# 令和元年度黄砂飛来状況調査 報告書

令和3年3月

環 境 省

# 黄砂問題検討会委員名簿

	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
委員	植松 光夫	埼玉県環境科学国際センター 総長
委員	鵜野 伊津志	九州大学 応用力学研究所 教授 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生圏管理学講座 教授
委員	清水 厚	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	国立環境研究所 客員研究員
委員	眞木 貴史	気象研究所 全球大気海洋研究部 第三研究室 室長
委員	吉川 賢	岡山大学 地域総合研究センター 特任教授

(50 音順)

# 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、2019 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 2006 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 17 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 年度からやや増加し 2019 年度はやや減少した。

### 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り、2019 年度も同様であった。

### 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。2019 年度の煙霧観測日は 2020 年 2 月に突出して多いが、これは数日間に渡って全国的に煙霧が観測されたことによる。また、2019 年度の観測地点毎の煙霧日数は、例年と異なり、上位は九州が多くなっていた。

#### 4. 2019 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-14 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 2019 年度の黄砂

2019 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8日である。連続した日を1つの黄砂現象とすると、4事例になる。黄砂4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

2019年度の気象台黄砂日4事例について、各事例の概要は以下のとおりである。

#### (1) 2019 年 4 月 6 日~7 日

4月6日は名古屋、広島、大阪、高松の4地点で、4月7日は名古屋、広島、大阪の3地点で黄砂が観測された。黄砂観測期間には SPM が  $40\mu g/m^3$ 以上の観測地点が多く見られ、PM2.5日平均濃度も上昇し環境基準値を超える地点も見られ、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、4月6日の赤穂、福岡、4月7日の名古屋、大阪、赤穂、福岡で $SO_4^2$ 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) 2019年4月16日

4月16日には大阪のみで黄砂が観測された。大阪でのACSA-14のSO $_4$ <sup>2</sup>は $_5$  $\mu$ g/m $^3$ 以下であった。他のデータも含め、本事例は本解析でのデータに黄砂の特徴があまり見られない事例であった。

#### (3) 2019年5月2日

5月2日は鹿児島で黄砂が観測された。この事例では九州地方で SPM 濃度が  $40\mu g/m^3$  を超える地点もあり、PM2.5 濃度が比較的高い地点が多く環境基準値近い値をとる地点もあった。また五島での ACSA-14 の  $SO_4$ 2-が  $15\mu g/m^3$  を超える濃度が観測され、人為起源系大気汚染物質が若干見られたものの 黄砂との混在は少ないと思われる事例であった。

# (4) 2019年10月30日~11月2日

10月30日は名古屋、広島、大阪、高松で黄砂が観測され、10月31日は大阪、11月1日~2日は福岡で黄砂が観測された。10月30日に九州地方で高い値で合った SPM 濃度が東方に輸送され関東でも高い値が出ている様子が見られ、PM2.5 濃度も環境基準を超える地点が多く見られた。また隠岐でのACSA-14のSO4<sup>2</sup>は10µg/m³以下であった。本事例は人為起源系汚染物質の上昇が黄砂観測地点周辺でみられたものの、全国的には人為起源系汚染物質の混在が少ない黄砂が、本州西日本、四国、名古屋周辺に影響を及ぼし、関東にも影響を与えた可能性のある事例であった。

# 5. 2019 年度における煙霧日の事例解析

#### 5.1 2019 年度の煙霧日

2019 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日を解析対象とすると、合計で 2 日間であった。連続した日を 1 つの煙霧現象とすると、2 事例になる。煙霧 2 事例について詳細にその状況を示した。

#### (1) 2020 年 2 月 6 日

北海道、東北、金沢の計 11 地点で広く煙霧が観測された。本事例は各データに煙霧の特徴があまり 現れていない弱い煙霧の事例であると考えられる。

#### (2) 2020年2月9日~11日

2月9日には北海道、東北、新潟の5地点、2月10日には網走、九州全域、2月11日には九州全域で観測された。2月10日には黄土地帯北部で8light Duststorm が発生していた。また100円101月には黄土地帯北部で101月には網走、九州全域、101月には九州全域で観測された。101月には黄土地帯北部で101月には網上の大陸の表達を超える濃度が観測され、五島で101月には網上の大陸の影響が及んだ事例と考えられた。

# 6 黄砂・煙霧日の PM2.5 濃度

#### 6.1 黄砂・煙霧時における PM2.5 環境基準超過

2019 年度の黄砂日における PM2.5 平均濃度は  $15.2\mu g/m^3$ 、日平均値  $35\mu g/m^3$  の超過率は 0.31%で、前年度と比較して、平均濃度(前年度:  $16.3\mu g/m^3$ )、環境基準値超過率(前年度: 2.0%)ともに減少していた。また、煙霧日における平均濃度  $14.5\mu g/m^3$ 、日平均値  $35\mu g/m^3$ の超過率は 4.63%であり、前年度と比較して、平均濃度(前年度:  $23.5\mu g/m^3$ )、環境基準値超過率(前年度: 12.1%)ともに減少した。

# 6.2 黄砂時・煙霧時における PM2.5 成分濃度

2019 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、成分の項目別に濃度などを調べた。抽出の結果、黄砂時の検体は 45 検体であり、煙霧時の検体は 0 検体であったので黄砂時の検体のみの結果となった。金属成分については煙霧時には、昨年度と同様、Al、Fe が高濃度で、イオン成分については塩化物イオン、カリウムイオン、カルシウムイオンが高くなるほか、アンモニウムイオンがやや高くなる傾向となった。

# 6.3 黄砂時・煙霧時 PM2.5 の PMF 法による発生源寄与推定

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。7.2 と同様、煙霧時の検体は 0 検体であったので、黄砂時のみの検体を用いた。因子数を 5 としたところ、それぞれバイオマス燃焼、石油燃焼、鉄鋼工業、海塩、黄砂に関する土壌と思われる因子となった。

# 7.2019 年度を対象とした黄砂判定手法の検討

# 7.1 ライダーデータを用いた黄砂検出とその状況

ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度のデータ解析により、黄砂日の検出を行った。検出方法としては、ライダー黄砂消散係数の最大値が 0.05 /km 以上、かつ SPM 濃度の最大値が  $50\mu g/m^3$  という条件の下で、相関係数が一定以上の値であるような日を黄砂と判定するものである。本方法により、2019 年度の黄砂飛来の可能性がある日を抽出したところ、大阪・松江・東京の 3 地点において、計 2 日が抽出された。このうち 1 日は福岡で黄砂が観測された日であった。

#### 7.2 PM2.5/SPM 比による黄砂日検出の検討

7.1 により抽出された 3 地点について、PM2.5 濃度、SPM 濃度ならびに PM2.5/SPM 濃度比の経時変化を調査し、定量的な黄砂検出の指標の可能性について検討した。

#### 7.3 地球観測衛星

7.1、7.2 のような黄砂検出手法に加えて、より直接的な黄砂飛来状況把握の手段として、地球観測衛星による発生源域周辺を対象とした観測データ活用の可能性について検討した。

#### 7.4 自動測定機による黄砂の把握

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。ここでは PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14、PX-375 などで測定されたデータを、

常時監視局で測定されているデータ、自治体が測定を実施する 4 季の PM2.5 成分分析データ、ライダー黄砂消散係数などと比較し、自動測定機データの黄砂判定の可能性を検討した。

### 7.4.1 PM2.5 自動成分分析装置 PX-375 とその他のデータの比較による黄砂検出の可能性

2019 年度の各黄砂日について PX-375 による測定結果をライダーによる黄砂消散係数、SPM 濃度データなどと比較し黄砂検出の可能性を検討した。

SPM データは黄砂飛来時に増加傾向にあった。また、自治体により測定されているデータと PX-375 によるデータの比較により、黄砂時における各種金属元素の濃度の傾向は一致していた。それぞれの黄砂事例で、経時変化の濃度の増減などの傾向が、各金属元素、PM10、粗大粒子の硝酸イオン成分で同様な変化をしていることが分かった。

### 7.4.2 黄砂及び煙霧時における PM2.5 と PM10 の濃度比の特徴

黄砂及び煙霧時における PM2.5 と PM10 濃度比を算出し、その特徴について解析した。

それぞれの黄砂、煙霧事例で、PM2.5/PM10 比の経時変化で黄砂日の期間に減少傾向となることが示された。またこれは、PM2.5 の減少によるものでなく、PM10 の増加によることがわかった。粗大粒子の硝酸イオン成分で同様な変化をしていることが分かった。

# 7.4.3 黄砂時における微小粒子、粗大粒子の成分濃度

2019 年度に気象台で観測された黄砂の4事例について、粗大粒子、微小粒子の硫酸塩、硝酸塩とPM10 の成分濃度を比較した。

硫酸塩については黄砂観測期間において、 $fSO_4$ 2-濃度の増減は PM10 濃度、PM2.5 濃度の増減とほぼ同期する傾向であった。また、硝酸塩については粗大粒子も微小粒子も PM10、PM2.5 と同期し経時的に変化している地点が多かった。また、粗大粒子と微小粒子の比( $cNO_3$ -/ $fNO_3$ -)も一時的に減少するときもあるが、高い傾向を示している。このことは黄砂の PM10 に人為起源の粗大粒子が付着して飛来したことを示唆するものである。

#### 7.4.4 海塩粒子の影響の検討

ここでは、海塩粒子の影響を検討するために  $Na^+$ 濃度、 $cNO_3$ 、 $cSO_4$ 2・、PM10、PM2.5 の濃度を比較により、その硝酸塩濃度への影響の検討を試みた。

#### 8 2010 年度を対象とした黄砂検出手法の検討

# 8.1 黄砂観測地点数減少により、未観測となった黄砂日

直近 10 年で最も黄砂が観測された 2010 年度を対象に、59 地点時と 11 地点時の黄砂観測日の比較を した結果、計 7 日間が 11 地点への減少に伴い黄砂として観測されないこととなった。わが国に飛来す る黄砂を正確に把握するためには、観測地点の大幅な減少を補い、黄砂として検出する手法が必要であ ると考えられる。本解析では、2010 年度の黄砂日ではなくなった 7 日間を対象にライダーデータ、 PM2.5/SPM 比、SPM 濃度頻度分布を用いて、黄砂日としての検出が可能かどうかの検証を行った。

### 8.2 ライダーデータを用いた黄砂検出手法の検討

ライダーデータを用いた検出手法では、条件④を満たす、ライダー黄砂消散係数が 0.05/km 以上となるような事例が 9 事例あり、そのうち条件②を満たすものとして、測定時間が 16 時間以上ある場合が 2 事例、測定時間が  $12\sim15$  時間のものがそれぞれ 2 事例存在したが、そのすべてにおいて、SPM 日最大値が  $50\mu g/m^3$  以上という条件③が満たされなかった。唯一、富山における 5 月 6 日の事例は、SPM 最大値を  $40\mu g/m^3$ 以上  $50\mu g/m^3$ 未満という条件に緩和した場合に、黄砂日と判定された。

# 8.3 PM2.5/SPM の濃度比利用した黄砂観測手法の検出

PM2.5/SPM 比を用いた検出手法では、2010年に黄砂日であった 4月30日と黄砂が観測されていない 5月9日を対象に PM2.5、SPM 濃度の時間値及び PM2.5/SPM 比の変化を確認した。これより、黄砂観測時には PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇する様子が確認でき、この変動が黄砂時の傾向であると考えた。次に黄砂観測地点減少時に黄砂日でなくなった 7日間を対象に同様の解析を行った。その結果、7日間のうち5日間は黄砂観測時に見られる PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇が見られなかったが、5月12日と20日はその傾向が確認でき、黄砂が飛来している可能性が示唆された。

# 8.4 SPM 濃度頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討

SPM 濃度頻度分布を用いた結果、2010 年度は合計 7 日間を SPM 黄砂日として検出した。7 日間の うち、3 日間は気象庁で黄砂と観測されており、黄砂観測地点の減少にともに、黄砂日ではなくなった 5 月 20 日の検出をすることに成功した。残りの 3 日間においては、気圧配置及び後方流跡線解析を用いた結果、中国からの気塊の流入が考えられた。

# 令和元年度黄砂飛来状況調査報告書 目次

# 目次

1	譋	<b>1</b> 査目的	1
2	黄	<b>電砂の観測状況</b>	1
	2.1	黄砂の観測状況	1
	2.2	黄砂の SPM 濃度	3
	2.3	黄砂時間を考慮した SPM 濃度	6
	2.4	過去の黄砂事例と比較した 2019 年度の黄砂強度	7
3	煙	5霧の観測状況	12
4	20	019 年度における黄砂日の事例解析	13
	4.1	黄砂日の事例解析	13
	4.2	解析手法	13
		(1) 黄砂観測地点	13
		(2) 気象概況	13
		(3) SPM 濃度全国分布	13
		(4) アジア域における気象状況	14
		(5) 後方流跡線	14
		(6) CFORS	14
		(7) ライダー	14
		(8) PM2.5 日平均濃度	14
		(9) 硫酸・硝酸イオン等の大気汚染物質	14
		(10) PM2.5 自動測定器 ACSA-14 の活用	14
		(11) レーダーチャートによる評価	15
	4.3	黄砂の観測事例	16
	4.4	黄砂日の解析結果	18
		(1) 黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日 ~ 7 日	18
		(2) 黄砂事例 2 2019 年 4 月 16 日	29
		(3) 黄砂事例 3 2019 年 5 月 2 日	38
		(4) 黄砂事例 4 2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日	48
5	20	019 年度における煙霧日の事例解析	65
	5.1	煙霧日の事例解析	65
	5.2	2019 年度の煙霧日	65
	5.3	煙霧日の解析結果	66
		(1) 煙霧事例 1 2020年2月6日	66
		(2) 煙霧事例 2 2020年2月9日~11日	<b>7</b> 3
6	黄	砂および煙霧時の PM2.5 濃度のデータ整理と解析	82
	6.1	黄砂・煙霧時における PM2.5 環境基準超過	82

	6.2 黄砂	♪・煙霧時における PM2.5 成分濃度の解析	85
	6.3 黄砂	♪・煙霧時における PMF 法を利用した PM2.5 の発生源寄与解析	87
7	2019年	度を対象とした黄砂判定手法の検討	91
	7.1 ライ	<sup>・</sup> ダーデータを用いた黄砂検出とその状況	91
	7.2 PM	2.5/SPM の濃度比を利用した黄砂観測手法の検出	94
	(1)	事例 1:2019 年 5 月 24 日 (大阪)	94
	(2)	事例 2:2019 年 11 月 1 日 (松江)	94
	(3)	事例 3:2019 年 11 月 1 日 (東京)	95
	7.3 地珍	隊観測衛星	96
	7.3.1 気	〔象衛星ひまわりの観測データを用いた黄砂検出	96
	7.3.2 気	〔象衛星 GEMS の観測データを用いた黄砂検出	96
	7.4 自勇	b測定機による黄砂の把握	97
	7.4.1 P	M2.5 自動成分分析装置 PX-375 とその他のデータの比較による黄砂検出の可能性	97
	1	2019 年度の黄砂日における各金属元素の挙動	97
	(1)	黄砂事例 1:2019 年 4 月 6 日~7 日	97
	(2)	黄砂事例 2:2019 年 4 月 16 日	
	(3)	黄砂事例 3:2019 年 5 月 2 日	
	(4)	黄砂事例 4:2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日	106
	2	2019 年度の黄砂日における各金属元素の相関	109
	3	自治体データとの比較	111
	7.4.2 責	6砂及び煙霧時における PM2.5 と PM10 の濃度比の特徴	111
	(1)	黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日~7 日	
	(2)	黄砂事例 2 2019 年 4 月 16 日	
	(3)	黄砂事例 3 2019 年 5 月 2 日	
	(4)	黄砂事例 4 2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日	
	(5)	煙霧事例 1 2020 年 2 月 6 日	
	(6)	煙霧事例 2 2020 年 2 月 9 日~11 日	
	7.4.3 責	背砂時における粗大粒子と微小粒子の成分濃度	
	(1)	黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日~7 日	
	(2)	黄砂事例 2 2019 年 4 月 16 日	
	(3)	黄砂事例 3 2019 年 5 月 2 日	
		黄砂事例 4 2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日	
		<u> </u>	
		黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日~7 日	
_		黄砂事例 3 2019 年 5 月 2 日	
8	•	度を対象とした黄砂検出手法の検討	
		り観測地点数減少により、未観測となった黄砂日	
		'ダーデータを用いた黄砂検出手法の検討	
	8.3 PM	2.5/SPM の濃度比利用した黄砂観測手法の検出	125

	8.4	SPM 濃度頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討	. 128
	8.5	2010 年度を対象とした黄砂検出手法の検討結果のまとめ	. 131
9	今後	後の課題	. 133

# 1 調査目的

黄砂は、黄河地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。しかし、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、 黄砂が中国大陸から飛来する際に混在する人為的発生源からの汚染物質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に資することを目的として、2019 年度に飛来した黄砂の状況についてまとめたものである。

# 2 黄砂の観測状況

# 2.1 黄砂の観測状況

黄砂の観測日数について経年変化、経月変化、地点別日数などの整理を行った。黄砂観測地点は、2020年2月3日に11地点(札幌、仙台、東京、新潟、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、鹿児島、那覇)となったため、経年変化のグラフは11地点における黄砂観測日数を整理した。地点別日数については観測地点の県毎に、観測日数の多い順に整理した。

### ① 経年変化

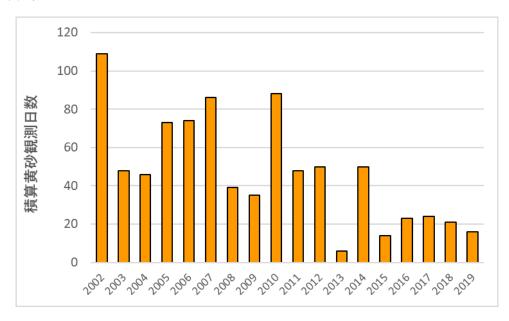


図 2-1-1 積算黄砂観測日数の経年変化

#### ② 経月変化

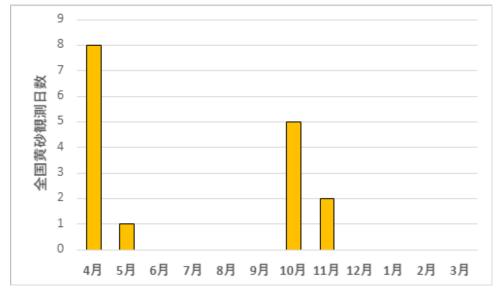


図 2-1-2 黄砂観測日の経月変化(2019年度)

# ③ 地点別日数

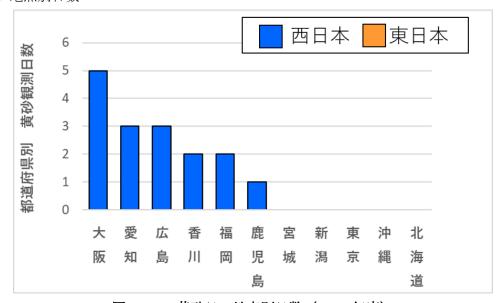


図 2-1-3 黄砂日の地点別日数 (2019 年度)

気象台発表の黄砂日における年間積算黄砂観測日数について、2002 年度から 2019 年度までの 18 年間を、図 2-1-1 にまとめた。2019 年度は 2018 年度に比べやや減少していた。また、図 2-1-2 には、2019 年度の黄砂観測日数の経月変化を示す。黄砂観測日は 2019 年 4 月と 10 月に多くなっているが、これは西日本の広い範囲で黄砂が観測されたことによる。

図 2-1-3 に都道府県別の黄砂日延べ日数を、黄砂日の多い順に示す。例年通りでは地域別に色分けを したグラフを示していたが、11 地点に減少したことにより、今年度は西日本と東日本で色分けしたグラ フを示している。これより、2019 年度は例年通り西日本で多く観測されており、2019 年度において東 日本では黄砂が観測されなかった。

# 2.2 黄砂の SPM 濃度

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、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慨略的な量的指標を示すと考えられる。昨年度までは、気象庁黄砂観測日における SPM 濃度及び SPM 平均濃度に黄砂観測日数を乗じたものを県別にプロットした図を示したが、黄砂観測地点が減少したため同様の図を作成することが困難となった。そのため、今年度からは黄砂観測地点を対象に同様のデータをグラフ化し、11 地点別に整理した結果を図 2-2-1 と図 2-2-2 に示した。

図 2-2-1 より近年東日本では黄砂が観測されない年が多くなっていることがわかる。また、2019 年度は例年に比べ濃度が低くなる傾向にあったが、黄砂日における SPM 平均濃度は、例年通り九州が高くなる傾向が見られた。

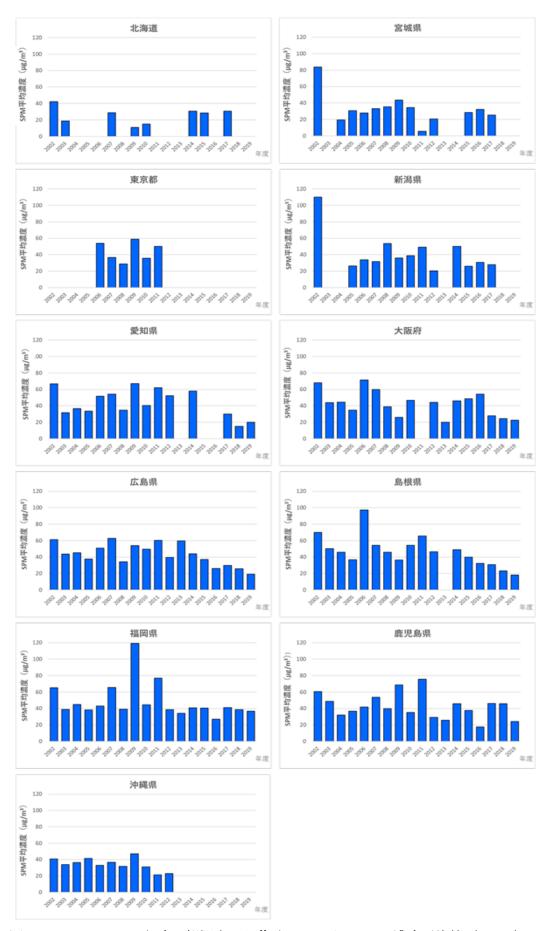


図 2-2-1 2002~2019 年度に観測された黄砂日における SPM 濃度平均値 (µg/m³)

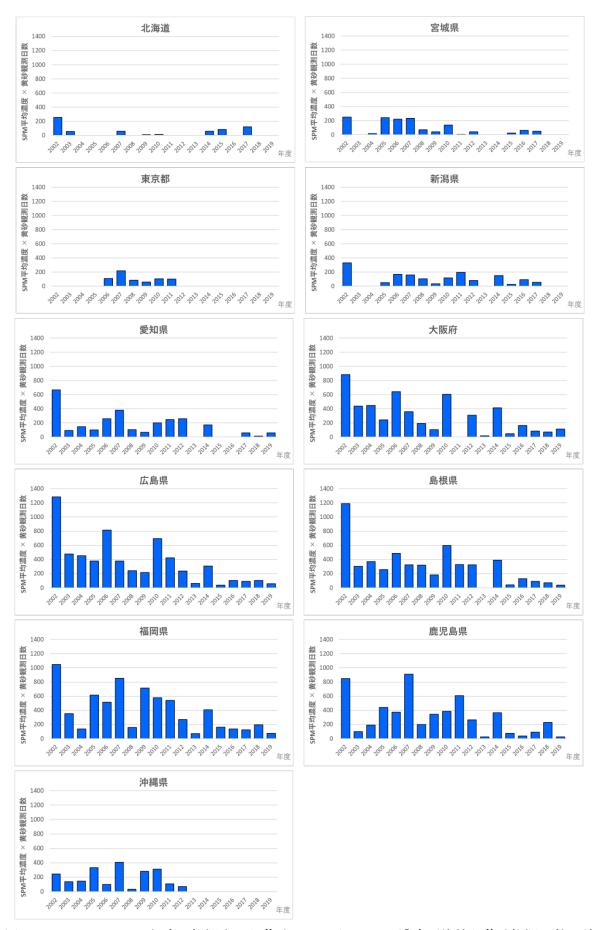


図 2-2-2 2002~2019 年度に観測された黄砂日における SPM 濃度平均値と黄砂観測日数の積

# 2.3 黄砂時間を考慮した SPM 濃度

例年では、黄砂日における SPM 濃度の平均値を求める際、1日のデータ(24時間)を使用して平均値をとっているが、より詳細な黄砂の実態を把握するために、黄砂観測時間における平均値を整理した。例年多くの黄砂が観測されている福岡と、黄砂が飛来しやすい日本海側である新潟を対象に、2002~2019年度における黄砂時間を考慮した SPM 濃度と、24時間平均値との比較をグラフ化し、図 2-3-1に示した。また、黄砂観測時間を考慮した平均を計算する際には、黄砂観測時間を含むように設定しており、表 2-3-1に 2019年度の黄砂観測日における黄砂観測時間及び平均時間、黄砂観測時間における平均値をまとめた。平均化する時間の設定は、例えば 2018年4月6日に福岡で20時50分から翌日14時まで黄砂が観測された場合は、4月6日20時~24時、4月7日1時~14時として平均した。

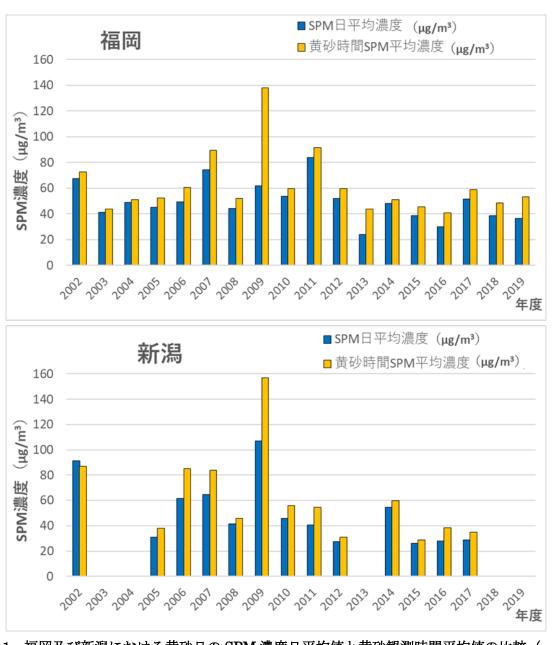


図 2-3-1 福岡及び新潟における黄砂日の SPM 濃度日平均値と黄砂観測時間平均値の比較 (μg/m³)

表 2-3-1 2019 年度における黄砂観測時間及び SPM 平均値

日付	地点数	観測地点	24 時間平均値	観測時間	SPM 濃度	平均値
			(μg/m <sup>3</sup> )		平均時間	(μg/m <sup>3</sup> )
		名古屋	22.23	10:10~17:50	10:00~18:00	24.51
2019 / 4 / 6	,	広島	15.37	8:30~23:00	8:00~23:00	35.76
2019 / 4 / 6	4	大阪	16.43	9:30~17:00	9:00~17:00	35.38
		高松	15.86	8:30~17:00	8:00~17:00	35.55
		名古屋	20.02	14:00~18:30	14:00~19:00	31.94
2019 / 4 / 7	3	広島	22.30	11:00~20:00	11:00~20:00	38.96
		大阪	25.76	12:10~20:50	12:00~21:00	45.79
2019 / 4 / 16	1	大阪	14.79	17:50~23:00	17:00~23:00	19.51
2019 / 5 / 2	1	鹿児島	24.18	9:10~20:50	9:00~21:00	42.59
		名古屋	18.66	15:10~17:30	15:00~18:00	30.10
2019 / 10 / 30	4	広島	18.96	10:30~17:00	10:00~17:00	47.94
2019 / 10 / 30		大阪	15.78	15:30~24:00	15:00~24:00	39.12
		高松	20.52	11:00~23:00	11:00~23:00	43.22
2019 / 10 / 31	1	大阪	44.57	1:00~5:30	1:00~6:00	42.82
2019 / 11 / 1	1	福岡	15.98	16:30~24:00	16:00~24:00	54.94
2019 / 11 / 2	1	福岡	56.83	1:00~11:00	1:00~11:00	51.65

黄砂観測時間のみで SPM 平均濃度を求めた結果、24 時間平均より高くなる傾向が見られ、最も差が大きくなったのは、2009 年度の福岡で  $76\mu g/m^3$  の差が見られた。2009 年度は、福岡で 3 月 20 日 22 時から 21 日 7 時 20 分まで黄砂が観測され、21 日 1 時には福岡県内で  $500\mu g/m^3$  を超える高濃度の SPM が観測されていた。図 2-1-1 の経年変化でもわかるように、日平均値で見た場合、2009 年度は他の年と変わらないように見えるが、実際には黄砂が観測された時間に SPM が高濃度となっており、非常に強い黄砂が飛来していたことが読み取れる。このように黄砂時間を考慮した SPM 濃度を求めることで、より実現象に近い黄砂時の SPM 濃度を表すことができる。

# 2.4 過去の黄砂事例と比較した 2019 年度の黄砂強度

2019 年度は計8日間の黄砂が観測されており、図 2-1-1 から読み取れるように、近年黄砂日数は減少傾向にあることが読み取れる。黄砂日数は減少傾向にあるものの、2019 年度に観測された黄砂が過去の黄砂事例と比較し、どの程度の強度であったかを確認するため、2002~2019 年度における年度別の黄砂強度の散布図を作成した(図 2-4-1~図 2-4-3)。横軸に黄砂日が観測された日毎の SPM 日平均値、縦軸に横軸の値に黄砂観測地点数(全 11 地点)を乗じたものを取っており、横軸で黄砂強度、縦軸で日本における黄砂の広がりを読み取ることができる。 また、2002~2019 年度までの散布図をまとめたものを図 2-4-4 に示した。

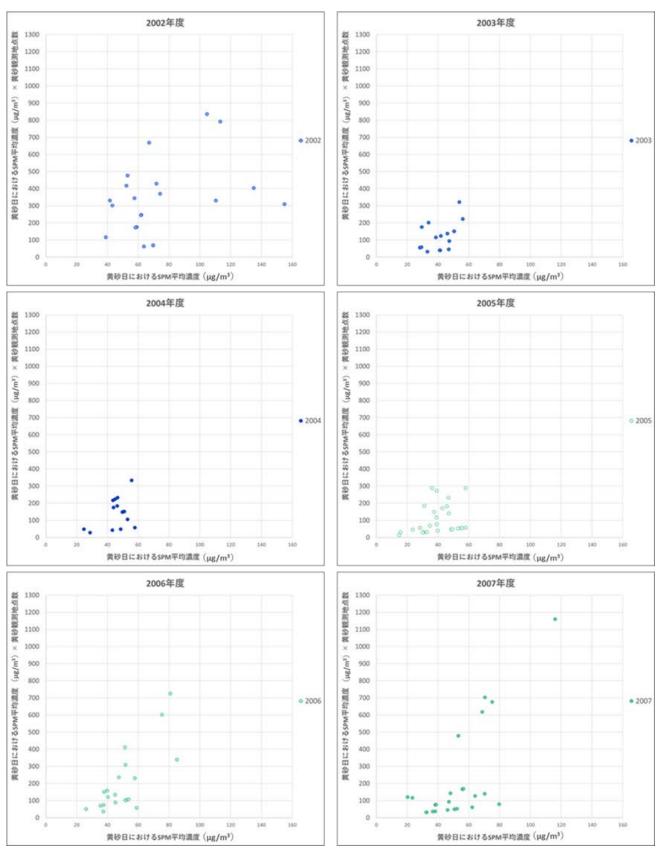


図 2-4-1 過去の事例を含む黄砂強度の年度別散布図 (2002~2007 年度)

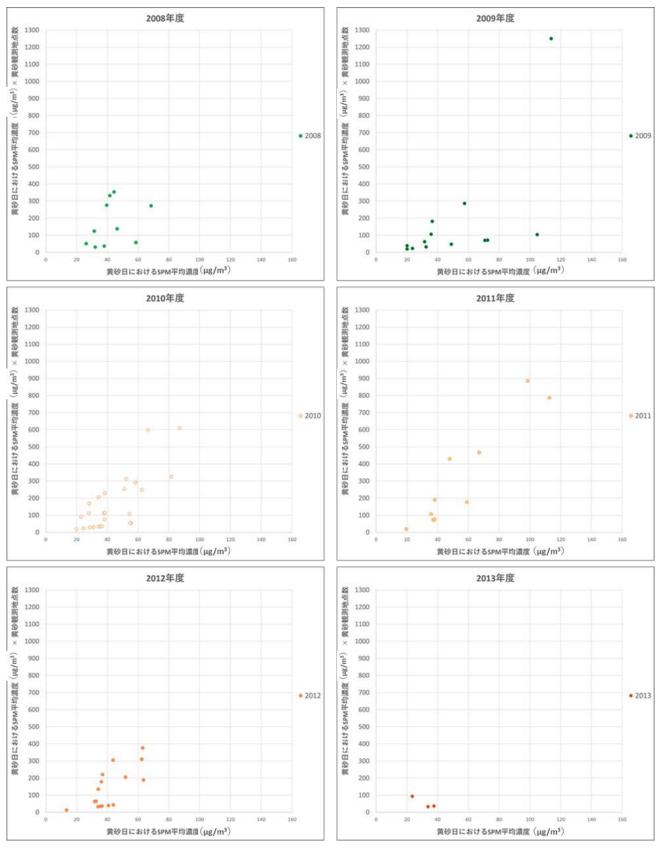


図 2-4-2 過去の事例を含む黄砂強度の年度別散布図 (2008~2013 年度)

