# 平成 30 年度黄砂飛来状況調查

報告書

令和2年3月

環境省

# 黄砂問題検討会委員名簿

(50音順)

	氏名						
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	東京大学 大気海洋研究所 国際連携研究センター 名誉教授					
委員	鵜野 伊津志	九州大学 応用力学研究所 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	東京理科大学 環境安全センター 副センター長					
委員	三上 正男	一般財団法人 気象業務支援センター 参与					
委員	吉川 賢	岡山大学 地域総合研究センター 特任教授					

# 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、2018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 2018 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、 2018 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。2018 年度の煙霧観測日は 2018 年 4 月と 2019 年 1~3 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、7 月には桜島の噴火があったため、多くの地点で煙霧が観 測された。

2018年度の観測地点毎の煙霧日数は、例年と異なり、2018年度の上位は北海道・東北 地方が多くなっていた。これは、ロシアで発生した森林火災が、北海道・東北地方に移流 したことが影響していると考えられる。

#### 4. 2018 年度における黄砂日の事例解析

#### 4.1 解析方法

黄砂を多角的に把握するため、天気図、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方 流跡線、CFORS 予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係、 ACSA による大気汚染物質濃度の時間値、PM2.5/SPM の比などのデータを比較して飛来 状況を解析した。また、これらの結果から黄砂の状況と大気汚染物質の混在状況について レーダーチャートにより評価した。黄砂の状況把握には、アジア中央部での黄砂の発生状 況、日本南岸に前線が位置する気圧配置、モンゴルからの方向を示す後方流跡線、ライダ 一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、SO4<sup>2-</sup>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 2018 年度の黄砂

2018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9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

2018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) 2018年4月6日~7日

九州、中国、近畿、四国、沖縄地方で黄砂が観測された。4月7日には PM2.5日平 均濃度が上昇し 20µg/m<sup>3</sup>を超える地点が西日本を中心に広がり、黄砂の影響を強く受 けたものと思われる。一方、人為起源系汚染物質は、4月6日の隠岐、4月7日の福 岡で SO<sub>4</sub><sup>2</sup>が若干高い程度で、全体的に濃度が低い状況であり、黄砂との混在は少な かった。

#### (2) 2018年4月11日~13日

4 月 11 日に松江での観測以外は、北海道、東北地方での観測であった。札幌での ACSA の SO<sub>4</sub><sup>2</sup>は 5μg/m<sup>3</sup>程度であったが、箟岳では 10μg/m<sup>3</sup>を超える濃度が観測さ れた。人為起源系大気汚染物質が若干黄砂と混在している様子がみられた。

#### (3) 2018年4月15日~17日

近畿、北陸以西の多くの地点で黄砂が観測された。4月16日には九州地方でPM2.5 濃度が環境基準値を超える地点が多数観測された。また隠岐でのACSAのSO4<sup>2</sup>が 10µg/m<sup>3</sup>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黄砂と混在してい る様子がみられた。

(4) 2018年5月25日

松江でのみ黄砂が観測された。PM2.5 濃度が 20μg/m<sup>3</sup>を超える濃度が九州地方を 中心に観測されたが環境基準値を置超える地点は存在しなかった。また隠岐での ACSA の SO4<sup>2</sup>は最大でも 6μg/m<sup>3</sup>程度であった。このように、大陸からのダストの影 響で黄砂が観測されたが全国的には影響の少ない事例であった。

#### 5. 2018 年度における煙霧日の事例解析

# 5.1 2018 年度の煙霧日

2018 年度に気象台が日本国内のいずれかの地点で煙霧を観測した日は、合計で27日である。連続した日を1つの煙霧現象とすると、6事例になる。煙霧6事例について詳細にその状況を示した。

#### (1) 2018年4月1日~4日

4月3日には東北、関東甲信越地域、東海地域の計13地点で広く煙霧が観測された。 ゴビ砂漠周辺の複数の地点で砂塵嵐が観測され、後方流跡線も同地域からの気流を示 していた。また PM2.5 濃度も環境基準値を超えている地点が多数見られた。4 月 3 日 は、名古屋や東京で ACSA の SO4<sup>2</sup>が 20μg/m<sup>3</sup>を超え、他複数の地点で 15μg/m<sup>3</sup>を超 える濃度が観測された。このように大陸からの砂塵による影響と大陸都市部からの汚 染の影響が及んだ事例と考えられた。

# (2) 2018年5月14日~18日

5月18日は関東、東海、近畿、中国、四国の12地点で広く観測された。PM2.5 濃度で 50µg/m<sup>3</sup> を超える濃度が観測されるなど関東以西で高濃度の地点が多数観測された。また ACSA の SO4<sup>2</sup>が 40µg/m<sup>3</sup>を超える地点が複数観測された。(1)の事例と同様、 大陸からの砂塵による影響と大陸都市部からの汚染の影響が及んだ事例と考えられた。

#### (3) 2018年7月15日~21日

全国的に広く煙霧が観測された事例であった。砂塵嵐、後方流跡線などから判断する と、本事例は大陸起源のダストからの影響ではないと思われた。また、この期間にACSA の SO<sub>4</sub><sup>2</sup>が全国的に上昇している様子がみられた。この期間には桜島の爆発的噴火が起 こっており、本事例は噴火による影響であると思われた。

#### (4) 2019年2月26日~3月3日

特に3月2日に北海道、東北、九州地方などの16地点と多くの地点で煙霧が観測された。(3)と同様、砂塵嵐、後方流跡線などから判断すると、本事例は大陸起源のダストからの影響ではないと思われた。札幌でのPM2.5が200µg/m<sup>3</sup>を超え、SO<sub>4</sub><sup>2</sup>が25µg/m<sup>3</sup>を超える濃度を観測した。この期間にはロシアでの森林火災が発生しており本事例は森林火災による影響であると思われた。

#### (5) 2019年3月20日~22日

特に3月22日に全国の14地点と広い範囲で煙霧が観測された。砂塵嵐、後方流跡 線などでは大陸からのダストが日本付近に影響を与えている様子が見られた。同日に は環境基準を超える PM2.5 濃度が複数の地点で観測され、特に隠岐では 60µg/m<sup>3</sup> を 超える濃度が観測された。一方、SO4<sup>2</sup>はこの期間で 10µg/m<sup>3</sup>以下であった。本事例は、 大陸からの砂塵嵐、ダスト影響が及んだ事例と考えられた。

#### (6) 2019年3月26日~27日

特に3月26日に全国の11地点と広い範囲で煙霧が観測された。(5)と同様、砂塵嵐、 後方流跡線などでは大陸からのダストが日本付近に影響を与えている様子が見られた。 同日には環境基準を超える PM2.5 濃度が観測される地点もあった。特に隠岐では 60µg/m<sup>3</sup>を超える濃度が観測された。ACSA の SO4<sup>2</sup>は複数の地点で 10µg/m<sup>3</sup>を超え た。本事例は、大陸からの砂塵嵐、ダスト影響、大陸都市部からの汚染の影響及んだ弱 い煙霧事例と考えられた。

# 6. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検討

# 6.1 ライダーによる黄砂検出日とその状況

ライダー黄砂消散係数と 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 50µg/m<sup>3</sup>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、2018 年度の黄砂飛来の可能性がある日を抽出したとこ ろ、長崎、松江、富山の 3 地点において、計 10 日が抽出された。このうち、観測により 報告されている黄砂日および煙霧日を除いた 6 日について、後方流跡線や砂塵嵐発生状 況に基づいた多角的な解析の結果は、いずれも黄砂の飛来状況を支持するものであった。

#### 6.2 黄砂の検出条件の検討

SPM 濃度の最大値を 50µg/m<sup>3</sup>から 40µg/m<sup>3</sup>に緩和した場合にも、6.1 と同様の手法で 黄砂が検出できるか検証した。その結果、6.1 と重複する計 10 日が得られ、解析の結果、 このような条件でも黄砂が検出されることが示された。

#### 7. 黄砂・煙霧日の PM2.5 濃度

#### 7. 1 黄砂・煙霧時における PM2.5 環境基準超過

2018 年度の黄砂日における PM2.5 平均濃度は 13.3µg/m<sup>3</sup>、日平均値 35µg/m<sup>3</sup>の超過 率は 2.0%で、前年度と比較して、平均濃度(前年度: 22.6µg/m<sup>3</sup>)、環境基準値超過率(前 年度: 7.7%)ともに減少していた。また、煙霧日における平均濃度 16.3µg/m<sup>3</sup>、日平均値 35µg/m<sup>3</sup>の超過率は 3.2%であり、前年度と比較して、平均濃度(前年度: 23.5µg/m<sup>3</sup>)、 環境基準値超過率(前年度: 12.1%)ともに減少した。

#### 7. 2 黄砂時・煙霧時における PM2.5 成分濃度

2018年度の成分分析調査結果のうち、PM2.5の重量濃度が20µg/m<sup>3</sup>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0検体であったため、煙霧時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硫酸イオン、 アンモニウムイオンが高濃度となった。

