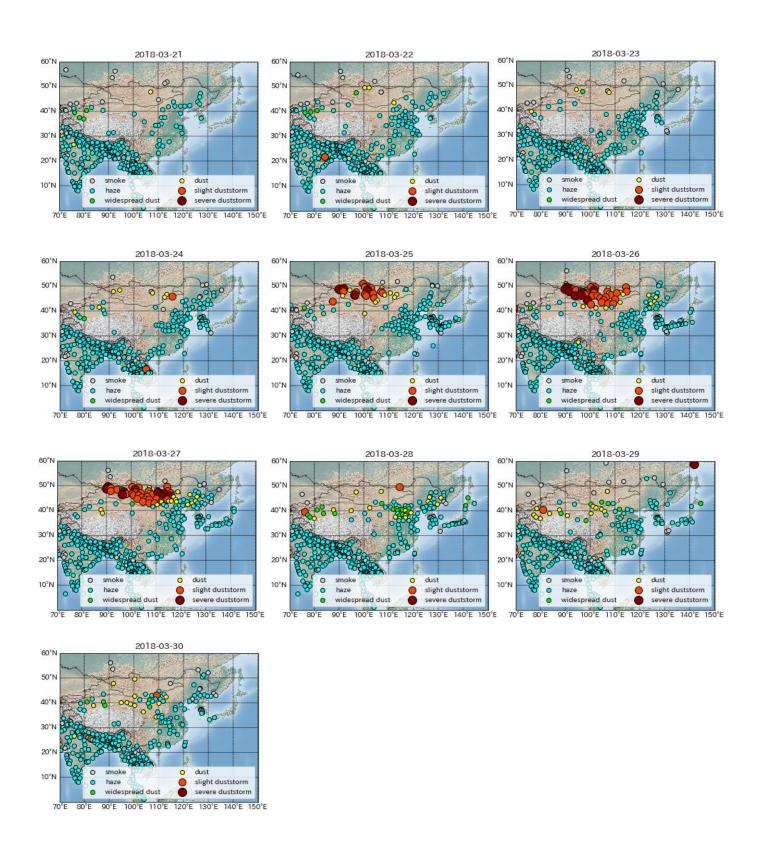


図 5-3-4-3 Haze の観測状況

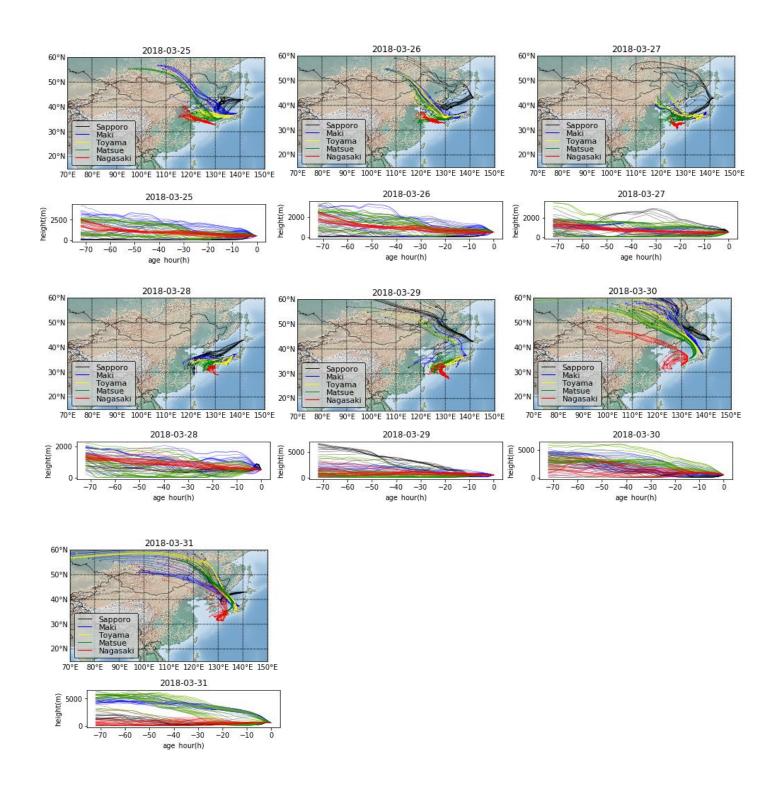


図 5-3-4-4 後方流跡線

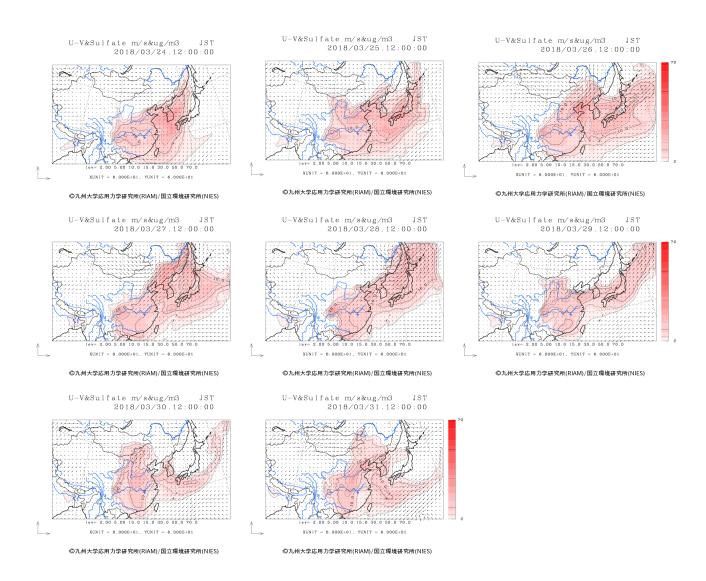


図 5-3-4-5 CFORS 予測結果

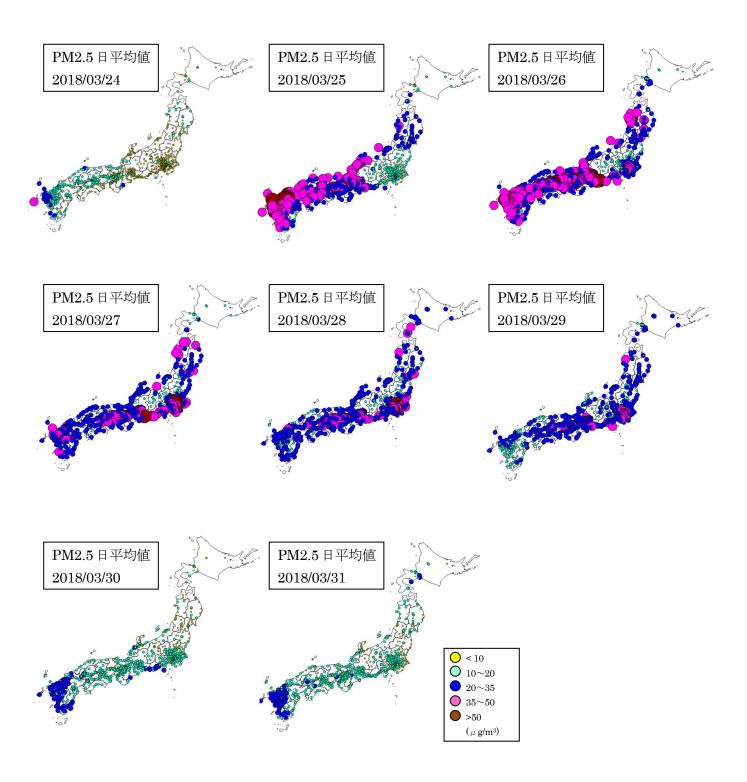


図 5-3-4-6 PM2.5 の日平均値全国分布

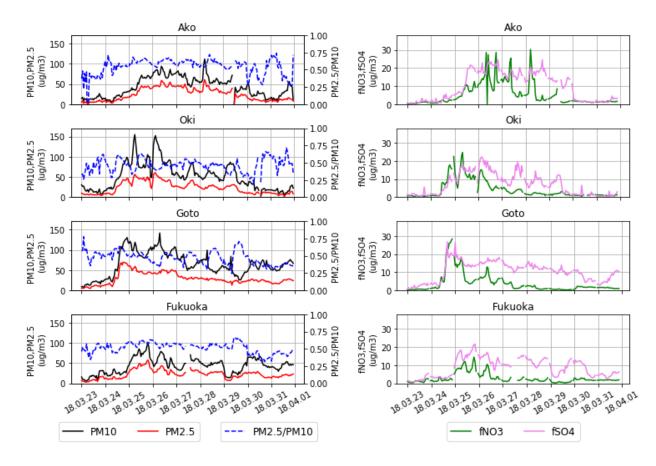


図 5-3-4-7 PM10 及び PM2.5 とその成分の経時変化

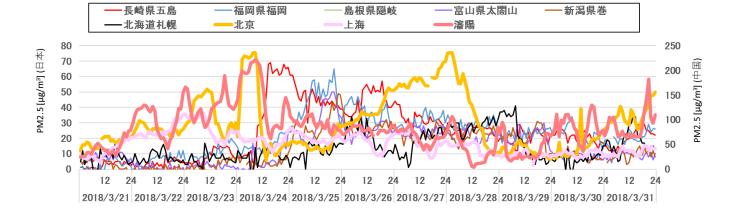


図 5-3-4-8 日本・中国での PM2.5 濃度

## 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、 $12\sim15$  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 50µg/m³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