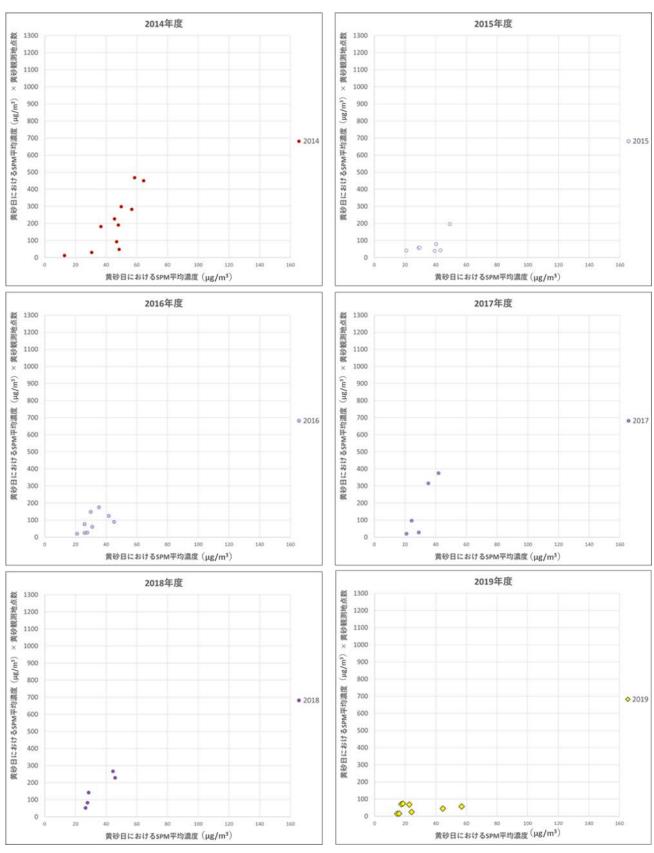


図 2-4-3 過去の事例を含む黄砂強度の年度別散布図(2014~2019年度)

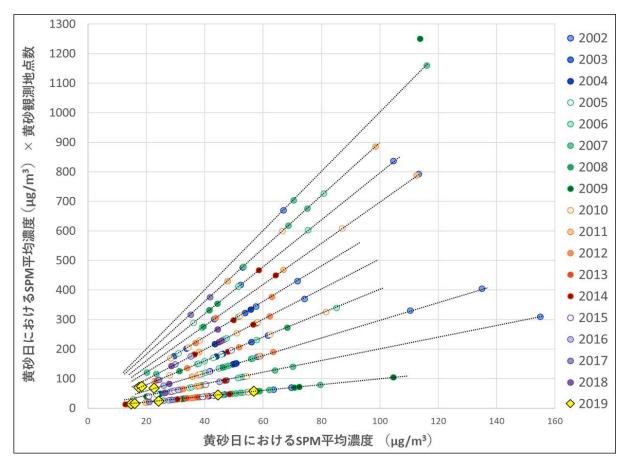


図 2-4-4 2002~2019 年度における黄砂強度の散布図

図 2-4-1~図 2-4-4 に示した散布図は、縦軸に横軸の値に黄砂観測地点数を乗じたものを取っているため、黄砂が観測された地点数(全 11 地点)をかけた点が線上に並ぶようにプロットされている。図 2-4-4 には点線を引いているが、これは傾きが小さい方から順に黄砂観測地点数が 1 地点、2 地点…であることを示している。この線上のうち、どの線に乗っているかによって、観測された黄砂が局所的なものであったか、または広域的なものであったかが読み取れる。また、横軸が大きくなる程 SPM 濃度が高くなるため、右側に位置する点ほど強い黄砂であったことが読み取れる。

2019 年度では、傾きが小さい線上に5 点、傾きが大きくなるものの、SPM 濃度が低い場所に3 点乗っていることが図2-4-4 から読み取れる。このことから、2019 年度は局所的に観測された黄砂が多く、広域で観測された黄砂は弱い黄砂であったと考えられる。

# 3 煙霧の観測状況

煙霧は、2003 年度から 2019 年度までの 17 年間について、煙霧日の年間延べ日数を図 3-1 に示した。2019 年度は煙霧の観測が非常に少なく、年間を通じて延べ日数が 119 日であった。

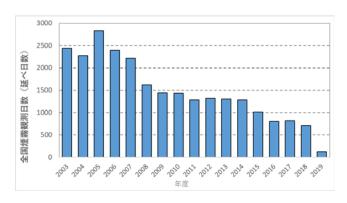


図 3-1 煙霧の経年変化

図 3-2 に、2019 年度の煙霧延べ日数の経月変化を示した。煙霧観測日は 2020 年 2 月に突出して多くなっており、全国的に煙霧が観測された。2019 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。2018 年度は北海道・東北地方で多く観測されていたが、2019 年度は九州地方で煙霧が多く観測された。

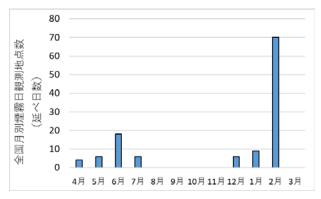


図 3-2 2019 年度における煙霧の経月変化

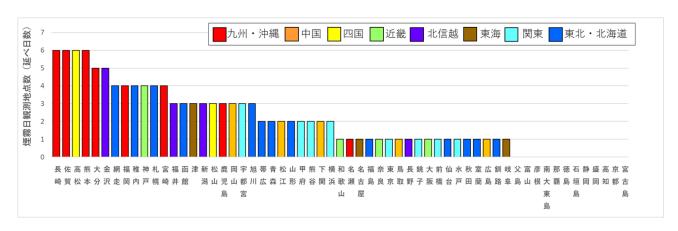


図 3-3 2019 年度における煙霧日の地点別日数

# 4 2019 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、気象庁によると「主として、大陸の黄上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って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に黄砂と判定できる場合は黄砂と記録されている。一般に、日本へ飛来する黄砂は、大陸の黄土地帯で低気圧が発生して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。年度別に各黄砂事例 の解析を行っており、黄砂飛来時には、おおむね次のような特徴がみられる。

- ・後方流跡線がモンゴル付近から連続する大気の流れを示す
- ・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
- ・気庄配置で、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 (Chemical weather FORecasting System) 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)

これまでの調査に引き続き、2019 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 の予測結果、ライダー観測結果、PM2.5 日平均全国分布、 PM2.5/SPM の比、 $SO_4$ 2-濃度などである。また、これらの項目から黄砂の規模や大気汚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(図 4-2-1)による評価を実施した。

# 4.2 解析手法

#### (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。

# (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。

#### (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 測定データから黄砂観測日の濃度を地図上に示した。今年度は、SPM 濃度の時間的・空間的変化を確認するため、3 時間毎の地図を作成した。

#### (4) アジア域における気象状況

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。

# (5) 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。起点は、黄砂が観測され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、流跡線を地図上に表示するとともに到達高度の時間変化を示した。

#### (6) CFORS

CFORS (Chemical weather FORecasting System) 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、国立環境研究所で運用しているバージョン 18)(RIAM/NIES: CFORS) によるもので、黄砂飛来時に予測された黄砂等土嬢性ダストと硫酸塩の高度 0~lkm における平均重量濃度の推定分布を表示している。

#### (7) 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。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、黄砂モニクリングのため 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。

# (8) PM2.5 日平均濃度

PM2.5 日平均濃度による評価に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。

# (9) 硫酸・硝酸イオン等の大気汚染物質

 $SO_4^{2^{\circ}}$ (硫酸イオン)、 $NO_3$ (硝酸イオン)は大気汚染物質の飛来を観察するために、それぞれの 1時間値を随時使用する。用いるデータは環境省で配備された ACSA-14 のデータとした。

#### (10) 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、「ACSA」という。) では、全国 10 地点において、PM2.5 中の  $SO_4$ <sup>2-や</sup>  $NO_3$  (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 $_3$ </sub>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。

XIII THUE COM							
	硫酸イオン	硝酸イオン					
微小粒子側の成分	$\mathrm{f}\mathrm{SO}_4{}^{2 ext{-}}$	f NO <sub>3</sub> -					
(PM2.5)	(図表中では f SO4 と表記)	(図表中では f NO3 と表記)					
粗大粒子側の成分	$\mathrm{cSO_{4}^{2 ext{-}}}$	c NO <sub>3</sub> -					
(PM10-2.5)	(図表中では cSO4 と表記)	(図表中ではcNO3と表記)					

表 4-2-1 本調査で使用する成分

# (11) レーダーチャートによる評価

図 4-2-1 に示すようなレーダーチャートによる黄砂の評価を行った。すなわち、表 4-2-2 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、それぞれの指標とする。この指標が典型的な黄砂の状況との差、および汚染質混在の影響の大きさの程度を測る目安となる。

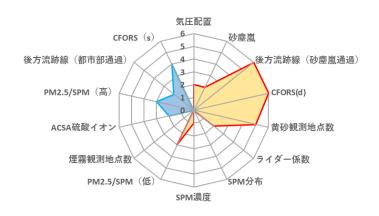


図 4-2-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート (例)

表 4-2-2 各項目の点数化一覧表

古口力	点 数						
項目名	6	5	4	3	2	1	0
黄砂観測地点数	>6	5	4	3	2	1	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

百口力	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)	○ (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	◎(観測前に大陸で severe や slight が集中的 に見られる)	o(観測前に大陸で severe や slight が見 られる)	△(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)	Δ (日本に dust 分 布がわずかにある)	×(左記以外)		
ライダー係数	◎ (複数地点で黄砂消散 係数が高く、SPM 変動と 同期)	<ul><li>o (黄砂消散係数がや や高く、SPM 変動と 同期)</li></ul>	△ (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)	◎ (中国沿岸部を直線的 に通過)	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)	◎ (日本に sulfate 分布の 高濃度帯がある)	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)		

# 4.3 黄砂の観測事例

解析対象は、令和元年度に気象台が観測した黄砂の 4 事例 (計 8 日) である (表 4-3-1)。 PM2.5/SPM は、黄砂時に低い値を示す傾向にある。黄砂時の PM2.5/SPM の値をまとめる。また、PM2.5 成分自動測定機では、PM10 を測定しているため、上記に併せて、黄砂時の PM2.5/PM10 をまとめる。

PM2.5/SPM については、2019年の黄砂事例でその値は 0.65 から 0.78 で 10 月 30 日の値が最も低く、4 月 16 日の値が最も高かった。

これに加えて、ACSA-14 による PM2.5/PM10 の値は、2019 年の黄砂事例で 0.32 から 0.44 であった。

表 4-3-1 2019 年度の黄砂日一覧 (SPM および PM2.5 濃度: µg/m³)

											. m.(>4 . I-9 )	
事例		期日			黄砂の規模					DMo F		
	No.	年	月	日	地点数	SPM 平均 濃度	県数	SPM 積算	SPM 積算 合計	PM2.5 平均 濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
1	1	2019	4	6	4	28.05	4	112.20	208.32	20.59	0.74	0.42
	2	2019	4	7	3	32.04	3	96.12		23.90	0.77	0.44
2	3	2019	4	16	1	17.14	1	17.14	17.14	13.21	0.78	0.40
3	4	2019	5	2	1	38.08	1	38.08	38.08	28.39	0.75	0.32
4	5	2019	10	30	4	30.17	4	120.68	240.24	19.37	0.65	0.38
	6	2019	10	31	1	38.86	1	38.86		25.62	0.66	0.39
	7	2019	11	1	1	33.77	1	33.77		22.00	0.70	0.33
	8	2019	11	2	1	46.93	1	46.93		31.00	0.71	0.36

%「PM2.5/SPM」は測定局毎に算出された値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 4-3-

※「PM2.5/PM10」について各日以下の平均をとった。

2019年4月6日:名古屋、大阪、広島、高松での観測のため名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2019年4月7日: 名古屋、大阪、広島での観測のため名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2019年4月16日:大阪でのみの観測のため名古屋、大阪、赤穂の値

2019年5月2日: 鹿児島での観測のため五島、福岡の平均

2019年10月30日:名古屋、大阪、広島、高松での観測のため名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2019年10月31日:大阪での観測なので名古屋、大阪、赤穂の平均

2019年11月1日、2日:福岡での観測なので五島、福岡の平均

# 4.4 黄砂日の解析結果

# (1) 黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日~7 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-1-1 に示すとおりである。4 月 6 日に本州の名古屋以西の3地点と高松の4地点であったものが、翌日4月7日には本州の名古屋以西の3地点となった。

天気図(図 4-4-1-3) をみると、前線が黄砂観測の前日に日本海に位置し、西日本では西風となっている。その後、前線は 4 月 6 日から 7 日にかけて日本を東進し、7 日には日本の北東沖に位置している。この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布は、4 月 6 日には  $40\mu g/m^3$  を超える地点が 12 時頃まで瀬戸内の地域を東方に広がっている様子が見られる(図 4-4-1-4)。その後、その広がりは小さくなるが、4 月 7 日 12 時ごろから 21 時頃まで再び瀬戸内を東方へ広がっている様子が見える。

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)、4月4日に黄土地帯において Dust が、5日、6日には Slight 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、富山、松江、大阪、福岡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(図 4-4-1-6)。さらに、CFORS においても、dust に関して大陸からの影響が西日本、名古屋周辺などに影響を及ぼしている様子を示している(図 4-4-1-7)。 ライダー黄砂消散係数(図 4-4-1-8)は、黄砂が観測された大阪、観測された 4 地点に近い松江において 4月5日から6日にかけて上昇を始め、4月7日にかけての高い値を維持している状況が見て取れる。またライダー黄砂消散係数と周辺の常時監視局における SPM の時間値とを対比させると、ライダーの上昇する時刻の方がやや早く見られる。また、この2日間は、PM2.5の日平均値(図 4-4-1-8)も黄砂観測地点周辺で上昇しており、環境基準値を超える値を示す地点もみられている。

また、図 4-4-1-9 に示した PM2.5/SPM 比の全国分布では、黄砂が観測されていない関東地方にも、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下である地点が散見される。そのため確認として、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM2.5、SPM それぞれの日平均値を表 4-4-1-2 にまとめた。4月6日は、計 4 地点で PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となったが、SPM の日平均値そのものは高い数値はしめしておらず、PM2.5 の日平均値が小さいことにより、比の値が 0.3 以下となったと考えられる。

人為起源系汚染物質については、4月6日に赤穂、福岡で、4月7日に名古屋、大阪、赤穂、福岡で  $fSO_4$ 2-が  $10\mu g/m^3$  を超える値を示した程度である(図 4-4-1-10)。また両者ともその上昇後には濃度は下降に転じており、黄砂と大気汚染物質が混在した様子は少ないと思われる。

なお、北京、瀋陽での本事例前の 4 月 4 日における PM2.5 濃度の 1 時間値では、それぞれ一時  $100\mu g/m^3$ 、 $200\mu g/m^3$ 以上の高濃度が数時間にわたって見られる(図 4-4-1-11)。

また、図 4-4-1-12 に黄砂日前後における PM10、 $fSO_4$ <sup>2</sup>、 $cSO_4$ <sup>2</sup>、湿度の経時変化を示す。 $fSO_4$ <sup>2</sup>、 $cSO_4$ <sup>2</sup>については PM10 の値と比較し非常に小さいため、その値を 5 倍して表示してある。黄砂の観測された地点またはそれに近い名古屋、大阪、赤穂で黄砂観測日の湿度は低くなる時間帯が何度か見られ、大陸の乾いた空気によることを示唆し、その時に PM10 も上昇しているように見える。

以上の通り、本事例は人為起源系汚染物質の上昇が黄砂観測地点周辺でみられたものの、全国的には 人為起源系汚染物質の混在が少ない黄砂が、本州西日本、四国、名古屋周辺に影響を及ぼした事例であ った。

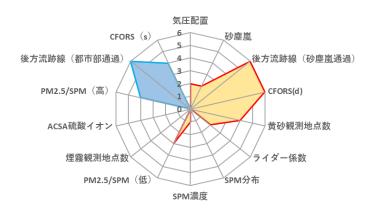


図 4-4-1-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-1-1 黄砂観測地点

日付	日付 地点数		観測地点名						
2019/04/06	4	名古屋	広島	大阪	高松				
2019/04/07	3	名古屋	広島	大阪					

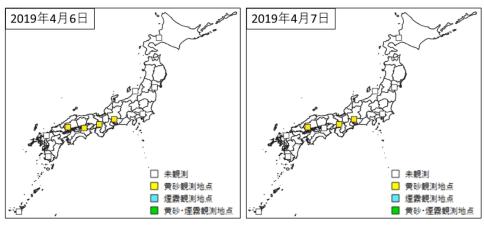
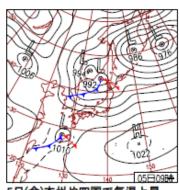
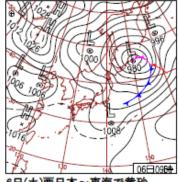


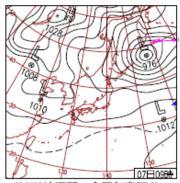
図 4-4-1-2 黄砂観測地点



5日(金)本州や四国で気温上昇 低気圧の影響で沖縄や九州は雨、北 日本は雨や雪。暖かい空気が流れ込 んだ本州や四国では気温が顕著に上 昇。埼玉県鳩山で最高気温が25.2℃ に達し、関東で今年初めての夏日。



6日(土)西日本~東海で黄砂 寒気の影響で北日本は所々で雨や雪。 その他は高気圧に覆われて概ね晴れ。 西日本で気温が上がり、最高気温が6 月並の所も。大分市、京都市、金沢 市などサクラ満開。



7日(日)波照間で全国初真夏日 沖縄〜東日本は晴れて気温が上昇し 夏日の所も。沖縄県波照間は最高気 温が30.1℃に達し今年全国初の真夏 日。北日本は気圧の谷の通過で所々 雨や雪。徳島市、甲府市サクラ満開。

図 4-4-1-3 天気図

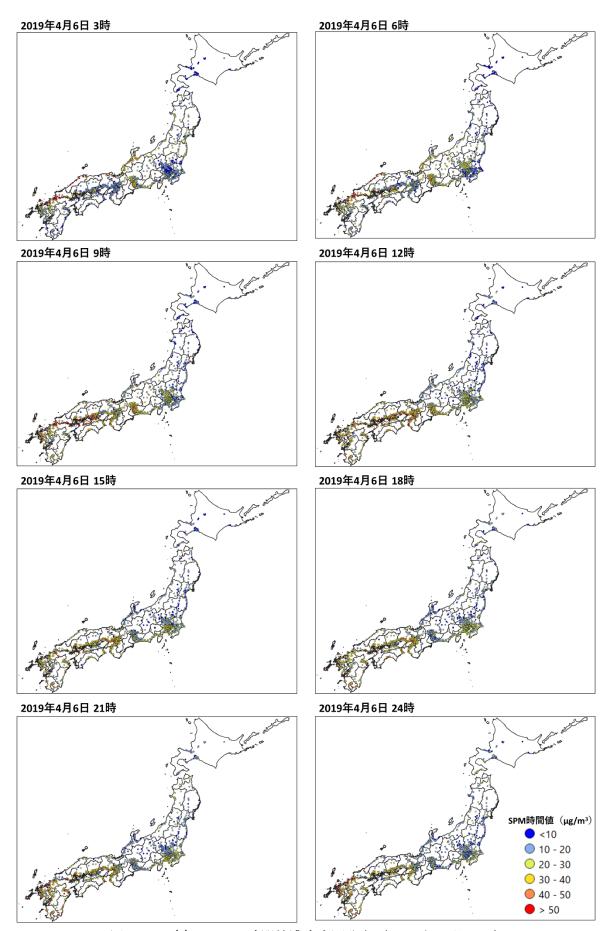


図 4-4-1-4(1) SPM1 時間値濃度全国分布(2019年4月7日)

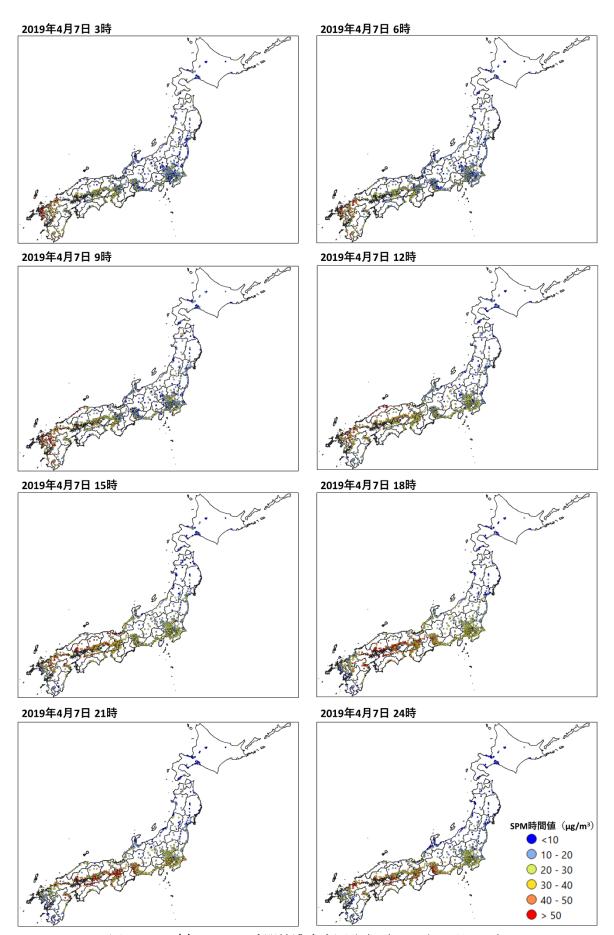


図 4-4-1-4(2) SPM1 時間値濃度全国分布 (2019 年 4 月 7 日)

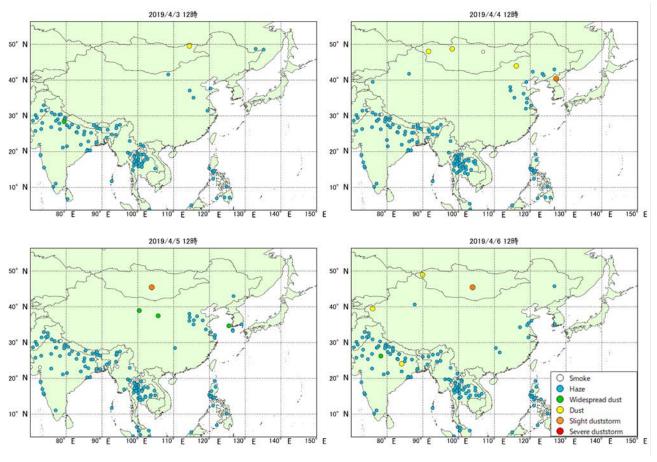


図 4-4-1-5 砂塵嵐発生状況

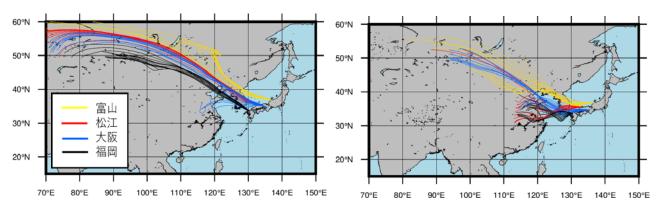


図 4-4-1-6 後方流跡線(左:4月6日、右:4月7日、いずれも72時間前より)

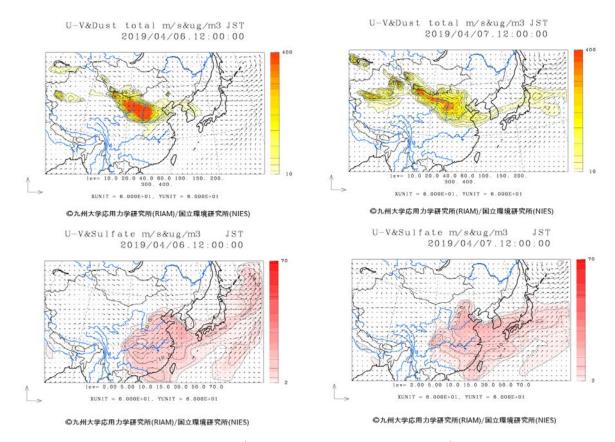


図 4-4-1-7 CFORS(dust (上図) - sulfate (下図))予測結果

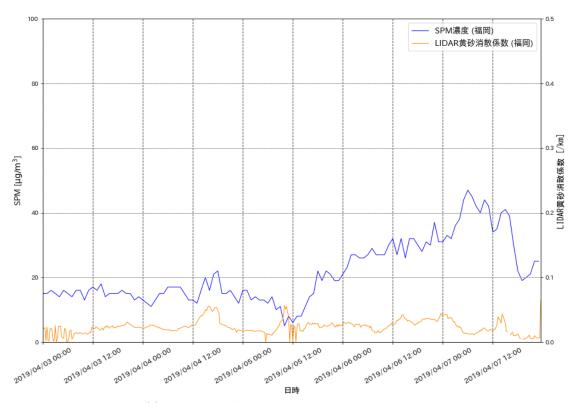


図 4-4-1-8(1) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(福岡)

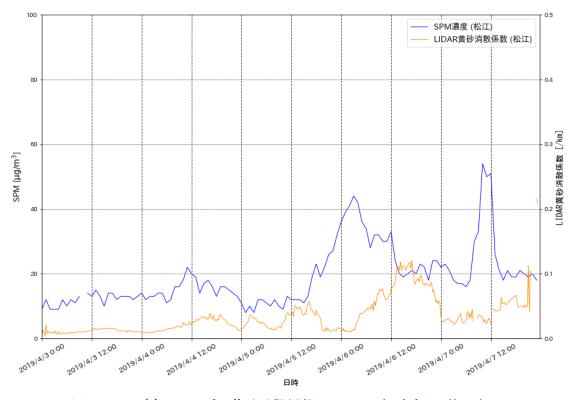


図 4-4-1-8(2) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(松江)

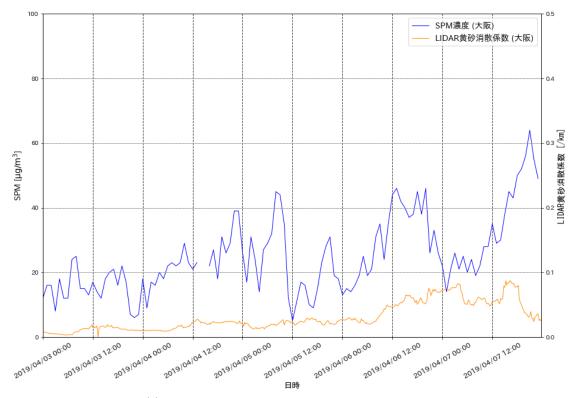


図 4-4-1-8(3) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪)

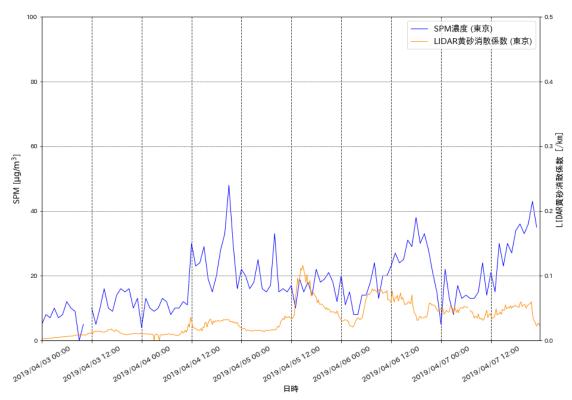


図 4-4-1-8(4) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(東京)

# 

# 2019年4月7日

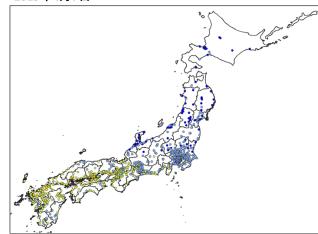
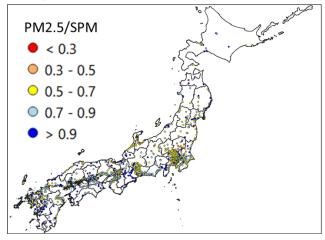


図 4-4-1-9 PM2.5 日平均値全国分布

#### 2019年4月6日



#### 2019年4月7日

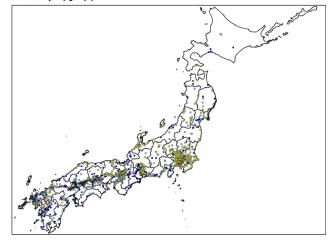


図 4-4-1-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布

表 4-4-1-2 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が 0.3 以下となった観測地点

黄砂観測日	観測局コード	都道府県	PM2.5 日平均値 (μg/m³)	SPM 日平均値 (µg/m³)	PM2.5/SPM
	8206010	茨城県	8.042	29.417	0.273
4月6日	8541010	茨城県	7.625	27.542	0.277
4月0日	9202520	栃木県	5.125	19.042	0.269
	9209010	栃木県	6.167	21.125	0.292

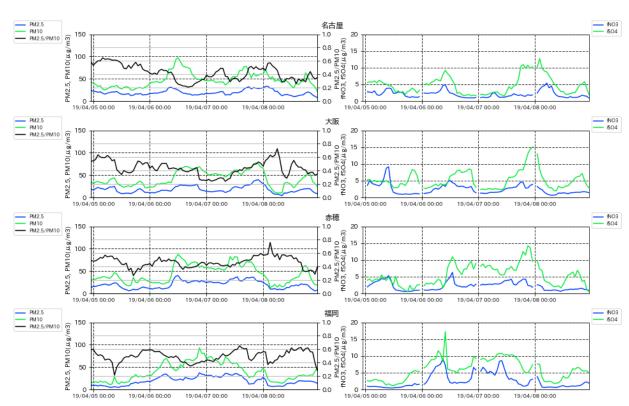


図 4-4-1-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

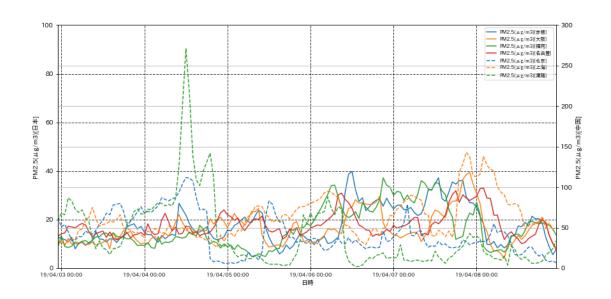


図 4-4-1-12 日本・中国での PM2.5 濃度

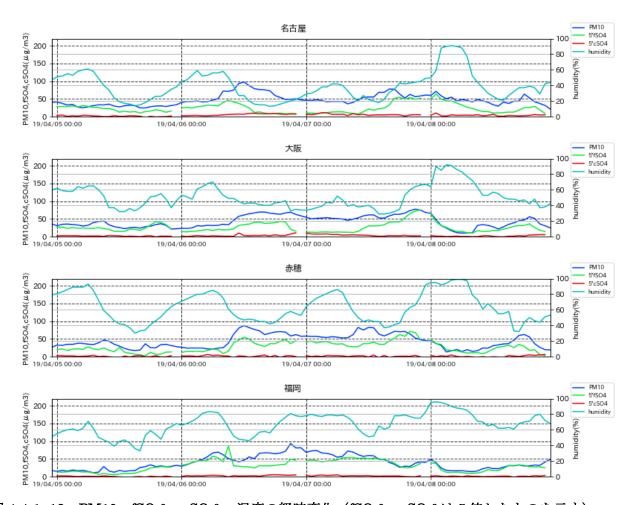


図 4-4-1-13 PM10、fSO<sub>4</sub>2-、cSO<sub>4</sub>2-、湿度の経時変化(fSO<sub>4</sub>2-、cSO<sub>4</sub>2-は5倍したものを示す)

#### (2) 黄砂事例 2 2019 年 4 月 16 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-2-1 に示すとおりである。4 月 16 日に大阪のみの 1 地点となった。