## 7.3 黄砂時・煙霧時 PM2.5の PMF 法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時に PM2.5 成分濃度調査が実施された期間に、黄砂・煙霧が観測された日、 地点を選択して PMF 解析を行った。7.2 と同様、黄砂時の検体は 0 検体であったので、 煙霧時のみの検体を用いた。因子数を 7 としたところ、それぞれ二次生成硫酸園、黄砂を 含む土壌、海塩、石油燃焼、廃棄物焼却、二次生成硝酸塩、自動車排気ガスと思われる因 子となった。

#### 8. PM2.5 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用

環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017 年 4 月から継続 的な測定を開始している。PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14(以下、「ACSA」と いう。)では、全国 10 地点で PM2.5 や粗大粒子中の SO4<sup>2</sup>、NO3<sup>-</sup>(硝酸イオン)などを 測定している。そこで、ここでは ACSA の測定結果の利用について検討を行った。

#### 8.1 年平均

PM10は、日本の西側ほど濃度が高い傾向を示し、特に隠岐や五島の離島で高いことが 特徴である。また、SO4<sup>2</sup>も同様に西側ほど濃度が高い傾向を示した。一方でNO3は、東 京、名古屋、大阪、赤穂、福岡などの都市部で高い傾向がみられた。

#### 8.2 黄砂時における粗大粒子の成分濃度

黄砂時には、粗大粒子の濃度が高くなることが知られているため、ここでは 2018 年度 に気象台で観測された黄砂の4事例について、粗大粒子の成分濃度をPM10と比較した。 各事例ともに、黄砂観測前に微小粒子の硫酸イオンが上昇し、黄砂観測時に硝酸イオンが PM10と同時に上昇し、PM2.5/PM10が減少する現象がみられた。

#### 8.3 PM2.5とPM10の比

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

#### 9. 人工衛星データの利用

#### 9.1 国内外における地球観測人工衛星の概要

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

#### 9. 2 2018 年度黄砂事例における PM2.5 成分濃度推移

ひまわり8号の衛星データを用いて Dust RGB 処理をした画像から、2018年度に観測 された黄砂について、検証を行った。その結果、黄砂と示唆されるものが、大陸から日本 へ飛来している様子を見ることができ、その範囲をある程度特定することができた。しか し、衛星画像は水蒸気を多く含む範囲での撮影には適していない。一方で、大陸で発生し たダストや大陸上の移流を表すことに長けている。そのため、日本への黄砂飛来状況を確 認するために用いるのではなく、モデルの初期値設定のためのデータ同化として活用す ることで、より正確な黄砂飛来予測が可能となる可能性がある。

# 黄砂飛来状況報告書 目次

# 目次

1	調査	E目的	
<b>2</b>	黄矽	ゆの観測状況	
2.	1	黄砂の観測状液	兄1
2.2	2	黄砂の SPM 激	度
3	煙霧	豪の観測状況	
4	201	8 年度における	黄砂日の事例解析12
4.	1	黄砂日の事例的	释析12
4.2	2	解析方法	
	(1)	黄砂観測地	気
	(2)	気象状況	
	(3)	SPM 濃度全	国分布14
	(4)	後方流跡線	
	(5)	CFORS (C	hemical weather FORecasting System)14
	(6)	ライダー	
	(7)	PM2.5 日平:	<b>均濃度</b> 14
	(8)	硫酸イオン	<b>等の大気汚染物質</b> 14
	(9)	PM2.5 自動	測定器 ACSA-14 の活用 15
	(10)	レーダーチ・	ャートによる評価16
4.3	3	2018 年度の黄	砂
4.	4	黄砂日の解析約	吉果19
	(1)	黄砂事例1	2018年4月6日~7日19
	(2)	黄砂事例 2	2018年4月11日~13日
	(3)	黄砂事例3	2018年4月15日~17日40
	(4)	黄砂事例 4	2018年5月25日
5	201	8年度における	煙霧日の事例解析
5.	1	煙霧日の事例解	释析
5.	2	2018 年度の煙	霧日
5.	3	煙霧日の解析約	<b>吉果</b>
	(1)	煙霧事例1	2018年4月1日~4日64
	(2)	煙霧事例 2	2018年5月14日~18日73
	(3)	煙霧事例 3	2018年7月15日~21日82

(4)	煙霧事例 4 2019 年 2 月 26 日~3 月 3 日	
(5)	煙霧事例 5 2019 年 3 月 20 日~22 日	100
(6)	● 煙霧事例 6 2019 年 3 月 26 日~27 日	107
6 ラ	イダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検討	113
6.1 ライ	イダーによる黄砂検出とその状況	113
1	2018年4月18日	115
2	2018年5月26日	116
3	2018年5月30日	116
4	2018年11月28日	
5	2018年12月2日	119
6	2018年12月5日	120
6.2 黄石	砂の検出条件の検討	121
1	2018年4月18日	
2	2018年4月20日	123
3	2018年4月22日	
4	2018年4月23日	
5	2018年4月28日	126
6	2018年5月28日	
$\bigcirc$	2018年11月28日	
8	2018年11月29日	
9	2018年11月30日	130
7 黄	砂・煙霧日の PM2.5 濃度	
7.1	黄砂・煙霧時における PM2.5 環境基準超過	
7.2	黄砂時・煙霧時における PM2.5 成分濃度	135
7.3	<b>黄砂・煙霧時 PM2.5 の PMF</b> 法による発生源寄与推定	
8 PN	<b>42.5</b> 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用	
8.1	各項目の年平均	
8.2	黄砂時における粗大粒子の成分濃度	
(1)	黄砂事例1 2018年4月6日~7日	
(2)	黄砂事例 2 2018 年 4 月 11 日 ~ 13 日	
(3)	黄砂事例3 2018年4月15日~17日	
(4)	黄砂事例 4 2018 年 5 月 25 日	
8.3	PM2.5 と PM10 の比	153
(1)	● 年平均値との比較	153
(2)	PM2.5/SPM との比較	
9 人	工衛星データの利用	

9.1	国内外における	る地球観測人工衛星の概要	
(1)	ひまわり 8-	号	
(2)	CALIPSO		
(3)	MODIS		
9.2	ひまわり8号	こよる Dust RGB による黄砂事例の検証	
(1)	黄砂事例1	2018年4月6日~7日	
(2)	黄砂事例 2	2018年4月11日~13日	
(3)	黄砂事例3	2018年4月15日~17日	
(4)	黄砂事例4	2018年5月25日	
10 名	☆後の課題		
	9.1 (1) (2) (3) 9.2 (1) (2) (3) (4) 10	<ul> <li>9.1 国内外における</li> <li>(1) ひまわり8</li> <li>(2) CALIPSO</li> <li>(3) MODIS</li> <li>9.2 ひまわり8号は</li> <li>(1) 黄砂事例1</li> <li>(2) 黄砂事例2</li> <li>(3) 黄砂事例3</li> <li>(4) 黄砂事例4</li> <li>10 今後の課題</li> </ul>	<ul> <li>9.1 国内外における地球観測人工衛星の概要</li></ul>

# 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、2018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

2002 年度から 2018 年度にかけて気象台が発表した黄砂の観測日数について、経年変化、黄砂地点別の飛来回数などに着目して整理した。

また、浮遊粒子状物質(SPM)濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために 2001 年から 2018 年にかけて気象台が発表している黄砂観測日における都道府県ごとの SPM 平均濃度 の他、都道府県ごとの SPM 平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じ、各都道府県における 黄砂現象を被る量的指標を算出しその推移を示した。

#### 2.1 黄砂の観測状況

気象台発表の黄砂日の年間延べ日数について、2002 年度から 2018 年度までの 17 年間 を、図 2-1-1 にとりまとめたところ、2018 年度は 2017 年度に比べやや減少していた。ま た、図 2-1-2 には、2018 年度の黄砂延べ日数の経月変化を示す。黄砂観測日は 2018 年 4 月が突出して多いが、これは同月に数日間、日本の広範囲において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ベ日数を、黄砂日の多い順に示す。上位は九州・沖縄 地方及び中国地方であり、例年と同様の傾向であった。

なお、黄砂は、全国 59 ヶ所の気象台において目視観測で判定されていたが、平成 31 年 2月に関東甲信地方における 9 ヶ所のうち 8 ヶ所、平成 31 年 4 月に 1 か所、令和 2 年 2 月 に新潟、名古屋、高松、広島及び鹿児島を除く地方気象台及び測候所での目視観測をやめる こととなり、目視による黄砂判定を行っている気象台は現在、全国 11 ヶ所となっている。



図 2-1-1 黄砂観測日数の経年変化



図 2-1-2 黄砂観測日の経月日数(2018年度)



図 2-1-3 黄砂日の都道府県別日数(2018年度)

# 2.2 黄砂の SPM 濃度

SPM 濃度と黄砂現象を比較検討するために、2003 年度から 2018 年度における黄砂観 測日について都道府県ごとの SPM 平均濃度、都道府県ごとの SPM 平均濃度に黄砂観測日 数を乗じたものを、図 2-2-1(1)~図 2-2-1(6)に示した。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、また、その値に当該年の黄砂観測日数を乗じたも のは、各都道府県における黄砂時の量的指標を示すと考えられる。