## (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/m³)	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			
	2017	5	7	松江	24	0.842	53	0.303	$\circ$	$\circ$	
3	2017	5	7	長崎	24	0.606	70	0.229	$\circ$	$\circ$	
	2017	5	8	富山	24	0.696	62	0.163	$\circ$	$\circ$	
4	2017	5	30	松江	24	0.635	69	0.068			$\circ$
5	2018	1	2	松江	24	0.871	59	0.068			
<u> </u>	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

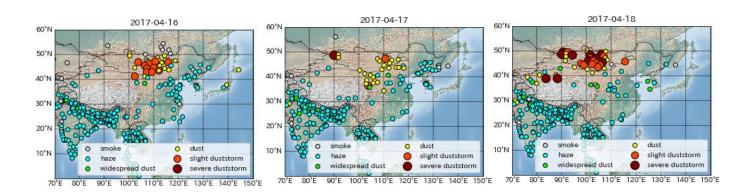


図 6-1-1-2 砂塵嵐の発生状況

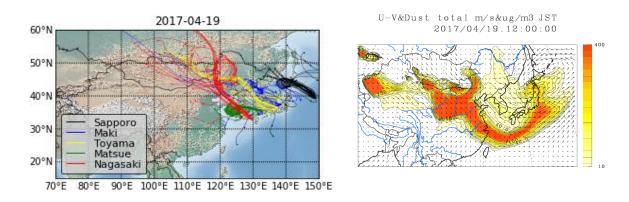


図 6-1-1-3 後方流跡線

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

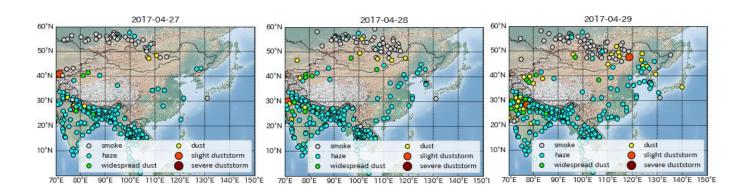


図 6-1-2-2 砂塵嵐の発生状況

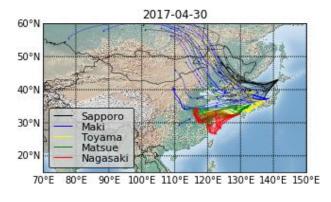


図 6-1-2-3 後方流跡線

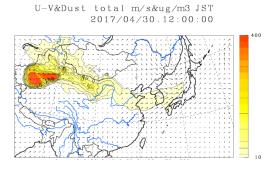


図 6-1-2-4 CFORS (dust)

#### ③ 2018年1月2日~1月3日

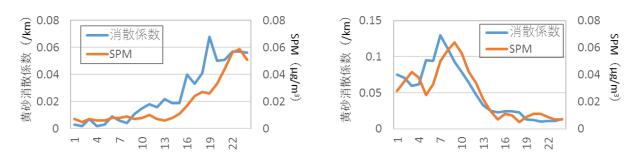


図 6-1-3-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移(左:松江1月2日、右:長崎1月3日)

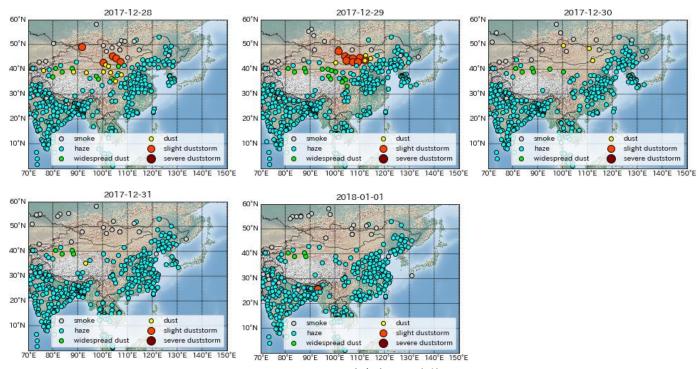


図 6-1-3-2 砂塵嵐の発生状況

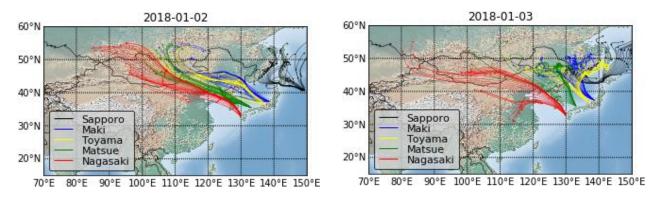


図 6-1-3-3 後方流跡線



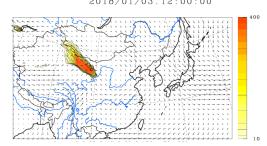


図 6-1-3-4 CFORS (dust)

# ④ 2018年3月11日

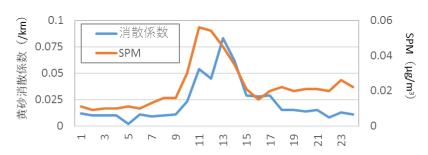
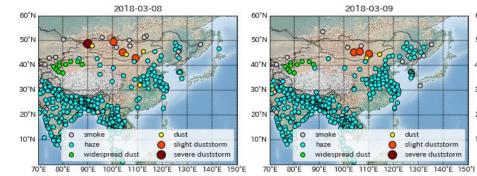


図 6-1-4-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移



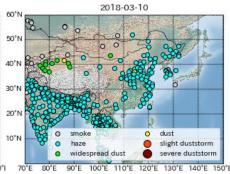
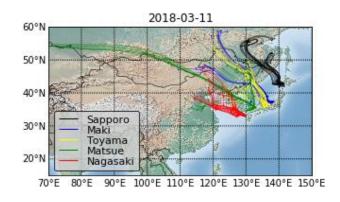


図 6-1-4-2 砂塵嵐の発生状況



U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/03/11.12:00:00

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  $50\mu g/m^3$ 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  $40\mu g/m^3$ 以上  $50\mu g/m^3$ 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 40μg/m³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  $40 \mu g/m^3$ 以上  $50 \mu g/m^3$ 未満」の条件で検出された日

No	年	月	Ш	地点	1日の データ数	相関係数	SPM 日最大値 (µg/m³)	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			0
7	2018	3	30	長崎	24	0.723	42	0.124			$\circ$

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

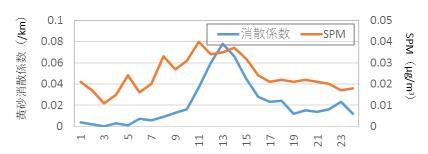


図 6-2-1-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

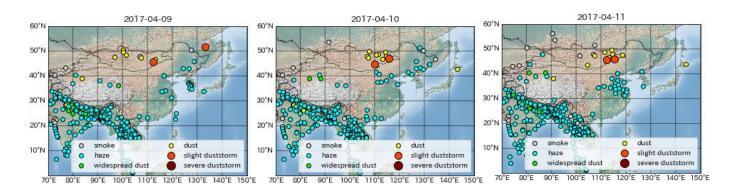


図 6-2-1-2 砂塵嵐の発生状況

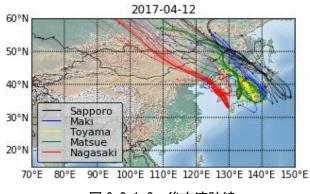


図 6-2-1-3 後方流跡線

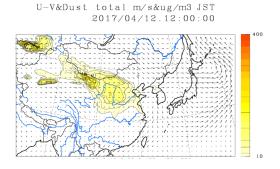


図 6-2-1-4 CFORS (dust)