天気図(図 4-4-2-3) をみると、前線が黄砂観測日に北海道の東に位置しているが日本周辺では高気圧となっている。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布は、全国的に低い値となっており、黄砂が観測された大阪で 4月 16日 15 時から 21 時まで  $30\mu g/m^3$  を超える地点がいくつか見られる程度である(図 4-4-2-4)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると(図  $4\cdot 4\cdot 2\cdot 5$ )、4月 15日にモンゴル北部で slight 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、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る(図  $4\cdot 4\cdot 2\cdot 6$ )。 さらに、CFORS においては、dust に関して大陸から日本への影響が及んでいる影響は見られない(図  $4\cdot 4\cdot 2\cdot 7$ )。

ライダー黄砂消散係数(図 4-4-2-8)は、黄砂が観測された大阪において 4 月 15 日から上昇を始め、 4 月 16 日にかけての比較的高い値を維持している状況が見て取れる。またライダー黄砂消散係数と周辺の常時監視局における SPM の時間値とを対比させてもその関係性は見られなかった。また、この日は、黄砂観測地点周辺での PM2.5 の日平均値(図 4-4-2-9)も高い値を示さなかった。

図 4-4-2-10 に PM2.5/SPM 比の全国分布を示したが、事例 1 と同様に、やはり関東地方で比の値が小さい例が見られた。そのため、確認として PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM2.5、SPM それぞれの日平均を調べたところ、表 4-4-2-2 の通りであった。 4 月 16 日について、神奈川県では SPM 濃度は高い数値を示してはおらず、PM2.5 が低い濃度であったため、比の値が 0.3 以下となったと考えられる。

人為起源系汚染物質については、黄砂の観測された 4 月 16 日において  $fSO_4^2$ 、 $fNO_3$ ともに  $0\mu g/m^3$  から  $5\mu g/m^3$  程度あった(図 4-4-2-11)。

なお、北京、瀋陽では、本事例前の 4 月 13 日に、PM2.5 濃度の 1 時間値がそれぞれ一時  $200\mu g/m^3$ 、  $150\mu g/m^3$ 以上の高濃度が見られる(図 4-4-2-12)。

また、図 4-4-2-13 に黄砂日前後における PM10、 $fSO_4^2$ 、 $cSO_4^2$ 、湿度の経時変化を示す。 $fSO_4^2$ 、 $cSO_4^2$ については PM10 の値と比較し非常に小さいため、その値を 5 倍して表示してある。黄砂の観測された地点またはそれに近い大阪の湿度は黄砂観測日に低くなっているように見え、大陸からの乾いた空気塊によることを示唆する。

以上の通り、本事例は本解析でのデータに黄砂の特徴があまり見られない事例であった。



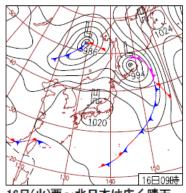
図 4-4-2-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-2-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名			
2019/04/16	1	大阪			



図 4-4-2-2 黄砂観測地点



16日(火)西〜北日本は広く晴天 西日本〜北日本は高気圧に覆われ、 穏やかに晴れ。沖縄・奄美は低気圧 や前線の接近で次第に雨。沖縄県志 多阿原では午後に68mm/1hの非常に 激しい雨。秋田市サクラ開花。

図 4-4-2-3 天気図

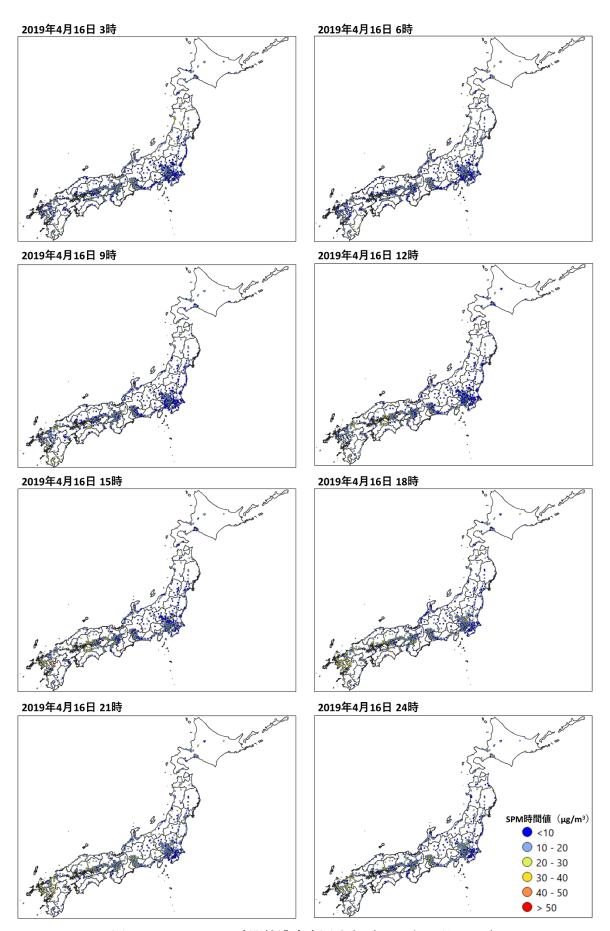


図 4-4-2-4 SPM1 時間値濃度全国分布(2019 年 4 月 16 日)

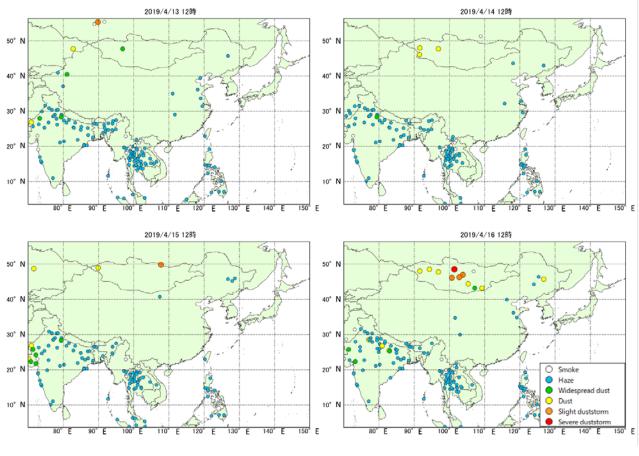


図 4-4-2-5 砂塵嵐発生状況

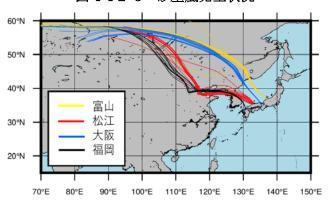


図 4-4-2-6後方流跡線(72時間前より)

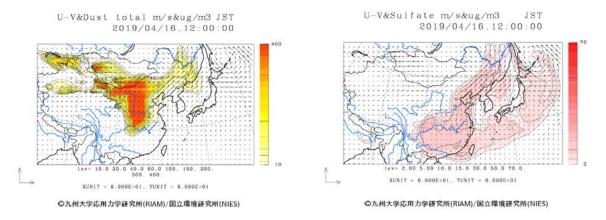


図 4-4-2-7 CFORS(dust (左図)、sulfate (右図))予測結果

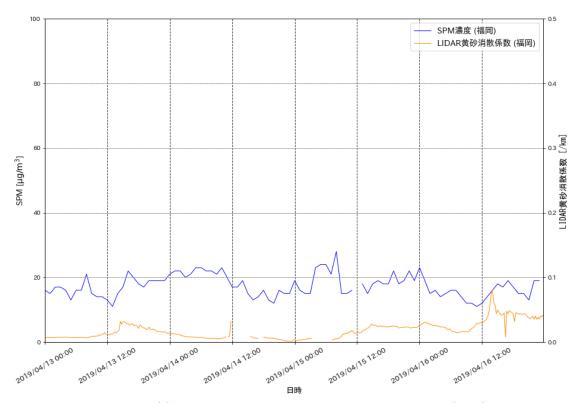


図 4-4-2-8(1) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(福岡)

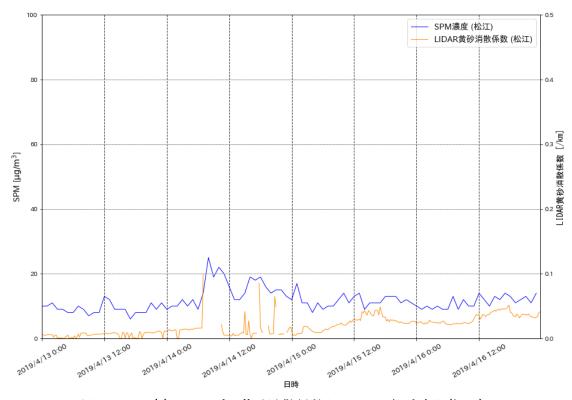


図 4-4-2-8(2) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(松江)

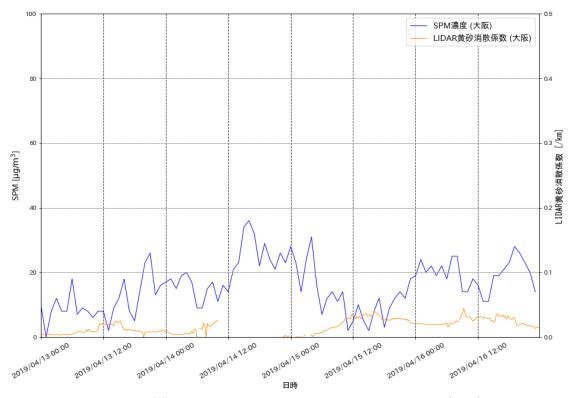


図 4-4-2-8(3) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(大阪)

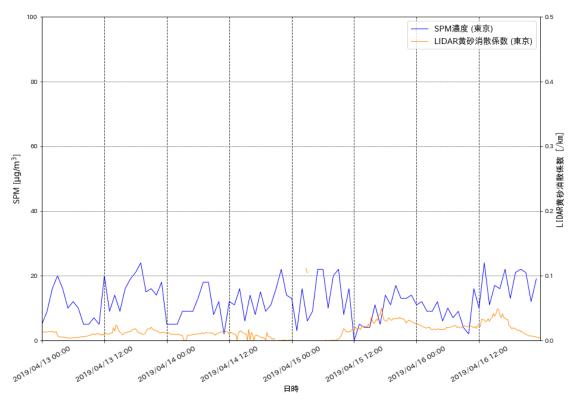


図 4-4-2-8(4) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(東京)

# 2019年4月16日

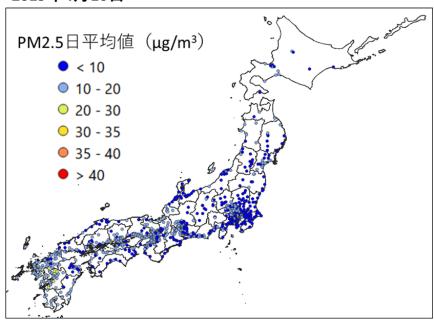


図 4-4-2-9 PM2.5 日平均値全国分布

# 2019年4月16日

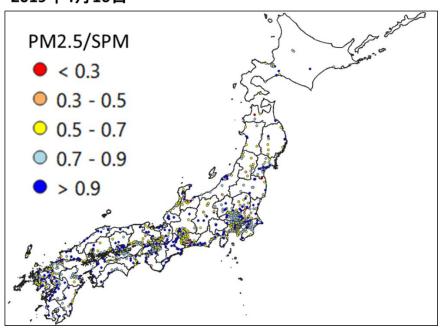


図 4-4-2-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布

表 4-4-2-2 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が 0.3 以下となった観測地点

黄砂観測日	観測局コード	都道府県	PM2.5 日平均値 (μg/m³)	SPM 日平均値 (µg/m³)	PM2.5/SPM
4月16日	14118010	神奈川県	2.333	15.909	0.147

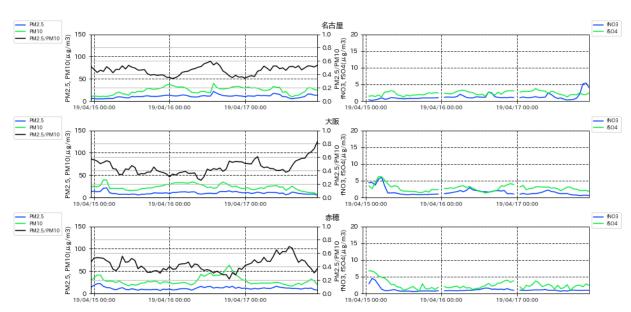


図 4-4-2-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

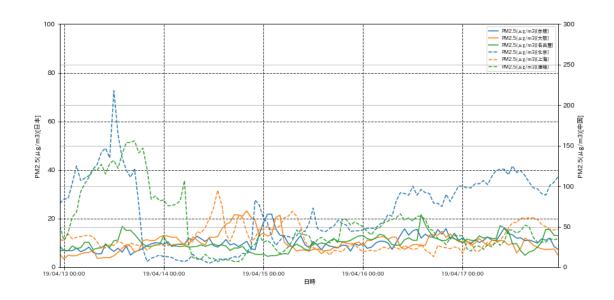


図 4-4-2-12 日本と中国での PM2.5 濃度

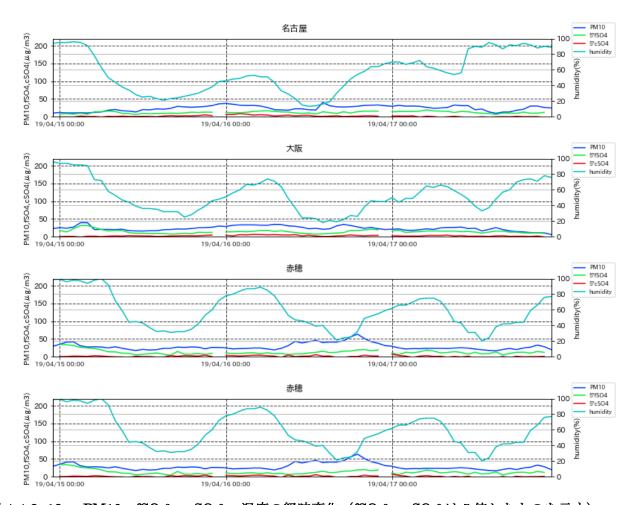


図 4-4-2-13 PM10、fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>、cSO<sub>4</sub><sup>2</sup>、湿度の経時変化(fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>、cSO<sub>4</sub><sup>2</sup>-は5倍したものを示す)

## (3) 黄砂事例 3 2019年5月2日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-3-1 に示すとおりである。5 月 2 日に鹿児島のみの 1 地点であった。

天気図(図 4-4-3-3) をみると、黄砂観測日に北海道東岸沖に位置しており日本の南岸には前線はない。 また、大陸から日本への風向きではなかった。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布は、5 月 2 日には九州で  $40\mu g/m^3$  を超える地点が見られ、この状態が 12 時頃から 24 時頃まで継続していた。(図 4-4-3-4)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると(図 4-4-3-5)、5月1日にモンゴルにおいて Dust 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、大陸のダスト発生地域 からの経路を示していなかった(図 4-4-3-6)。さらに、CFORS においても、日本周辺への dust が大陸 からの影響と考えられる明確な様子は見られなかった(図 4-4-3-7)。

ライダー黄砂消散係数(図 4-4-3-8)は、黄砂が観測された鹿児島に最も近い福岡で、5月2日から上昇を始めている様子が見て取れる。またライダー黄砂消散係数と周辺の常時監視局における SPM の時間値とを対比させると、ライダー黄砂消散係数の上昇する時刻の方が遅く見られる。また、この日は、PM2.5 の日平均値(図 4-4-3-9)も黄砂観測地点周辺で上昇しており、環境基準値を超える値に近い値を示す地点もみられている。

図 4-4-3-10 に PM2.5/SPM 比の全国分布を示すが、東日本で比の値が小さい例が見られた。そのため確認として、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM2.5、SPM それぞれの日平均値を表 4-4-3-2 にまとめた。5 月 2 日は、計 14 地点で PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった。SPM の日平均値そのものは高い数値はしめしておらず、PM2.5 の日平均値が小さいことにより、比の値が 0.3 以下となったと考えられる。

人為起源系汚染物質については、5 月 2 日に福岡、五島で5 月 2 日 12 時前後に上昇し始め、特に五島においては  $fSO_4^2$ が  $15\mu g/m^3$ を超える値を示す(図 4-4-3-11)。また両者ともその上昇後には濃度は下降に転じており、黄砂と大気汚染物質が混在した様子は少ないと思われる。

なお、北京では、本事例前の 4 月 30 日 0 時前後に、PM2.5 濃度の 1 時間値がそれぞれ一時  $150\mu g/m^3$  以上の高濃度が見られる(図 4-4-3-12)。

また、図 4-4-3-13 に黄砂日前後における PM10、 $fSO_4$ <sup>2</sup>、 $cSO_4$ <sup>2</sup>、湿度の経時変化を示す。 $fSO_4$ <sup>2</sup>、 $cSO_4$ <sup>2</sup>については PM10 の値と比較し非常に小さいため、その値を 5 倍して表示してある。黄砂の観測された地点またはそれに近い福岡、五島の PM10、 $fSO_4$ <sup>2</sup>の関係は明確ではない。湿度については黄砂日において前日と比較し減少している様子が分かる。

以上の通り、本事例は人為起源系汚染物質の上昇が黄砂観測地点周辺でみられたものの、全国的には 人為起源系汚染物質の混在が少ない黄砂が、主に九州地域に影響を及ぼした事例であると思われる。

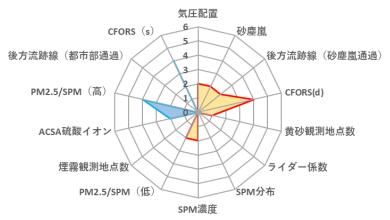


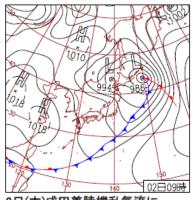
図 4-4-3-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-3-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名			
2019/05/02	1	鹿児島			



図 4-4-3-2 黄砂観測地点



2日(木)成田着陸機乱気流に 東日本は上空約5500mに−21℃以下の 寒気が南下し大気の状態が不安定で 所々雨や雷雨。北日本は低気圧の影響で曇りや雨。その他は概ね晴れ。 鹿児島、宮崎、長崎、大分で黄砂。

図 4-4-3-3 天気図

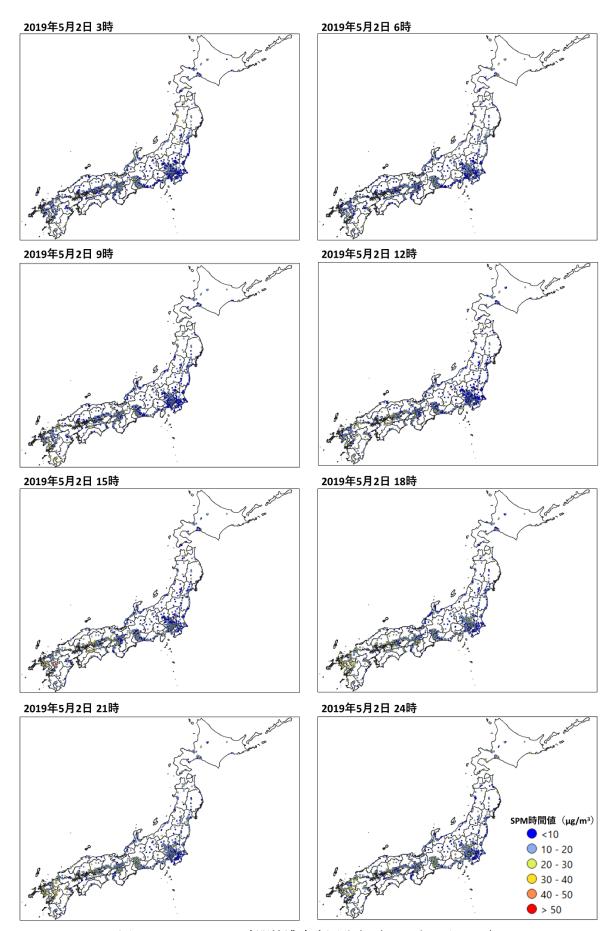
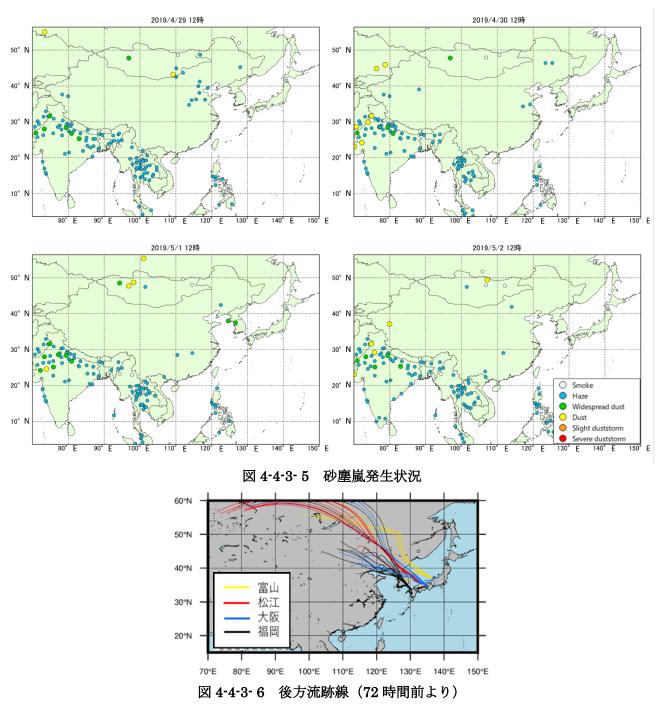


図 4-4-3-4 SPM1 時間値濃度全国分布(2019年5月2日)



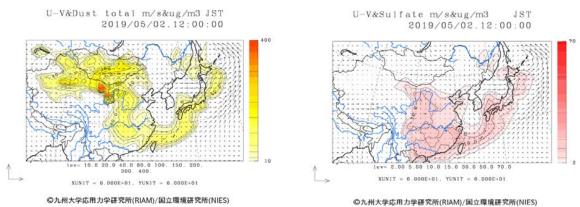


図 4-4-3-7 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果

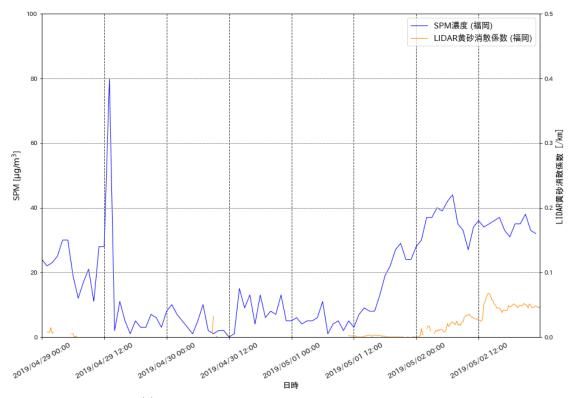


図 4-4-3-8(1) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(福岡)

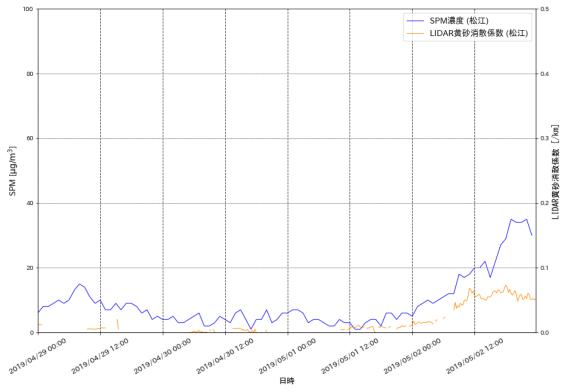


図 4-4-3-8(2) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(松江)

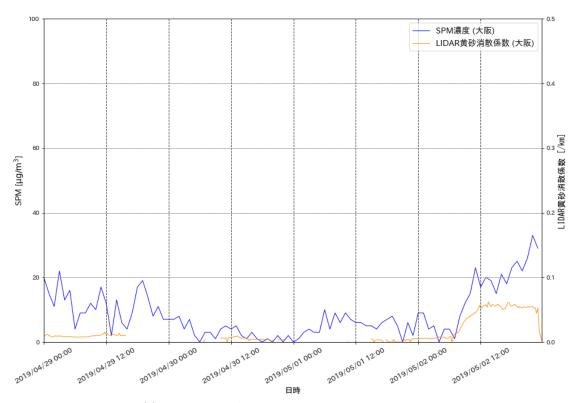


図 4-4-3-8(3) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(大阪)

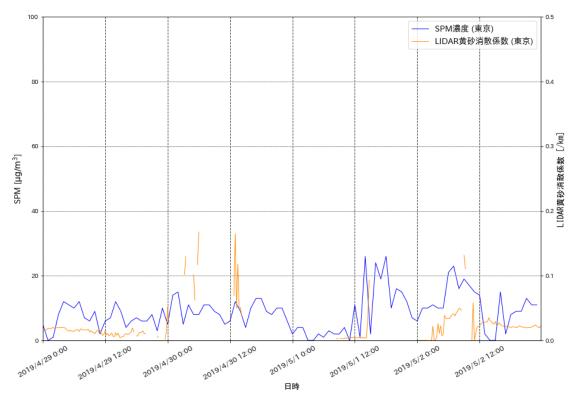


図 4-4-3-8(4) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(東京)

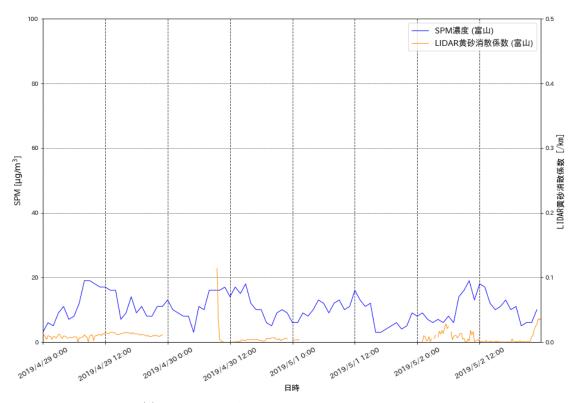


図 4-4-3-8(5) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(富山)

# 2019年5月2日

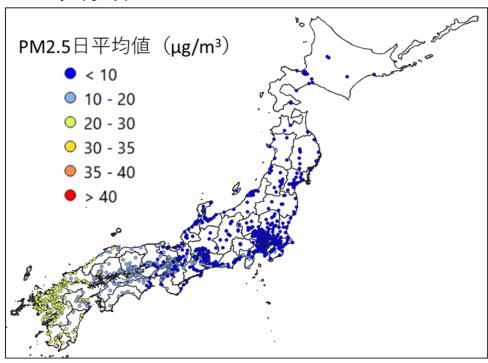


図 4-4-3-9 PM2.5 日平均値全国分布

# 2019年5月2日

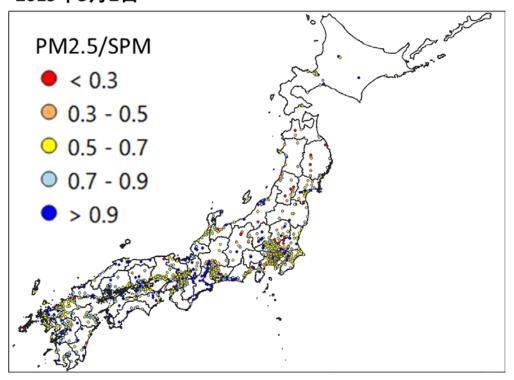


図 4-4-3-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布

表 4-4-3-2 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が 0.3 以下となった観測地点

黄砂観測日	観測局コード	都道府県	PM2.5 日平均値 (μg/m³)	SPM 日平均値 (µg/m³)	PM2.5/SPM
	1208510	北海道	1.958	9.000	0.218
	3205010	岩手県	3.083	11.417	0.270
	3207010	岩手県	4.500	15.458	0.291
	3305010	岩手県	2.042	7.583	0.269
	6206010	山形県	2.478	8.773	0.282
	6208010	山形県	1.000	6.083	0.164
5月2日	6209010	山形県	0.500	8.875	0.056
9月2日	8206010	茨城県	5.417	22.417	0.242
	8210010	茨城県	4.417	21.292	0.207
	8541010	茨城県	4.625	19.083	0.242
	9209010	栃木県	3.167	14.417	0.220
	11203530	埼玉県	3.042	10.792	0.282
	15463010	新潟県	3.958	18.083	0.219
	20216510	長野県	3.375	12.583	0.268

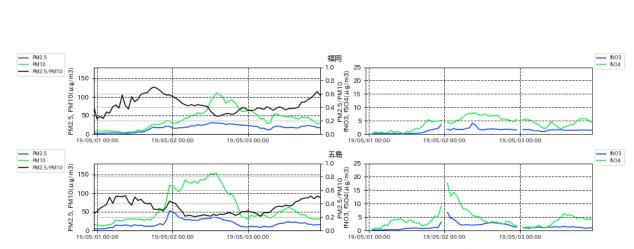


図 4-4-3-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

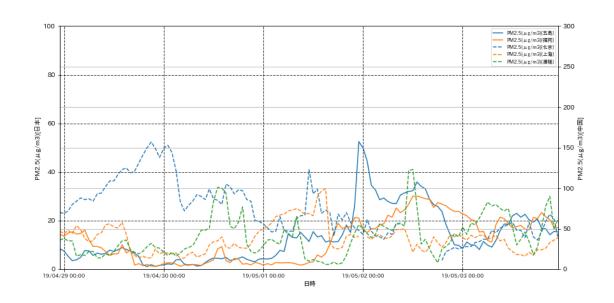


図 4-4-3-12 日本と中国での PM2.5 濃度

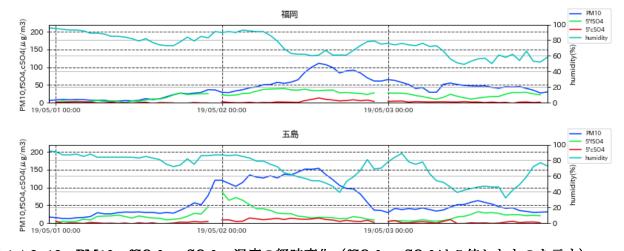


図 4-4-3-13 PM10、fSO<sub>4</sub>2-、cSO<sub>4</sub>2-、湿度の経時変化(fSO<sub>4</sub>2-、cSO<sub>4</sub>2-は5倍したものを示す)

## (4) 黄砂事例 4 2019年10月30日~11月2日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-4-1 に示すとおりである。10 月 30 日に本州の名古屋以西の3 地点と高松の4 地点であったものが、10 月 31 日には大阪、11 月 1 日、2 日には福岡と1 地点となった事例である。

天気図(図 4-4-4-3) をみると、黄砂観測日の初日に北海道北岸沖と本州東岸沖に、10月31日にはその前線は消滅しているが11月1日には再び北海道北岸沖に現れている。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布は、10 月 30 日 3 時に九州北部で  $50\mu g/m^3$  を超える地点が多く見られ、12 時頃から瀬戸内の地域へと東方に広がりその後、九州では濃度は減少するが、10 月 31 日 21 時には高い濃度が関東地方まで輸送されているように見える。その後、九州で低濃度になっていた地点が 11 月 1 日 12 時頃から再び高濃度に転じ、15 時には日本海側へ、また、上 10 月 30 日と同様の輸送経路で 15 時には瀬戸内地域から関東までを東方に広がり高濃度の SPM が輸送されているように見える(図 4-4-4-4)。その後、その広がりは小さくなるが、九州北部では 11 月 2 日 24 時頃まで高濃度の状態が継続している。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると(図 4-4-4-5)、10 月 27 日に黄土地帯周辺において Dust、Slight Duststorm が、<math>28 日にはモンゴル西部で 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、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している(図 <math>4-4-4-6)。さらに、CFORS においても、Dust に関して大陸からの影響が西日本を中心に影響を及ぼしている様子を示す(例えば Dust D

ライダー黄砂消散係数は、10 月 30 日に黄砂が観測された大阪、および観測された 4 地点に近い松江において上昇している様子が見られる。また、福岡において黄砂が観測された 11 月 1 日に、松江においてライダー黄砂消散係数は上昇を始め、極値が出ている状況が見て取れ、10 月 30 日と 2 つの極値を取っていることが分かる(図 4-4-4-8)。またライダー黄砂消散係数と周辺の常時監視局における SPMの時間値とを対比させると、それぞれが同期している様子が見られる。また、<math>PM2.5 濃度の日平均値(図 4-4-4-9)は 11 月 2 日の九州北部で高い値を示している。

図 4-4-4-10 に PM2.5/SPM 比の全国分布を示すが、全国的に比の値が小さい例が見られる。そのため確認として、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM2.5、SPM それぞれの日平均値を表 4-4-4-2 にまとめた。10 月 30 日は計 5 地点、10 月 31 日は計 2 地点、11 月 1 日は計 2 地点、11 月 2 日は計 19 地点が 0.3 以下となった。SPM の日平均値そのものは高い数値はしめしておらず、PM2.5 の日平均値が小さいことにより、比の値が 0.3 以下となったと考えられる。