2018年度は、それ以前と同様に、黄砂日の平均濃度は全体的に西日本が東日本より、相対的に高くなっている。



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





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



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



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



図 2-2-1(6) 黄砂日の SPM 平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

# 3 煙霧の観測状況

煙霧は、2003年度から2018年度までの16年間について、煙霧日の年間延べ日数を図 3・1に示した。

また、図 3-2には、2018 年度の煙霧延べ日数の経月変化を示している。煙霧観測日は 2018 年 4 月と 2019 年 1~3 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、7 月には桜島の噴火があったため、多くの地点で煙霧が観 測された。

2018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。例年 は関東地方が多くなる傾向にあるが、2018年度の上位は北海道・東北地方が多くなってい る。これは、ロシアで発生した森林火災が、北海道・東北地方に移流したことが影響して いると考えられる。



図 3-1 煙霧の経年変化



図 3-2 煙霧の経月変化





# 4 2018 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祈を行っており、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、2018 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 一観測結果、PM2.5 日平均全国分布、PM2.5/SPM の比、SO4<sup>2</sup>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 4-2-2)による評価を実施した。

#### 4.2 解析方法

# (1) 黄砂観測地点

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測した地点<sup>13)</sup>を示した。また、黄砂現象の規模の 目安とするために、黄砂を観測した都道府県の全測定局の SPM 濃度日平均値を平均し た値に、観測した都道府県数を乗じた積算値(以下、「黄砂規模」という。)を算出し た。また、気象台が煙霧と判定した地点はそれを記している。

# (2) 気象状況

気象概況(天気図)については、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<sup>14)</sup>。また、WMOのデータを基に、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表 示した。有人観測地点における気象コード 04 を Smoke、05 を Haze、06 を Wiedespread dust、07,08,09 を Dust、30,31,32 を Slight duststorm、33,34,35 を Severe duststorm、と分類した。

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

#### (3) SPM 濃度全国分布

SPM 濃度全国分布は、全国で行われている常時監視局の SPM 測定データ<sup>12)</sup>から高濃度になっている地域について時間値を地図上に示した。

#### (4) 後方流跡線

後方流跡線は、アメリカ NOAA の HYSPLIT により気象データ GDAS を用いて算出 した<sup>19)</sup>。起点は、SPM 濃度が高くなった地点を基準として、後方 72 時間とした。出発 高度は 1500m とし、1 日の時間毎の流跡線を一括して地図上に表示した。

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

CFORS は、九州大学応用力学研究所の鵜野らによって開発された化学物質輸送領域 数値モデルである。本報告書内の図は、 国立環境研究所で運用しているバージョン <sup>18</sup>(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。

# (6) ライダー

ライダーによる黄砂観測結果は、 国立環境研究所が公開している <sup>17)</sup>。国立環境研究 所ではライダー観測結果から非球形粒子(黄砂)と球形粒子(大気汚染性エアロゾル) の消散係数を算出している。これは、黄砂モニタリングのため 532nm の偏光解消度を 利用し、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、下層の黄 砂消散係数と SPM 時間値を経時変化グラフで示し、その類似性を検討した。

# (7) PM2.5 日平均濃度

PM2.5 日平均濃度による評価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 比の経時変化をグラフで表し、粗大粒子と微 小粒子の比をみることで、黄砂の影響を観察した。また中国での PM2.5 濃度はアメリ カ国務省が公表しているデータを使用した <sup>20</sup>。

#### (8) 硫酸イオン等の大気汚染物質

SO42-(硫酸イオン)は大気汚染物質の飛来を観察するために、SO42の1時間値を随

時使用する。過年度の調査では、福岡県が太宰府市(福岡県保健環境研究所)で測定し ている SPA(5020i Thermo Fisher Scientific 社)のデータを使用していたが、観測機器 の不具合などにより SPA は欠測が多く、またデータが不安定で、現在、観測を中断して いるため、本機のデータは使用せず、環境省で配備された ACSA-14 のデータを使用す ることとする。

#### (9) PM2.5 自動測定器 ACSA-14 の活用

環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017 年 4 月から継 続的な測定を開始している。PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14(以下、「ACSA」 という。)では、全国 10 地点(図 4-2-1)において、PM2.5 中の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>や NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(硝酸イ オン)などの 1 時間値を測定している。さらに、本装置では PM10 も測定しており、 粗大粒子(PM10-2.5)の成分も同時に出力される。

本調査では、ACSA のデータのうち、PM2.5、PM10、SO<sub>4</sub><sup>2</sup>、NO<sub>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。

	硫酸イオン	硝酸イオン
微小粒子側の成分	$\mathrm{f}~\mathrm{SO}_{4^{2^{-}}}$	f NO <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	$\mathrm{cSO}_{4^{2^{-}}}$	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



図 4-2-1 PM2.5 成分連続モニタリングサイト

# (10) レーダーチャートによる評価

図 4-2-2 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。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、及び汚染物質混在の影響の大きさの程度を測る目安となる <sup>30</sup>。



図 4-2-2 黄砂の特徴を示すレーダーチャート (例)

百日夕	点数									
項日名	6	5	4	3	2	1	0			
黄砂観測地点数	>30	$20 \sim 30$	$15 \sim 20$	$10 \sim 15$	$5 \sim 10$	$0 \sim 5$	0			
SPM 濃度	>300	$200 \sim 300$	$150 \sim 200$	$100 \sim \! 150$	$50 \sim 100$	$20 \sim 50$	>20			
PM2.5/SPM(低)	< 0.4	$0.4 \sim 0.5$	$0.5 \sim 0.6$	$0.6 \sim 0.7$	$0.7 \sim 0.8$	0.8~0.9	>0.9			
煙霧観測地点数	>30	$20 \sim 30$	$15 \sim 20$	$10 \sim 15$	$5 \sim 10$	$0 \sim 5$	0			
PM2.5/SPM(高)	>0.9	$0.8 \sim 0.9$	$0.7 {\sim} 0.8$	$0.6 {\sim} 0.7$	$0.5 {\sim} 0.6$	$0.4 \sim 0.5$	< 0.4			
ACSA 硫酸イオン	>30	$25 \sim 30$	$20 \sim 25$	$15 \sim 20$	$10 \sim 15$	$5 \sim 10$	<5			

表 4-2-2 各項目の点数化一覧表

百日夕	点 数							
項日名	6	4	2	0				
気圧配置	◎(日本南岸近くに前線 がある)	<b>o</b> (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)	<b>o</b> (日本に dust 分布が ある)	▲(日本に dust 分布 がわずかにある)	×(左記以外)				
ライダー係数	<ul> <li>         (複数地点で黄砂消散 係数が高く、SPM 変動と 同期)      </li> </ul>	<ul> <li>         (黄砂消散係数がや や高く、SPM変動と 同期)     </li> </ul>	<ul> <li>▲ (黄砂消散係数が やや高い)</li> </ul>	×(左記以外)				
後方流跡線(砂塵嵐通 過)	<ul><li>(砂塵嵐発生地域を直 線的に通過)</li></ul>	o(砂塵嵐発生地域の 付近を通過)	▲ (砂塵嵐発生地域 からやや逸れて通 過)	×(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 2018年度の黄砂

2018 年度に日本で観測された黄砂は表 4-3-1 のとおりで、4 事例、計9日であった。このうち、2018 年 4 月 7 日、16 日に観測された黄砂は本州、四国、九州の広い範囲に影響を及ぼすものであり、4 月 7 日に 20 地点、4 月 8 日に 28 地点で観測された。

PM2.5/SPM について、2018年4月と5月の黄砂事例でその値は0.56から0.76で4月 15日の値が最も低く、4月13日の値が最も高かった。

これに加えて、ACSA による PM2.5/PM10 を併記した。PM2.5/PM10 は、2018 年 4 月と 5 月の黄砂事例で 0.23 から 0.49 であった。

表 4-3-1 2018 年度の黄砂日一覧

(SPM および PM2.5 濃度:µg/m<sup>3</sup>)

		其	期日			黄砂の規模						
事例	No.	年	月	日	地点数	SPM 平均 濃度	県数	SPM 積算	SPM 積算 合計	平均 濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
1	1	2018	4	6	6	21.8	6	130.8	101 0	13.8	0.65	0.47
1	2	2018	4	7	20	19.5	18	351	401.0	13.1	0.64	0.30
	3	2018	4	11	1	22.9	1	22.9		15.9	0.72	0.34
2	4	2018	4	12	5	20.6	4	82.4	121.7	14.5	0.73	0.49
	5	2018	4	13	1	16.4	1	16.4		12.1	0.76	0.39
	6	2018	4	15	9	19.2	9	172.8		8.0	0.56	0.34
3	7	2018	4	16	28	31.6	27	853.2	1549.8	19.4	0.60	0.34
	8	2018	4	17	18	29.1	18	523.8		19.3	0.62	0.23
4	9	2018	5	25	1	22.8	1	22.8	22.8	15.2	0.73	0.23