# 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

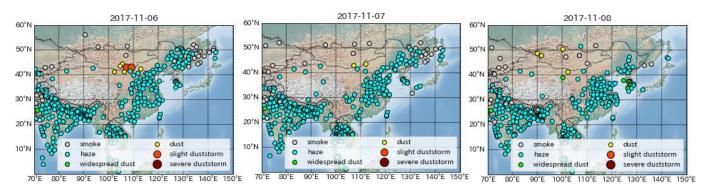
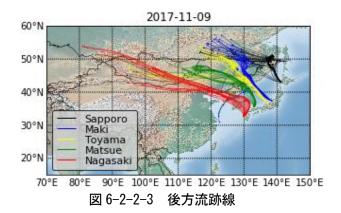


図 6-2-2-2 砂塵嵐の発生状況



U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2017/11/09.12:00:00

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

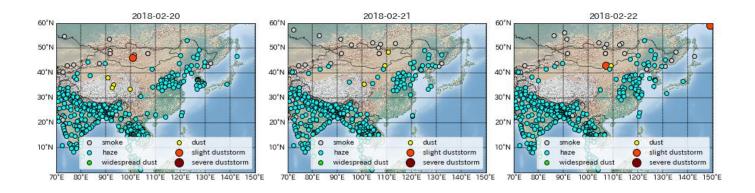


図 6-2-3-2 砂塵嵐の発生状況

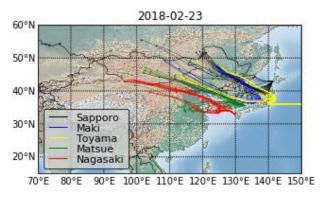


図 6-2-3-3 後方流跡線

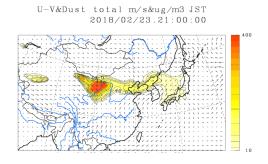


図 6-2-3-4 CFORS (dust)

# 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

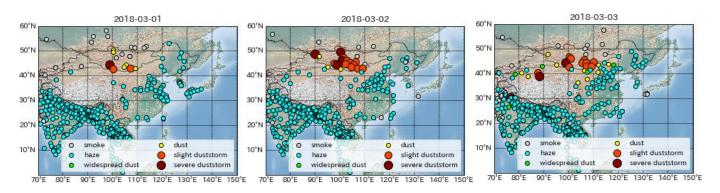
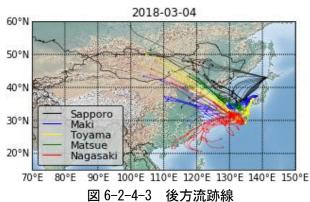


図 6-2-4-2 砂塵嵐の発生状況



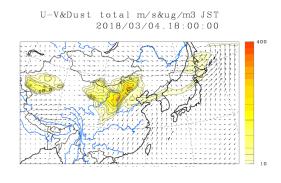


図 6-2-4-4 CFORS (dust)

## ⑤ 2018年3月15日

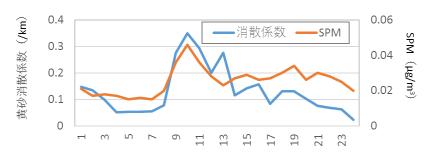


図 6-2-5-1 黄砂消散係数と SPM の時間推移

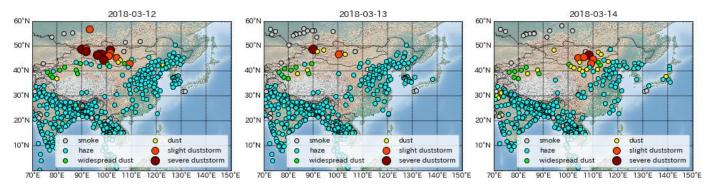


図 6-2-5-2 砂塵嵐の発生状況

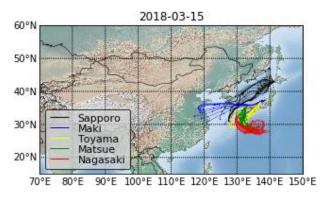


図 6-2-5-3 後方流跡線

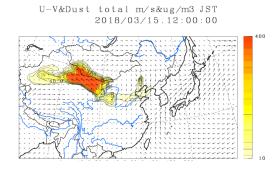


図 6-2-5-4 CFORS (dust)

# 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 $11.8 \mu g/m^3$ である。このうち、環境基準値1日平均値 $35 \mu g/m^3$ 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  $22.6\mu g/m^3$  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:  $23.9\mu g/m^3$ )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  $23.5\mu g/m^3$ 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:  $21.8\mu g/m^3$ )、環境基準値超過率(前年度: 6.8%)はともに増加した。

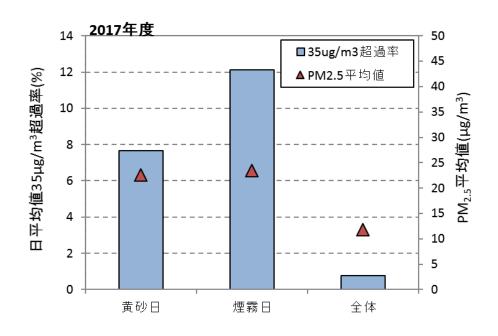


図 7-1-1 黄砂日、煙霧日の PM2.5 平均濃度と環境基準超過率(2017 年度)

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。

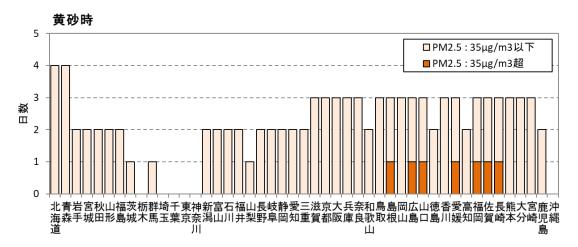


図 7-1-2 都道府県別の黄砂日数と PM2.5 環境基準超過超日数 (2017 年度)

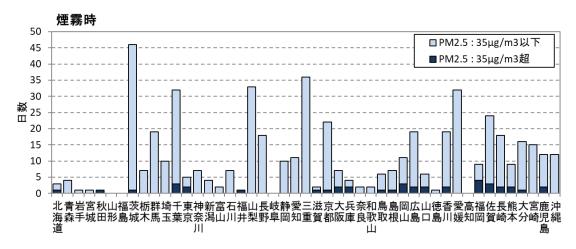


図 7-1-3 都道府県別の煙霧日数と PM2.5 環境基準超過超日数 (2017 年度)

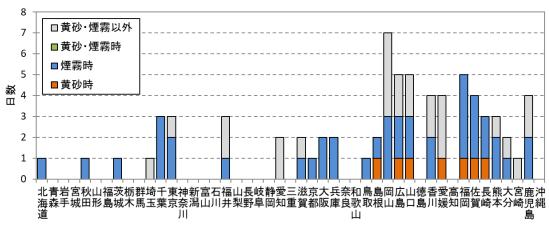


図 7-1-4 地点別の PM2.5 環境基準超過日に占める黄砂・煙霧の割合(2017 年度)

### 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 20µg/m³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  $20\mu g/m^3$ 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  $20\mu g/m^3$ 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。

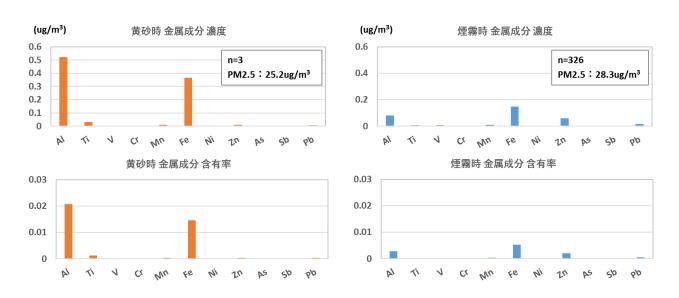


図 7-2-1 黄砂時および煙霧時における PM2.5 金属成分(上段:濃度、下段:含有率)