人為起源系汚染物質については、10 月 29 日から大阪、赤穂で、11 月 1 日に福岡、五島で  $\mathbf{fSO}_4$ 2-の上昇が始まっているが  $10\mu\mathbf{g/m}^3$ 以下の値を示した程度である(図 4-4-4-11)。また両者ともその上昇後には濃度は下降に転じており、黄砂と大気汚染物質が混在した様子は少ないと思われる。

なお、北京、瀋陽、上海での PM2.5 濃度の 1 時間値がそれぞれ  $100\mu g/m^3$ 以下と比較的低い値を示していた(図 4-4-4-12)。

また、図 4-4-4-13 に黄砂日前後における PM10、 $fSO_4^2$ 、 $cSO_4^2$ 、湿度の経時変化を示す。 $fSO_4^2$ 、 $cSO_4^2$ については PM10 の値と比較し非常に小さいため、その値を 5 倍して表示してある。黄砂の観測された地点またはそれに近い名古屋、大阪、赤穂の PM10、 $fSO_4^2$ のピークは湿度のピークと一致していないが、黄砂の観測された日で湿度は低くなる傾向であるように見える(図 3-3-1-13)。

以上の通り、本事例は人為起源系汚染物質の上昇が黄砂観測地点周辺でみられたものの、全国的には 人為起源系汚染物質の混在が少ない黄砂が、本州西日本、四国、名古屋周辺に影響を及ぼし、関東にも 影響を与えた可能性のある事例であった。

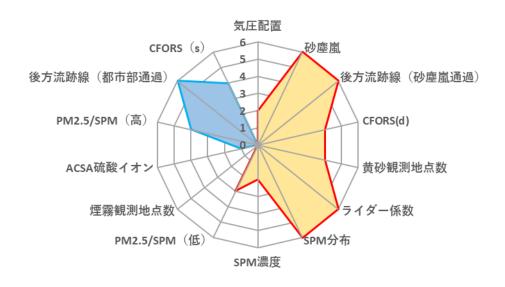


図 4-4-4-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-4-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名				
2019/10/30	4	名古屋	広島	大阪	高松	
2019/10/31	1	大阪				
2019/11/01	1	福岡				
2019/11/02	1	福岡				

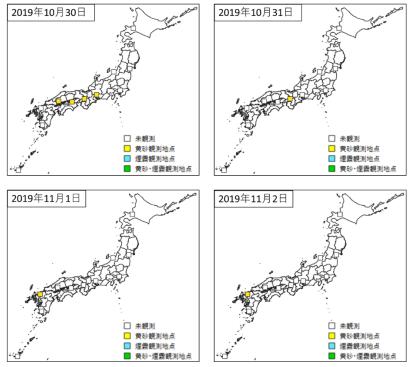


図 4-4-4-2 黄砂観測地点

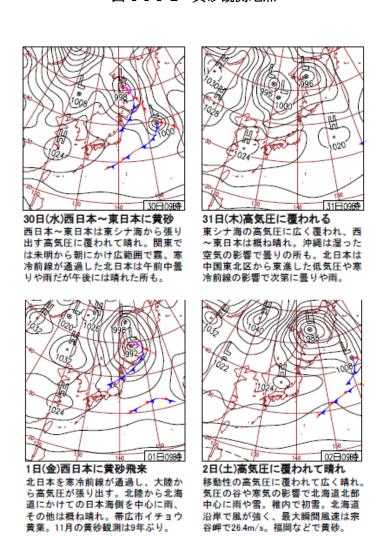


図 4-4-4-3 天気図

その他は概ね晴れ。帯広市イチョウ 黄葉。11月の黄砂観測は9年ぶり。

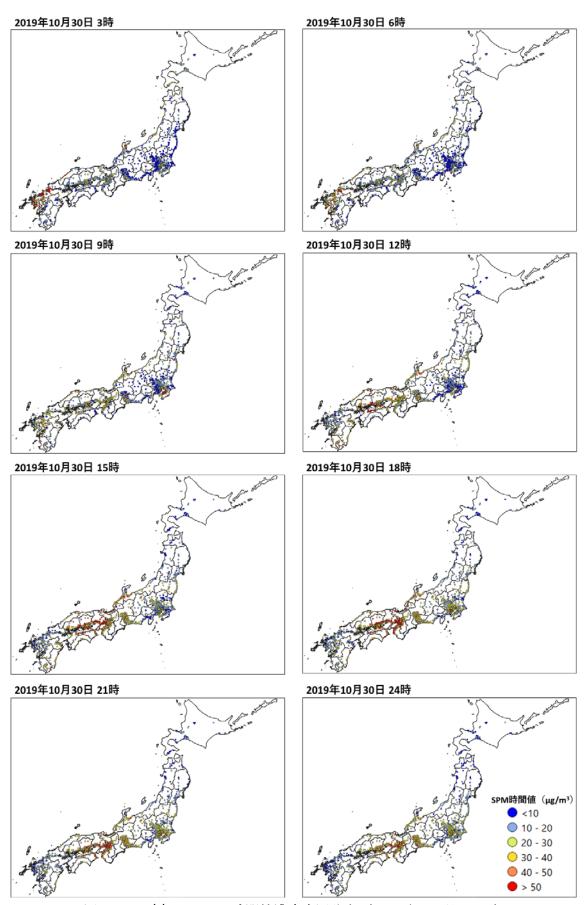


図 4-4-4-4(1) SPM1 時間値濃度全国分布 (2019 年 10 月 30 日)

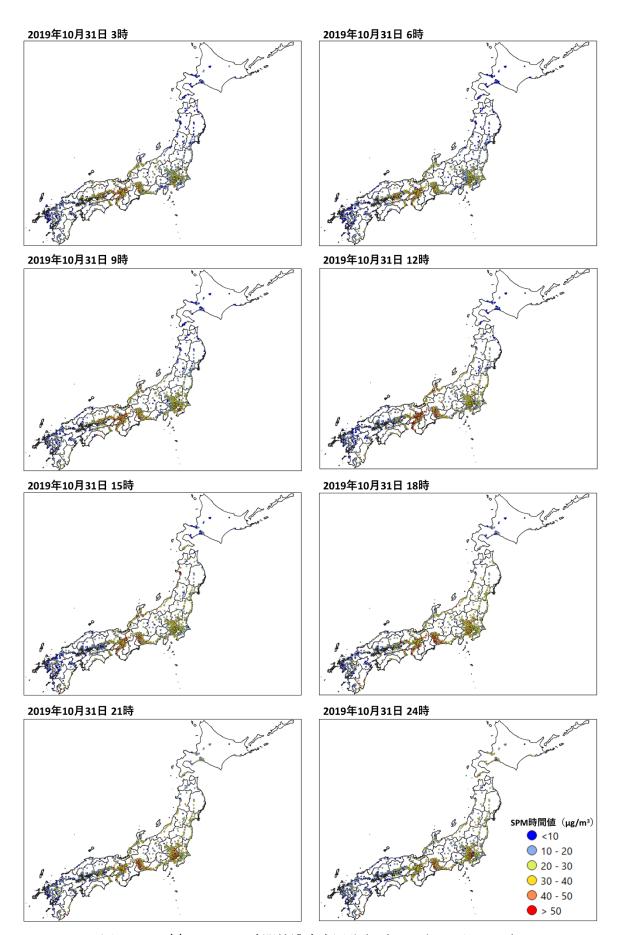


図 4-4-4-4(2) SPM1 時間値濃度全国分布 (2019 年 10 月 31 日)

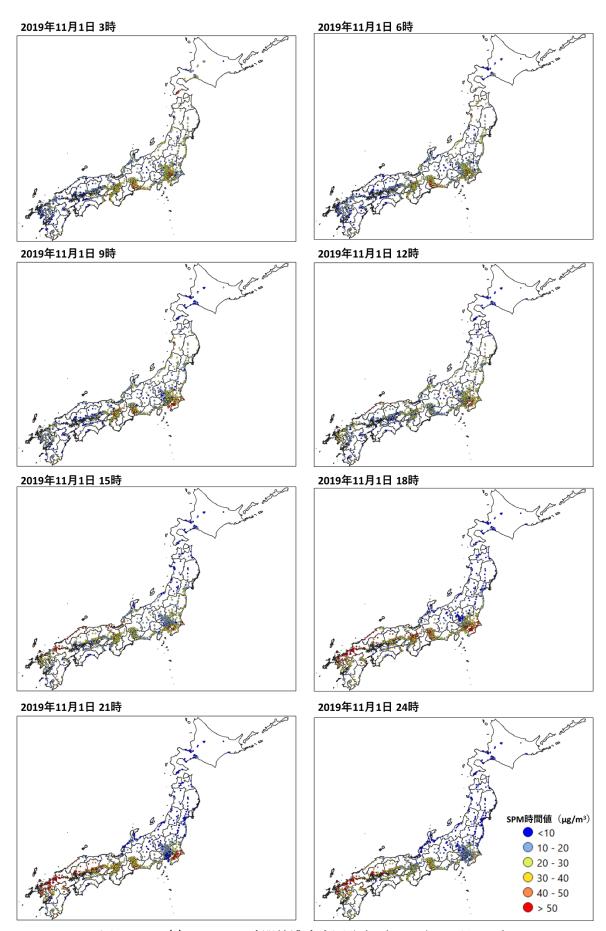


図 4-4-4-4(3) SPM1 時間値濃度全国分布(2019年11月1日)

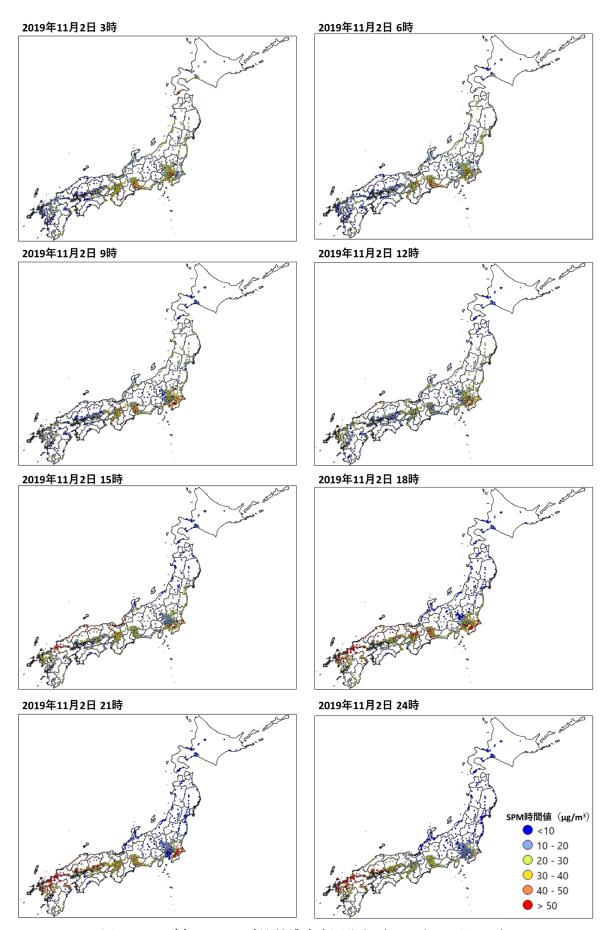


図 4-4-4-4(4) SPM1 時間値濃度全国分布(2019年11月2日)

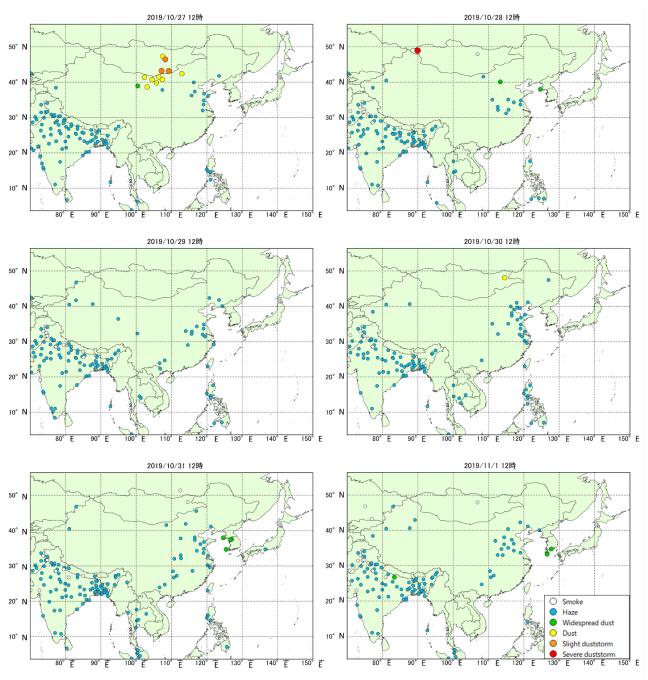


図 4-4-4-5 砂塵嵐発生状況

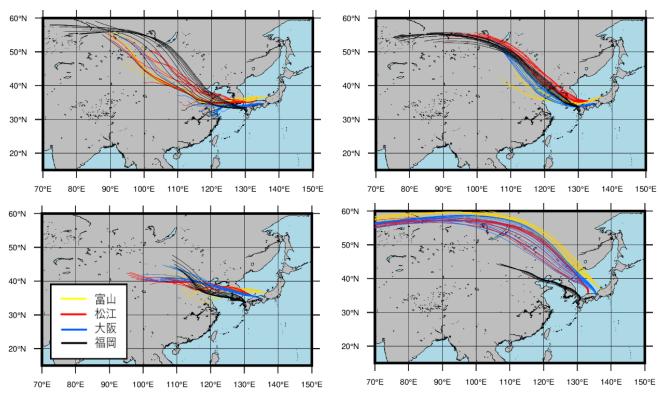


図 4-4-4-6 後方流跡線(左上:10月30日、右上:10月31日、左下:11月1日、右下:11月2日、いずれも72時間前より)

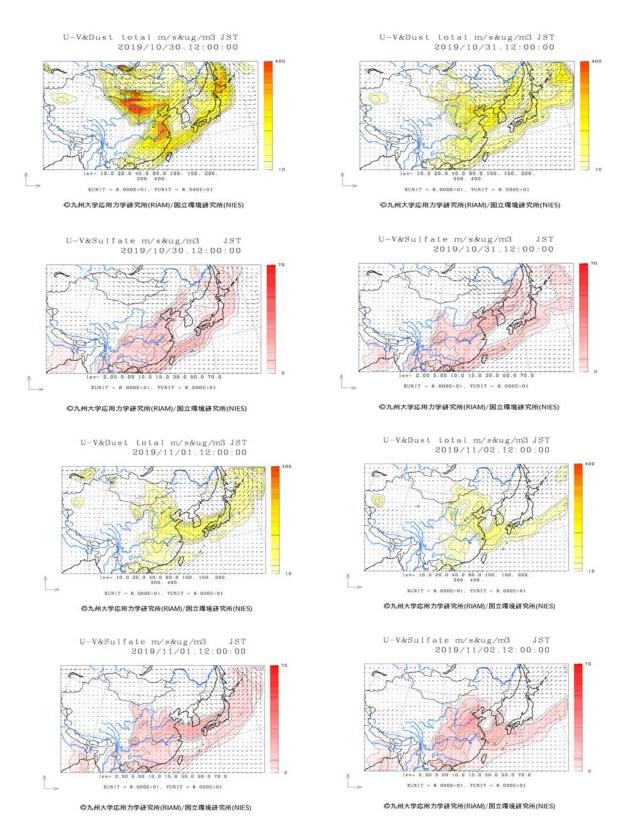


図 4-4-4-7 CFORS(dust (上図) - sulfate (下図))予測結果

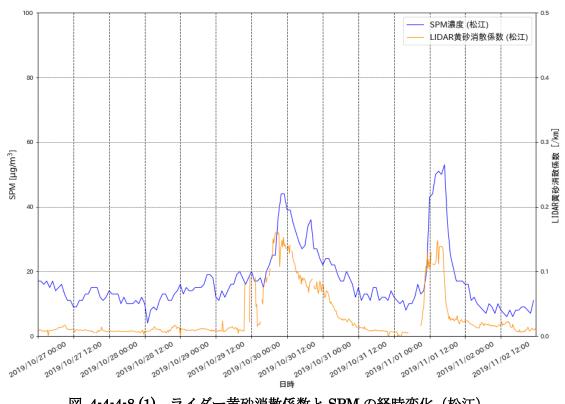


図 4-4-4-8(1) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(松江)

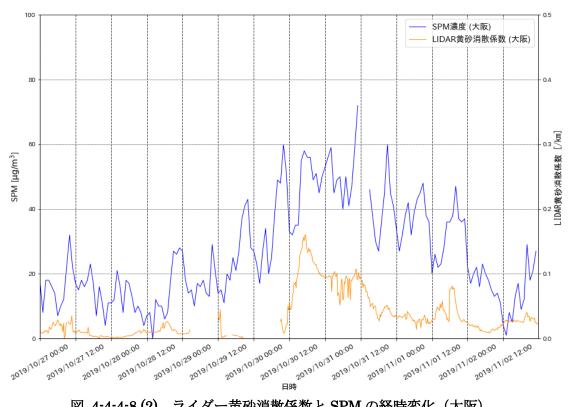


図 4-4-4-8(2) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪)

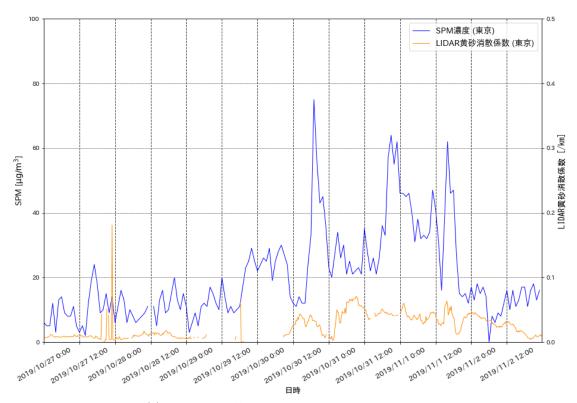


図 4-4-4-8(3) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(東京)

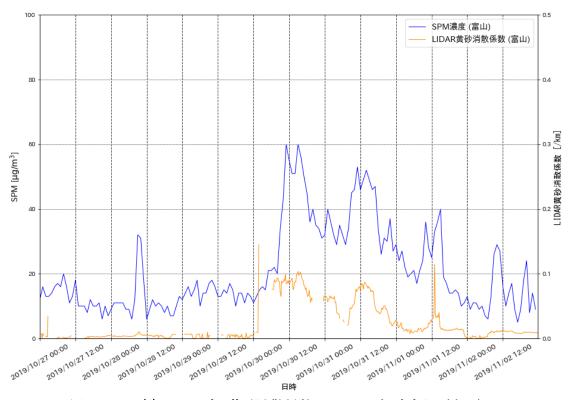


図 4-4-4-8(4) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(富山)

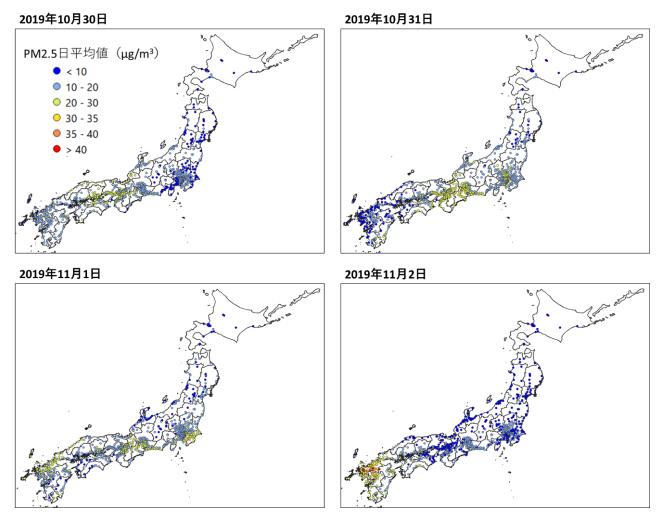


図 4-4-4-9 PM2.5 日平均値/全国分布

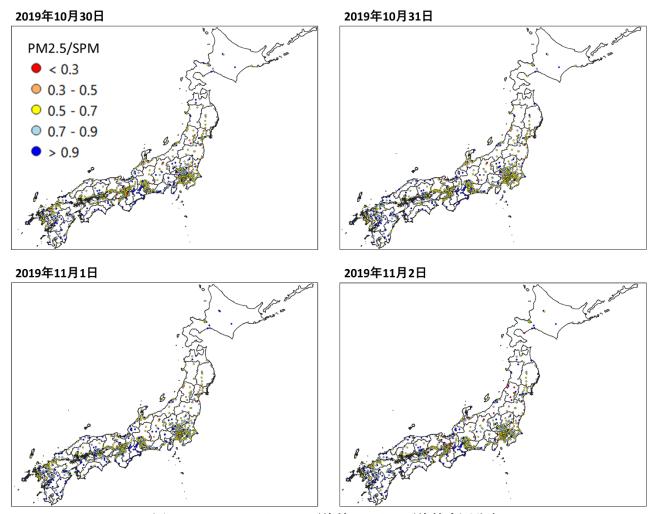


図 4-4-4-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布

表 4-4-4-2 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が 0.3 以下となった観測地点

++			PM2.5 日平均値	SPM 日平均值		
黄砂観測日	観測局コード	都道府県	$(\mu g/m^3)$	(µg/m³)	PM2.5/SPM	
10月30日	6202010	山形県	3.167	14.864	0.213	
	13202010	東京都	1.600	5.700	0.281	
	20201520	長野県	4.417	20.625	0.214	
	22204090	静岡県	-0.778	7.458	-0.104	
	28205010	兵庫県	7.174	36.042	0.199	
10 日 21 日	20201520	長野県	4.458	23.833	0.187	
10月31日	28205010	兵庫県	4.083	38.333	0.107	
11月1日	11222020	埼玉県	2.909	20.792	0.140	
	20201520	長野県	1.458	13.208	0.110	
	1101520	北海道	2.208	7.458	0.296	
	1101540	北海道	1.625	6.833	0.238	
	1205020	北海道	2.875	14.417	0.199	
	6202010	山形県	-1.375	5.292	-0.260	
	6203010	山形県	0.917	5.375	0.171	
	6204050	山形県	0.167	6.542	0.025	
	6205010	山形県	0.458	5.375	0.085	
	6206010	山形県	0.304	9.250	0.033	
11月2日	6208010	山形県	-2.125	5.625	-0.378	
	6209010	山形県	1.318	5.958	0.221	
	6422010	山形県	-0.500	7.833	-0.064	
	7542010	福島県	2.625	9.833	0.267	
	15463010	新潟県	3.250	11.292	0.288	
	20201520	長野県	1.167	10.000	0.117	
	25201510	滋賀県	2.542	9.958	0.255	
	25207010	滋賀県	2.500	8.417	0.297	
	26110510	京都府	5.125	17.375	0.295	
	28206090	兵庫県	2.417	11.708	0.206	
	28641010	兵庫県	3.000	24.042	0.125	

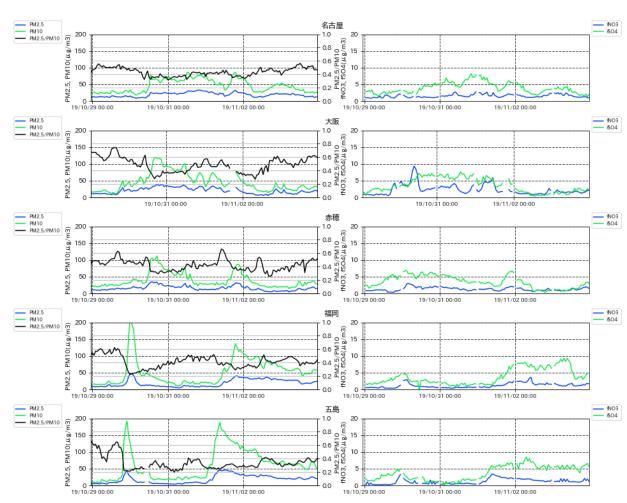


図 4-4-4-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

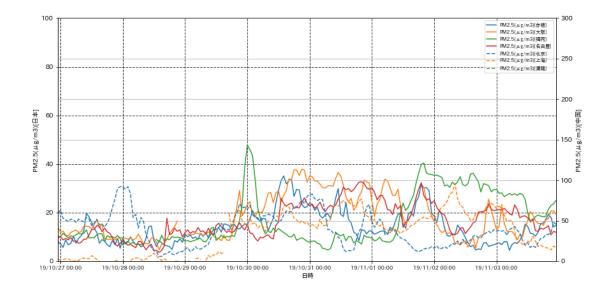


図 4-4-4-12 日本と中国での PM2.5 濃度

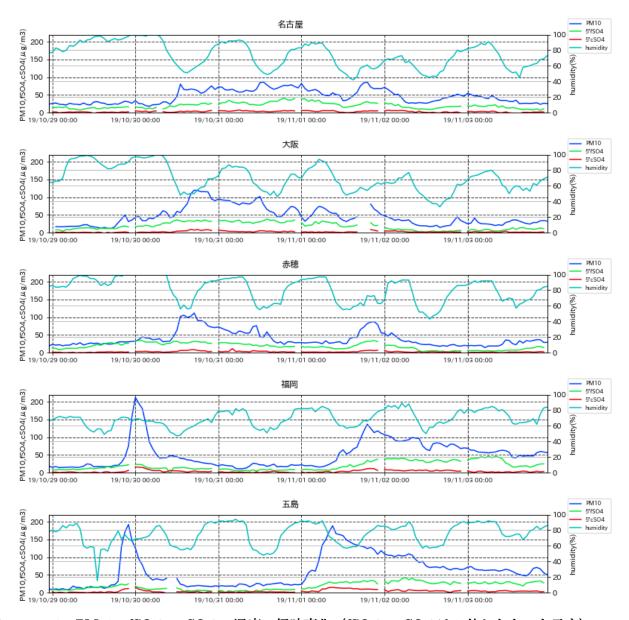


図 4-4-4-13 PM10、fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>、cSO<sub>4</sub><sup>2</sup>、湿度の経時変化(fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>、cSO<sub>4</sub><sup>2</sup>-は5倍したものを示す)

### 5 2019 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。気象庁における煙霧の定義は、「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。2019 年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について、後方流跡線、アジア大陸での砂塵嵐の状況などを確認し解析した。

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見られるため、PM2.5 による健康影響等も懸念される。

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、おおむ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「硝酸塩エアロゾル (大気汚染物質)」(sulfate) の予測分布で、硝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 2019 年度の煙霧日

解析対象は、令和元年度における、3.1 で述べた方法で決定した 2 事例(計 4 日)である(表 5-2-1)。 煙霧時の PM2.5/SPM の値はおおむね 0.80 から 0.96 程度で、黄砂時(0.65 から 0.78)と比較し若干高い値であった。また、ACSA-14 の PM2.5/PM10 は黄砂時(0.32 から 0.44)と比較し、煙霧時は 0.61 から 0.66 と高い値であった。

	X o I I I I I I I I I I I I I I I I I I											
事 例		期日			黄砂の規模					CDM		
	No.	年	月	日	地点数	PM2.5 平均濃 度	県数	PM2.5 積算	PM2.5 積算 合計	SPM 平均 濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/ PM10
1	1	2020	2	6	11	3.74	5	18.68		5.05	0.80	0.61
	2	2020	2	9	5	3.85	4	15.40	F00 10	5.27	0.85	0.64
2	3	2020	2	10	11	25.25	10	252.50	528.10	26.72	0.96	0.66
4	4	2020	2	11	7	34.50	7	241.52		36.44	0.95	0.63

表 5-2-1 2019 年度の煙霧日一覧 (SPM および PM2.5 濃度: ug/m³)

※「PM2.5/PM10」について各日以下の平均をとった。

2020年2月6日:金沢、福島、北海道7地点、山形、青森での観測のため札幌、箟岳、東京、巻の平均

2020年2月9日:北海道2地点、仙台、新潟、秋田での観測のため札幌、箟岳、巻

2020年2月10日:北海道2地点、九州全域、下関での観測のため札幌、福岡、五島の値

2020年2月11日:九州全域での観測のため五島、福岡の平均

<sup>※「</sup>PM2.5/SPM」は測定局毎に算出された値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。

### 5.3 煙霧日の解析結果

### (1) 煙霧事例 1 2020年2月6日

本事例は、2020 年 2 月 6 日のみ観測されたもので、全国に計 11 地点で煙霧が観測された(表 5-3-1-1、図 5-3-1-1)。

この期間の大陸の状況を見ると(図 5-3-1-3)、2月6日にゴビ砂漠周辺でダストが発生している様子が見られる。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、からの発生域からの気流を示していなかった。さらに CFORS(図 5-3-1-5)においても、Sulfate が中国東部から日本へ影響を及ぼしている様子が示されていなかった。

PM2.5 濃度は、全国的には 10μg/m³以下で低い値であった(図 5-3-1-7)。

ACSA-14 の測定では、PM2.5 の上昇はほぼ見られなかった。このとき煙霧観測地点周辺での $fSO_4^{2-}$ は、 $5\mu g/m^3$ 以下であった。(図 5-3-1-8)。

なお、瀋陽では、日本での煙霧が観測された日に一時、約  $150\mu g/m^3$  を超える高濃度の PM2.5 を観測している(図 5-3-1-9)。

以上から、本事例は、大陸からのダストの影響及んだ弱い煙霧事例と考えられる。

日付 地点数 観測地点名 金沢 福島 網走 稚内 山形 函館 帯広 室蘭 札幌 青森 2020/2/6 11 旭川

表 5-3-1-1 煙霧観測地点

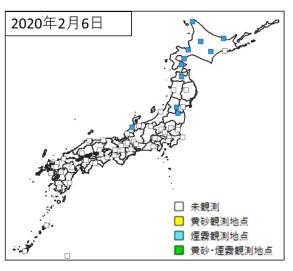
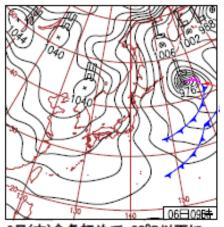


図 5-3-1-1 煙霧観測地点



6日(木)今冬初めて-30℃以下に 強い冬型の気圧配置で日本海側は雪。 全国的に冷え込み、北海道江丹別の 最低気温-31.6℃は、全国で今冬初の -30℃以下。広島など西日本の5地点 で初雪。東京は最も遅い初氷。

図 5-3-1-2 天気図

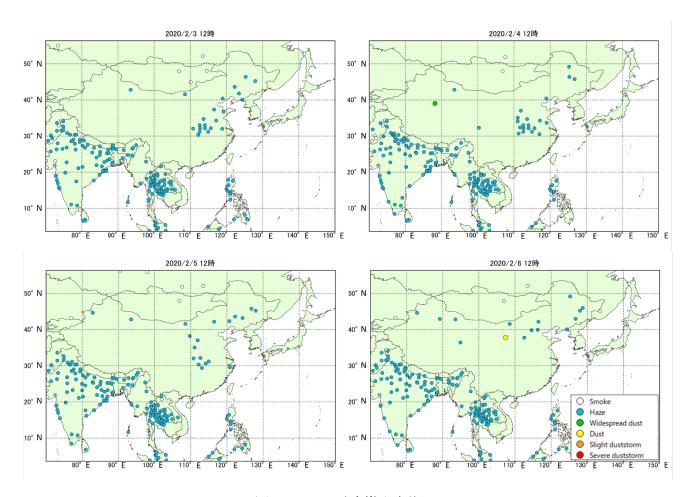


図 5-3-1-3 砂塵嵐発生状況

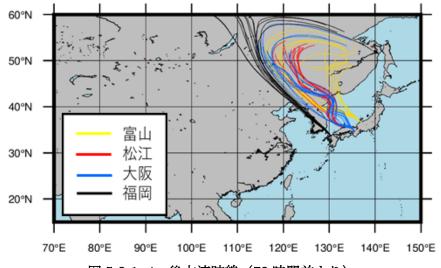
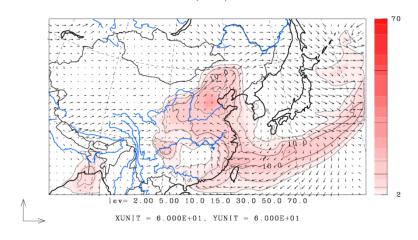


図 5-3-1-4 後方流跡線(72 時間前より)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST 2020/02/06.12:00:00



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図 5-3-1-5 CFORS 予測結果

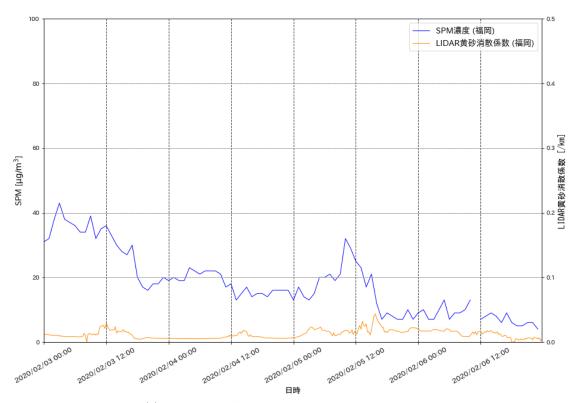


図 5-3-1-6(1) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(福岡)