※「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。

※「PM2.5/PM10」について各日以下の平均をとった。

2018年4月6日:九州での観測のため福岡と五島の平均

2018年4月7日:沖縄・九州、四国、中国、北陸、近畿での観測のため福岡、隠岐、五島、赤穂、大阪の平均

2018年4月11日:松江でのみの観測のため隠岐の値

2018年4月12日:北海道と東北での観測のため札幌と箟岳の平均

2018年4月13日:帯広でのみの観測のため札幌の値

2018年4月15日:中国・九州での観測なので隠岐、五島、福岡の平均

2018年4月16日:北陸、東海、中国、近畿、九州、四国での観測なので隠岐、五島、赤穂、大阪、 福岡、名古屋の平均

2018年4月17日:中国、近畿、九州、四国での観測なので隠岐、五島、赤穂、大阪、福岡の平均 2018年5月25日:松江でのみの観測のため隠岐の値

#### 4.4 黄砂日の解析結果

#### (1) 黄砂事例1 2018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 日に九州 を中心に 6 地点であったものが、翌日 4 月 7 日には九州のみでなく中国、近畿、四国、 沖縄と西日本の広範囲に広がり 20 地点となった。

天気図(図 4-4-1-3) をみると、 前線が 4 月 6 日から 7 日にかけて日本を東進し、7 日 には日本の東岸沖に位置している。

この期間 SPM の時間値で、50µg/m<sup>3</sup>を超える地点がいくつか見られる(図 4-4-1-

4)。特に、近畿、中国地方、四国地方でSPM 濃度が比較的高い傾向にあった。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると(

図 4-4-1-5)、4月5日に、黄土地帯において Slight Duststorm や 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、長崎県、島根県、富山県、 新潟県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 4-4-1-7)。さらに、CFORS においても、dust、sulfate と もに大陸からの影響が日本全国に及ぼしている様子が示された(図 4-4-1-7)。

ライダー黄砂消散係数(図 4-4-1-8)は、九州地方の複数地点において 4 月 5 日から 6 日 にかけての夜間から上昇を始め、4 月 7 日から 8 日にかけての夜間まで、大阪・富山・新潟 と地域を変えながら高い値を維持している状況が見て取れる。同図に併せて示した 4 月 7 日 15 時の大阪でのライダー黄砂消散係数の高度分布のとおり、低層になるに従って濃度が 上昇していることがわかる。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(図 4-4-1-9)させると、特に長崎と福岡で、両者の値の増減が同期して いる様子が見られ、このときの SPM の上昇が黄砂による影響を受けていることを示唆して いた。また、この 2 日間は、PM2.5 の日平均値(図 4-4-1-10)も上昇しており、西日本を 中心に環境基準値に近い値を示す地点が多くみられている。

人為起源系汚染物質については、4 月 6 日に隠岐、4 月 7 日に福岡の ACSA で fSO4<sup>2</sup>が 10μg/m<sup>3</sup>を超える値を示した程度である(図 4-4-1-12)。また両者ともその上昇後には濃度 は下降に転じており、全国的にも定常的な濃度で、黄砂と大気汚染物質が混在した様子は少 ないと思われる。

なお、北京では、本事例前の4月1日から3日に、PM2.5 濃度の1時間値が一時200μg/m<sup>3</sup> 以上の高濃度が数時間にわたって見られていた(図4-4-1-13)。

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



図 4-4-1-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

日付	地点数		観測地点名										
2018/4/6	6	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島						
2018/4/7	20	富山	下関	広島	大阪	和歌山	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎		
	20	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬	石垣島	宮古島		

表 4-4-1-1 黄砂観測地点



図 4-4-1-2 黄砂観測地点



前線を伴った低気圧が日本海沿岸を 東に進み、全国的に曇りや雨、北日 本は雪。西日本~東日本で南風が強 く吹き、最大瞬間風速が25m/sを超 えた所も。長野市でサクラ満開。



7日(土)沖縄~北陸で黄砂観測 石垣島で視程9kmなど黄砂観測20地 点。西高東低の気圧配置で西日本上 空約1500mには-6℃近い寒気が南下。 広島県八幡で日降雪量18cm。九州で は最高気温が1月下旬並の所も。



図 4-4-1-4 SPM1 時間値濃度全国分布







図 4-4-1-6 後方流跡線





図 4-4-1-8 ライダー黄砂消散係数の経時変化(全国比較)と大阪における黄砂消散係数の高度分布(4月7日15時)



図 4-4-1-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化





PM2.5 日平均值全国分布



図 4-4-1-11 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布


















図 4-4-1-12 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化



図 4-4-1-13 日本・中国での PM2.5 濃度

## (2) 黄砂事例 2 2018 年 4 月 11 日~13 日

本事例は、4月11日から13日の3日間で観測された黄砂である。黄砂の観測地点は図 4-4-2-2及び表4-4-2-1に示すとおり、4月11日の松江を除き、北海道と東北地方のみで あった。

天気図(図 4-4-2-3)では、4月11日に日本の北西側にあった前線が東進しており、12 日に北海道の北東部沖に位置し、北日本では大陸の影響を受けやすいと思われる気象状況 である。

この期間の SPM 濃度は、図 4-4-2-4 に示すとおりであるが、札幌や青森で黄砂が観測さ れているものの、SPM 濃度が上昇している様子はほとんどみられない。ライダーの黄砂消 散係数(図 4-4-2-8)の経時変化からは、顕著に高い値は見られないものの、小規模なピー クが九州地方、仙台・札幌、新潟・富山と地域を変えながら移動してゆく様子が見て取れる。 また札幌に置ける黄砂消散係数の高度分布も、低層における黄砂の到達を示唆している。

大陸では、日本で黄砂が観測される前の4月8日から9日にかけて、ゴビ砂漠付近で砂 塵嵐の発生が確認される(図4-4-2-5)。4月11日、12日の札幌における起点高度1500m の後方流跡線(図4-4-2-6)は、砂塵嵐発生地帯に近い気流を示している。また CFORS(図 4-4-2-7)でも、大陸からのdustが日本の北側に及ぼしている様子が示されている。加え て、CFORSのsulfateでは、大陸中部、南部からの影響が日本全体に及ぶ様子が示されていた。

PM2.5 日平均値(図 4-4-2-10)は全国的に 10µg/m<sup>3</sup>を超える地点が多く、近畿、中国、 四国地方では 20µg/m<sup>3</sup>を超える地点も多数みられるが、黄砂の観測された北海道、東北地 方ではそのような地点はあまり見られなかった。この期間、札幌の ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>はせい ぜい 5µg/m<sup>3</sup>程度となっているが、札幌に比較的近く、周辺に汚染源がない篦岳の ACSA で fSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が 10µg/m<sup>3</sup>を超える高濃度がみられた(図 4-4-2-12)。

中国では、本事例前に、上海、北京、瀋陽いずれも 50μg/m<sup>3</sup>程度の PM2.5 濃度が観測され、その後北京は濃度が上昇し、4 月 13 日の昼間に 150μg/m<sup>3</sup>近い高濃度となっていた(図 4-4-2-13)。

以上の通り、この事例では、人為起源系大気汚染物質が黄砂と若干混在しているが、北海 道付近の上空を黄砂が飛来している一方で、地表付近ではその影響は少ない事例と考えら れた。

28



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 <b>) 黄砂観</b> 測	月日
--------------------------	----

日付	地点数	観測地点名											
2018/4/11	1	松江											
2018/4/12	5	釧路	室蘭	青森	秋田	盛岡							
2018/4/13	1	帯広											





図 4-4-2-2 黄砂観測地点



11日(水)全国的に天気下り坂 前線を伴った低気圧が日本海北部を 東北東に進んだ影響で、全国的に曇 りや雨で雷を伴う所も。西日本~北 日本は南風が強まる。松江で黄砂観 測。山形市でサクラ満開。



12日(木)奄美で非常に激しい雨 暖かく湿った空気の影響で、鹿児島 県古仁屋で明け方53.5mm/1h。その 他の地方は晴れて気温が上がり、九 州や関東、静岡県などで6月下旬並の 暑さ。北日本数地点で黄砂観測。

図 4-4-2-3 天気図



13日(金)沖縄県で大雨 沖縄県宮古島では32.5mm/1hの雷を 伴う激しい雨で日降水量92.0mm。そ の他の地方では高気圧に覆われ概ね 晴れ。気圧の傾きの大きい栃木県奥 日光で最大瞬間風速22.8m/s。



図 4-4-2-4 SPM1 時間値濃度全国分布









図 4-4-2-7 CFORS(dust、sulfate)予測結果



図 4-4-2-8 ライダー黄砂消散係数の経時変化(全国比較)と札幌における黄砂消散係数の 高度分布(4月11日15時)



図 4-4-2-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化



図 4-4-2-10 PM2.5 日平均值全国分布



図 4-4-2-11 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布



図 4-4-2-12 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化



図 4-4-2-13 日本と中国での PM2.5 濃度

## (3) 黄砂事例 3 2018 年 4 月 15 日~17 日

本事例は、4月15日から17日の3日間で観測された黄砂である。黄砂の観測地点は表 4-4-3-1及び図4-4-3-2に示すとおり、近畿、北陸以西での観測であった。

天気図(図 4-4-3-3)では、4月15日に日本の上空にあった前線が東進しており、16日 に北海道の北東部沖に位置し、日本全体として大陸の影響を受けやすいと思われる気象状 況である。