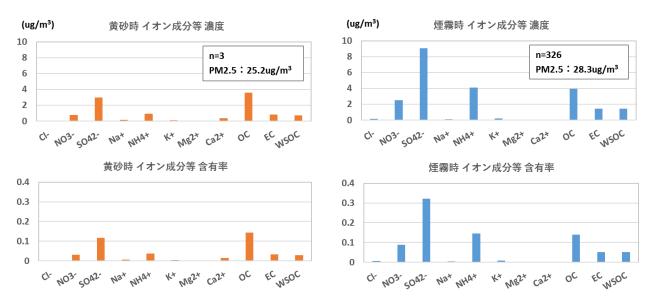


図 7-2-2 黄砂時および煙霧時における PM2.5 イオン成分等(上段:濃度、下段:含有率)

### 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

#### 【件数】

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)

#### 【成分数】

以下の全19項目

イオン成分: Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2</sup><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>

無機元素成分: Al、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、As、Pb

炭素成分: OC、EC

#### 【因子数】

7 因子

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  $NO_3$  Cl で高く、二次生成された  $NH_4NO_3$  などの粒子と考えられる。 $NH_4NO_3$  の  $NO_3$  / $NH_4$ +比は 3.4 であり、ここでは 3.2 と近い値を示した。

Factor3 は  $SO_4^{2^{-}}$  NH<sub>4</sub>+などで高く、二次生成された(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>2</sup> と考えられる。(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>2</sup>の SO<sub>4</sub><sup>2</sup>/NH<sub>4</sub>+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  $2\sim4$  とされて  $2^{77}$ 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  $2.1\sim3.1$  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。

Factor 7 は Na+、 $Mg^2$ +などで高く、海塩によるものと想定される。海塩の  $Mg^2$ +/Na+比は 0.11 とされており、ここでは 0.13 と同程度である。

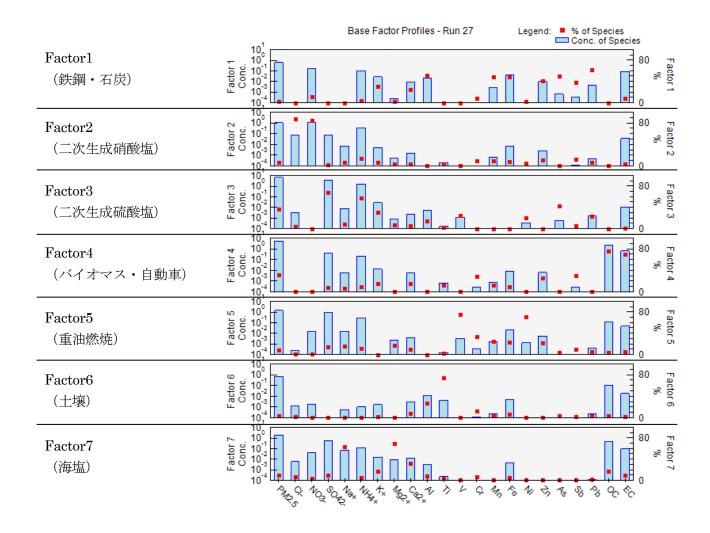


図 7-3-1 発生源プロファイル

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。

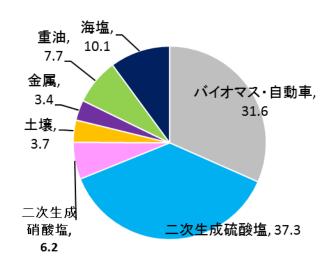


図 7-3-2 黄砂・煙霧時の各寄与濃度の平均組成

# 8. PM2.5 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用

これまでの黄砂実態解明調査では、成分濃度の情報として、自治体による全国の PM2.5 成分分析を利用していたが、自治体による PM2.5 成分分析調査は黄砂飛来時と一致することが少なく、黄砂時の成分に関する情報が不足していた。また、福岡県の自動測定機(SPA)による PM2.5 中の  $SO_4$ <sup>2</sup>(硫酸イオン)濃度の 1 時間値を利用して、黄砂と人為起源系汚染物質との混在状況を確認していたが、全国的な混在状況は不明のままであった。

このような中、環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017 年 4 月から継続的な測定を開始しており、このうち、ACSA では、全国 10 地点で PM2.5 や粗大粒子中の  $SO_4$ <sup>2</sup>、 $NO_3$  (硝酸イオン) などを測定している。PM2.5 中の成分測定結果については、事例解析で前述したとおりであるが、ここでは PM2.5 中の成分のほか、粗大粒子の成分などの利用について検討を行った。

なお、ACSAの詳細は、「4.2 解析方法(9)PM2.5 自動測定器 ACSA-14」(12ページ)に前述したとおりである。本検討では ACSA のデータのうち、PM2.5、PM10、SO $_4$ <sup>2</sup>、NO $_3$  を使用するものとし、微小粒子(PM2.5)と粗大粒子(PM10-2.5)の成分が区別できるよう、下表に従って表記する。

	硫酸イオン	硝酸イオン
微小粒子側の成分	$\mathrm{fSO}_4{}^{2 ext{-}}$	fNO <sub>3</sub> -
(PM2.5)	(図表中ではfSO4 と表記)	(図表中では fNO3 と表記)
粗大粒子側の成分	$\mathrm{cSO_{4}^{2^{-}}}$	$\mathrm{cNO_{3}^{-}}$
(PM10-2.5)	(図表中では cSO4 と表記)	(図表中では cNO3 と表記)

# 8. 1 年平均値

ACSA の測定項目について、黄砂時における PM10 及び、PM2.5 中の成分濃度の高低を評価するにあたり、まず各項目の年平均値を、地点別にまとめた。結果は表 8-1-1 と図 8-1-1 のとおりである。

PM10 は、日本の西側ほど濃度が高い傾向を示し、特に隠岐や五島の離島で高いことが特徴である。また、 $fSO_4$ 2 も同様に西側ほど濃度が高い傾向を示すが、特異的に赤穂が高く、赤穂は地域的な影響が強い地域であると考えられる。

(単位:  $\mu$  g/m<sup>3</sup>)

一方でfNO3は、東京、名古屋、大阪、赤穂などの都市部で高い傾向がみられた。

表 8-1-1 年平均値

	札幌	巻	箟岳	東京	名古屋	大阪	赤穂	隠岐	五島	福岡
PM2.5	10.8	9.6	10.0	13.8	14.2	13.8	11.3	11.9	13.6	12.9
PM10	19.6	20.9	18.5	25.6	23.9	25.1	23.0	30.8	33.4	26.4
fNO3	0.9	0.5	0.6	1.7	1.3	1.5	1.4	0.8	0.9	1.1
fSO4	2.0	2.0	1.9	2.5	2.8	3.2	4.5	3.3	4.2	4.0

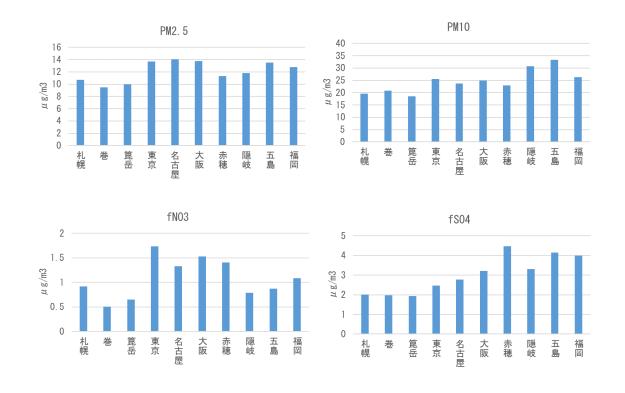


図 8-1-1 年平均値

# 8. 2 黄砂時における粗大粒子の成分濃度

ACSA では、PM2.5 だけでなく、粗大粒子側(PM10-PM2.5)の成分濃度も同時に測定している。 黄砂時には、粗大粒子の濃度が高くなることが知られているため、ここでは2017 年度に気象台で観測 された黄砂の2 事例について、粗大粒子の成分濃度をPM10 と比較した。さらにPM2.5 の成分濃度も 併記し、PM2.5 と粗大粒子の成分濃度の比較も行った。

### (1) 2017年5月6日~8日

5月の黄砂事例では、福岡と五島で、5月6日のPM10が上昇する前の5月5日にPM2.5のfSO $_4^2$ が上昇している。また、巻では5月6日のPM10上昇とともにfSO $_4^2$ が上昇している。これらの地点では、いずれもfSO $_4^2$ は上昇した後、減少に転じており、5月7日は濃度が低い状況である。なお、粗大粒子の $_6$ SO $_4^2$ で、大きな増加は確認されない。