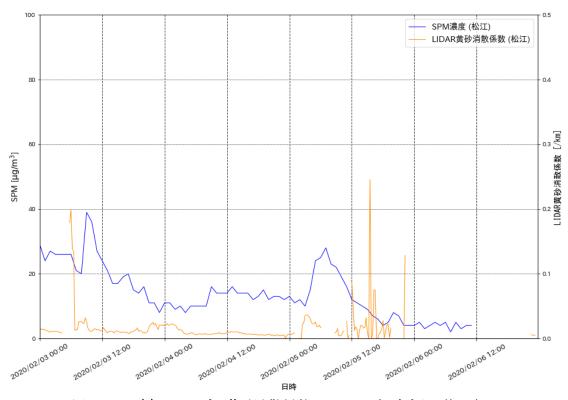


図 5-3-1-6(2) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(松江)

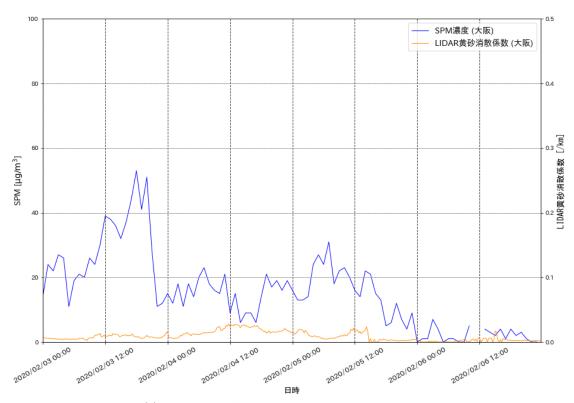


図 5-3-1-6(3) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪)

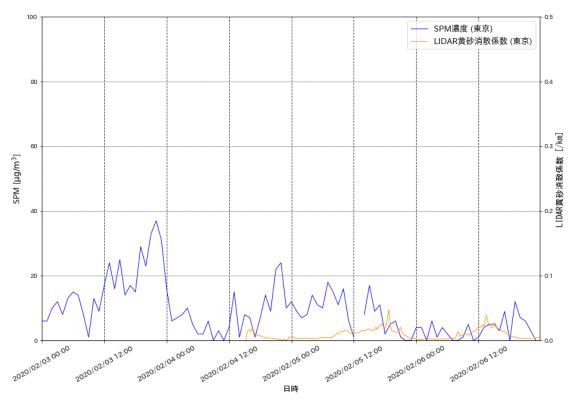


図 5-3-1-6(4) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (東京)

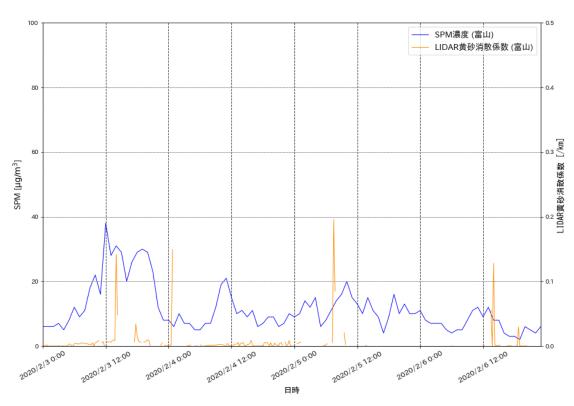


図 5-3-1-6(5) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(富山)

# 2020年2月6日

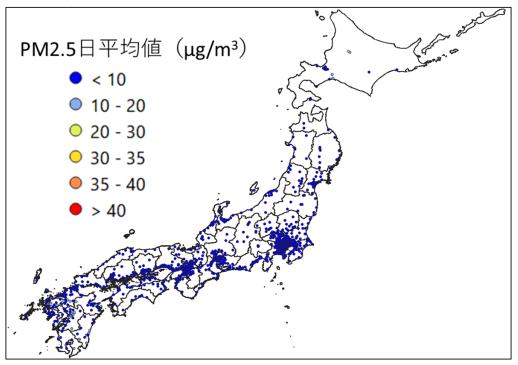


図 5-3-1-7 PM2.5 日平均值全国分布

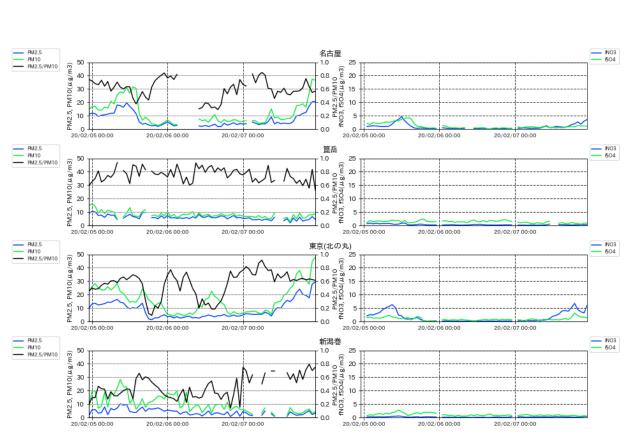


図 5-3-1-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

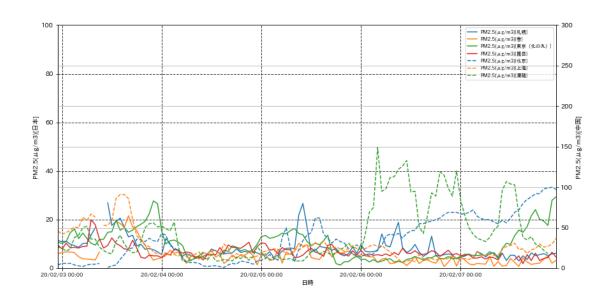


図 5-3-1-9 日本・中国での PM2.5 濃度

### (2) 煙霧事例 2 2020年2月9日~11日

本事例は、2020 年 2 月 9 日から 2 月 11 日の 3 日間で観測されたもので、特に 2 月 10 日においては北海道の一部と九州全域の計 11 地点で煙霧が観測された(表 5-3-2-1、図 5-3-2-1)。

この期間の大陸の状況(図 5-3-2-3)を見ると、多くの地点で煙霧が観測された 2 月 10 日に黄土地帯北部で Slight Duststorm が、2 月 11 日にはモンゴル西部で Severe Duststorm が発生している様子が見られる。また、日本で煙霧が観測される前の 2 月 8 日から中国東部、北東部で煙霧が観測されている。このときの気流を後方流跡線(図 5-3-2-4)で確認したところ、2 月 10 日の一部の後方流跡線で Slight Duststorm が発生した地域周辺からの気流を示していた。さらに CFORS(図 5-3-2-5)においても、Sulfate が中国東岸から九州へ影響を及ぼしている様子が示されていた。

PM2.5 は、2 月 10 日、2 月 11 日に九州の西部で  $40\mu g/m^3$  を超えた環境基準値以上の地点が多く見られた(図 5-3-2-7)。

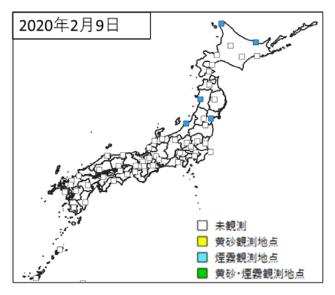
ACSA-14 の測定では、福岡、五島において PM2.5 が 2 月 10 日に上昇し、 $50\mu g/m^3$ 以上の高い値が見られた。このとき、 $fSO_4^{2}$ では、2 月 10 日に福岡、五島で  $20\mu g/m^3$  前後の高い濃度を観測した(図 5-3-2-8)。

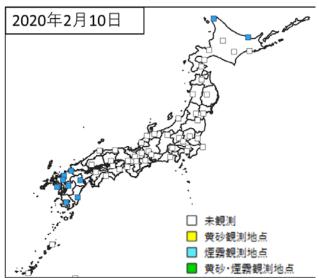
なお、北京、上海、瀋陽では、多くの地点で煙霧が観測された 2 月 10 日以前から当日に  $100\mu g/m^3$  を超え最大で  $250\mu g/m^3$  を超える高濃度の PM2.5 を観測している(図 5-3-2-9)。

以上から、本事例は、大陸からの Slight DustStorm の影響と汚染の影響が及んだ事例と考えられる。

日付 地点数 観測地点名 2020/2/9 稚内 網走 仙台 新潟 秋田 稚内 網走 下関 長崎 佐賀 熊本 福岡 鹿児島 宮崎 熊本 2020/2/10 11 大分 2020/2/11 福岡 長崎 佐賀 熊本 宮崎 鹿児島 大分

表 5-3-2-1 煙霧観測日





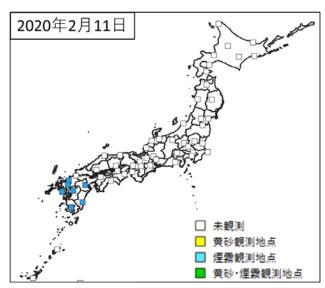
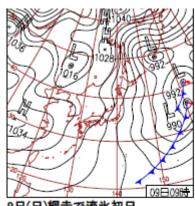
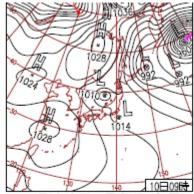


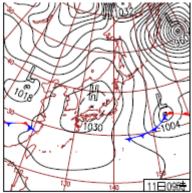
図 5-3-2-1 煙霧観測地点



9日(日)網走で流氷初日 北海道の上空約5000mに-40℃以下の 寒気が入り、日本付近は強い冬型の 気圧配置。山陰から北の日本海側は 雪。北海道は冷え込み、江丹別の最 低気温は-36.0℃に。高知で初雪。



10日(月)名古屋で最も遅い初雪 低気圧が日本海を東南東進し、山陰 〜北陸は雨や雪。北日本は日本海側 中心に雪。西から高気圧が張り出し、 九州や四国は次第に晴れ。名古屋、 岐阜、静岡で初雪。徳島で初氷。



11日(火)網走で流氷接岸初日 北陸以北の日本海側は寒気の影響で 午前中を中心に雪で、北海道では大 雪の所も。その他は高気圧に覆われ、 日中は晴れたが、大陸の前線が東シ ナ海にのび、西日本は次第に曇りに。

図 5-3-2-2 天気図

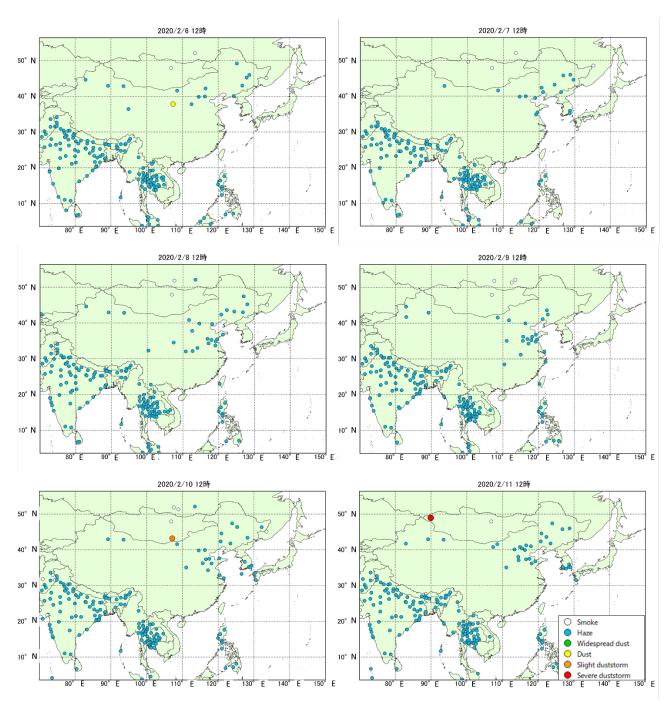


図 5-3-2-3 砂塵嵐発生状況

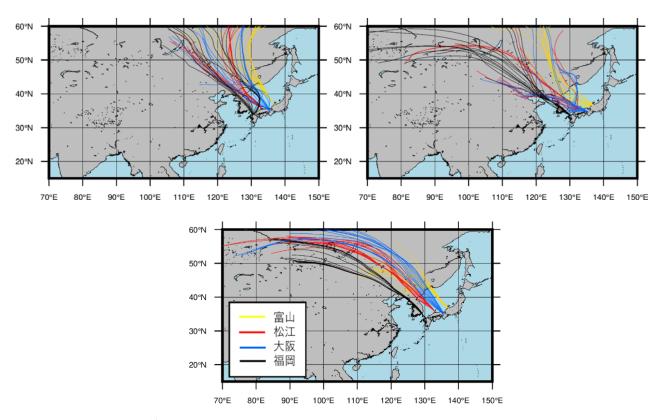


図 5-3-2-4 後方流跡線(左上:2月9日、右上:2月10日、下:2月11日、いずれも72時間前より)

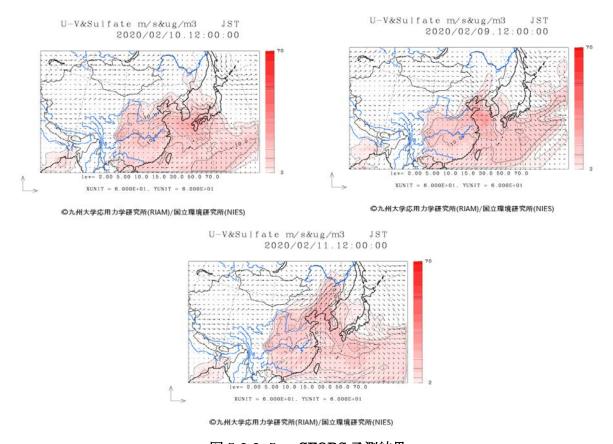
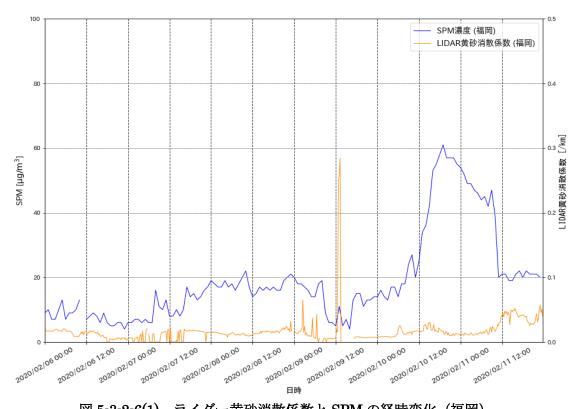


図 5-3-2-5 CFORS 予測結果



ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(福岡) 図 5-3-2-6(1)

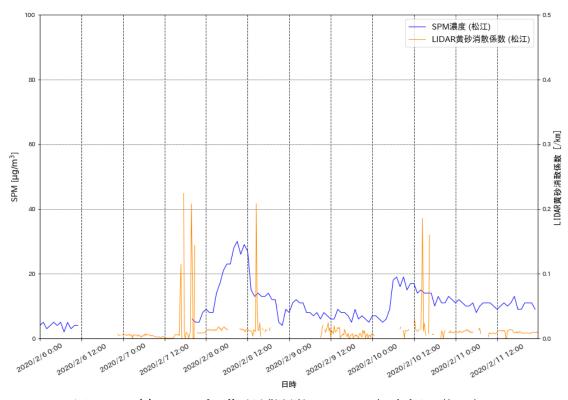


図 5-3-2-6(2) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(松江)

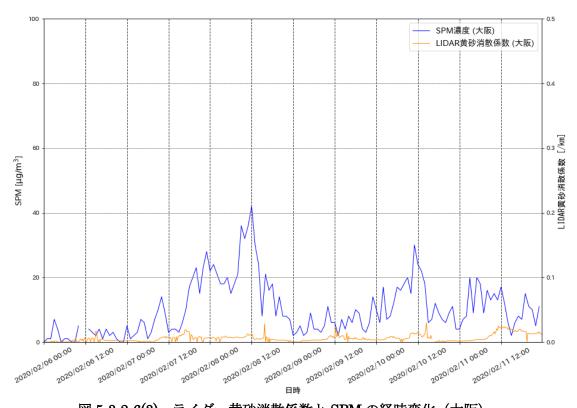


図 5-3-2-6(3) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪)

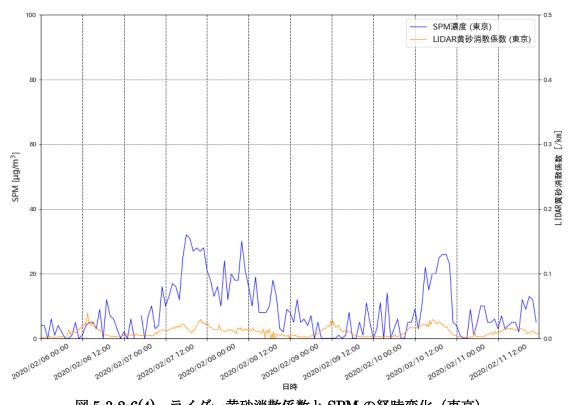


図 5-3-2-6(4) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(東京)

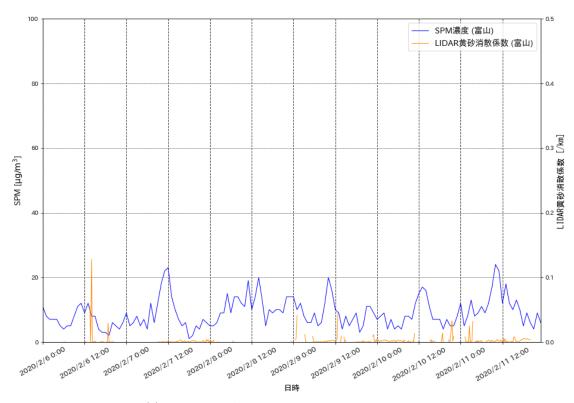


図 5-3-2-6(5) ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(富山)

# 

# 2019年2月10日

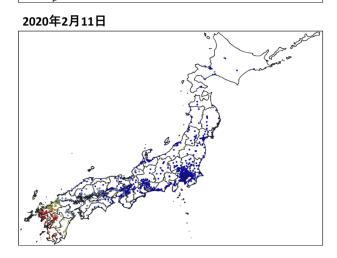


図 5-3-2-7 PM2.5 日平均値全国分布

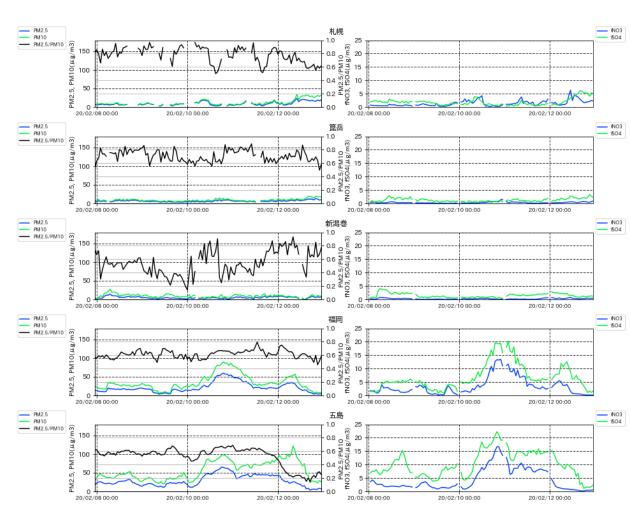


図 5-3-2-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

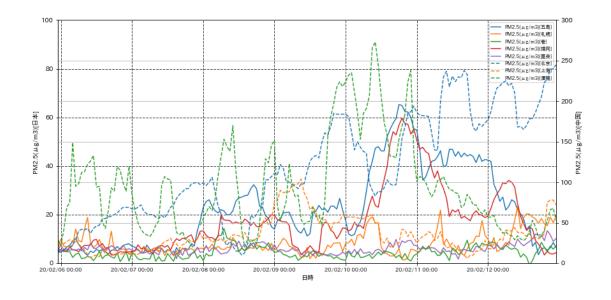


図 5-3-2-9 日本と中国での PM2.5 濃度

### 6 黄砂および煙霧時の PM2.5 濃度のデータ整理と解析

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考えられる。また、越境による煙霧の存在も、黄砂と同程度もしくはそれ以上に大きな影響を与える可能性がある。そのため、2019 年度の黄砂・煙霧時の PM2.5 濃度について検討した。

### 6.1 黄砂・煙霧時における PM2.5 環境基準超過

ここでは、全国の 1,072 箇所の測定局を評価対象とする。2019 年度における各測定局あたりの測定延べ日数(1 日あたりの測定時間が 21 時間以上であるような日数×局数)は 378,824(日×局)であり、平均濃度は  $9.9\,\mu\mathrm{g/m^3}$  であった。このうち、環境基準値である、1 日平均  $35.0\,\mu\mathrm{g/m^3}$  を超えた日数×局は、806(日×局)であり、全体の 0.21%であった。

測定局における黄砂観測日は、8,318(日×局)であり、黄砂時の平均濃度は  $15.2\mu g/m^3$  、このうち環境基準値を超えた割合は、26(日×局)であった。これは黄砂観測日×局数全体の 0.31%にあたり、前年度の平均濃度  $16.3\mu g/m^3$  、環境基準値を超過した割合 2.0%に比べ減少したと言える。

また、測定局における煙霧観測日は 17,543(日×局)、煙霧時の平均濃度は  $14.5 \mu g/m^3$  で、このうち環境基準値を超えた日数は 413(日×局)であった。これは、煙霧観測日×局数全体の 4.63%であり、前年度の平均濃度  $23.5 \mu g/m^3$  、環境基準値超過割合 12.1%に比べ、ともに減少した。

以下の図 6-1-1 は、上記の結果を図示したものである。また、参考のため黄砂および煙霧の定義を再掲する。

黄砂: 主として大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂じんが空中に飛揚し, 天空一面を覆い, 徐々に降下する現象

煙霧:乾いた微粒子により視程が 10km 未満となっている状態。(注:湿度 75%未満)

(いずれも気象庁による)

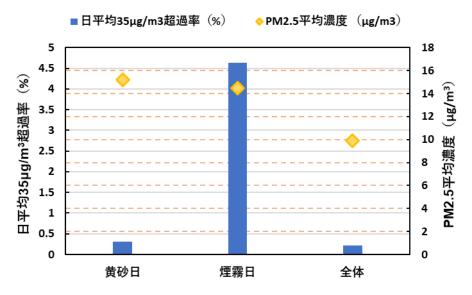


図 6-1-1 黄砂日および煙霧日の PM2.5 平均濃度と環境基準値超過率

2019 年度の黄砂日観測日数と黄砂日の PM2.5 環境基準超過に数を都道府県別に図 6-1-2 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 6-1-3 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、九州各県で多いが、全国的に環境基準値越えの煙霧が発生していることがわかる。

図 6-1-4 に、PM2.5 環境基準超過日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数を都道府県別に示している。例 年、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報告されているが、2019 年度においては、黄砂・煙霧以外の要因による PM2.5 高濃度も多くあったことが確認できる。

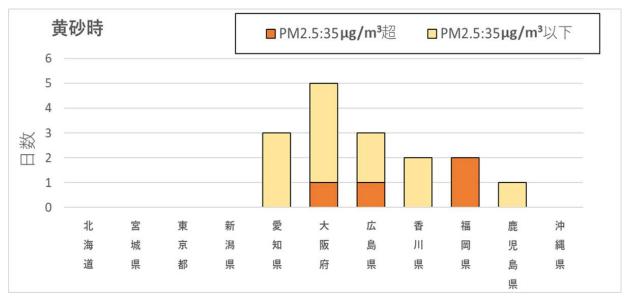


図 6-1-2 都道府県別の黄砂日数と PM2.5 環境基準超過日数 (2019 年度)

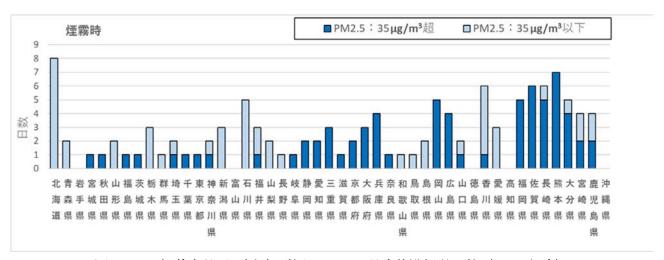


図 6-1-3 都道府県別の煙霧日数と PM2.5 環境基準超過日数 (2019 年度)

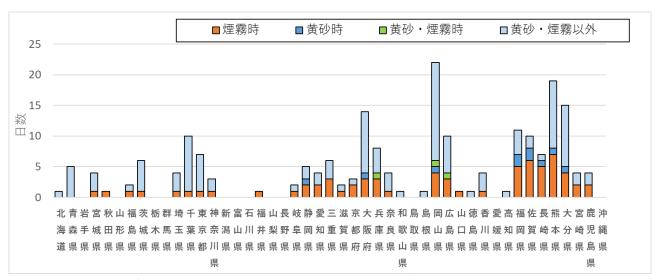


図 6-1-4 都道府県別の PM2.5 環境基準超過日を占める黄砂・煙霧の割合(2019 年度)

### 6.2 黄砂・煙霧時における PM2.5 成分濃度の解析

0.2

0.1

Αl

Τi

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、2019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。また、利用したデータ に関しては、欠測・検出限界未満以外のデータを確認し、イオンバランスが崩れているデータ、マスク ロージャ―モデルと不整合なレコードを除いた。上記の結果、45データが抽出された。

PM2.5 の重量濃度が 20μg/m³以上であり、かつ黄砂が観測された日の検体は、45 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、0 検体であった。

黄砂時における重量濃度の平均は  $26.5 \mu g / m^3$  であり、それぞれの金属成分・イオン成分の平均は PM2.5 中の含有率は、図 6-2-1 と図 6-2-2 のとおりである。金属成分に関しては、黄砂時には Al と Fe が顕著に高く、イオン成分などに関しては、塩化物イオン(Cl·)、カリウムイオン(K+)、カルシウムイ オン(Ca<sup>2+</sup>)が高くなるほか、アンモニウムイオンがやや高くなる傾向がみられた。

## 0.5 n=45 0.4 PM2.5 : 26.5µg/m<sup>3</sup> 濃度[µg/m³] 0.3

金属成分 黄砂時 濃度



Cr

Fe

Cu

Zn

As

Sb

Pb

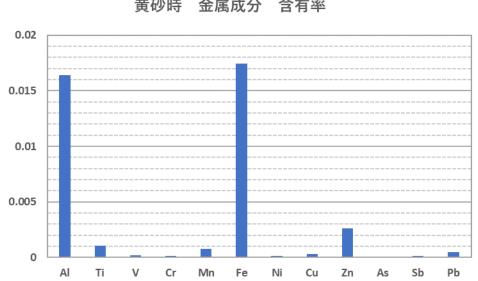
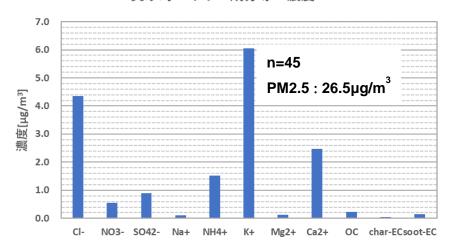


図 6-2-1 煙霧時における PM2.5 金属成分(上段:濃度、下段:含有率)

### 黄砂時 イオン成分等 濃度



黄砂時 イオン成分等 含有率

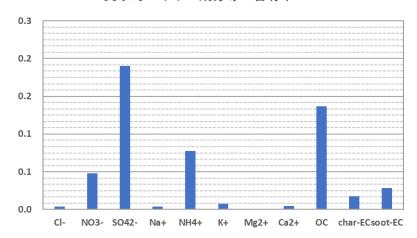


図 6-2-2 黄砂時における PM2.5 イオン成分等(上段:濃度、下段:含有率)

### 6.3 黄砂・煙霧時における PMF 法を利用した PM2.5 の発生源寄与解析

PMF 解析を行うために、PM2.5 成分濃度調査が実施された期間に、黄砂が観測された日を選択した。その結果、黄砂が観測された 2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日に調査を実施している自治体があった。また、この黄砂日の間では名古屋以西で黄砂が観測されたため、この期間に名古屋以西で観測を実施している全ての地点を選択した(沖縄県は除外)。この結果 114 データが抽出された。また、利用したデータに関しては、欠測・検出限界未満以外のデータを確認し、イオンバランスが崩れているデータ、マスクロージャーモデルと不整合なレコードを除いた。上記の結果、81 データが抽出された。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通りである。

### PMFの計算の条件

### 【件数】

黄砂:81件、煙霧:0件

### 【成分数】

以下の全22項目

イオン成分: Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</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、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、As、Sb、Pb

炭素成分: OC、EC

ECについては炭素成分を以下のように整理した。

char-EC: EC1-OCpyro

soot-EC: EC2+EC3 (EC1<OCpyro の場合は OCpyro-EC1)

【因子数】

5因子

図 6-3-1 に因子数 5 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。

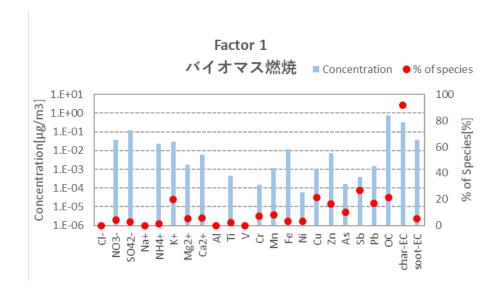
Factor1 は char-EC、K+などが高く、バイオマス燃焼を表す因子と思われる。

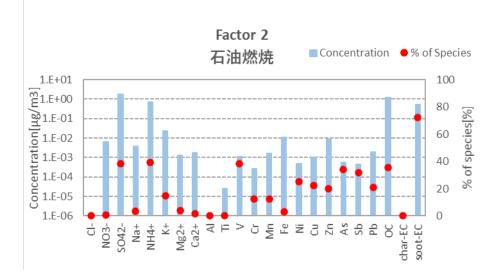
Factor2 は soot-EC、V の割合が高く、石油燃焼を表す因子と思われる。

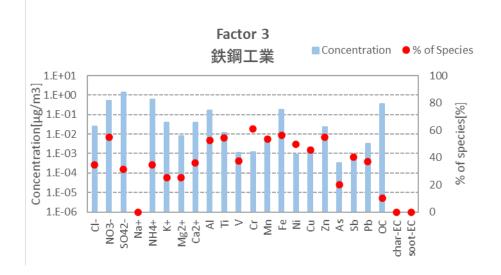
Factor3 は Ti、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn が高く、鉄鉱工業によるものと想定される。

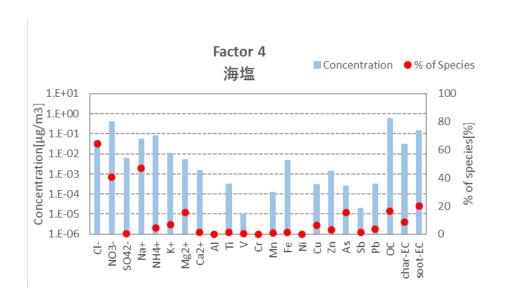
Factor4 は Na+が他の成分と比較し顕著に高く、海塩による因子と思われる。海塩の  $Mg^{2+}$  /Na+比は 0.11 とされており、ここでは 0.09 とやや低めであった。

Factor5 は Ca<sup>2+</sup>、Al、Ti、As、Sb が高く、黄砂に関する土壌を表す因子と思われる。









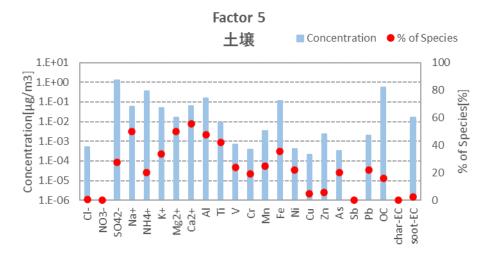


図 6-3-1 発生源プロファイル

2019 年度に観測された黄砂の期間と、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 114 件から、不整合なレコードを除いた 81 データを用い、PMF による発生源寄与平均組成を実施した結果は、図 6-3-2 に示すとおりである。