この期間の SPM 濃度は、図 4-4-3-4 に示すとおりであるが、近畿以西で 50µg/m<sup>3</sup>以上の 地点が多くみられる。実際にライダーの黄砂消散係数(図 4-4-3-8)でも、札幌や新潟はお おむね低い値であり、富山・大阪や九州地方で高い値が観測されていた。4月15日15時に おける福岡の黄砂消散係数の高度分布をみたところ、低層で高い値が確認され、黄砂の影響 であると判断できる。また、この事例に関しては、図 4-4-3-9 見られるように、福岡や富山 で SPM 濃度の増減とライダー黄砂消散係数の増減が同期しており、特に大阪の場合は極め て良く同期していることが見て取れる。これは、6章で述べるような消散係数と SPM 濃度 の増減による黄砂判定の可能性を支持する良い例であると言える。

大陸では、日本で黄砂が観測される前の4月12日から13日にかけて、ゴビ砂漠付近で 砂塵嵐の発生が確認される(図4-4-3-5)。4月15日、16の富山、松江、長崎における起点 高度1500mの後方流跡線(図4-4-3-6)は、砂塵嵐発生地帯に近い気流を示している。ま た CFORS(図4-4-3-7)でも、大陸からのdustが西日本を中心に影響を及ぼしている様子 が示されている。加えて、CFORSのsulfateでは、大陸南部からの影響が西日本全体に及 ぶ様子が示されていた。

PM2.5 日平均値 (図 4-4-3-10) は西日本全体で  $20\mu g/m^3$ を超える地点が多く、4 月 16 日 には九州において環境基準値を超える地点も多数みられた。一方、PM2.5/SPM には西日本 での黄砂の特徴を示す分布は見られず、4 月 15 日には全国的に低い値となっているなど、 この値が大陸からのダストによる PM2.5 の上昇を反映している可能性を示している。この 期間 ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>は全国的に  $5\mu g/m^3$ 程度となっているが、隠岐においては  $10\mu g/m^3$ を 超える高濃度がみられた (図 4-4-3-12)。

中国では、本事例前に、上海、北京において 50µg/m<sup>3</sup>程度、瀋陽においては 150µg/m<sup>3</sup>に 近い PM2.5 濃度が観測され、その後北京は濃度が上昇し、4 月 16 日の昼過ぎには 200µg/m<sup>3</sup> 以上の高濃度となっていた(図 4-4-3-13)。

以上の通り、この事例では、ゴビ砂漠周辺での砂塵嵐によるダストにより西日本を中心に 黄砂が観測され、地表付近でも PM2.5 が上昇した事例と考えられた。



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													
2018/4/15	9	松江	下関	広島	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島						
	28	金沢	副	福井	岐阜	名古屋	津	松江	京都	彦根	下関					
2018/4/16		広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎					
		熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬							
2018/4/17	18	松江	鳥取	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	奈良					
2010/4/11		福岡	大分	長崎	鹿児島	宮崎	高松	高知	徳島							





図 4-4-3-2 黄砂観測地点



15日(日)広い範囲で元れにスス 低気圧や前線の通過で全国的に風雨 が強く、北海道えりも岬で最大瞬間 風速 36.7m/s。静岡県富士では 41.5mm/1hの激しい雨。福岡、長崎 などで黄砂を観測。

16日(月)西日本~東日本で黄砂 低気圧が千島近海に進み、西から高 気圧が張り出す。北日本の日本海側 や北陸地方の一部で雨の他は全国的 に晴れや曇り。最高気温は全国的に 平年並か平年より低く経過。

図 4-4-3-3 天気図

77日(火)盗回・秋田市サクラ開化 夜には日本の南に停滞する前線上に 低気圧が発生して北東進。沖縄~東 日本は曇りや雨。北日本は高気圧に 覆われて日中は概ね晴れ。引き続き 西日本の18地点で黄砂を観測。



図 4-4-3-4 SPM1 時間値濃度全国分布











図 4-4-3-8 ライダー黄砂消散係数の経時変化(全国比較)と福岡における黄砂消散係数(4 月 15 日 15 時)の高度分布



図 4-4-3-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化



図 4-4-3-10 PM2.5 日平均值全国分布



図 4-4-3-11 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布























図 4-4-3-13 日本と中国での PM2.5 濃度

## (4) 黄砂事例 4 2018 年 5 月 25 日

本事例は、5月25日の1日間のみ観測された黄砂である。黄砂の観測地点は表4-4-4-1 及び図4-4-4-2に示すとおり、松江のみでの観測であった。

天気図(図 4-4-4-3)では、4月25日に日本の東岸沖に前線が位置しており日本付近で は西風となっている気象状況である。

この期間の SPM 濃度は、図 4-4-4 に示すとおりであるが、全国的にほぼ 50µg/m<sup>3</sup>以下 であった。さらにライダーの黄砂消散係数(図 4-4-4-8)でも総じて値は低めであり、松江 についても、特に 25 日前後における顕著な値の上昇は見られない。5 月 24 日 15 時時点で の松江の黄砂消散係数の高度分布を確認したところ、低層になるに従ってやや高い数値を とる傾向はあるものの、高度 2400m 付近に極大値がみられるのみであった。

一方、大陸では、日本で黄砂が観測される前の5月21日から22日にかけて、ゴビ砂漠 付近で砂塵嵐の発生が確認される(図4-4-4-5)。また、5月25日の松江における起点高度 1500mの後方流跡線(図4-4-4-6)も、大陸側からの気流を示しているほか、CFORS(図 4-4-4-7)では、大陸からのdustが日本全体に影響を及ぼしている様子が示され、sulfate では、大陸中部からの影響が日本全体に及ぶ様子が示されていた。

PM2.5 日平均値(図 4-4-4-10)は九州地方で 20μg/m<sup>3</sup>を超える地点が多くみられた。一 方、PM2.5/SPM には松江近くでの黄砂の特徴を示す分布は見られなかった。この期間での 隠岐における ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は 5 月 25 日に上昇しているが最大 6μg/m<sup>3</sup>程度であった(図 4-4-4-12)。

中国では、本事例前に、北京において 100µg/m<sup>3</sup> 程度、瀋陽においても 50µg/m<sup>3</sup> 以上の PM2.5 濃度が観測され、その後北京は濃度が上昇し、5 月 26 日の昼過ぎには 200µg/m<sup>3</sup> 以 上の高濃度となっていた(図 4-4-4-13)。

以上の通り、この事例では、ゴビ砂漠周辺での砂塵嵐によるダストの観測があったが、 PM2.5 の全国分布などを考慮すると、地表付近での影響の少ない黄砂の事例と考えられた。

52



図 4-4-4-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

日付	地点数		観測地点名											
2018/5/25	1	松江												





図 4-4-4-2 黄砂観測地点











©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

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



図 4-4-4-8 ライダー黄砂消散係数の経時変化(全国比較)と松江における黄砂消散係数の高度分布(5月 24 日 15 時)



図 4-4-4-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化



図 4-4-4-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布



図 4-4-4-11 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布



図 4-4-4-12 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化









NO3

-fso4

🗵 4-4-4- 13

日本と中国での PM2.5 濃度

## 5 2018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指定が 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。2018 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

SO4<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 2018 年度の煙霧日

解析対象は、5.1 で述べた方法で決定した6事例(計27日)である(表5-2-1)。煙霧時のPM2.5/SPMの値はおおむね0.52から0.87程度で、黄砂時(0.56から0.76)と比較し若干高い値であった。また、ACSAのPM2.5/PM10は黄砂時(0.23から0.49)と比較し、煙霧時は0.40から0.76と高い値であった。

表 5-2-1 2018 年度の煙霧日一覧

(SPM および PM2.5 濃度:µg/m<sup>3</sup>)