また、PM2.5 の  $fNO_3$  は、いずれの地点も濃度が低い状況であるものの、粗大粒子の  $cNO_3$  は、特に 隠岐や五島で PM10 の変化と同期しており、一時  $10\mu g/m^3$  程度となっていた。

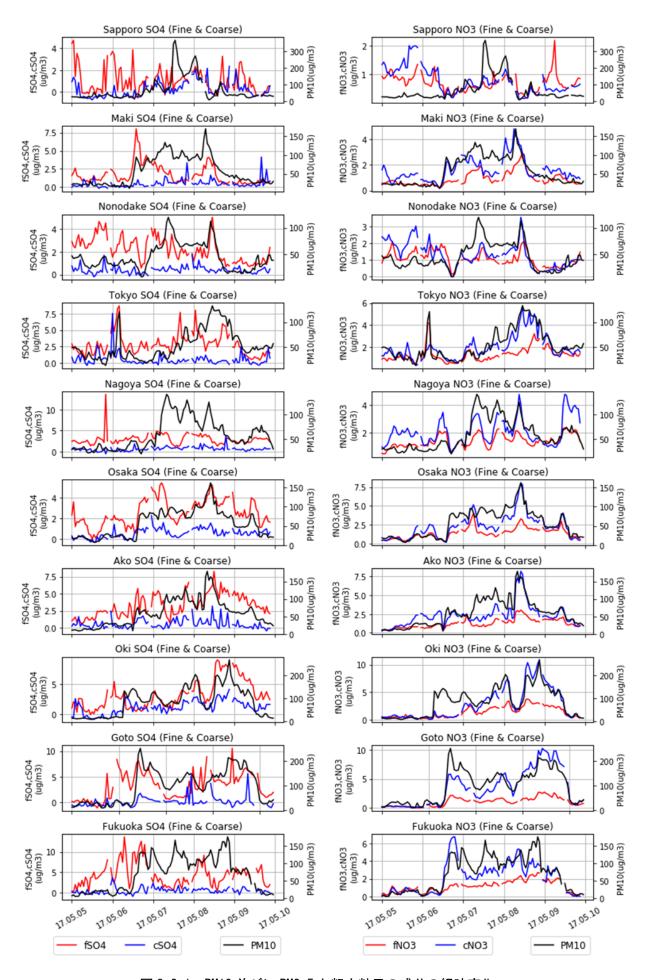


図 8-2-1 PM10 並びに PM2.5 と粗大粒子の成分の経時変化

#### (2) 2018年3月28日~29日

3月の事例では、黄砂の観測が札幌と青森のみであるため、北日本のみの濃度推移を示した。

この期間、硫酸イオンは、札幌で欠測となっているが、巻と箟岳で、PM2.5 の  $fSO_4$ 2-が上昇しており、巻では 3 月 29 日に PM10 が最大値を示す直前に、 $fSO_4$ 2-の最大値がみられた。一方で、巻、箟岳ともに粗大粒子の  $cSO_4$ 2-では濃度上昇が確認されない。

札幌の硝酸イオンをみると、PM10 の最大値が観測された 3 月 29 日前の 3 月 27 日から 28 日にかけて f  $SO_4$ 2-の極大値が観測された。さらに札幌における粗大粒子の  $cNO_3$ -では、PM10 の変化と同期しており、最大で  $10\mu g/m^3$  程度の濃度が観測された。

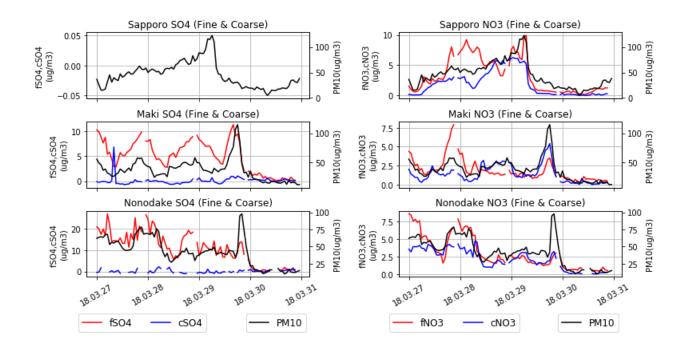


図 8-2-2 PM10 並びに PM2.5 と粗大粒子の成分の経時変化

両黄砂事例ともに、複数地点において、黄砂飛来前に PM2.5 の成分濃度が上昇する様子が見られた。植松ら (2002)は、長崎でのステップサンプラーを用いた 2 時間毎のエアロゾル測定値から、人為起源の硫酸塩濃度と黄砂粒子の飛来には数時間の時間差が見られる場合があることを指摘している 33)が、ACSA-14 の測定結果においても、同様の現象が確認された。

また、粗大粒子の成分では、硝酸イオンが PM10 と同時に上昇する現象がみられ、硝酸イオンが黄砂に付着していた可能性があると考えられる。

#### 8. 3 PM2.5とPM10の比

これまでの黄砂調査では、気象台で観測された黄砂日と大規模煙霧日について、日別に PM2.5/SPM をとりまとめていた。黄砂時には粗大粒子が多くなる傾向にあるため、比率が低くなり、一方で人為起源系の汚染物質が多くなると、比率は高くなる。

PM10 は SPM よりも粗大な粒子の量的指標となるため、黄砂時の PM2.5/PM10 は、PM2.5/SPM よりも顕著に変化が見られる可能性がある。そこで、ここでは PM2.5/PM10 についてのとりまとめを行う。

# (1) 年平均との比較

まず、年平均の PM2.5/PM10 を算出し、これと黄砂時、煙霧時の比率とを比較した。それぞれの比率 を日別に示したものを表 8-3-1 に示す。詳細は下記のとおりであるが、黄砂時の PM2.5/PM10 は、年平均よりも低くなった。一方、大規模煙霧時には、全体的に年平均よりも高くなる傾向にあった。

### ① 年平均

2017 年度における PM2.5/PM10 は、10 地点平均で 0.52 であり、地点別にみると  $0.41\sim0.61$  であった。

#### ② 気象台で黄砂が観測された日

気象台で黄砂が観測された日について、5月6日から5月8日は、10地点平均で $0.29\sim0.42$ と年平均の0.52よりも低く、地点別でも全国的に低い状況であった。

3月 28 日から 3月 29 日は、10 地点平均で  $0.52\sim0.58$  と年平均以上であるが、黄砂が観測された札幌をみると、特に 3月 29 日に 0.41 と低い値で、札幌の年平均 0.59 を大きく下回った。

#### ③ 気象台で大規模煙霧が観測された日

気象台で大規模煙霧が観測された 26 日間をみると、10 地点平均が  $0.42\sim0.67$  となり、黄砂時より高い傾向がみられた。このうち最も高い値(0.67)を示した日は、2018 年 1 月 22 日である。このとき東京の 0.84 をはじめとして、名古屋や札幌で高い値を示した。ただし、煙霧日において PM2.5/PM10 が低い日もみられた。