平均組成は、因子以外の「その他」を除き、石油燃焼の寄与が最も高く 21.25%を示し、次いで鉄鋼工業の寄与が高く 17.12%を示した。

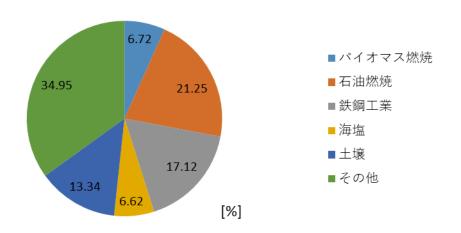


図 6-3-2 黄砂時の各寄与濃度の平均組成

### 7 2019 年度を対象とした黄砂判定手法の検討

### 7.1 ライダーデータを用いた黄砂検出とその状況

黄砂の観測は全国の気象台で目視により実施されているが、この方法では、気象台で観測されないような弱い黄砂の飛来状況が把握されていない。このような現状に対し、過年度の黄砂問題検討業務において、ライダーと SPM を用いた黄砂日検出方法の検討が行われてきた。この手法は、以下に示すような 4 条件を満たす日を「弱い黄砂日」として抽出するものであり、必ずしも気象台観測により報告された黄砂日とは一致しないが、黄砂粒子の飛来が示唆される日として例年、情報を蓄積している。このような情報の蓄積は、将来における黄砂観測の定量的な指標の検討という観点から、特に黄砂観測を行う気象台が 11 地点に減少した現在、より重要となっている。

本手法による黄砂検出の概要、ならびに2019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~270 m の 1 時間平均値を算出したもの、及びライダー設置地点に最も近接する常時監視局における SPM 濃度 1 時間値である。期間は 2019 年度の 1 年間とし、地点は札幌、仙台、東京、新潟、大阪、松江、福岡、長崎の 8 地点を対象とした。

### (2) ライダーによる黄砂検出の方法

黄砂によって SPM 濃度が上昇した楊合、ライダーにおける黄砂消散係数と SPM 濃度は相関関係にあると推測される。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。

### 検出条件

- ① 1 日のデータが 12 時間以上揃っていること
- ② 測定時間が 16 時間以上あるものは、黄砂消散係数と SPM 濃度時間値との相関係数が 0.6 以上、12~15 時間のものは相関係数が 0.7 以上 であること
- ③ SPM 濃度の日最大値が 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

2019 年度において、本方法で検出された日は、表 7-1-1 に示すとおりである。事例 2、3 の 11 月 1日は、気象庁により福岡で黄砂が報告された日に該当する。また、表 7-1-1 における各事例について、SPM 濃度ならびにライダー黄砂消散係数の経時変化を以下の図 7-1-1~図 7-1-3 に示した。この 3 事例の中では、特に事例 2 の松江における SPM濃度とライダー黄砂消散係数の相関係数が 0.9905 と高い値を示

し、実際に図7-1-2より増減の時刻がよく一致していることが見て取れる。

表 7-1-1 黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値の相関等の条件による抽出日

NO.	年	月	日	地点	データ 数 <sup>(1)</sup>	相関係数	SPM 最大値 (µg/m³)	消散係数 最大値 (/km)	地点黄 砂日 <sup>(2)</sup>	全体黄 砂日 <sup>(3)</sup>	全体煙 霧日 <sup>(4)</sup>
1	2019	5	24	大阪	1	0.6495	51	0.0649			
2	2019	11	1	松江	1	0.9905	53	0.1379		0	
3	2019	11	1	東京	1	0.7065	62	0.0577		0	

備考

(1) データ数: 1: データ数が 16 時間以上データ数のある場合 2: データ数が  $12\sim15$  時間の場合

(2) 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

(3) 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 (4) 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

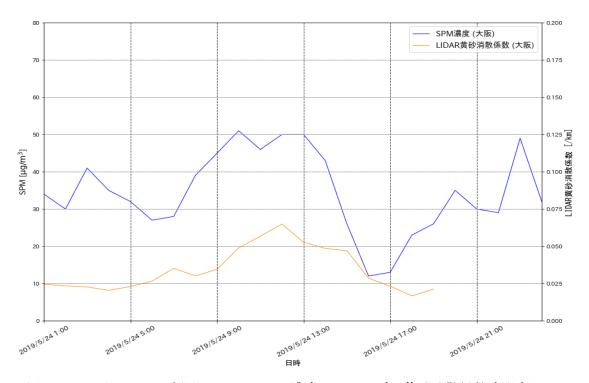


図 7-1-1 5月24日の大阪における SPM 濃度及びライダー黄砂消散係数時間変化

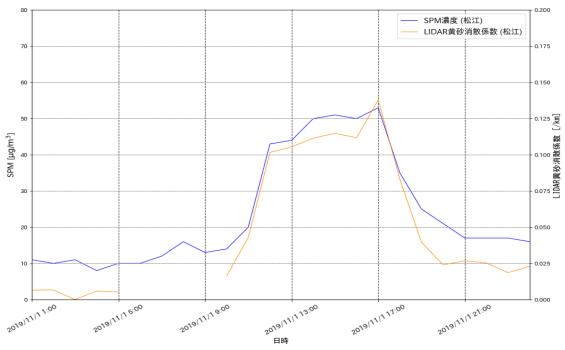


図 7-1-2 11 月 1 日の松江における SPM 濃度及びライダー黄砂消散係数時間変化

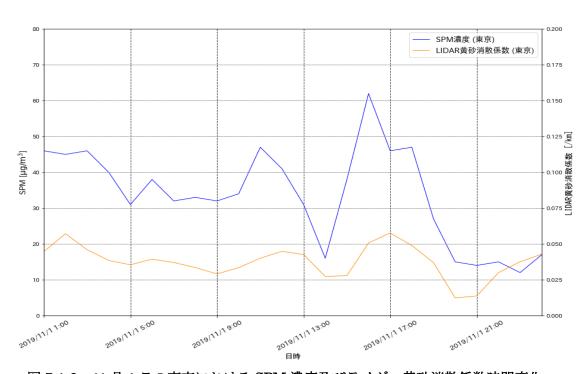


図 7-1-3 11 月 1 日の東京における SPM 濃度及びライダー黄砂消散係数時間変化

### 7.2 PM2.5/SPM の濃度比を利用した黄砂観測手法の検出

前節において見たように、ライダーと SPM 濃度に関する条件①~④により、気象庁により報告された黄砂日を含む計 3 事例が弱い黄砂日として検出された。以下では、上記 3 事例を対象に PM2.5/SPM 比の経時変化を調べることにより、黄砂判定の指標として PM2.5/SPM 比の値が有効か否かについて検討を行う。このような試みは、黄砂観測地点の減少を補い、また天候不順等の理由によりライダー観測データが十分に得られない場合を想定して、過去のより多くの事例に対する分析結果の蓄積を目的とし、行うものである。

表 7-1-1 に基づいて、大阪、松江、東京の 3 地点を対象に、ライダー観測点に最も近い大気汚染常時 監視測定局の測定データの中から、各事例の該当日の SPM、PM2.5 測定値を抜き出し、PM2.5/SPM 比 の値とともに時間変化をプロットしたところ、以下の図の通りとなった。なお、3 事例すべてについて、 値の変化の様子が確認できるよう、前後 1 日を含めた時間変化を図示した。

### (1) 事例 1:2019 年 5 月 24 日 (大阪)

2019 年 5 月 24 日の大阪における、PM2.5、SPM、及び PM2.5/SPM 比の経時変化は、以下の図 7-2-1 の通りとなった。5 月 24 日から 5 月 25 日 1 時頃にかけて SPM の値の上昇傾向が見られるものの、PM2.5/SPM 比の値は細かな周期での変動が多く、変化の様子はあまり明瞭ではない。

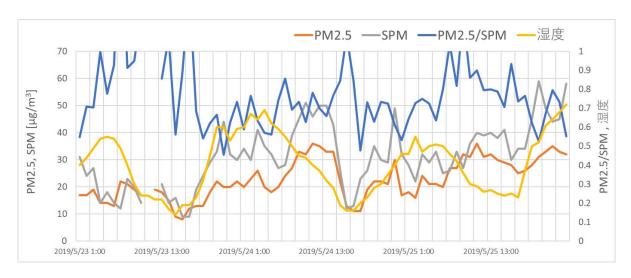


図 7-2-1 2019 年 5 月 24 日の大阪における PM2.5, SPM 及び PM2.5/SPM 比の時間変化

### (2) 事例 2:2019 年 11 月 1 日 (松江)

2019年11月1日の松江における、PM2.5、SPM、及びPM2.5/SPM 比の経時変化は、以下の図 7-2-2 の通りであった。10月31日までは平均  $0.8\sim1$  付近の値であった PM2.5/SPM 比が、11月1日の SPM の上昇に伴い極小値をとる様子が明瞭に表れている。ライダー黄砂消散係数との相関係数も、0.9905 と高い値を示していた。

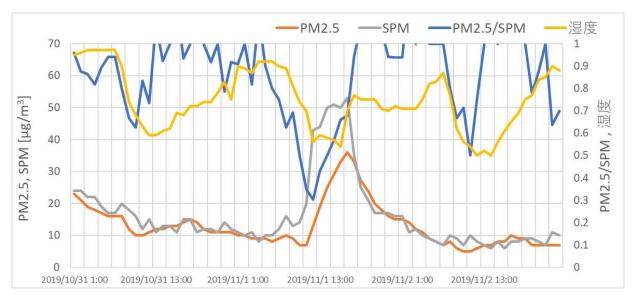


図 7-2-2 2019 年 11 月 1 日の松江における PM2.5, SPM 及び PM2.5/SPM 比の時間変化

### (3) 事例 3:2019年11月1日(東京)

2019年11月1日の東京における、PM2.5、SPM、及びPM2.5/SPM 比の経時変化は、以下の図 7-2-3 の通りであった。10月31日から11月1日午前にかけて、SPM 濃度は断続的に高い値を示しているものの、PM2.5/SPM 比の値にはあまり明確な変化は見られない。

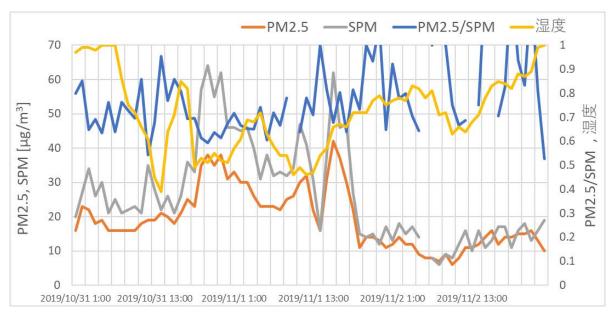


図 7-2-3 2019 年 11 月 1 日の東京における PM2.5, SPM 及び PM2.5/SPM 比の時間変化

以上 3 事例からは、SPM の増大に伴い PM2.5/SPM 比の値が極小値をとる様子が確認できたが、事例 1 及び 3 では比の値の増減が激しく、また極小値とそれ以外の値の差もわずかであった。対照的に事例 2 では、それまで増減の比較的小さかった PM2.5/SPM 比の値が、SPM 濃度の増大に伴って極小値をとる様子が明らかに確認できた。気象庁によれば、事例 2 の 11 月 1 日は福岡のみで黄砂が報告されているが、10 月 30 日には名古屋、広島、大阪、高松にて、10 月 31 日には大阪にて黄砂が報告されて

いる。特に事例 2 について、CFORS 予測結果や自動測定器 ACSA による PM2.5/PM10 比の時間変動の確認等、より詳細な検証が必要であると考えられる。

# 7.3 地球観測衛星

前節までに見たように、目視観測を補う定量的な黄砂検出の手法として、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の相関係数、SPM 濃度・PM2.5 濃度及びそれらの比を用いた 2 通りの手法を検討した。しかし、そのいずれも、単独で黄砂の飛来を示す指標として用いるには十分ではなく、より直接的に黄砂の飛来状況を把握できる手法と組み合わせる必要があると考えられる。本年度業務では、そのための手法として、地球観測衛星を活用した黄砂検出の可能性について検討を行った。残念ながら、今年度検討対象とした衛星からはデータを入手することができず、実際に衛星データを活用し前節までの手法と組み合わせる段階には至らなかったが、将来における定量的な黄砂検出手法の可能性の一つとして、本年度業務における検討内容を以下に示す。

### 7.3.1 気象衛星ひまわりの観測データを用いた黄砂検出

日本の気象衛星ひまわり8号は、日本域・機動観測域・フルディスクの3種類の観測範囲を備えており、それぞれ日本海までを含む日本周辺の固定域、観測対象に応じた機動的な観測域、全球の画像データを撮影・提供している。過年度の検討においては、日本域におけるひまわり画像の Dust-RGB 処理による黄砂飛来状況の把握が行われていたが、この方法では、飛来する黄砂の上空に雲がかかっているような状況下では黄砂が撮影されず、飛来状況の把握が天候に大きく左右されるという欠点がある。そこで今年度業務では、全球を観測範囲とするフルディスク画像の分析により、発生源域の状況を把握することが可能であるか検討した。フルディスク画像は、全球を10分割して撮影されており、セグメント2及び3に発生源域が含まれていることが確認できた。天候面に関しても、発生源域は日本海上空に比べ水蒸気量・雲量が少ないため、発生直後の黄砂の規模・移動方向を把握することができる可能性が高いと期待される。しかし、残念ながらフルディスク画像データは観測休止中でありデータの入手ができなかった。そのため、今年度はひまわり8号を用いた発生源域の解析を実施できなかったが、今後、観測が開始された際には、黄砂飛来状況の直接的な把握に活用できると考えられる。

また、ひまわり観測画像としては、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が提供する「ひまわりモニタ」により、エアロゾルの光学的厚さが画像で提供されている。フルディスク画像と同様、こちらも天候に左右される欠点があり、またその特性上観測が日中に限定されるが、前節までの手法と組み合わせることにより、将来の黄砂飛来状況の把握に活用できる可能性がある。

# 7.3.2 気象衛星 GEMS の観測データを用いた黄砂検出

Ball Aerospace 社と韓国航空宇宙研究院により共同開発された人工衛星 GEMS は、2020 年 2 月に打ち上げが成功し、運用が開始された。朝鮮半島を中心に、エアロゾル・汚染物質の高解像度での観測が可能であるとされているが、有識者にヒアリングを行った結果、残念ながら、現時点ではデータは一般公開されていない模様である。今年度業務での活用はできなかったが、黄砂飛来状況の把握の有力な選択肢の一つとして今後の活用が期待される。

# 7.4 自動測定機による黄砂の把握

### 7.4.1 PM2.5 自動成分分析装置 PX-375 とその他のデータの比較による黄砂検出の可能性

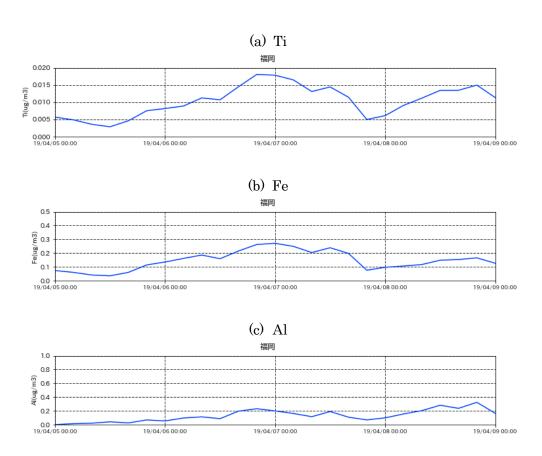
# ① 2019年度の黄砂日における各金属元素の挙動

黄砂粒子には、カルシウムなど、金属成分として検出される成分もいくつか含まれている。そこで、五島、福岡、巻、東京の 4 地点において測定されている PM2.5 自動成分分析装置 PX-375 のデータを活用し、これら地点の個々の成分濃度の整理を行い、SPM や大気エアロゾル化学成分連続自動分析装置 ACSA-14 による PM10、ライダーによる地上付近の消散係数(黄砂及び球形エアロゾル)、自治体が実施する 4 季の PM2.5 成分分析データの時間変化との整合性について確認を行うことで、本データの黄砂検出の可能性について検討を試みる。測定されている元素は Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Pb、Al、Si、S、K、Ca の 15 種であるが、ここでは黄砂起源に関わる代表的な元素 Ti、Fe、Al、Si、Ca、と人為起源に関わる代表的な元素、Zn、Pb、S の 8 種類の元素について調べる。

# (1) 黄砂事例 1:2019 年 4 月 6 日~7 日

本事例では名古屋以西の西日本で黄砂が観測されたため、PX-375 のデータは福岡と五島での観測データを用いる。

図 7-4-1-1、図 7-4-1-4 はそれぞれ、福岡、五島における黄砂飛来時を含む各金属元素の時系列を示す。福岡、五島ともに多くの元素で黄砂飛来時の 4 月 6 日 0 時前後から増加し始め、その後、ピークを取り減少している。Ti、Si、Ca など、減少後、再び増加している元素も見られる。PM10、SPM にも同様な傾向が見られる(図 7-4-1-2、図 7-4-1-3、図 7-4-1-5)。



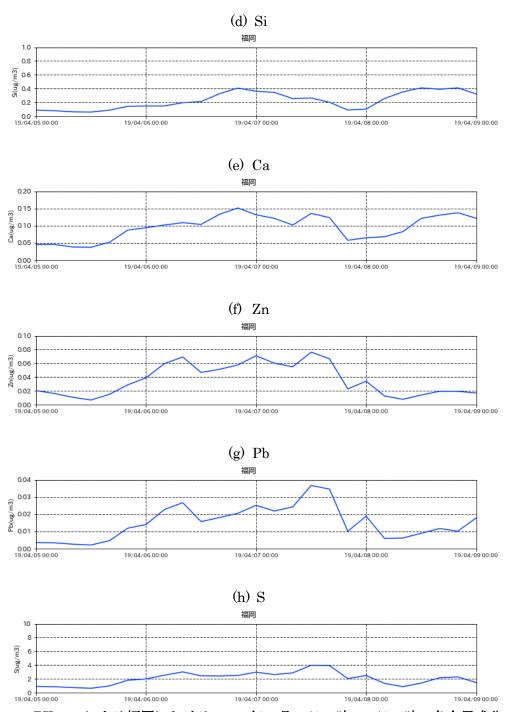


図 7-4-1-1 PX-375 による福岡における 2019 年 4 月 5 日 0 時~9 日 0 時の各金属成分の濃度

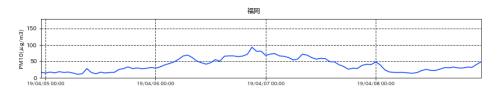


図 7-4-1-2 ACSA-14 による福岡における 2019 年 4 月 5 日 0 時~9 日 0 時の PM10 の濃度

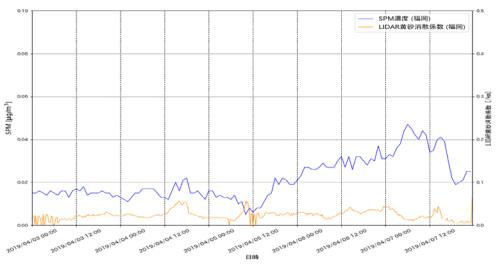
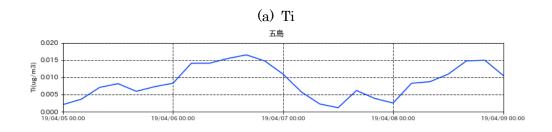
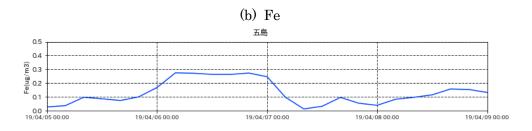
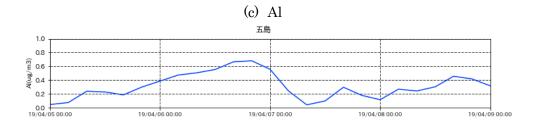
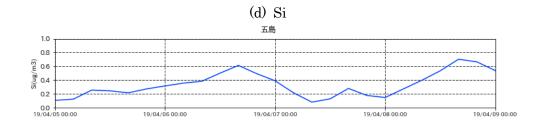


図 7-4-1-3 福岡におけるライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化









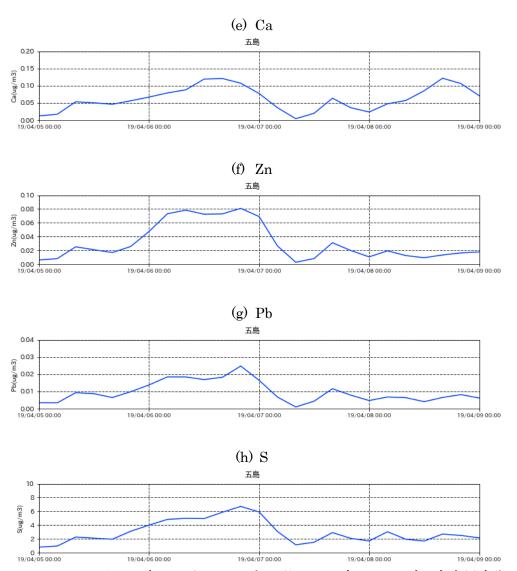


図 7-4-1-4 PX-375 による五島における 2019 年 4 月 5 日 0 時~9 日 0 時の各金属成分の濃度

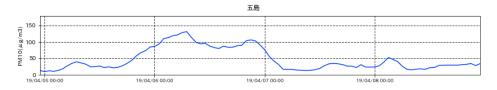
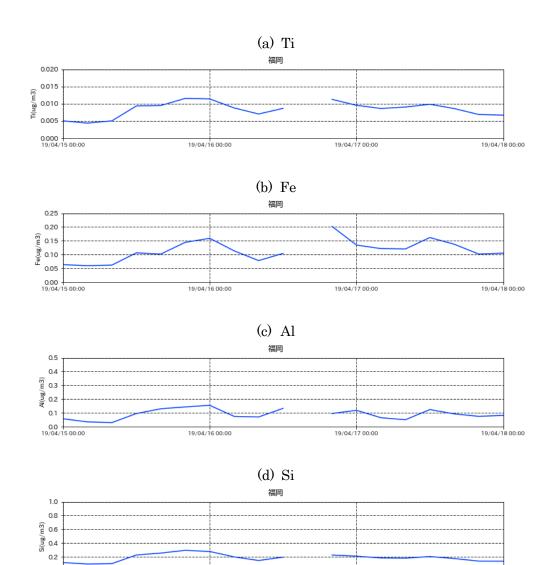


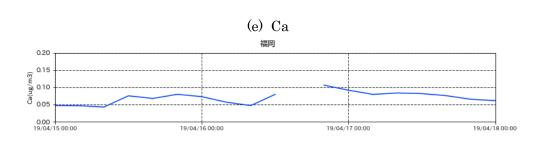
図 7-4-1-5 ACSA-14 による五島における 2019 年 4 月 5 日 0 時~9 日 0 時の PM10 の濃度

# (2) 黄砂事例 2:2019 年 4 月 16 日

本事例では大阪のみで黄砂が観測されたため、PX-375 のデータは福岡と五島での観測データを用いる。

図 7-4-1-6、図 7-4-1-9 はそれぞれ、福岡、五島における黄砂飛来時を含む各金属元素の時系列を示す。福岡では黄砂観測日の4月16日に欠損値がありその傾向が明確には見えないが、Fe、Zn など増加傾向にあるように見える。五島においては明確な増加の傾向は見られない。PM10、SPM についても同様に明確な増加傾向は見られないがライダー黄砂消散係数は増加している(図 7-4-1-7 図 7-4-1-8 図 7-4-1-10)

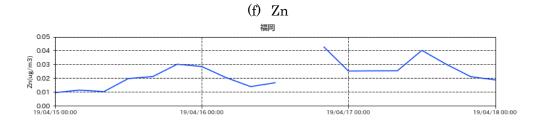




19/04/17 00:00

19/04/18 00:00

19/04/16 00:00



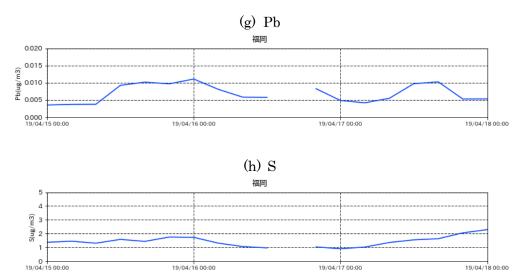


図 7-4-1-6 PX-375 による福岡における 2019 年 4 月 15 日 0 時~18 日 0 時の各金属成分の濃度

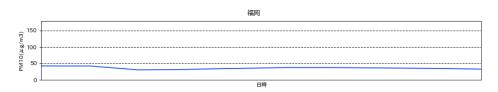


図 7-4-1-7 ACSA-14 による福岡における 2019 年 4 月 15 日 0 時~18 日 0 時の PM10 の濃度

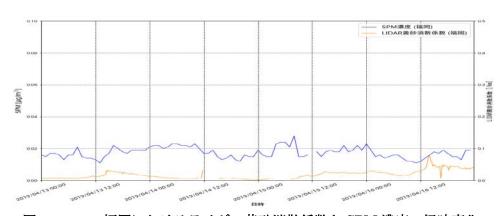
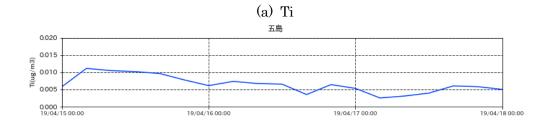
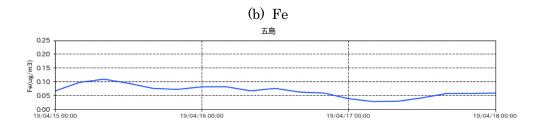
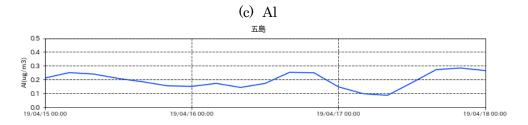
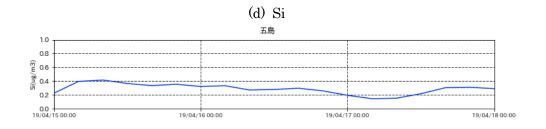


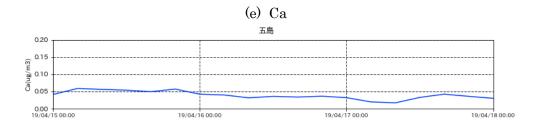
図 7-4-1-8 福岡におけるライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

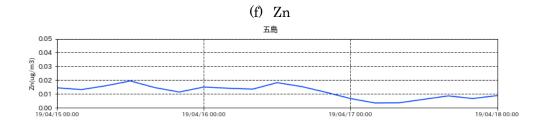


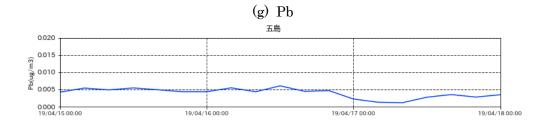












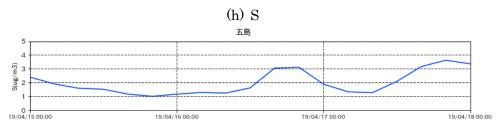


図 7-4-1-9 PX-375 による五島における 2019 年 4 月 15 日 0 時~18 日 0 時の各金属成分の濃度

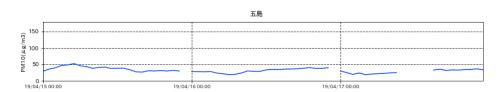
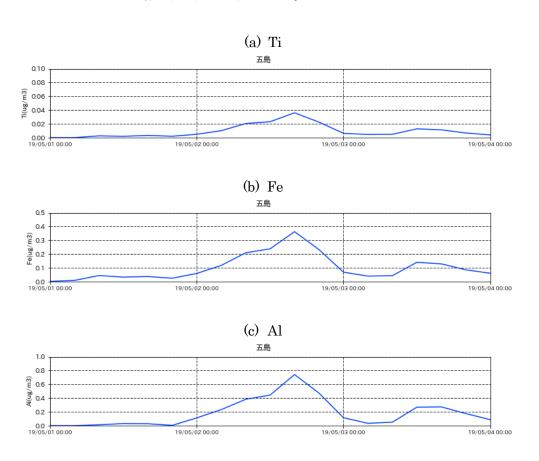


図 7-4-1-10 ACSA-14 による五島における 2019 年 4 月 15 日 0 時~18 日 0 時の PM10 の濃度

# (3) 黄砂事例 3:2019年5月2日

本事例では鹿児島のみで黄砂が観測されたが、この期間、福岡でのデータは欠損しているため PX-375 のデータは五島での観測データを用いる。

図 7-4-1- 11 は五島における黄砂飛来時を含む各金属元素の時系列を示す。黄砂が観測された 5 月 2 日に、黄砂起源に関連した元素である Ti、Fe、Al、Si、Ca で明確な増加が見られた。PM10 についてもこれと同様な傾向が見られた(図 7-4-1- 12)。これらは 5 月 2 日 16 時にピークとなりその後、減少しているが 5 月 3 日になり再び増加する元素も見られる。



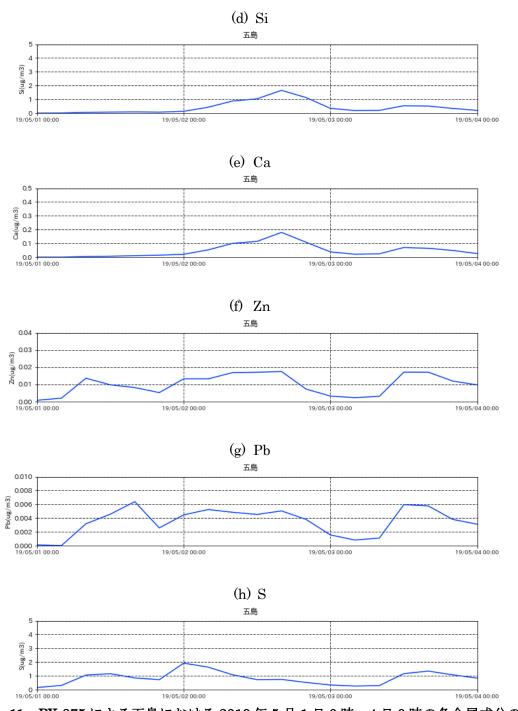


図 7-4-1-11 PX-375 による五島における 2019 年 5 月 1 日 0 時~4 日 0 時の各金属成分の濃度

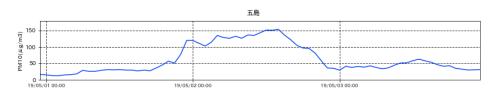
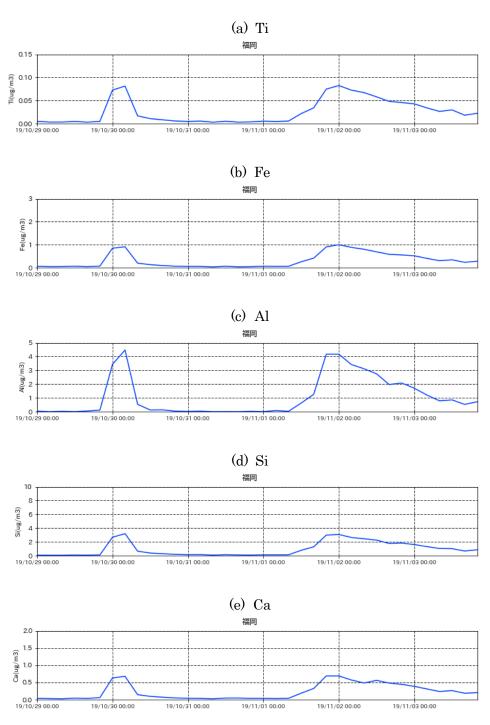


図 7-4-1-12 ACSA-14 による五島における 2019 年 5 月 1 日 0 時~4 日 0 時の PM10 の濃度

# (4) 黄砂事例 4:2019年10月30日~11月2日

本事例では名古屋以西で黄砂が観測されたので、PX-375 のデータは福岡と五島での観測データを用いる。

図 7-4-1-13、図 7-4-1-16 はそれぞれ、福岡、五島における黄砂飛来時を含む各金属元素の時系列を示す。福岡では、Ti、Fe、Al、Si、Ca、Zn、五島では、ほぼ全ての元素で、黄砂が観測された 10 月 29 日 20 時から増加が始まり 30 日 0 時から 4 時ころにピークを取り、その後、減少する第 1 の増加と、11 月 1 日 8 時ころから増加が始まり 11 月 2 日 0 時から 4 時ころにピークを取り、その後、減少する第 2 の増加を示した。この 2 度のピーク傾向は 2 PM 2 にも見られる(図 2 7-4-1-15、図 2 7-4-1-17)。