事例	No.	ţ	朝日				黄砂の	の規模		SPM			
		年	月	Ħ	地点数	PM2.5 平均濃度	県数	PM2.5 積算	PM2.5 積算 合計	平均 濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10	
	1	2018	4	1	3	16.16	3	48.49		21.61	0.76	0.44	
1	2	2018	4	2	9	21.68	8	173.47	758 96	29.88	0.74	0.38	
1	3	2018	4	3	13	25.61	13	332.89	190.90	35.39	0.74	0.29	
	4	2018	4	4	9	22.61	9	203.51		31.88	0.73	0.48	
2	5	2018	5	14	1	11.84	1	11.84	617.79	16.87	0.79	0.52	
	6	2018	5	15	2	15.15	2	30.30		19.51	0.80	0.54	
----------	----	------	---	----	----	-------	----	--------	---------	-------	------	------	
	7	2018	5	16	2	19.20	2	38.40		25.71	0.87	0.55	
	8	2018	5	17	9	25.61	9	230.52		36.26	0.72	0.51	
	9	2018	5	18	12	25.56	12	306.73		38.99	0.66	0.48	
	10	2018	7	15	5	20.83	5	104.15		35.25	0.61	0.66	
	11	2018	7	16	5	24.24	5	121.21		40.79	0.61	0.68	
	12	2018	7	17	6	25.41	6	152.43	1383.87	43.38	0.61	0.65	
3	13	2018	7	18	14	26.40	14	369.59		44.61	0.61	0.70	
	14	2018	7	19	16	25.82	16	413.06		42.81	0.61	0.67	
	15	2018	7	20	10	15.82	10	158.17		28.64	0.53	0.70	
	16	2018	7	21	7	9.32	7	65.26		18.23	0.52	0.66	
	17	2019	2	26	2	18.75	2	37.50	100.00	22.73	0.87	0.59	
	18	2019	2	27	4	16.77	4	67.06		19.89	0.86	0.62	
4	19	2019	2	28	5	16.46	1	16.46		21.04	0.83	0.76	
4	20	2019	3	1	8	17.53	5	87.67	495.05	21.24	0.84	0.66	
	21	2019	3	2	16	22.94	10	229.43		26.48	0.88	0.65	
	22	2019	3	3	3	18.30	3	54.91		22.65	0.86	0.69	
	23	2019	3	20	1	13.11	1	13.11		17.77	0.81	0.40	
<b>5</b>	24	2019	3	21	2	11.29	2	22.59	257.71	18.50	0.69	0.40	
	25	2019	3	22	14	15.86	14	222.01		20.46	0.76	0.52	
C	26	2019	3	26	11	17.36	11	191.00	225 24	23.02	0.81	0.50	
б	27	2019	3	27	9	18.03	8	144.24	339.24	23.51	0.79	0.51	

※「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。

※「PM2.5/PM10」について各日以下の平均をとった。

2018年4月1日:北海道、佐賀、南大東島での観測のため札幌、五島、福岡の平均

2018年4月2日:北海道、東北以外での観測のため札幌、箟岳以外の平均

2018年4月3日:松江でのみの観測のため隠岐の値

2018年4月4日:東北、関東、北陸、東海での観測のため札幌、箟岳、東京、巻、名古屋の平均

2018年5月14日:松江でのみの観測のため隠岐の値

2018年5月15日: 銚子、佐賀でのみの観測なので東京、福岡、五島の平均

2018年5月16日:津、広島でのみの観測なので名古屋、隠岐の平均

2018年5月17日: 関東、東海、四国、中国、九州での観測なので東京、名古屋、隠岐、福岡、五島の 平均

2018年5月18日:関東、東海、近畿、中国での観測なので東京、名古屋、大阪、赤穂、隠岐の平均

2018年7月15日:関東、中部、九州での観測なので東京、巻、福岡、五島の平均
2018年7月16日:関東、中部、東海、四国での観測なので東京、巻、名古屋、赤穂の平均
2018年7月17日:関東、東海、近畿、四国での観測なので東京、名古屋、大阪、赤穂の平均
2018年7月18日、19日:北海道以外全国での観測なので東京、名古屋、大阪、赤穂の平均
2018年7月20日:東北、北陸、中国、九州での観測なので箟岳、巻、隠岐、福岡、五島の平均
2018年2月26日:北海道、東北、中部、北陸での観測なので札幌、篦岳、巻の平均
2018年2月26日:北海道、近畿での観測のため札幌、大阪の平均
2018年2月27日:東北、関東、九州での観測のため篦面、五島の平均
2018年3月1日:北海道、東北、関東、中国、九州での観測のため札幌、篦岳、東京、隠岐、福岡、 五島の値
2018年3月2日:北海道、東北、北陸、四国、九州での観測のため札幌、篦岳、巻、赤穂、隠岐、福岡、

2018年3月3日: 関東での観測のため東京の値

2018年3月20日:四国での観測のため隠岐の値

2018年3月21日:関東、九州でのみの観測のため東京、福岡、五島の平均

2018年3月22日:全国的な観測なので全観測地の平均

2018年3月26日:東北以外の観測のため箟岳以外の平均

2018年3月27日:北海道、近畿、中国、四国、九州での観測のため、札幌、大阪、赤穂、隠岐、福

岡、五島の平均

# 5.3 煙霧日の解析結果

## (1) 煙霧事例1 2018 年 4 月 1 日~4 日

本事例は、2018年4月1日から4月4日の4日間で観測されたもので、特に4月3日に おいて、東北、関東甲信越、東海の計13地点で広く煙霧が観測された(表 5-3-1-1、図 5-3-1-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-1-3)と、3月31日にモンゴル北部で、4月1日に はゴビ砂漠周辺で砂塵嵐が発生している様子が見られる。その後、4月2日には中国東北部 と日本で煙霧が観測されている。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、富山、松江においてゴビ砂漠からの気流を示していた。さらに CFORS(図 5-3-1-5) においても、Sulfate が中国東岸から日本へ影響を及ぼしている様子が示されていた。

PM2.5 は、4 月 1 日に西日本中心に 20μg/m<sup>3</sup>を超えている地点や、環境基準値を超えて いる地点が見られ、4 月 2 日には 20μg/m<sup>3</sup>を超えている地点が東日本にも広がり、4 月 4 日 には関東においても環境基準値を超えている地点が多くみられた(図 5-3-1-6)。

ACSA の測定では、PM2.5 が 4 月 1 日から 2 日にかけて上昇し始めており、東京、名古 屋では 50µg/m<sup>3</sup>ほどの高い値が見られた。このとき、ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>では、4 月 3 日に名 古屋で 30µg/m<sup>3</sup>、東京で 20µg/m<sup>3</sup>を超える fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>を観測した。また、篦岳、巻、大阪、福 岡で 15µg/m<sup>3</sup>前後の fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>が観測された(図 5-3-1-7)。

なお、北京では、4月1日に最大で250μg/m<sup>3</sup>に近い高濃度のPM2.5を観測している(図 5-3-1-8)。

以上から、本事例は、大陸からの砂塵嵐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												
2018/4/1	3	札幌	佐賀	南大東島											
2018/4/2	9	熊谷	東京	長野	甲府	富山	広島	高松	石垣島	宮古島	長崎				
2019/4/2	13	青森	秋田	山形	水戸	前橋	東京	銚子	横浜	長野	甲府				
2010/4/3		名古屋	津	新潟											
2018/4/4	9	水戸	前橋	東京	銚子	長野	甲府	静岡	大阪	宮古島					

表 5-3-1-1 煙霧観測地点



図 5-3-1-1 煙霧観測地点



31日(土)晴れの日続く 冷却により、最低気温は東北南部な どで平年より5°C前後低い。最高気温 は全国的に高く、福岡県太宰府の所も。北日本は気圧の谷や低気圧の 25.4℃は5月下旬並で3月1位の値。影響で一部を除き曇りや雨や雪。



1日(日)彦根市でサクラ満開 高気圧に覆われ全国的に晴れ。放射 沖縄~東日本は帯状高気圧に覆われ て概ね晴れ。東日本では最高気温が 平年より10℃以上も高く6月上旬並の



2日(月)初夏の陽気続く 日本付近は高気圧に緩やかに覆われ、 全国的に晴れて気温上昇。最高気温 は大分県犬飼で27.1°Cなど6月中旬並 の所も。長野市でサクラ開花。福 島・福井市ではサクラ満開。







図 5-3-1-3 砂塵嵐発生状況







図 5-3-1-5 CFORS 予測結果





























図 5-3-1-7 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化



図 5-3-1-8 日本・中国での PM2.5 濃度

## (2) 煙霧事例 2 2018 年 5 月 14 日~18 日

本事例は、2018年5月14日から5月18日の5日間で観測されたもので、特に5月18日において、関東、東海、近畿、中国、四国の計12地点で広く煙霧が観測された(表 5-3-2-1、図 5-3-2-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-2-3)と、5月13日、15日にゴビ砂漠で砂塵嵐が 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 5-3-2-4)したとこ ろ、新潟、富山、松江、長崎においてゴビ砂漠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 が中国東北部から日本へ影響を及ぼしている様子が示され ていた。

PM2.5 は、5 月 15 日に九州、中国、四国地方で 20µg/m<sup>3</sup>を超えている地点が見られ、5 月 16 日になるとそれらの地域で環境基準値を超える地点が現れ、5 月 17 日、18 日にはそ の地域が東に広がり 50µg/m<sup>3</sup>を超える地点も見られた。(図 5-3-2-6)。

ACSA の測定では、PM2.5 が 5 月 16 日から 18 日にかけて上昇し始めており、東京、 名古屋、大阪、赤穂では 40µg/m<sup>3</sup>を超える値が見られた。この期間で、ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>で は、5 月 15 日に隠岐で、5 月 17 日に福岡で、5 月 17 日、18 日に名古屋、赤穂で 15µg/m<sup>3</sup>、を超える fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>を観測した。(図 5-3-2-7)。

なお、北京ではこの期間の観測値は欠測しているが、日本での煙霧観測前の5月12日に 最大で200μg/m<sup>3</sup>に近い高濃度のPM2.5を観測している(図 5-3-2-8)。

以上から、本事例は、煙霧事例1と同様、大陸からの砂塵嵐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											
2018/5/14	1	松江												
2018/5/15	2	銚子	佐賀											
2018/5/16	2	津	広島											
2018/5/17	9	宇都宮	甲府	津	広島	高松	松山	大分	宮崎	鹿児島				
2018/5/18	12	前橋	東京	甲府	静岡	岐阜	津	京都	大阪	和歌山	広島			
		高松	松山											