表 8-3-1 黄砂時、大規模煙霧時における PM2.5/PM10

地点		札幌	巻	箟岳	東京	名古屋	大坂	赤穂	隠岐	五島	福岡	平均
年平均		0.59	0.49	0.57	0.57	0.61	0.56	0.47	0.41	0.42	0.5	0.52
	2017.05.06	0.41	0.38	0.51	0.45	0.57	0.43	0.36	0.32	0.33	0.47	0.42
	2017.05.07	0.2	0.21	0.32	0.45	0.32	0.32	0.3	0.26	0.24	0.28	0.29
気象台黄砂	2017.05.08	0.26	0.25	0.34	0.37	0.37	0.38	0.37	0.3	0.26	0.39	0.33
	2018.03.28	0.58	0.64	0.61	0.62	0.67	0.6	0.6	0.46	0.47	0.53	0.58
	2018.03.29	0.41	0.51	0.57	0.58	0.62	-	0.56	0.39	0.51	0.57	0.52
	2017.05.30	0.48	0.57	0.53	0.51	0.65	0.6	0.54	0.39	0.37	0.57	0.52
	2017.05.31	0.48	0.55	0.57	0.5	0.6	0.58	0.56	0.5	0.52	0.57	0.54
	2017.06.01	0.56	0.48	0.42	0.47	0.66	0.65	0.62	0.5	0.46	0.62	0.54
	2017.06.02	0.46	0.32	0.47	0.44	0.52	0.53	0.39	0.22	0.43	0.43	0.42
	2018.01.16	0.8	0.59	0.51	0.74	0.64	0.63	0.68	0.37	0.21	0.47	0.56
	2018.01.17	0.76	0.55	0.7	0.66	0.58	0.44	0.52	0.24	0.33	0.33	0.51
	2018.01.18	0.72	0.36	0.73	0.73	0.59	0.54	0.26	0.44	0.59	0.51	0.55
	2018.01.19	0.78	0.46	0.62	0.63	0.58	0.49	0.5	0.49	0.55	0.55	0.57
	2018.01.20	0.75	0.54	0.6	0.57	0.62	0.54	0.57	0.41	0.48	0.49	0.56
	2018.01.21	0.72	0.51	0.55	0.66	0.6	0.51	0.54	0.43	0.53	0.49	0.55
	2018.01.22	0.79	0.7	0.63	0.84	0.72	0.65	0.61	0.53	0.58	0.62	0.67
	2018.01.23	0.73	0.59	0.77	0.77	0.7	0.55	0.52	0.46	0.56	0.45	0.61
気象台煙霧	2018.02.24	0.68	0.6	0.71	0.65	0.71	0.61	0.6	0.52	0.62	0.58	0.63
<b>又</b> 家口烂務	2018.02.25	0.74	0.74	0.81	0.66	0.75	0.61	0.62	0.56	0.52	0.58	0.66
	2018.02.26	0.75	0.72	0.79	0.57	0.65	0.63	0.65	0.49	0.51	0.5	0.63
	2018.02.27	0.81	0.67	0.73	0.56	0.64	0.63	0.59	0.46	0.47	0.5	0.61
	2018.02.28	0.86	0.57	0.76	0.58	0.61	0.59	0.55	0.5	0.27	0.52	0.58
	2018.03.01	0.82	0.54	0.51	0.6	0.49	0.45	0.28	0.35	0.43	0.39	0.49
	2018.03.24	0.41	0.72	0.63	0.6	0.68	0.59	0.56	0.48	0.55	0.51	0.57
	2018.03.25	0.63	0.54	0.62	0.65	0.66	0.64	0.62	0.49	0.49	0.59	0.59
	2018.03.26	0.53	0.58	0.63	0.61	0.7	0.67	0.61	0.45	0.46	0.56	0.58
	2018.03.27	0.51	0.67	0.56	0.62	0.66	0.65	0.61	0.5	0.47	0.54	0.58
	2018.03.28	0.58	0.64	0.61	0.62	0.67	0.6	0.6	0.46	0.47	0.53	0.58
	2018.03.29	0.41	0.51	0.57	0.58	0.62	-	0.56	0.39	0.51	0.57	0.52
	2018.03.30	0.46	0.52	0.6	0.39	0.51	0.53	0.45	0.45	0.39	0.39	0.47
	2018.03.31	0.5	0.66	0.66	0.47	0.55	0.46	0.5	0.52	0.36	0.43	0.51

### (2) PM2.5/SPM との比較

PM2.5/PM10 と PM2.5/SPM との比較は、表 8-3-2~3 に示したとおりである。これまでの調査における PM2.5/SPM は、黄砂が観測された測定地点の平均で示していたため、PM2.5/PM10 も同様にした。

PM2.5/SPM は、黄砂時に 0.66~0.81、煙霧時に 0.69~0.98 が示された。

一方、PM2.5/PM10 は、黄砂時に $0.29\sim0.58$ 、煙霧時に $0.42\sim0.67$  であった。

PM2.5/SPM では黄砂時と煙霧時の最小値の差が 0.03、最大値の差が 0.17 であったが、

PM2.5/PM10 では黄砂時と煙霧時の最小値の差が 0.13、最大値の差が 0.09 となり、最小値で差が大きくなった。このように黄砂時においては、PM2.5/SPM より PM2.5/PM10 で顕著な差が見られた。ただし、その一方で、煙霧時においては、PM2.5/SPM で顕著な差があることから、黄砂と煙霧を検討する場合には、PM2.5/SPM と PM2.5/PM10 の両者を集計することが有効と考えられる。

表 8-3-2 2017 年度の黄砂日一覧

事例	年	月	日	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
	2017	5	6	0.66	0.42
1	2017	5	7	0.67	0.29
	2017	5	8	0.70	0.33
2	2018	3	28	0.81	0.58
	2018	3	29	0.79	0.41

<sup>%</sup>「PM2.5/SPM」は測定局毎に PM2.5/SPM を算出し、それを平均したものであり、表中の「SPM 平均濃度」と「PM2.5 平均濃度」から算出したものではない。

表 8-3-3 2017 年度の煙霧日一覧

事例	年	月	日	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
		5	30	0.80	0.52
1	2017	i o	31	0.75	0.54
	2017	6	1	0.77	0.54
		O	2	0.77	0.42
			16	0.98	0.56
			17	0.72	0.51
			18	0.82	0.55
2	2010	1	19	0.85	0.57
4	2018	L	20	0.91	0.56
			21	0.93	0.55
			22	0.87	0.67
			23	0.91	0.61
	2018		24	0.90	0.63
		0	25	0.88	0.66
3		2	26	0.86	0.63
5			27	0.74	0.61
			28	0.82	0.58
		3	1	0.77	0.49
			24	0.80	0.57
			25	0.86	0.59
			26	0.85	0.58
4	2010	3	27	0.83	0.58
4	2018		28	0.78	0.58
			29	0.79	0.52
			30	0.74	0.47
			31	0.69	0.51

<sup>%</sup>「PM2.5/SPM」は測定局毎に PM2.5/SPM を算出し、それを平均したものであり、表中の「SPM 平均濃度」と「PM2.5 平均濃度」から算出したものではない。

# 9. 人工衛星データの利用

黄砂は、大陸で発生した砂塵嵐が偏西風によって日本へ飛来することが知られている。黄砂は、日本へ飛来する際に様々な経路をとり、その経路によって黄砂に混在する大気汚染物質の質や量が異なることが考えられる。黄砂の飛来経路については、現状では CFORS によるモデル計算や、後方流跡線による気流の流れで評価しているが、実際の黄砂の経路は不明である。そこで、ここでは地球観測用の人工衛星のデータを活用し、黄砂の捕捉について検討を行う。

### 9. 1 国内外における地球観測人工衛星の概要

黄砂の捕捉に適用できる可能性がある国内外の地球観測用の人工衛星について、ひまわり 8 号、CALIPSO、MODIS の 3 機種を取り上げ、その概要をまとめた。

### (1) ひまわり8号

ひまわり 8 号は日本の気象衛星であり、気象庁で運用されている。ひまわり 8 号では、16 の観測バンドによる観測を実施しており、それらのバンドを利用した RGB 合成による黄砂の検出について検討を行った。気象庁によると、ひまわり 8 号の衛星データを黄砂の検出に利用する場合、バンド 1 からバンド 3 を使った True Color RGB か、バンド 3 からバンド 5 を使った Natural Color RGB などが有用であることが紹介されている。

2017 年 5 月 6 日~8 日で観測された黄砂事例について、5 月 7 日と 8 日のデータを Natural Color RGB で画像処理したものを図 9-1-1 に示すが、本黄砂事例においては、黄砂の範囲は不明瞭であった。また、Ture Color RGB で画像処理も実施したが、Natural Color RGB と同様の結果であった。

なお、宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センターでは、このようなカラー画像を表示できるウェブサイト「JAXA ひまわりモニタ」を一般公開しており、2015年から現在までの状況について、比較的容易に確認することができる。

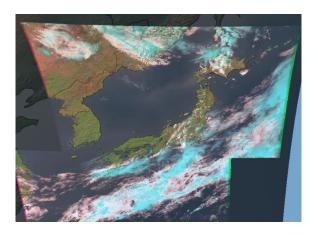




図 9-1-1 Natural Color RGB (左: 2017, 05, 07 右: 2017, 05, 08)

上記の方法以外では、各バンドの差分を用いた RGB 合成もある。特にバンド 11 からバンド 15 を使って差分した Dust RGB では、黄砂を識別する方法として有効とされている。図 9-1-2 は、気象庁のホームページで、人工衛星で黄砂を捉えたとして紹介された画像である。このように Dust RGB では、黄砂などの砂塵が赤系色で示される。