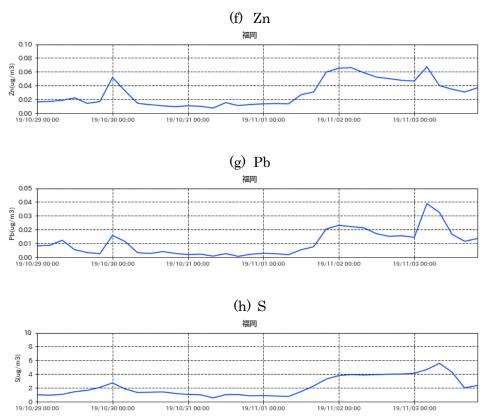


図 7-4-1-13 PX-375 による福岡における 2019 年 10 月 29 日 0 時~11 月 5 日 0 時の各金属成分の濃度

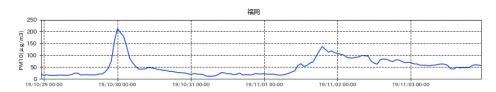


図 7-4-1-14 ACSA-14 による福岡における 2019 年 10 月 29 日 0 時~11 月 5 日 0 時の PM10 の濃度

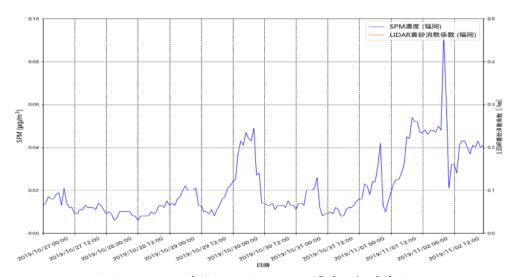
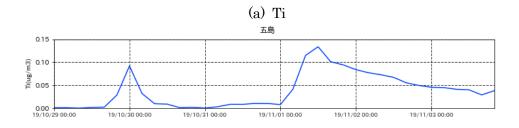
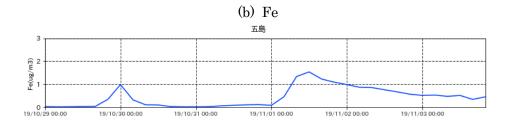
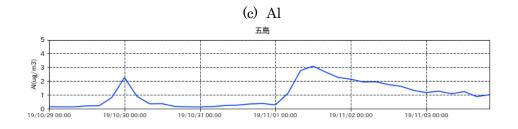
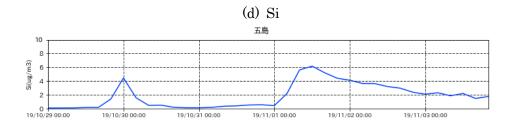


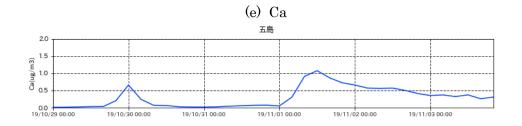
図 7-4-1-15 福岡における SPM 濃度の経時変化

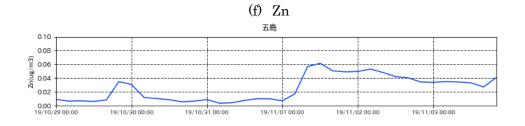












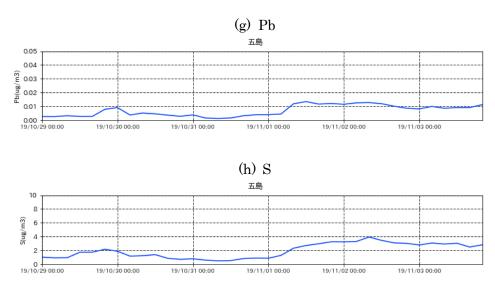


図 7-4-1-16 PX-375 による五島における 2019 年 10 月 29 日 0 時~11 月 5 日 0 時の各金属成分の濃度

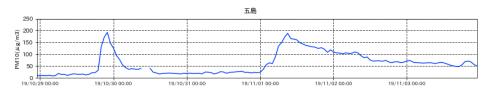


図 7-4-1-17 ACSA-14 による五島における 2019 年 10 月 29 日 0 時~11 月 5 日 0 時の PM10 の濃度

#### ② 2019 年度の黄砂日における各金属元素の相関

表 7-4-1-1 に各元素間の相関係数を示す。黄砂起源に関わる元素同士の相関、人為起源に関わる元素同士の相関(表 7-4-1-1 の青い背景の相関)は高い値を示しており、異なる起源に関わる元素間の相関(表 7-4-1-1 のオレンジの背景の相関)は低い値になっていることがわかる。また、図 7-4-1-18 はそれぞれの元素間の散布図を示す。同起源に関わる元素同士の散布図と異なる起源に関わる元素同士の散布図の特徴には明らかな違いがあり、前者は後者に比べばらつきが小さいことが分かる。また、異なる起源に関する元素同士の分布には異なる二つの直線があるように見える。これは、使用したデータが実際、黄砂が観測された時間を考慮していないもののため、黄砂以外の要因を除外できていないことが一つの理由であると考えられる。しかし今年度のデータで黄砂が観測された地点(PX-375 のある福岡)、時間でデータを調べたところデータ数が 5 つと少なく、相関解析には適さなかった

表 7-4-1-1 各元素間の相関係数。黄砂、人為起源、それぞれに関わる元素間の相関係数は青、異なる起源に関わる元素間の相関係数はオレンジの背景で記してある。

	Ti	Fe	Si	Ca	Al	Zn	S	Pb
Ti	1.000	0.995	0.997	0.994	0.990	0.578	0.309	0.484
Fe	0.995	1.000	0.990	0.993	0.993	0.647	0.379	0.553
Si	0.997	0.990	1.000	0.995	0.990	0.541	0.279	0.447
Ca	0.994	0.993	0.995	1.000	0.993	0.579	0.324	0.486
Al	0.990	0.993	0.990	0.993	1.000	0.634	0.399	0.547
Zn	0.578	0.647	0.541	0.579	0.634	1.000	0.843	0.964
S	0.309	0.379	0.279	0.324	0.399	0.843	1.000	0.867
Pb	0.484	0.553	0.447	0.486	0.547	0.964	0.867	1.000

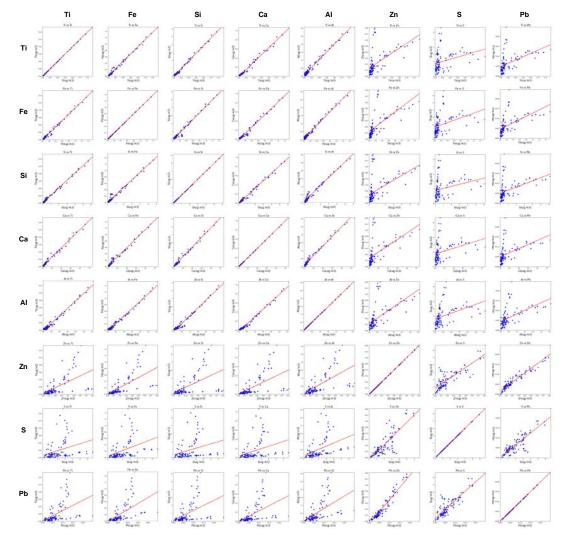


図 7-4-1-18 各元素間の散布図

# ③ 自治体データとの比較

図 7-4-1-1に PX-375 と自治体データを用いた各金属元素の黄砂時における濃度を示す。自治体デー タは年 4 季に分けて測定されているが、2019 年度の黄砂日では 2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日 (黄砂 事例 4) において測定が実施されている地点が多く、それ以外の黄砂日では測定はなかったので PX-375においても同期間を用いた。両データでは濃度の値は PX-375 の方が、Al の濃度で高めとなって いるが、Al、Fe の濃度が他と比較し高いこと、それに次いで Ti、Mn、Zn などの濃度が高くなってい ることなど、元素による濃度の傾向は一致していと言える。

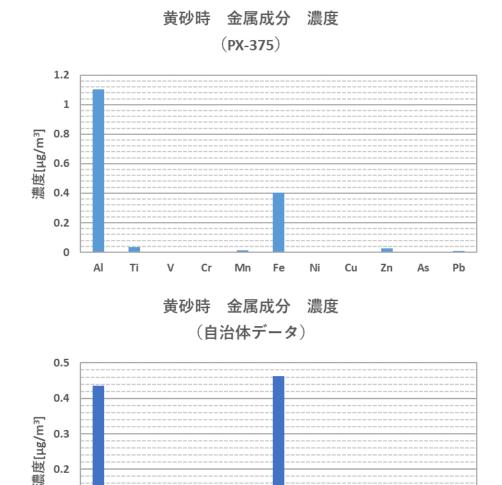


図 7-4-1-19 PX-375 と自治体データを用いた各金属元素の黄砂時における濃度の比較

Fe

Cu

Zn

Mn

Cr

#### 7.4.2 黄砂及び煙霧時における PM2.5 と PM10 の濃度比の特徴

0.3

0.2

0.1

黄砂及び煙霧時における PM2.5 と PM10 濃度比を算出し、その特徴について解析する。黄砂時には 比較的粒径の大きな粒子が、煙霧時には比較的粒径の小さな粒子が飛来している可能性が高いことから、 各地点の PM2.5/PM10 比を算出することにより、そのような傾向が把握できるかについて確認する。 またライダー観測や常監視 PM2.5/SPM 濃度比との整合性に着目して解析を行い、本データの黄砂検出

利用について検討する。ここでは、昨年度の報告書にもあるように PM10 濃度が高い時を考慮し、PM2.5/PM10 比を見ていく。

# (1) 黄砂事例 1 2019年4月6日~7日

図 7-4-2-1 に黄砂が観測された地点に近い観測値での PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の経時変化を示す。黄砂が観測された名古屋、大阪において PM2.5/PM10 が低くなっている状態が数時間継続していることが分かる。PM2.5、PM10 とそれらの比、PM2.5/PM10 を比較すると、特に名古屋における 4 月 6 日の 12 時頃、4 月 7 日の 16 時頃に PM10 が増加しピークを迎える前後は、PM2.5 がやや増加している。そのため、その比の減少は PM10 の増加によるものだということが分かる。Sugimoto et al. (2016) によると、アジア起源の輸送されたきたダストが微小粒子中に支配的であるならば、その比が 0.1-0.3 となっていることが言われているが、特に 4 月 6 日の 12 時ころの比はほぼ約 0.2 と小さい値となっている。大阪においても黄砂時に PM2.5/PM10 の減少が見られるが、PM2.5 と PM10 はほぼ同期して増減しているため名古屋のような傾向は明確には見られない。そのほかの地点においてはその比の減少は見られなかった。

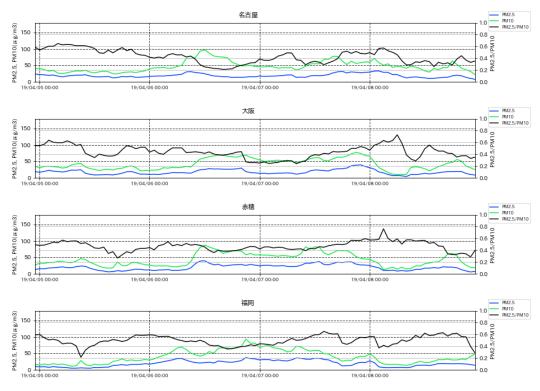


図 7-4-2-1 PM10 および PM2.5 と両者の比の経時変化

# (2) 黄砂事例 2 2019 年 4 月 16 日

図 7-4-2-2 に黄砂が観測された地点に近い観測値での PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の経時変化を示す。黄砂が観測された大阪において、PM2.5/PM10 が 4 月 15 日から減少傾向にある。PM2.5、PM10 とそれらの比、PM2.5/PM10 を比較すると、4 月 16 日の 10 時頃その比が極小値をとるが、PM2.5、PM10 共に減少しており、その日の減少が PM10 の増加によるものであると判断できない。一方、赤穂においては 19 時頃その比は極小値をとるがそれ以前からの PM10 は増加しており、PM2.5 は減少して

いないためその日の減少は PM10 の増加によるものと判断できる。名古屋においてはその比は増加していた。

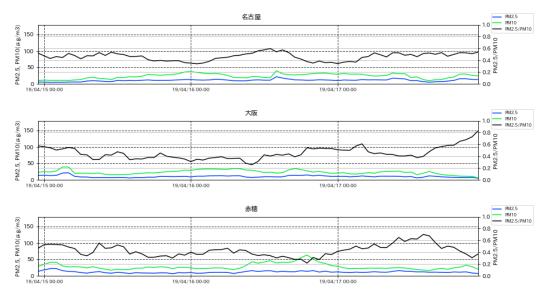


図 7-4-2-2 PM10 および PM2.5 と両者の比の経時変化

# (3) 黄砂事例 3 2019年5月2日

図 7-4-2-3 に黄砂が観測された地点に近い観測値での PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の経時変化を示す。この事例では 5 月 2 日に鹿児島で黄砂が観測されているが、同じ九州の福岡、五島において、その日の前後に PM10 の増加に伴い PM2.5/PM10 が低くなっている状態が数時間継続していることが分かる。特に五島ではその比が 0.2 に近い低い値の状態が継続している。その時間帯の PM2.5 は両地点で減少傾向にないため、その比の減少は PM10 の増加によるものであることが分かる。

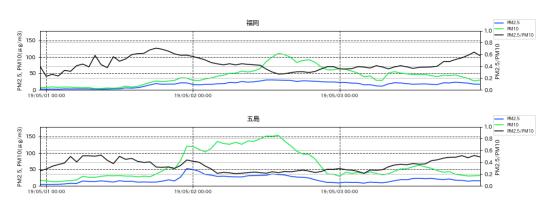


図 7-4-2-3 PM10 および PM2.5 と両者の比の経時変化

### (4) 黄砂事例 4 2019年10月30日~11月2日

図 7-4-2-4に黄砂が観測された地点に近い観測値での PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の継時変化を示す。ここで示す 4 地点すべてにおいて、大小はあるものの 2 度の PM10 の増加による PM2.5/PM10 の減少が見られる。名古屋、大阪、赤穂においては 1 度目の減少は 10 月 30 日の 9 時ころからの PM10 の増加に伴うその比の減少、2 度目は 11 月 1 日の 12 時頃からの PM10 の増加に伴うその比の減少である。これらの期間には M2.5 は減少傾向にないため、それらの比の減少は PM10 の増加によるものであ

ることが分かる。一方、福岡、五島でも上記と同様な、2度の PM2.5/PM10 の減少が見られるが 10月 30 日に見られた減少は、名古屋、大阪、赤穂より早い時間帯で見られる。これらの減少は 10月 29日 夜に急激に起こり、この時 PM10、PM2.5 ともに急激に増加し、これらはピークを迎えた後、急激に減少するが、それらの比は継続して低い値を保つ。このことは福岡、五島でも目視観測では観測できない深夜に黄砂が飛来した可能性を示唆する。

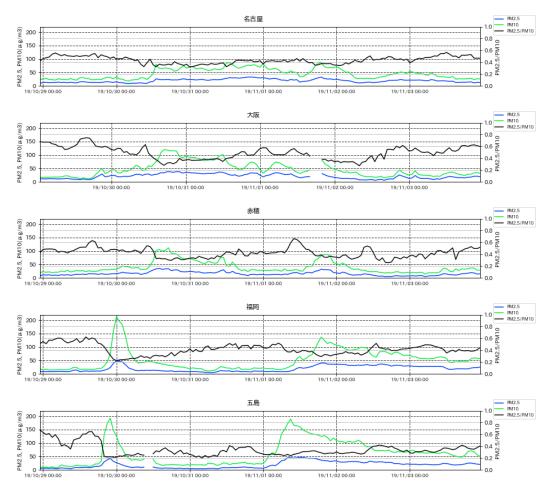


図 7-4-2-4 PM10 および PM2.5 と両者の比の経時変化

# (5) 煙霧事例 1 2020年2月6日

図 7-4-2-5 に煙霧日と判定された地点に近い観測値での PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の経時変化を示す。煙霧日と判定された北海道、東北地方の広範囲と北陸地方の金沢であったが、札幌、箟岳の PM10 はどちらも増加傾向になく PM2.5/PM10 の減少も見られなかった。また、新潟巻においては煙霧日以前からその比の減少が見られており、PM10 濃度も増加しているが、PM2.5 もやや減少傾向にあるため、その比の減少が PM10 の増加によるかの判断は不明である。

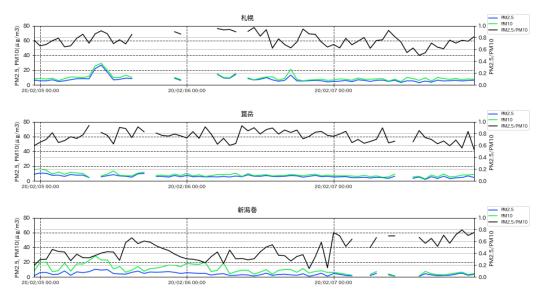
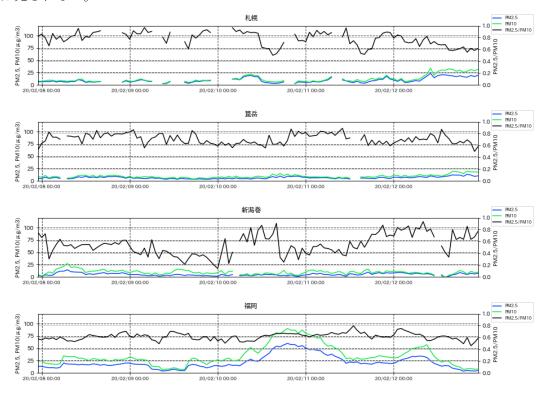


図 7-4-2-5 PM10 および PM2.5 と両者の比の経時変化

# (6) 煙霧事例 2 2020年2月9日~11日

図 7-4-2-6 に煙霧と判定された地点に近い観測値での PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の経時変化を示す。煙霧日と判定されたのは、2 月 9 日は北海道、東北地方と新潟、10 日は北海道、九州地方と下関、11 日は九州地方であった。この期間、札幌、箟岳においては PM2.5/PM10 比の減少は見られない。新潟巻では 2 月 9 日の 0 時頃から 10 日の 0 時頃までその比は減少傾向にあり、PM10 の増加も見られる。 PM2.5 に関してはほぼ一定となっているので、その比の減少が PM10 の増加によることを示唆している。九州地方においては PM10 の増加が明確に見られるが、同時に PM2.5 も増加しているのでその比の減少傾向は見られない。



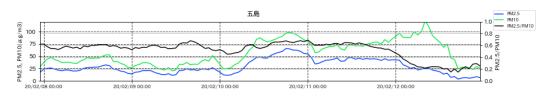


図 7-4-2-6 PM10 および PM2.5 と両者の比の経時変化

### 7.4.3 黄砂時における粗大粒子と微小粒子の成分濃度

ACSA-14 による観測では、PM2.5 質量濃度だけでなく、粗大粒子、微小粒子の成分濃度も同時に測定している。黄砂飛来時には、粗大粒子の濃度が高くなることが知られている。そのため、ここでは 2019 年度に気象台で観測された黄砂の 4 事例について、粗大粒子と PM10 の成分濃度を比較した。併せて PM2.5 の成分濃度も併記し、PM2.5 と粗大粒子の成分濃度比較も行った。

ACSA-14 によるデータのうち、PM2.5、PM10、SO $_4$ <sup>2</sup>、NO $_3$  を使用し、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 7-4-3-1 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	$\mathrm{fSO_4^{2^{-}}}$	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	$\mathrm{cSO_{4}^{2 ext{-}}}$	$\mathrm{cNO_{3}}^{\text{-}}$		
(PM10-2.5)	(図表中では cSO4 と表記)	(図表中では cNO3 と表記)		

表 7-4-3-1 本調査で使用する成分

#### (1) 黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日~7 日

本事例は名古屋と西日本の 3 地点での黄砂観測事例のため、名古屋、大阪、赤穂、福岡での  $fSO_4^2$ 、 $cSO_4^2$ 、PM2.5、PM10 の濃度推移と  $fNO_3$ 、 $cNO_3$ 、PM2.5、PM10 の濃度推移を図 7-4-3-1 に示した。また、図 7-4-3-2 には  $fSO_4^2$ 、 $cSO_4^2$ とそれらの比の濃度推移、 $fNO_3$ 、 $cNO_3$ とそれらの比の濃度推移を示した。

 $SO_4$ <sup>2</sup>·に関しては、どの地点においても、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度が  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度より高い値を示している。黄砂の観測された 4月6日0時頃から、PM10濃度、PM2.5濃度の増加とほぼ同期し、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度が増加している。しかし同日、午後からは黄砂の観測された名古屋、大阪で高い濃度を維持しているものの PM10が減少する一方、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·も減少し、 $cSO_4$ <sup>2</sup>·の増加が見られた。このことはそれぞれの比で明確に見られる。この PM10濃度の高い状況は 4月8日には黄砂飛来前の状況に戻っている。

一方、 $NO_3$ については、黄砂の観測された期間において  $cNO_3$  濃度が  $fNO_3$  濃度より高い傾向を示している。いずれの粒子も硫酸塩と同様な経時変化を示しており PM10、PM2.5 と同期している地点が多い。また、粗大粒子と微小粒子の比も一時的に減少するときもあるが、黄砂観測期間に高い傾向を示している。このことは黄砂の PM10 に、人為起源の粗大粒子が付着して飛来したことを示唆するものである。

本事例は黄砂観測期間に粗大粒子の硫酸塩、硝酸塩が増加した例と言える。

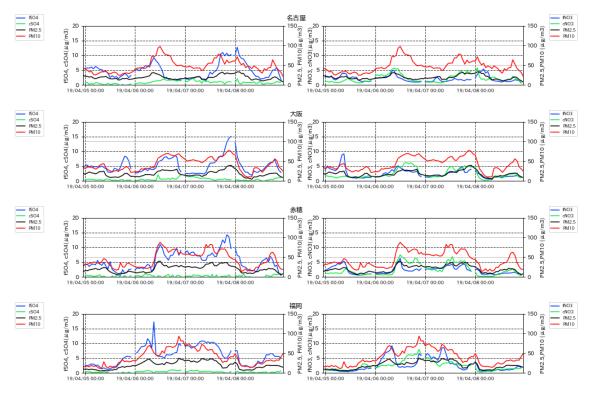


図 7-4-3-1 PM10 及び PM2.5 と微小粒子成分、粗大粒子成分の経時変化

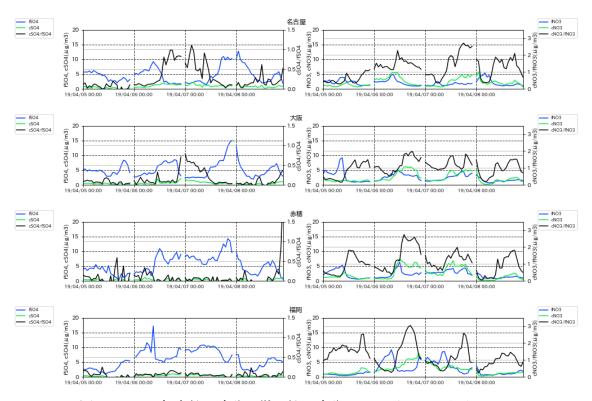


図 7-4-3-2 粗大粒子成分、微小粒子成分の SO<sub>4</sub>2-と NO<sub>3</sub>-及びその比

### (2) 黄砂事例 2 2019 年 4 月 16 日

本事例では大阪のみで黄砂が観測されたため、名古屋、大阪、赤穂でのそれぞれの濃度推移を図 7-4-3-3 に示した。また、図 7-4-3-4 には  ${\rm fSO_4}^2$ 、 ${\rm cSO_4}^2$ とそれらの比の濃度推移、 ${\rm fNO_3}$ 、 ${\rm cNO_3}$ とそれらの比の濃度推移を示した。

 $SO_4$ <sup>2</sup>·に関しては、どの地点においても  $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度が  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度より高い値を示している。黄砂の観測された大阪では 4 月 15 日 12 時頃から、PM10 濃度、PM2.5 濃度が増加し始め、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·の増加と、濃度が低いものの  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度とほぼ同期している。その後、それらは 4 月 16 日には一時の減少を除き、高い値を維持し、17 日には増加前の状況に戻る。この傾向は名古屋でも見られた。また、粗大粒子と微小粒子の比は名古屋と大阪で増加している。これは粗大粒子の  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度の増加によると思われる。この増加は 4 月 17 日には黄砂飛来前の状況に戻っている。

一方、 $NO_3$ :については、大阪で黄砂の観測された期間において、名古屋、赤穂で  $cNO_3$ :濃度が  $fNO_3$ :濃度より高い傾向を示している。大阪ではその逆の傾向になっている。黄砂が観測された 4 月 16 日には粗大粒子の  $cNO_3$ :濃度が減少しており微小粒子の  $fNO_3$ :濃度は増加している。このことは粗大粒子と微小粒子の比で明確に現れており、黄砂粒子に付着している人為起源  $cNO_3$ :が少ないことを示唆する。

本事例は黄砂観測期間に微小粒子、粗大粒子の硫酸塩、濃度は低いものの微小の硫酸塩が増加した例と言える。

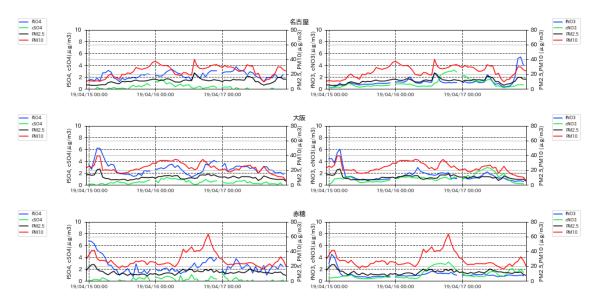


図 7-4-3-3 PM10 及び PM2.5 と微小粒子成分、粗大粒子成分の経時変化

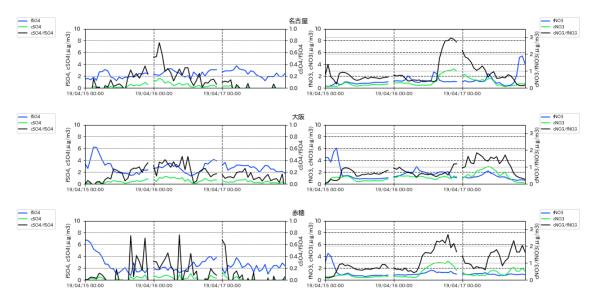


図 7-4-3-4 粗大粒子成分、微小粒子成分の SO<sub>4</sub>2-と NO<sub>3</sub>-及びその比

# (3) 黄砂事例 3 2019年5月2日

本事例では鹿児島のみで黄砂が観測されたため、福岡、五島でのそれぞれの濃度推移を図 7-4-3-5 に示した。また、図 7-4-3-6 には  $fSO_4$ <sup>2-</sup>、 $cSO_4$ <sup>2-</sup>とそれらの比の濃度推移、 $fNO_3$ -、 $cNO_3$ -とそれらの比の濃度推移を示した。

 $SO_4$ <sup>2</sup>·に関しては、どの地点においても  $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度が  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度より高い値を示している。両地点共に 鹿児島で黄砂が観測される前日の午後から PM10、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度の増加が始まっており、福岡ではその両者と、濃度は小さいものの  $cSO_4$ <sup>2</sup>·も同期している。その後、福岡での PM10、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度は 5 月 2 日の 12 時前後にピークを取ったあと減少傾向となる。一方、五島においては、5 月 1 日の濃度の増加時期は一致しているが、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·のほうが先に減少傾向となり、5 月 2 日になると急激に濃度が減少している。 PM10 と  $cSO_4$ <sup>2</sup>·は同期しているように見える。 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度と  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度の比は 5 月 2 日に増加している。 これは  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度の増加によると思われる。

一方、 $NO_3$  については、黄砂の観測された期間において、両地点においても、 $cNO_3$  濃度が  $fNO_3$  濃度 より高い傾向を示しており、粗大粒子の  $cNO_3$  濃度が PM10 と同期している。 $fNO_3$  濃度と  $cNO_3$  濃度 の比は 5 月 2 日の PM10 と同期して増加し、5 月 3 日午前にかけて減少しているが、その後、3 日の午後にも上昇し高い値を示した。黄砂観測日の粗大粒子の  $cNO_3$  濃度の増加は黄砂粒子に  $cNO_3$  が吸着して飛来したことを示唆する。

本事例は黄砂観測期間に濃度は低いものの粗大粒子の硫酸塩、粗大粒子の硝酸塩が増加した例と言える。

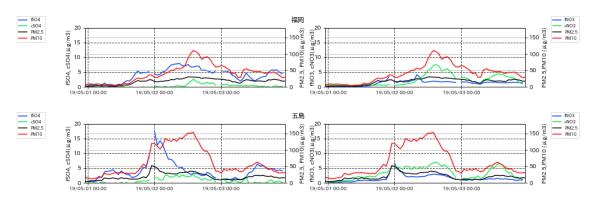


図 7-4-3-5 PM10 及び PM2.5 と微小粒子成分、粗大粒子成分の経時変化

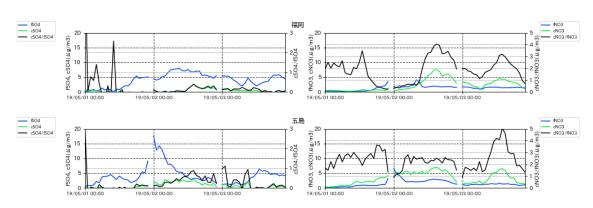


図 7-4-3-6 粗大粒子成分、微小粒子成分の SO42 と NO3 及びその比

#### (4) 黄砂事例 4 2019 年 10 月 30 日~11 月 2 日

本事例は名古屋と西日本の 3 地点、福岡での黄砂観測事例のため、名古屋、大阪、赤穂、福岡でのそれぞれの濃度推移を図 7-4-3-7 に示した。また、図 7-4-3-8 には  $fSO_4$ <sup>2</sup>・ $cSO_4$ <sup>2</sup>・ $eSO_4$ <sup>2</sup>とそれらの比の濃度推移を示した

 $SO_4$ <sup>2</sup>·に関しては、どの地点においても、 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度が  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度より高い値を示している。大阪、赤穂においては黄砂の観測された 10 月 30 日 12 時頃から、PM10 濃度が急激に増加し始め、同日中にピークを迎え、その後、減少に転じる。その後、赤穂においては 11 月 1 日 13 時頃から再び増加に転じる、同日 21 時頃のピークを境に再び減少に転じる。 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度の経時変化は黄砂の観測された 10 月 30 日から、PM10 の変化と同期している。また、 $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度についても濃度は低いものの同様な傾向が見られる。大阪においてはデータ欠損のため、2 度目のピークは見えていないが、データ欠損期間の前後は赤穂と同様の傾向となっている。また、名古屋においてはこの二つのピークの傾向は不明確である。福岡、五島においては全ての粒子が同期している。 $fSO_4$ <sup>2</sup>·濃度と  $cSO_4$ <sup>2</sup>·濃度の比には明確な傾向は見られなかった。

一方、 $NO_3$ :については、黄砂の観測された期間において  $cNO_3$ :濃度が  $fNO_3$ :濃度より高い傾向を示している。名古屋、大阪、赤穂においては PM10、PM2.5、 $cNO_3$ :濃度が同期し、福岡、五島では全ての粒子が同期している。前者の 3 地点においては、黄砂が観測された期間、増加と減少を繰り返し少なくとも 3 度のピークが見られる。このことは  $fNO_3$ :濃度と  $cNO_3$ :濃度の比に明確に現れており、粗大粒子の

 $cNO_3$ が付着した黄砂粒子が断続的に飛来したともみられる。また、福岡、五島においては 2 度目のピークの  $cNO_3$ 濃度が  $10\mu g/m^3$ 以上と、比較的高い濃度となっており、粗大粒子と微小粒子の比も比較的高くなっていることが分かる。

本事例は黄砂観測期間に微小粒子と、黄砂粒子に付着した粗大粒子の硝酸塩が断続的に飛来し、濃度が増加した例と言える。

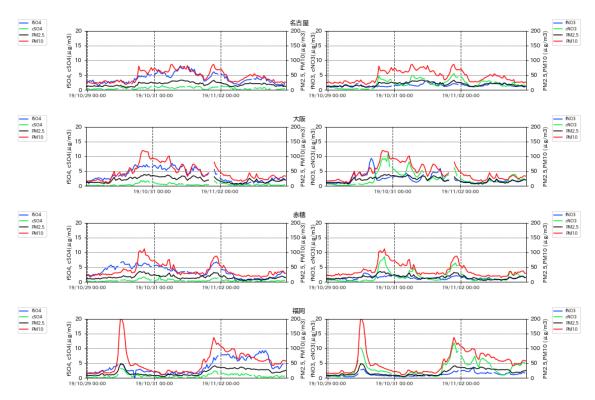


図 7-4-3-7 PM10 及び PM2.5 と微小粒子成分、粗大粒子成分の経時変化

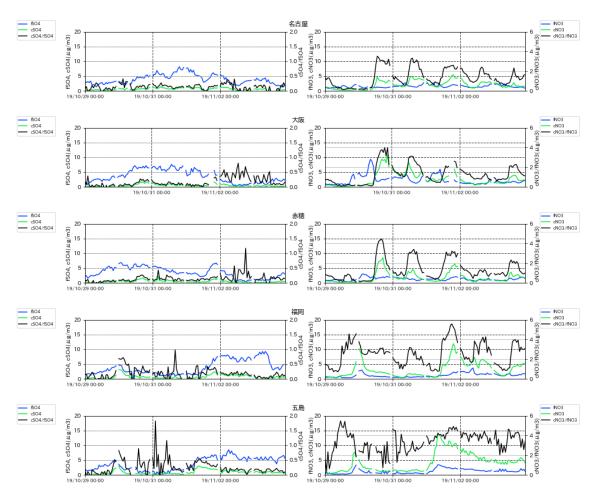


図 7-4-3-8 PM10 及び PM2.5 と微小粒子成分、粗大粒子成分の経時変化

#### 7.4.4 海塩粒子の影響の検討

海洋大気中の粒子状硝酸塩は主に粒形の大きな(PM10)海塩粒子の表面に吸着して存在する。そのため粗大粒子の硝酸塩から海塩粒子の影響を除去し、cNO3・濃度を検討する必要がある。しかし、吸着している粒子は硝酸塩のみでなく例えば硫酸塩も吸着している可能性があり、両者の吸着の割合はわからない。また、海塩粒子中の反応性や揮発性のある Cl-は、他の汚染物質と反応し空気中では損失している可能性がある。