表 5-3-2-1 煙霧観測地点



図 5-3-2-1 煙霧観測地点



14日(月)釧路市でサクラ満開 西から高気圧に覆われ西日本から天 気回復。昼頃まで雨が残った北陸や 北日本も次第に曇りや晴れに。東日 本太平洋側中心に最高気温は7月並と なった一方、日本海側は4月並。



15日(火)稚内市でサクラ満開 北海道の一部で曇りとなった他は、 高気圧に覆われて晴れ。大分県日田 晴れや曇り。北海道は気圧の谷の影 で32.4℃になるなど80地点で真夏日。響で一部で雨。最高気温は全国的に 長崎・高松・津市でシオカラトンポ初 高く、福島県浪江で33.5℃など北日 見。下関・京都市でホタル初見。



日本の東の高気圧に覆われ全国的に 本や北陸で平年差+10℃以上の所も。



17日(木)新潟・山形県で激しい雨 前線は夜には東北で停滞。北陸〜北 日本は雨。新潟県弾崎43mm/1hは5月 1位の値。暖気の影響で最低気温は東 日本でも20°C以上になるなど全国51 地点で5月の高い値を更新。



18日(金)秋田県で記録的な大雨 前線が日本海を南下、西日本~東北 の日本海側で激しい雨。秋田県阿仁 合で観測史上1位となる日降水量 200mmを記録するなど、東北日本海 側を中心に記録的な大雨。

図 5-3-2-2 天気図



図 5-3-2-3 砂塵嵐発生状況



























赤穂













図 5-3-2-7 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化



図 5-3-2-8 日本と中国での PM2.5 濃度

## (3) 煙霧事例 3 2018 年 7 月 15 日~21 日

本事例は、2018年7月15日から7月21日の7日間で観測されたもので、特に7月14日、15日においては全国的にそれぞれ計14地点、16地点と広く煙霧が観測された(表 5-3-3-1、図 5-3-3-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-3-3)と、7月15日に黄土地帯でダストが発生している様子が見られるのみであり、砂塵嵐などの発生は観測されていない。このときの気流を後方流跡線で確認(図 5-3-3-4)したところ、ほとんど煙霧の観測されていない札幌のみで大陸からの気流を示しているが、他の地点(新潟、富山、松江、福岡)では九州周辺からの気流を示している。CFORS(図 5-3-3-5)においては、Sulfateが中国東北部から日本への影響を示している。

PM2.5 は、7月15日、16日に関東から西日本で20μg/m<sup>3</sup>を超えている地点が見られる が、7月17日になると九州地方、瀬戸内、近畿地方などで環境基準値を超える地点が現れ、 7月18日、19日には環境基準値を超える地点が増加し、特に九州地方で非常に多くの地点 が環境基準を超える値となっていた。7月20日には環境基準値を超える地点はやや減少し、 21日には全国的にその値を超える地点はほとんどなくなっている。(図 5-3-3-6)。

ACSA の測定では、PM2.5 が全国的に 7 月 16 日から 17 日にかけて上昇し始めてお り、名古屋、隠岐、福岡では 50µg/m<sup>3</sup>を超える値が見られた。この期間で、札幌以外で ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>の増加が見られ、巻、隠岐、福岡、五島で 20µg/m<sup>3</sup>前後の濃度を観測し た。(図 5-3-3-7)。

なお、この期間、北京、上海、瀋陽においては、7月19日の深夜近くに最大で100μg/m<sup>3</sup> 観測したのみで、顕著に高い値は観測されなかった(図 5-3-3-8)。

この時期、7月16日、17日に桜島の噴火が起きている<sup>35)</sup>。特に7月16日の噴火は爆発 的噴火だった。砂塵嵐、後方流跡線、ACSAの硫化イオンの上昇などを考慮すると、ここで 観測された煙霧は桜島の噴火による煙霧事例と考えられる。

日付	地点数		観測地点名											
2018/7/15	5	横浜	長野	熊本	宮崎	鹿児島								
2018/7/16	5	水戸	長野	甲府	津	松山								
2018/7/17	6	水戸	甲府	津	京都	高松	松山							
2019/7/19	14	山形	宇都宮	甲府	津	新潟	金沢	福井	京都	岡山	徳島			
2010/1/10		高松	長崎	佐賀	熊本									
2018/7/10	16	秋田	仙台	山形	長野	甲府	名古屋	津	新潟	金沢	大阪			
2010/1/15		広島	高松	松山	長崎	佐賀	熊本							
2018/7/20	10	秋田	仙台	山形	新潟	金沢	広島	松江	松山	長崎	那覇			
2018/7/21	7	函館	青森	秋田	仙台	山形	長野	新潟						

表 5-3-3-1 煙霧観測地点





15日(日)西~東日本は連日猛暑 北海道は低気圧の接近で雨。その他は高 気圧に覆われ概ね晴れ。京都府福知山や 岐阜県揖斐川で38.8℃など、全国200地点 で猛暑日となり、12地点で最高気温の史 上1位を更新。



#### 16日(月)岐阜県揖斐川39.3℃

西~東日本は高気圧に覆われて晴れ。全 国186地点で猛暑日。栃木県奥日光30.4°C は1944年の統計開始以来1位の高温。北 日本は気圧の谷の影響で曇りや雨。北海 道で震度4の地震。



## 17日(火)茨城県で震度4

1010

1012

D

19日09時

周

1014

太平洋高気圧が西日本に張り出し、全国 的に晴れの天気。岐阜県揖斐川で38.9℃、 京都で38.1℃など気温上昇、全国149地点 で猛暑日を記録。南シナ海で台風第9号 が発生。



西~東日本は高気圧に広く覆われ晴れて 気温が上がり、岐阜県多治見で40.7℃、 美濃で40.6℃の最高気温を記録。東北北 部や北海道太平洋側は曇りや雨で気温上



20日(金)東北北部梅雨明け発表 台風第10号や湿った空気の影響で、 油網

や西日本太平洋側は曇りや雨。その他は 高気圧に覆われ概ね晴れ。兵庫県豊岡で 38.9℃など全国201地点で猛暑日。北海道 は所々で真夏日。



TS 1810 AMPIL

日

1012-19

# 1014

L

998

沖縄・奄美は暖かく湿った空気により雨。 北海道太平洋側も湿った空気で曇。その 他は太平洋高気圧に覆われ概ね晴れ。最 高気温は京都の39.8℃など12地点で史上1 位かタイ



21日(土)台風が沖縄本島を通過 台風第10号は東シナ海へ。奄美中心に大 雨で鹿児島県天城の73.5mm/1h、日降水 量238.5mmは共に7月1位。九州や四国も 一部雨。京都府舞鶴と鳥取県鳥取では最 高気温38.2°C。

## 図 5-3-3-2 天気図



図 5-3-3-3 砂塵嵐発生状況



図 5-3-3-4 後方流跡線



図 5-3-3-5 CFORS 予測結果













巻















図 5-3-3-8 日本と中国での PM2.5 濃度

## (4) 煙霧事例 4 2019 年 2 月 26 日~3 月 3 日

本事例は、2018年2月26日から3月3日の6日間で北海道、東北地方を中心に観測されたもので、特に3月2日においては計16地点と煙霧が観測された(表 5-3-4-1、図 5-3-4-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-4-3)と、黄土地帯やゴビ砂漠などで2月27日に ダストや煙霧が発生している様子が見られるのみであり、広範囲でのダスト、砂塵嵐などの 発生は観測されていない。このときの気流を後方流跡線で確認(図 5-3-4-4)したところ、 煙霧が観測された北海道(札幌)などでは黄土地帯やゴビ砂漠などより北部のロシア地域か らの気流を示していた。CFORS(図 5-3-4-5)においては、Sulfateが中国東部全体から日 本への影響を示している。

PM2.5 は、3 月 1 日、2 日に九州、北海道、東北で 20µg/m<sup>3</sup>を超えている地点が多く見 られるが、特に北海道、東北地方では 50µg/m<sup>3</sup>を超える地点が現れていたが、3 月 3 日には 環境基準値を超える地点は減少した。(図 5-3-4-6)。

ACSA の測定では、札幌において PM2.5 が 3 月 1 日に 200µg/m<sup>3</sup>を超える非常に高い値 が見られた。また同日の札幌で ACSA の fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>の増加が見られ、25µg/m<sup>3</sup>を超える濃度を 観測した。(図 5-3-4-7)。

なお、瀋陽ではこの期間、250μg/m<sup>3</sup>を超える高濃度の PM2.5 を観測している(図 5-3-4-8)。

この時期、ロシアでは森林火災が起こっている<sup>36</sup>。砂塵嵐、後方流跡線、ACSA の硫化 イオンの上昇などを考慮すると、ここで観測された煙霧はロシアで発生した森林火災によ る煙霧事例と考えられる。