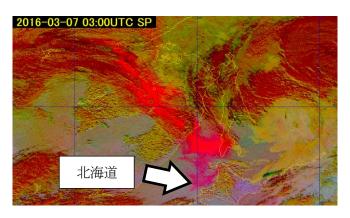


図 9-1-2 Dust RGB (気象庁HPで紹介された 2016.3.7の黄砂)

気象庁では、2019年1月29日から気象庁ホームページにおいて、「ひまわり黄砂監視画像」として、Dust RGB 画像の公開を開始している。公開の目的は、画像をタイムリーに確認することによって、地方自治体や住民の方が効果的に黄砂対策をとることができることとしており、1時間ごとに画像を提供している。しかしながら、「ひまわり黄砂監視画像」は、直近3日間分の画像が確認できるものの、それ以前についての画像は公開されておらず、過去の黄砂事例を確認する場合には、別途画像処理を実施する必要がある。

#### (2) CALIPSO

CALIPSOは、アメリカ航空宇宙局とフランス国立宇宙研究センター共同による地球観測衛星であり、大きな特徴はライダーを搭載していることである。

CALIPSO は地球上全体を把握するような軌道を描いていることから、常に日本付近の状況をみることは難しいが、搭載しているライダーによって黄砂の判別が容易であり、黄砂の飛来高度も判定できる。 図 9-1-3 は、2017 年 5 月に日本で観測された黄砂事例であるが、モンゴル・ゴビ砂漠付近において広範囲で発生した黄砂が、韓国付近を経由し、日本へ飛来している様子がわかる。なお、CALIPSO は、すでに耐用年数を過ぎており、データ提供の停止が懸念される。

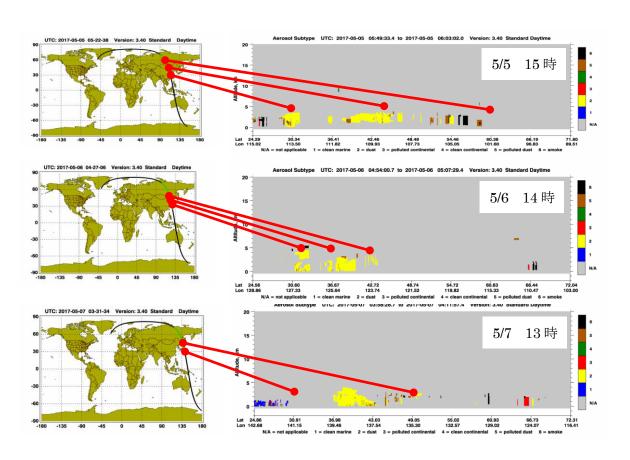


図 9-1-3 CALIPSO のデータ(左: CALIPSO の軌道、右: ライダーデータ(黄: dust))

#### (3) MODIS

MODIS はアメリカ航空宇宙局で開発されたセンサーで、地球観測軌道衛星の Terra と Aqua に搭載されている。観測波長帯は  $0.4\mu m$  から  $14.4\mu m$  の範囲に 36 のバンドを有しており、汚染物質を判別する手段として利用されているものの、黄砂への適用はみられない。 MODIS を搭載した Terra と Aqua も CALIPSO と同様に、耐用年数を大きく超えており、データ提供の停止が懸念される。

ここで取り上げた地球観測人工衛星 3 機種について、表 9-1-1 に特徴をまとめた。このうち、CALIPSO はライダーを搭載しており、黄砂の判別が可能であることから、最も有効性が高いと思われる。しかしながら、CALIPSO は打ち上げ年が 2006 年で、すでに耐用年数を大きく過ぎている。また、Terra、Aqua (MODIS) も CALIPSO と同様にすでに耐用年数を過ぎている。したがって、これらの人工衛星は、近くデータの提供が停止されることも懸念されるため、ここでは詳細な検討は実施しないものとした。一方、ひまわり 8 号は、耐用年数に問題はない。加えて、ひまわり 8 号の Dust RGB は、比較的、黄砂の識別が容易と考えられることから、詳細を検討することとする。

表 9-1-1 国内外の地球観測人工衛星

人工衛星	(1)ひま;	わり8号	(2) CALIPSO	(3)Terra,Aqua (MODIS)	
国籍	日	本	米・仏	米	
衛星の種類	静止	衛星	極軌道衛星	極軌道衛星	
打ち上げ年	20	014	2006	1999,2002	
耐用年	≥2	2022	≥2018	≥2018	
データ	Natural RGB	Dust RGB	消散係数	AOT	
空間解像度	1000~2000m 1000~2000m		333m	250~1000m	
特徴	■画像による定性 評価	■黄砂の判別が容 易 ■画像による定性 評価	■ライダー搭載で黄 砂判別可能。	■汚染物質の判断で 使用可能。	
課題	■雲などのノイズ も含んでお り、現状にお いて明確な黄 砂の判定は難 しい。 ■可視バンドのた め日中のみ利 用可能。	■直近3日間より 過去の衛星画 像が公うず、 で を がいるず、 で を がいるが の りが の りが の りが の りが の りが の りが の りが の	<ul><li>■軌道衛星のため、 黄砂の発生と経 路がわかりにく い。</li><li>■衛星の耐用年数が 過ぎている。</li></ul>	<ul><li>■衛星の耐用年数が 過ぎている。</li><li>■黄砂検出の適用に ついて報告が見 当たらず検討が 必要。</li></ul>	

# 9. 2 ひまわり 8号 Dust RGB による黄砂事例の検証

ここでは、2017 年度に観測された黄砂について、ひまわり 8 号の衛星データから Dust RGB 処理を した画像から検証を行う。前述したとおり、Dust RGB は、ひまわり 8 号の 16 の観測バンドのうち、 バンド 11 からバンド 15 を使って差分したデータから画像処理したものである。

Dust RGB は、2019年1月29日から気象庁ホームページにおいて、「ひまわり黄砂監視画像」として公開が開始されているものの、タイムリーに画像を確認して効果的に黄砂対策を実施できることを主な目的としているため、直近3日分を超える過去の画像は確認することができない。そこで、ここでは、別途、情報通信研究機構(NICT)の「ひまわり衛星データアーカイブ」から衛星データをダウンロードし、画像処理を行った。

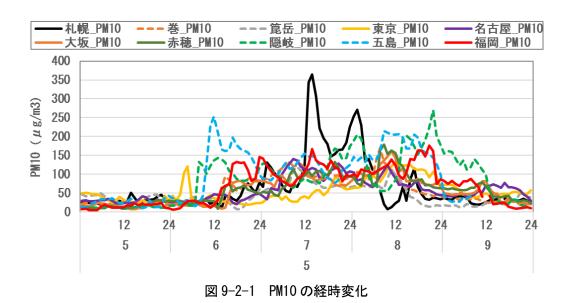
Dust RGB の画像処理は、気象庁の処理方法に従って行った。 具体的には、ひまわり 8 号の観測バンド B15 と B13 の差分、B13 と B11 の差分、B13 画像を赤色、緑色、青色に割り当て、RGB 合成をおこなった。

次に、2017 年度に観測された黄砂 2 事例(2017 年 5 月 6~8 日、2018 年 3 月 28~29)について、ACSA の PM10 の経時変化と Dust RGB 画像(日本時間の 12 時の画像)をまとめた。

## (1) 2017年5月6日~8日

2017 年 5 月 6 日~8 日は、全国的に黄砂が観測された。本事例の PM10 の経時変化と Dust RGB を図 9-2-1~2 に示す。

Dust RGB では、いずれも黄砂と思われる赤い帯が日本全土を覆っている様子がみられる。なお、 ACSA の PM10 は、5 月 7 日に札幌で突出して高いが、Dust RGB では赤の濃淡はみられず、本方法で、黄砂の濃淡の判定することは難しいと思われる。



2017.05.06 12 時

図 9-2-2 (1) Dust RGB

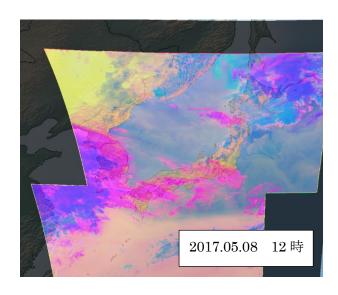


図 9-2-2 (2) Dust RGB

# (2) 2018年3月28日~29日

2018 年 3 月 28 日 $\sim$ 29 日では、札幌と青森で黄砂が観測された。また、同期間は全国的に煙霧が観測されている。本事例の PM10 の経時変化と Dust RGB は、図 9-2-3 $\sim$ 4 に示すとおりである。