また、海水起源の NaCl 濃度を得るためには Na を基に計算し求めることが適切であり、海水の場合、 Cl/Na=1.80 なので、これを基に Cl を計算することが可能である。しかし、ここでは ACSA-14 の実測 データと、上の Cl/Na 比から求めた NaCl 濃度の推測値を単純に比較することは適切ではない、そのため、ここでは、 $Na^+$ 、 $cNO_3$ 、 $cSO_4$ 2、PM10 の濃度を比較する。

 $Na^+$ のデータとしては空気中イオンモニター (URG9000D) により福岡で測定されたデータを用いる。 2019 年に観測された黄砂日のうち 4 月 6 日、7 日と 5 月 2 日で URG9000D のデータが存在するので この期間で解析を行う。

### (1) 黄砂事例 1 2019 年 4 月 6 日~7 日

図 7-4-4-1 に黄砂事例 1 の期間における  $cNO_3$ 、 $cSO_4$ 2-、Na+、PM10 の経時変化を示す。黄砂の観測された期間、福岡で測定された Na+の濃度は、若干高くなるものの、粗大粒子の  $cNO_3$ --濃度と比較し低く、海塩粒子の影響はあまり見られないものと思われる。

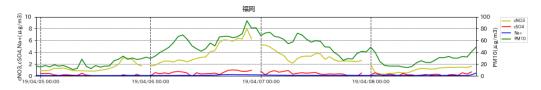


図 7-4-4- 1 cNO3・、cSO42・、Na+、PM10 の経時変化

# (2) 黄砂事例 3 2019 年 5 月 2 日

図 7-4-4-2 に黄砂事例 3 の期間における  $cNO_3$ 、 $cSO_4$ <sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、PM10 の経時変化を示す。黄砂の観測された期間、福岡で測定された海塩粒子の濃度は、黄砂事例 1 と比較し高いが、粗大粒子の  $cNO_3$ <sup>-</sup> 濃度と比較し低くなっている。

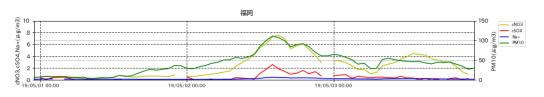


図 7-4-4-2 cNO<sub>3</sub>-、cSO<sub>4</sub>2-、Na+、PM10 の経時変化

自動測定機 PX-375、ACSA-14 のデータと、PM2.5、PM10、SPM、ライダー黄砂消散係数、自治体による測定データなど様々なデータを比較することにより、それらデータの整合性を確認し、本データの黄砂検出の可能性を検討した。SPM データは黄砂飛来時に増加傾向にあった。また、自治体により測

定されているデータと PX-375 によるデータの比較により、黄砂時における各種金属元素の濃度の傾向は一致していた。それぞれの黄砂事例で、経時変化の濃度の増減などの傾向が、各金属元素、PM10、粗大粒子の硝酸イオン成分で同様な変化をしていることが分かった。また、黄砂目における PM2.5/PM10 の経時変化をみたところ、その値は黄砂飛来期間に小さくなる傾向にあった。PM10 とこれを比較すると黄砂飛来時には PM10 が増加し、PM2.5 はほぼ一定、または増加傾向にある時間帯が多く、その比の減少は PM10 の増加によることが示唆された。また、自動測定機 URG9000D の Na+濃度データを用い、その硝酸塩濃度への影響の検討を試みた。

上記の結果は、自動測定機データの黄砂検出への可能性を示しており今後のデータの蓄積と、さらなる詳細なデータの解析を通して、その可能性を高めていくことができることを示唆している。

# 8 2010 年度を対象とした黄砂検出手法の検討

# 8.1 黄砂観測地点数減少により、未観測となった黄砂日

黄砂による生活・健康への影響を把握するためには、国内の黄砂飛来状況を把握することが必須である。しかし、2020 年 2 月に、わが国の黄砂観測地点は全国 59 箇所から 11 箇所に減少した。それに伴い過去の黄砂日の中には、その日の黄砂観測地点に現在の 11 地点が含まれていた場合を除き、黄砂日として公開されなくなった例が存在する。ここでは、このような観測地点の減少に伴い公開されなくなった黄砂日に注目し、以下のような黄砂検出手法を適用することで、観測地点の減少を補うことが可能であるか検討を行った。そのため過去の黄砂日として、直近 10 年で最も黄砂が観測された 2010 年度を対象に、59 地点時と 11 地点時の黄砂観測日の比較をした(表 8-1-1)。

表 8-1-1 2010 年度における 59 地点時と 11 地点時の黄砂観測日の比較

年	月	日	59 地点時		11 地点時	
平			黄砂観測の有無	観測地点数	黄砂観測の有無	観測地点数
	4	2	0	9	0	1
	4	3	0	5	0	1
	4	27	0	13	0	4
	4	28	0	5	0	2
	4	29	0	6	0	1
	4	30	0	23	0	6
	5	1	0	11	0	3
	5	2	0	1	0	1
	5	3	0	11	0	2
	5	4	0	31	0	6
	5	5	0	26	0	5
	5	6	0	6	×	_
	5	9	0	2	0	1
	5	11	0	1	×	_
	5	12	0	3	×	_
2010	5	20	0	2	×	_
2010	5	21	0	23	0	4
	5	22	0	21	0	5
	5	24	0	4	0	1
	5	25	0	21	0	6
	5	26	0	3	0	1
	11	12	0	36	0	9
	11	13	0	29	0	7
	11	14	0	28	0	4
	11	15	0	14	0	4
	12	3	0	29	0	6
	12	4	0	5	0	1
	12	5	0	1	×	_
	12	11	0	13	0	3
	12	12	0	1	×	Ī
	12	23	0	6	0	1
	12	24	0	3	×	Ī
2011	3	20	0	2	0	1

その結果、2010年度は、59地点時には34日黄砂が観測されていたが、11地点時には27日となり、計7日間の黄砂が観測されないこととなった。経年変化で見ると地点減少前後で傾向は変化していないものの、少なからず黄砂として観測されない日が存在していることは事実である。

このような観測地点の減少を補い、わが国に飛来する黄砂を正確に把握するためには、定量的な指標に基づいた黄砂判定基準の確立が重要と考える。これまでは、ライダー観測結果を用いて、黄砂飛来を示す手法の検討が行われてきたが、以下の3点が課題として指摘されている。

- ① 薄い黄砂層の探知に加え、ライダー観測の原理上、小雨や霧等が発生している場合には大気中の水滴が障害となり観測が行えない
- ② 荒天時の黄砂を探知に適用することができない可能性がある
- ③ 雲の上にあるような上空の黄砂の探知に適用することができない可能性がある

これら問題点を解消すべく、以下の3つの手法を用いて、11地点時に減少した際に黄砂として観測されなくなった7日間の検出可否について、検討を行った。

# 8.2 ライダーデータを用いた黄砂検出手法の検討

本報告書 7.1 において、ライダー黄砂消散係数と SPM の相関による条件①~④を用いて、弱い黄砂日の検出の検討を行った。ここでは同様の手法により、上記 7 日間の事例が条件①~④を満たしているか否かを調べた。2010 年のライダーデータが入手できた東京・つくば・富山の 3 地点について、条件④であるライダー黄砂消散係数が 0.05/km 以上となるような事例を抜き出したところ、9 事例抽出された。その中から、条件②を満たす、測定時間が 16 時間以上存在する場合が東京及び富山の 2 事例、測定時間が 12~ 15 時間存在する場合がそれぞれ東京及び富山の 2 事例存在した。ただ、これらの計 4 事例について SPM 日最大値を調べたところ、いずれも 50μg/m³以上とならず条件③が満たされなかった。そのため、上記 7 日間については、ライダー黄砂消散係数と SPM の相関による検出手法ではいずれも黄砂日とは判定されない結果となった。なお、富山における 5 月 6 日の事例については、SPM 最大値を 40μg/m³以上 50μg/m³未満という条件に緩和した場合に、黄砂日と判定された。

# 8.3 PM2.5/SPM の濃度比利用した黄砂観測手法の検出

黄砂粒子は粗大であることから、飛来時には PM2.5/SPM の濃度比は極端に小さくなる。そこで、黄砂飛来時における典型的な濃度比を算出し、それを用いて、黄砂日の特定が可能か検討を行った。また、明らかに黄砂が飛来している瞬間の同濃度比を整理することで、ライダー観測が行われない上記の②荒天時においても、黄砂飛来を示すことが可能か否かについて検討を行う。

# (1) 黄砂観測日及び黄砂日ではない日における PM2.5/SPM 比の時系列変化の比較

以下では、検討の方針について述べる。まず比較対象として、目視観測された過去の黄砂日について、 黄砂観測地点における PM2.5/SPM の比の経時変化を確認する。図 8-3-1 に、2010 年 4 月の福岡にて、 黄砂飛来前後の状況における PM2.5/SPM 比の経時変化及び PM2.5、SPM 濃度の時間値データを示し た。気象庁によれば、2010 年 4 月 28 日に広島及び那覇で、翌 29 日に那覇で、30 日には福岡を始め、 広島、大阪、鹿児島、高松、那覇の 6 地点で黄砂が観測されており、福岡では、30 日の 11 時から 20 時 まで黄砂が観測された。その後も5月上旬まで断続的に黄砂が観測される日が続いたが、5月5日以降は11月まで観測されない期間が続いていた。

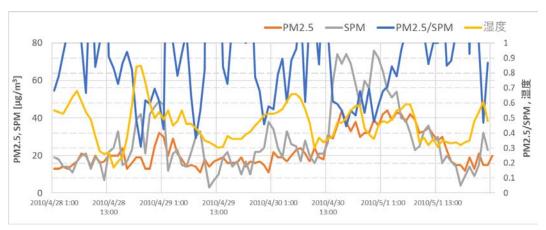


図 8-3-1 黄砂時における PM2.5/SPM 比(2010 年 4 月、福岡)

図 8-3-2 に 5 月 9 日の福岡における PM2.5/SPM 比の時系列変化を示した。5 月 9 日は、大阪で黄砂が観測されており、福岡では黄砂が観測されていない日である。黄砂観測日である 4 月 30 日(図 8.3-1)と、黄砂が観測されていない 5 月 9 日(図 8-3-2)を比較することで、黄砂時の PM2.5/SPM 比の経時変化の傾向を読み取ることができると考えた。結果、黄砂が観測された 4 月 30 日は 13 時から午後にかけて、PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇が確認できたが、黄砂が観測されていない 5 月 9 日は同様の変動は確認できなかった。このような変動は、他の黄砂日でも同様に表れており、PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇が黄砂飛来時の傾向として考えられる。

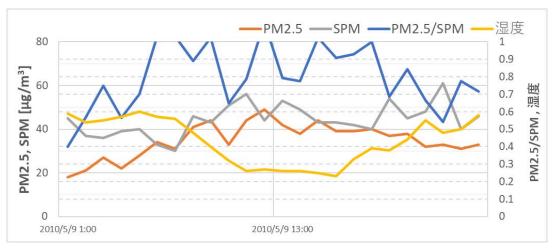


図 8-3-2 黄砂が飛来していない状況での PM2.5/SPM 比(2010 年 5 月、福岡)

#### (2) 11 地点時に減少時に黄砂日ではなくなった日における PM2.5/SPM 比の時系列変化

(1)で黄砂時の濃度推移傾向が確認できたため、黄砂観測地点減少時に黄砂日でなくなった7日間を対象にPM2.5/SPM 比の経時変化を確認したところ、以下の図8-3-3の通りとなった。また、今回はライダーデータとの整合も図るため、2010年度のライダーデータが入手可能な富山県における常時監視データを使用している。

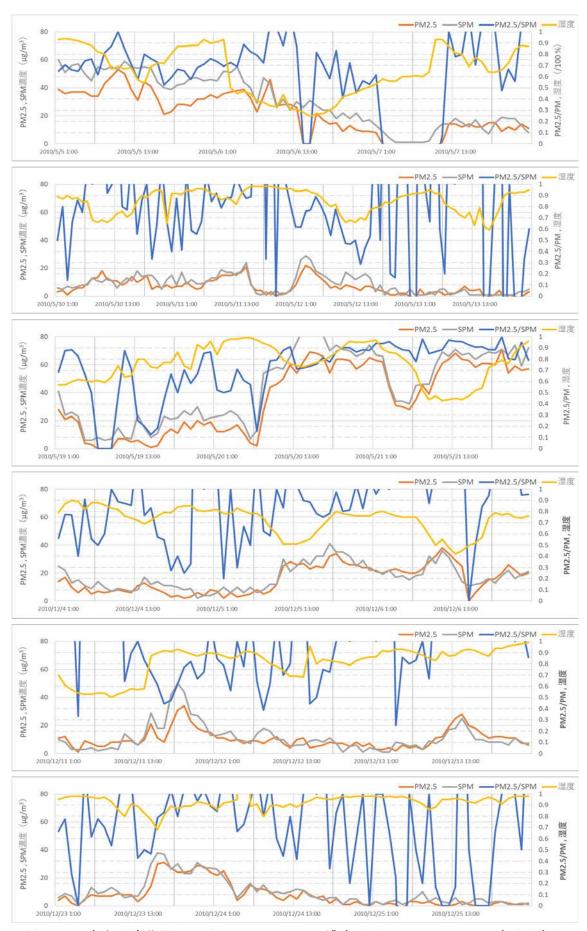


図 8-3-3 解析対象期間における PM2.5、SPM 濃度及び PM2.5/SPM 比の時系列変化

5月6日、11日及び12月5日は図 8-3-3 に見られるような PM2.5/SPM 比の変動は確認できなかった。一方、5月12日は2時頃と14時頃に PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇が確認できた。 PM2.5/SPM 比の値としてはあまり小さくなっていないものの、黄砂時の変動と似た傾向を表すことから、黄砂が飛来している可能性が示唆された。5月20日も12日と同様に、7時頃に PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇が確認でき、黄砂が飛来している可能性が示唆された。12月12日及び24日は、それぞれ前日に黄砂が観測されており、図 8-3-3からも PM2.5/SPM 比の減少と PM2.5、SPM 濃度の上昇が見られたが、12日及び24日は同様の変動を確認できなかった。

以上の結果より、11 地点減少時に黄砂日として観測されなくなった 7 日間のうち、5 月 12 日と 20 日は黄砂が飛来している可能性があることが示唆された。だが、現段階では、黄砂検出の指標としての PM2.5/SPM 比の有効性を明確に示すことはできなかった。黄砂の判定手法としては、PM2.5/SPM 比だけで判断するのではなく、他の指標値と組み合わせることで、黄砂判定の手法として用いることが可能であると考えている。

# 8.4 SPM 濃度頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討

的場ら(2005)では、SPM 濃度の頻度分布は、黄砂が飛来していないときは正規分布に似た一山型であるが、黄砂飛来時においては、二山型になることを報告しており、この傾向を用いることで黄砂日の特定が可能であると結論づけられている。この手法の利点は、頻度分布の形の確認が主体となるため、目視観測が難しい時間帯の黄砂に有効と考えられる。本作業では、この手法の適用可能性について検討を行った。

# (1) 使用したデータ

的場ら (2005) では、SPM 濃度をβ線吸収法で測定していること、低濃度時の測定値のばらつきが少ないこと、黄砂がよく飛来する西日本の日本海側を広くカバーすることの点から、京都府宮津市、兵庫県豊岡市、岡山県倉敷市、津山市、山口県山口市、福岡県小郡市、大牟田市を対象地点としている。本作業でも同様の地点を対象とし、2010 年度に測定された SPM の 1 時間値データを使用した。

# (2) 閾値の設定

これまでの研究では、SPM 濃度の環境基準値である  $100\mu g/m^3$  を閾値とし、それを超えたときの黄砂現象の評価が行われてきたが、的場ら(2005)では、黄砂現象を判定するための閾値を一律で設定するのは適切ではないとし、閾値の設定方法を検討している。図 8-4-1 に 1999 年 1 月から 5 月に宮津市で測定された SPM 濃度の頻度分布を示した。図 8-4-1 より、頻度分布は、 $20\mu g/m^3$  を中心とする正規分布と、 $45\mu g/m^3$ 以上の分布が重なった二峰性の分布を示している。このような二峰性の分布は、 $45\mu g/m^3$ 以下の濃度分布が通常の環境条件下の分布であり、その高濃度側に通常とは異なる環境条件下の高 SPM濃度の分布が表れていると的場ら(2005)では解釈しており、第一近似として二峰性分布の谷間の値を、黄砂を検出する閾値と設定している。本作業も同様の手法を用いて閾値を設定し、2010 年度の各地点の閾値を表 8-4-1 にまとめた。なお、SPM 濃度の頻度分布に二峰性を示さなかった年のデータは解析対象から除外した。

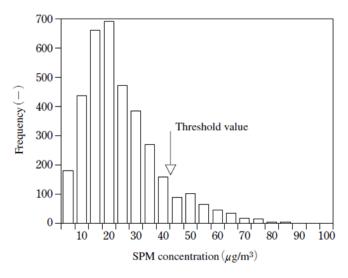


図 8-4-1 1999 年 1 月~5 月における宮津市で観測された SPM 濃度(的場ら(2005))

*** · · · · · · · · · · · · ·	
観測地点	2010 年度閾値
宮津	_
豊岡	
倉敷	90
津山	60
山口	95
小郡	100
大牟田	95

表 8-4-1 2010 年度における SPM 濃度の閾値

# (3) 局所イベントの除去

(2)の条件で抽出された SPM 高濃度を示した日時は、黄砂が飛来した時だけではなく、様々な局所的、 広域的な気象要因、気象イベントによって引き起こされた場合も含まれているため、黄砂以外の要因で SPM 濃度が増加した日時を除去する必要がある。黄砂飛来時には、県域を超える広域範囲で SPM 濃度の上昇が観測されているため、SPM 濃度の上昇が広域で観測されなかった場合は局所的なイベントである可能性が高いと、的場ら(2005)では述べている。局所的な要因によって SPM 濃度が上昇した場合を除く条件として、7ヵ所の測定局を①宮津・豊岡、②津山・倉敷、③山口・小郡・大牟田の 3 ブロックに分け、あるブロック内で抽出された高濃度 SPM が他のブロックで前後数時間以内に抽出されない場合は、その日時を局所イベントと判断し除外した。

#### (4) 抽出結果の検討

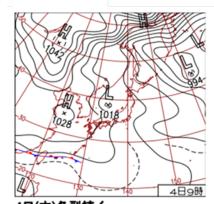
(1)~(3)の手法により抽出された SPM 黄砂日を表 8-4-2 にまとめた。的場ら(2005)の手法により抽出された SPM 黄砂日は計 7 日間あり、うち 3 日間は気象庁の黄砂観測でも黄砂が観測されていた。また、5 月 21 日は、59 地点時には黄砂日として観測されていたが、11 地点に黄砂観測地点が減少したことにより、黄砂日として除外されていたが、2 の手法を用いることで、5 月 21 日を SPM 黄砂日として

表 8-4-2 2010 年度における的場ら (2005) の手法で抽出された SPM 黄砂日

年	月日	気象庁での黄砂観測の有無 (○:気象庁で黄砂が観測された日)		
		11 地点	59 地点時	
	5月4日	0	0	
9010 年	5月5日	0	0	
2010年	5月20日		0	
	5月21日	0	0	
	2月4日			
2011年	2月5日			
	3月15日			

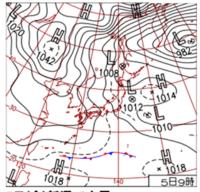
次に SPM 黄砂日として抽出されたが、気象庁で黄砂を観測していない 2011 年 2 月 4 日、5 日、3 月 15 日の 3 日間を対象に更なる解析を行った。Iwamoto ら(1993)では、SPM 濃度の日平均が環境基準を超えた日の気圧配置を、黄砂型、移動性高気圧型、夏型に分類している。図 8-4-2 に 2011 年 2 月 4 日、5 日、3 月 15 日における気圧配置を示したが、3 月 15 日は中国黄土地帯に低気圧が確認でき、黄砂型の気圧配置であったと考えられるが、2 月 4 日、5 日は中国の大陸上に高気圧があり、黄砂型の気圧配置に当てはまらないと考えられる。

# 2011年2月



# 4日(木)冬型続く

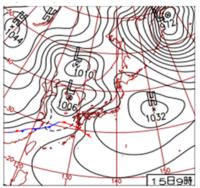
北海道付近の上空約5000mに-45℃の 非常に強い寒気が流れ込み、日本付 近は冬型気圧配置が続く。北海道占 冠で最低気温-34.4℃、日高町本町で は観測史上1位となる-27.8℃。



#### 5日(金)新潟で大雪

冬型の気圧配置が続き、北日本中心 に強い寒気が流れ込む。北日本では 連日の冷え込みで、北海道占冠では 最低気温-33.1℃。新潟では26年ぶり に積雪80cmを超える81cm。

# 2011年3月



#### 15日(月)西から下り坂

日本海と本州南岸を前線や低気圧が 通過。暖かく湿った南風が強く、西 日本の南岸で激しい雨や雷雨。北海 道は雪。愛媛県伊方町瀬戸で最大瞬 間風速32.6m/s。近畿で春一番。

図 8-4-2 2011 年 2 月 4 日、5 日、3 月 15 日における気圧配置

気圧配置が黄砂型に当てはまらない 2 月 4 日、5 日について、日本に飛来した気塊の通過経路を確認するため、NOAA の HYSPLIT を用いて後方流跡線解析を行った。的場ら(2005)の手法に則り、対象地域のほぼ中間点に位置する隠岐島を起点とした後方流跡線を図 8-4-3 に示した。

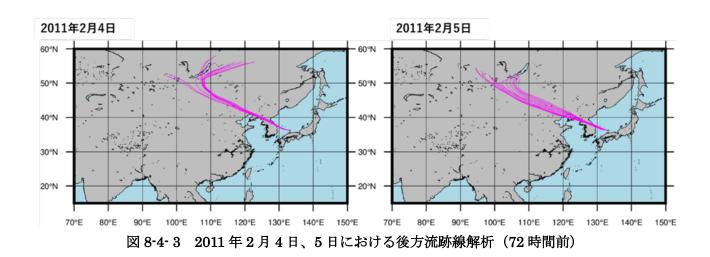


図 8.4-3 より、2 月 4 日、5 日どちらも日本に飛来した気塊がアジア大陸から輸送されていたことを示した。この気塊は中国の工業地帯に長期間滞留するような流跡線を示していないことから、工業地帯から放出される人為起源物質によって SPM 濃度が上昇した可能性はなく、黄砂によって SPM 濃度が上昇した可能性が高いと考えられる。

# 8.5 2010 年度を対象とした黄砂検出手法の検討結果のまとめ

以上のように、わが国の黄砂観測の観測地点が 2020 年 2 月に全国 59 箇所から 11 箇所にまで減少した影響を、多角的な黄砂判定手法を用いて調査した。直近 10 年で最も黄砂が観測された 2010 年度を対象に、59 地点時と 11 地点時の黄砂観測日の比較をした結果、計7日間が 11 地点への減少に伴い黄砂として観測されないこととなった。正確にわが国に飛来する黄砂を把握するためには、観測地点の大幅な減少を補い、黄砂として検出する手法が必要であると考えられるため、本解析では、2010 年度の黄砂日ではなくなった7日間を対象に黄砂日としての検出が可能かどうかの検証を行った。

検証手法として、①ライダーデータ、②PM2.5/SPM の濃度比、③SPM 濃度頻度分布の 3 つの手法を用いた結果、黄砂日としての検出可否のいずれかであるかを表 8-5-1 にまとめた。

表 6 0 1 2010 年度を対象とした黄砂模田子仏の模削相末のよとの						
	月	日	検討した黄砂検出手法(○:検出可 ─:検出不可)			
年			ライダーデータ	PM2.5/SPM の 濃度比	SPM 濃度頻度分布	
	5	6	_ (*)	_		
	5	11	_	_	_	
	5	12	_	〇(可能性有)	_	
2010	5	20	_	〇(可能性有)	0	
	12	5	_	_	_	
	12	12	_	_		
	12	24	_	_	_	

表 8-5-1 2010 年度を対象とした黄砂検出手法の検討結果のまとめ

(\*) SPM 日最大値に関する条件③を緩和した場合に黄砂日と判定

①ライダーデータを用いた検出手法としては、2010年のデータが入手できた東京、つくば、富山の 3地点について、7.1の検出条件①~④により、表 8.5-1の 7日間が検出されるか否かを検証したが、結果としてこの手法では一件も検出できなかった。条件④を満たす、ライダー黄砂消散係数が 0.05/km 以上となるような事例が 9 事例あり、そのうち条件②を満たすものとして、測定時間が 16 時間以上ある場合が 2 事例、測定時間が 12~15 時間のものがそれぞれ 2 事例存在したが、そのすべてにおいて、SPM 日最大値が  $50\mu$ g/m³以上という条件③が満たされなかった。唯一、富山における 5 月 6 日の事例は、SPM 最大値を  $40\mu$ g/m³以上  $50\mu$ g/m³未満という条件に緩和した場合に、黄砂日と判定された。

②PM2.5/SPM 比を用いた検出手法では、2010年に黄砂日であった4月30日と黄砂が観測されていない5月9日を対象にPM2.5、SPM濃度の時間値及びPM2.5/SPM比の変化を確認した。これより、黄砂観測時にはPM2.5/SPM比の減少とPM2.5、SPM濃度の上昇する様子が確認でき、この変動が黄砂時の傾向であると考えた。次に黄砂観測地点減少時に黄砂日でなくなった7日間を対象に同様の解析を行った。その結果、7日間のうち5日間は黄砂観測時に見られるPM2.5/SPM比の減少とPM2.5、SPM濃度の上昇が見られなかったが、5月12日と20日はその傾向が確認でき、黄砂が飛来している可能性が示唆された。

③SPM 濃度頻度分布を用いた結果、2010 年度は合計 7 日間を SPM 黄砂日として検出した。7 日間のうち、3 日間は気象庁で黄砂と観測されており、黄砂観測地点の減少にともに、黄砂日ではなくなった5月20日の検出をすることに成功した。残りの3日間においては、気圧配置及び後方流跡線解析を用いた結果、中国からの気塊の流入が考えられた。

今回検討した3つの手法は、それぞれ1日程度の黄砂日の検出に留まったが、1つの手法ではなく複数の手法を用いることで、7日間中3日が黄砂の可能性がある日として検出することに成功した。以上の結果より、今回検討した3つの手法は複数用いることで、黄砂日の検出に有効であると可能性が示唆された。しかし、今回用いた3つの手法はどれもSPM濃度を使用しており、①ライダーデータを用いた検出手法及び、③SPM頻度分布を用いた検出手法では、黄砂日を検出する際にSPM濃度が一定の値以上である必要があるため、SPM濃度が低い日を対象とした解析ができていない。今後は、SPM濃度が低い日でも黄砂が検出できる手法を検討していく必要がある。また、今年度は単年度(2010年度のみ)での解析となったが、より長期間のデータを用いて同様の解析を行うことで、黄砂飛来時の傾向が把握できる可能性があるため、引き続き検討していく必要がある。

# 9 今後の課題

本報告書では、ライダーデータ、自動測定機により測定されているデータ、全国大気汚染常時監視局で測定されているデータ等により、黄砂飛来状況について把握するとともに、黄砂と大気汚染物質との混在について、全国的な状況を確認した。

今後の課題として、次の事項があげられる。

○黄砂は粒径が比較的大きい粒子の割合が大きいため、飛来時に SPM 濃度が上昇することが知られているが、PM2.5 濃度も上昇し、健康影響が懸念される研究報告もなされているため、さらなる状況把握が必要である。

○黄砂は大気汚染物質が混在していることが多いことから、大気汚染物質を把握するために成分分析を行う必要がある。今年度はACSA-14、PX-375 等、自動測定機のデータにより、硫酸イオンや硝酸イオンが黄砂と混在していることや、成分等も混在していることを確認した。今後も、このようなデータの整理を継続していく必要がある。また、これまでは「黄砂日」における経時変化や相関関係を、「黄砂日」という条件で抽出したデータにより見てきたが、今後はより現実的に、実際、黄砂の観測された「黄砂時間」という条件で抽出したデータを見ていくことも重要である。

○ライダーデータと SPM 濃度最大値、ならびに両者の相関係数による条件により、弱い黄砂日の検出を行った結果、本年度は 3 事例が検出された。ただし近年は SPM 濃度が高い値を示す事例が減少していることから、今後は SPM 濃度の最大値に関する条件の検討と、それに伴う相関係数の条件設定の検討等が必要であると考えられる。

○黄砂観測地点が減少したことにより、これまでに黄砂と観測されていた黄砂現象を観測できなくなる可能性があるため、新たな黄砂検出手法を検討する必要がある。今年度は 2010 年度を対象にライダーデータ、PM2.5/SPM 比、SPM 頻度分布の 3 手法を用いて検討を行ったが、どの手法においても SPM 濃度が高濃度となる場合を抽出する手法のため、SPM 濃度が低い黄砂現象をとらえることができなかった。今後は、SPM 濃度を用いない黄砂検出手法の検討や、SPM が低濃度時にも検出可能である手法について検討していく必要がある。

○日本・中国・韓国が黄砂対策に関するモニタリング及び予測、発生源対策について共同研究等を行っているが、黄砂問題検討会と日中韓三カ国共同研究と連携をより深めることによって、発生源及び日本におけるモニタリングについて情報共有を深めることによって、黄砂発生の減少及び混在する大気汚染物質減少につなげる必要がある。

# 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」2018:平成29年度黄砂飛来状況調査報告書
- 13. 「環境省」2019:平成30年度黄砂飛来状況調査報告書
- 14. 「環境省」2020:平成31年度黄砂飛来状況調査報告書
- 15. 「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/
- 16. 「気象庁」HP(地球環境のデータバンク黄砂):

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa data indexdex.html

- 17. 「気象庁」HP(日々の天気図): http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html
- 18. 「気象庁」HP (過去の気象データ検索):

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\_no=&block\_no=&year=&month=&day=&view=

- 19. 「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/
- 20. 「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

21. 「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HP ARL HYSPLIT(後方流跡線):

http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl

22. 「環境省」HP (PM2.5 モニタリングデータ (海外)

http://www2.env.go.jp/pm25monitoring/index.html

- 23. Sugimoto, N., A. Shimuzu, I. Matsui and M. Nishikawa (2016): A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM2.5-to-PM10 ratios, Particulogy, 28, 114-120
- 24. ライダー観測によるダストの推定と地上観測によるエアロゾル質量濃度の比較 兼保直樹、杉本伸夫、清水厚、山本重一、河本和明 著、大気環境学会誌 第 47 巻 第 6 号 p. 285 (2012)

- 25. SPM/PM2.5 からの黄砂判定の可能性-ライダー黄砂消散係数を指標として-清水厚、杉本伸夫、松井一郎、西澤智明 著、第 33 回レーザセンシングシンポジウム予稿集 (2015)
- 26. NICT サイエンスクラウド ひまわり衛星プロジェクト ホームページ: https://sc-web.nict.go.jp/himawari/himawari-archive.html#tejun
- 27. JAXA ひまわりモニタ ホームページ: https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index\_j.html
- 28. 人工衛星 GEMS ホームページ: http://gems1.yonsei.ac.kr/main.php
- 29. Ball Aerospace 社ホームページ: https://www.ball.com/aerospace/programs/gems
- 30. Matoba, S., Mori, I., Hayakari, S., Nishikawa, M. (2005): New Method of Detecting Kosa (Asian Dust) from SPM Data Measured by Environmental Air Monitoring Stations., J. Aerosol Res., 20 (3), 225-230 (in Japanese)
- 31. Iwamoto, S. and Shimohara, T. (1993): Relationship Between High Concentration of SPM

  Meteorological Conditions Comparison Within Three Cities in Fukuoka Prefecture—, J. Japan Soc.

  Air Pollut., 28, 330-340 (in Japanese)