PM10 をみると、札幌で 3 月 28 日昼過ぎから濃度が上昇している様子がみられる。一方、東京などでも札幌と同程度の PM10 が観測されており、他の地点も高い状況である。

これに対して、3月28日12時の Dust RGB をみると、赤い帯が北海道を覆っている様子がみられ、各地点の PM10の上昇について、札幌は黄砂の影響で、東北以南は黄砂以外による影響であることが示唆される。また、翌日の3月29日12時では、北海道の南側から、北陸や東海でも影響が示唆された。

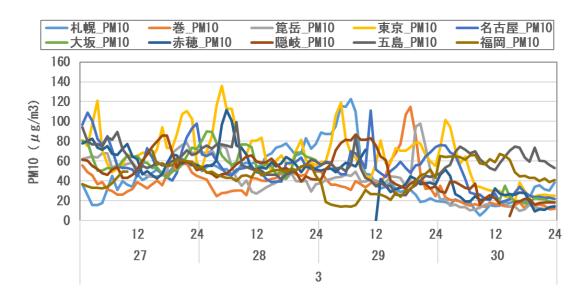


図 9-2-3 PM10 の経時変化

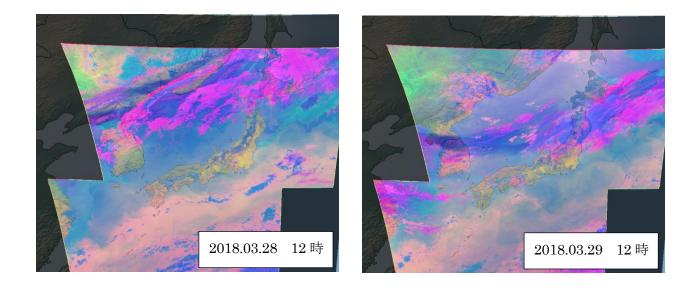


図 9-2-4 Dust RGB

このように、ひまわり 8 号のデータを利用することによって、黄砂と示唆されるものが、大陸から日本へ飛来している様子を見ることができ、その範囲をある程度特定することができる。ここでは、日本時間の 12 時のみで評価を行ったが、他の時間帯も検討することによって、黄砂飛来の経路の判断に役立つと考えられる。加えて、日本各地に設置されているライダーとあわせて解析することによって、黄砂の飛来高度も含めて、飛来の状況がさらに明らかになることも期待される。

# 10. 今後の課題

本報告書では、PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA のデータを用いて、全国 10 地点における  $SO_4^{2-}$ のデータなどから、黄砂と汚染物質との混在について、全国的な状況を確認した。また、ひまわり 8 号のデータを利用することによって、黄砂の飛来状況について、視覚的に把握できることがわかった。

今後の課題として、次のような事項があげられる。

- ○大黄砂に比べ我が国への飛来頻度が多い弱黄砂による影響が懸念されており、そのような黄砂がいつ どこで発生しているのかを把握する高感度検出手法の確立が必要である。また、黄砂に付着して飛来 する化学物質やバイオエアロゾルによる複合的な影響も指摘されており、黄砂とともに飛来する化学 物質の状況を継続して把握していく必要がある。
- ○黄砂現象や煙霧現象時に PM2.5 濃度が上昇し、環境基準値である日平均値 35µg/m³を超過する観測事例が例年報告されている。 PM2.5 の化学成分分析データの蓄積を進めることにより、 PM2.5 の組成成分に対する黄砂や煙霧の寄与を解明していく必要がある。
- ○環境省が配備した PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA では PM2.5 の成分だけではなく、PM10 の濃度と粗大粒子の成分も同時に測定されており、今後、これらのデータを集約していくことが重要である。また、PM2.5 成分自動測定機に加え、ライダーの黄砂消散係数やひまわり 8 号の Dust RGB なども含め、データの利用方法をさらに検討することにより、黄砂についてより有効な解析ができることも期待される。
- ○日本・中国・韓国でのモニタリング・予測、発生源対策に関する黄砂共同研究について、黄砂問題検討会と日中韓三カ国黄砂共同研究(ワーキンググループ1)との連携を深め、海外情報の取り込みや、日本の状況の反映など情報共有を進める必要がある。このような研究が、アジア地域全体の黄砂発生源対策、さらには大気汚染物質との混在型黄砂の飛来率を低減化できるような公害防止型の技術協力に寄与することも期待される。
- ○黄砂は、これまで全国 59 ヶ所の気象台において目視観測で判定されていたが、平成 31 年 2 月から関東甲信地方における 9 ヶ所のうち 8 ヶ所が目視観測をやめることとなり、現在、全国 51 ヶ所で黄砂判定を行っている。過去の黄砂観測結果との継続性の確保に留意するとともに、データ解析の品質をさらに向上させていくことが重要である。

# 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」2008: 黄砂実態解明調査報告書
- 3. 「環境省」2009: 黄砂飛来状況報告書
- 4. 「環境省」2010: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」2011:黄砂実態解明調査中間報告書-平成20~22年度-
- 6. 「環境省」2012:平成23年度黄砂飛来状況調査報告書
- 7. 「環境省」2013: 黄砂実態解明調査報告書(平成15~24年度)
- 8. 「環境省」2014:平成25年度黄砂飛来状況調査報告書
- 9. 「環境省」2015:平成26年度黄砂飛来状況調査報告書
- 10. 「環境省」2016:平成27年度黄砂飛来状況調査報告書
- 11. 「環境省」2017:平成28年度黄砂飛来状況調査報告書
- 12. 「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/
- 13. 「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

- 14. 「気象庁」HP(日々の天気図): http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html
- 15. 「気象業務支援センター」: 世界気象資料、気象庁月報
- 16. 「気象庁」HP(過去の気象データ): http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
- 17. 「国立環境研究所」HP(ライダー(レーザーレーダー)): http://www-lidar.nies.go.jp/
- 18. 「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

- 19. 「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HPARL HYSPLIT(後方流跡線)http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl
- 20. 「アメリカ国務省 Mission China」 http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html
- 21. 日下部正和他:日本における黄砂飛来の影響-平成 25 年度黄砂実態解明調査結果概要 (10 年間のまとめ 、第 55 回大気環境学会年会講演要旨集、475 (2014)
- 22. 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)
- 23. 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
- 24. 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)
- 25. 原由香里、佐竹晋輔、鵜野伊津志、竹村俊彦:領域ダスト輸送モデルを用いた黄砂現象の年々変動シミュレーション、天気、51 (10) 719-728 (2004)

- 26. 日下部正和、岩本真二: 黄砂・煙霧時における PM2.5 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)
- 27. Cohen, D., David., Crawford, Jagoda., Stelcer, Eduard., Atanacio, J., Armand. (2012) Application of positive matrix factorization, multi-linear engine and back trajectory techniques to the quantification of coal-fired power station pollution in metropolitan Sydney, Atmospheric Environment 61, 204-211.
- 28. 辻昭博: 大気エアロゾル中のイオン成分および無機元素成分の粒径別高時間分解能観測による黄砂と人 為起源物質の越境汚染輸送の詳細解析、大気環境学会誌、48 (2) 82-91(2013)
- 29. Bressi, M., Sciare, J., Ghersi, V., Mihalopoulos, N., Petit, J.-E., Nicolas, J. B., Moukhtar, S., Rosso, A., Féron, A., Bonnaire, N. Poulakis, E., Theodosi, C. Sources and geographical origins of fine aesols in Paris (France), Atmos. Chem. Phys., 14, 8813–8839. (2014)
- 30. 岩本真二他:日本に飛来する黄砂の分類方法、第57回大気環境学会年会講演要旨集、2B0930(2016)
- 31. 西川雅高他:日本で捕集した典型的な黄砂エアロゾルの化学組成、大気環境学会誌、51(5)218-229 (2016)
- 32. 鵜野伊津志他: 九州北部で 2014 年 5 月下旬から 1 週間継続した黄砂期間の硝酸塩の越境輸送のモデル解析、大気環境学会誌、51(4) 181-189 (2016)
- 33. Uematsu, M., A. Yoshikawa, H. Muraki, K. Arao and I. Uno: Transport of mineral and anthropogenic aerosols during a Kosa event over East Asia, J. Geophy. Res., 107, No.D7, 10.1029/2001JD000333 (2002).