日付	地点数		観測地点名											
2019/2/26	2	旭川	京都											
2019/2/27	4	青森	秋田	横浜	熊本									
2019/2/28	5	稚内	旭川	札幌	釧路	函館								
2019/3/1	8	稚内	札幌	室蘭	函館	青森	前橋	広島	福岡					
2010/2/2	16	稚内	札幌	網走	釧路	帯広	室蘭	函館	青森	秋田	盛岡			
2019/3/2		金沢	松山	福岡	長崎	佐賀	宮崎							
2019/3/3	3	水戸	前橋	甲府										

表 5-3-4-1 煙霧観測地点





26日(火)高知市でウグイス初鳴 大陸から高気圧が張り出し日本付近を覆 う。全国的に概ね晴れたが、湿った空気 が流れ込み関東南部は曇り、上空の気圧 の谷が通過した北日本は日本海側中心に 夕方以降雪や雨。



1日(金)高気圧張り出す 全国的に晴れた所が多いが、気圧の谷の 影響で関東や東北日本海側は所々で雨。 全国的に気温が上昇し、最高気温が4月 中旬並の所も。新潟市ウメ開花、銚子市

ウグイス初鳴。



高気圧が本州付近を南東に移動。近畿、 東海や北日本中心に晴れたが、湿った空 気や前線の影響で近畿を除く西日本は午 後から、関東も夜には雨。沖縄・奄美は 晴れで夜は一部雨。



沖縄~西日本は前線や湿った空気の影響 で次第に曇って、九州や四国は午後には 雨。東日本や東北は日本海の高気圧に覆 われ晴れ。北海道は寒気の影響で所々雪。 北海道で震度4。

図 5-3-4-2 天気図



28日(木)沖縄・奄美で激しい雨 低気圧が発達しながら本州南岸を東北東 進。沖縄・奄美〜東北南部で雨。沖縄・ 奄美では雷雨となり、沖縄県下地で2月 1位となる31mm/1hの激しい雨。台風第 2号熱帯低気圧に。



前線を伴った低気圧が発達しながら日本 の南を東進。沖縄~西日本、東日本太平 洋側で雨。北陸~北日本は一部を除き晴 れ。沖縄県では波照間で最高気温28.4℃ など、夏日に。



図 5-3-4-3 砂塵嵐発生状況











図 5-3-4-6 PM2.5 日平均值全国分布






\_\_\_\_\_fNO3





















五島

300 250 五島

fNO3

日本と中国での PM2.5 濃度 図 5-3-4-8

#### (5) 煙霧事例 5 2019 年 3 月 20 日~22 日

本事例は、2019年3月20日から3月22日の3日間で観測されたもので、特に3月22日において、全国的に計14地点で広く煙霧が観測された(表 5-3-5-1、図 5-3-5-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-5-3)と、3月19日にゴビ砂漠周辺でダスト、砂 塵嵐が発生している様子が見られる。その後、3月20日には中国東北部で、3月21日には 韓国、北朝鮮に煙霧が広がって観測され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 5-3-5-4)したところ、新潟、富山、松江、長崎においてゴビ砂漠からの気流 を示していた。さらに CFORS(図 5-3-5-5)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た。

PM2.5 は、3 月 20 日、21 日には 20μg/m<sup>3</sup>を超えている地点が数地点あるだけであるが 3 月 22 日には環境基準値を超えている地点が九州、中国地方に見られ、20μg/m<sup>3</sup>を超えて いる地点が西日本に広がっている様子が見られた(図 5-3-5-6)。

ACSA の測定では、PM2.5 が 3 月 22 日に上昇している地点が多く、特に、隠岐におい ては 60µg/m<sup>3</sup>を超える高い値が見られた。このとき、ACSA の隠岐での fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>では、 10µg/m<sup>3</sup>以下であり、この事例の煙霧期間ではどの地点でも 10µg/m<sup>3</sup>以下であった。(図 5-3-5-7)。

なお、北京では、日本での煙霧前の3月19日に150μg/m<sup>3</sup>を超える高濃度のPM2.5を観 測している(図 5-3-5-8)。

以上から、本事例は、大陸からの砂塵嵐、ダストの影響及んだ事例と考えられる。

日付	地点数	観測地点名										
2019/3/20	1	高松										
2019/3/21	2	熊谷	甲府									
2019/3/22	1/	札幌	秋田	前橋	津	新潟	金沢	大阪	広島	松江	高松	
	14	松山	下関	福岡	大分							

表 5-3-5-1 煙霧観測地点





20日(水)長崎市でサクラ開花 日本付近は広く高気圧に覆われ沖縄 ~東北は晴れ。西日本は前線の接近 で夜には雨の所も。全国的に4~5月 並の最高気温。長崎市では全国で最 も早くソメイヨシノが開花。

図 5-3-5-1 煙霧観測地点



21日(木)サクラと春一番 日本海の低気圧の影響で全国的に風 が強まり、九州南部・奄美地方と中 国地方で春一番。最高気温も上昇し 徳島県穴吹で27.3℃など初夏の陽気。 福岡市、横浜市、東京でサクラ開花。

図 5-3-5-2 天気図



22日(金)続々とサクラの便り 低気圧が千島近海に進み、次第に冬 型の気圧配置に。北陸や北日本は 所々で雪や雨。南西諸島も一部で雨。 宮崎市、松山市、高知市、広島市、 名古屋市、岐阜市サクラ開花。





図 5-3-5-4 後方流跡線





©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図 5-3-5-5 CFORS 予測結果































図 5-3-5-7 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化



図 5-3-5-8 日本と中国での PM2.5 濃度

#### (6) 煙霧事例 6 2019 年 3 月 26 日~27 日

本事例は、2019年3月26日から3月27日の2日間で観測されたもので、特に3月26日において、全国的に計11地点で広く煙霧が観測された(表 5-3-6-1、図 5-3-6-1)。

この期間の大陸の状況を見る(図 5-3-6-3)と、3月24日にゴビ砂漠北部でダストが発生している様子が見られる。その後、3月25日、26日には韓国、日本に煙霧が広がって観測され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 5-3-6-4)したところ、新潟、富山、松江、長崎においてゴビ砂漠周辺からの気流を示していた。さらに CFORS

(図 5-3-6-5)においては、Sulfate が中国東部、南部から日本へ影響を及ぼしている様子 が示されていた。

PM2.5 は、3 月 26 日には九州、中国、近畿で 20µg/m<sup>3</sup>を超えている地点が多数あり、27 日にはその地点が増加し、環境基準値を超えている地点も現れている様子が見られる。(図 5-3-6-6)。

ACSA の測定では、PM2.5 がこの2日間で上昇している地点が西日本で多く、多くの地 点で 40μg/m<sup>3</sup>を超えた。このとき、ACSA の赤穂、隠岐、五島での fSO<sub>4</sub><sup>2</sup>では、10μg/m<sup>3</sup> を超えた。(図 5-3-6-7)。

なお、この煙霧の期間、上海では 3 月 26 日に、北京では 3 月 27 日に 100μg/m<sup>3</sup>を超え る高濃度の PM2.5 を観測している (図 5-3-6-8)。

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										
2019/3/26	11	函館	横浜	甲府	新潟	金沢	福井	彦根	奈良	松江	鳥取	
		長崎										
2019/3/27	9	札幌	網走	青森	京都	神戸	広島	高松	長崎	熊本		

表 5-3-6-1 煙霧観測地点



図 5-3-6-1 煙霧観測地点



本~東日本の太平洋側は午前中雨。 サハリン付近の低気圧や前線の影響 で北陸や北日本で雨や雪。熊本市、 高松市、松江市、鳥取市サクラ開花。



低気圧や寒気の影響で北陸や北日本 は雪や雨、夜には雷を伴う所も。そ の他は高気圧に覆われ概ね晴れ。岡 山市、神戸市、大阪市、京都市、甲 府市、前橋市、水戸市でサクラ開花。

図 5-3-6-2 天気図



図 5-3-6-3 砂塵嵐発生状況

















\_\_\_\_\_fNO3









大阪



隠岐







図 5-3-6-7 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化



図 5-3-6-8 日本と中国での PM2.5 濃度

# 6 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検討

### 6.1 ライダーによる黄砂検出とその状況

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、現在、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。

また、過去の黄砂問題検討調査においてライダーと SPM を用いた検出方法について検討 した結果、気象台が観測した黄砂日以外であっても黄砂粒子の飛来が示唆された。そこで、 本方法で黄砂が検出された日については、気象台で観測されない弱い黄砂日として、例年、 情報を蓄積している。

ライダーによる黄砂検出の方法と 2018 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隣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、2018 年度の1 年間である。地点は、長崎(長崎県)、松江(島根県)、富山(富山県)の3 地点である。

#### (2) ライダーによる黄砂検出の方法

黄砂によって SPM 濃度が上昇した楊合、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/m<sup>3</sup>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

2018年度において、本方法で検出された日は、表 6-1-1に示すとおりである。このうち、

4月3日は煙霧日であり、また4月15日、16日、並びに17日は黄砂日であった。

この他の6事例についての解析結果は以下に示すとおりである。

No.	年	月	E	地点	データ数 (1:16時間以 上、0:12~15 時間)	相関係数	SPM最大値 (μg/m <sup>3</sup> )	消散係数最大 値(/km)	地点黄砂日	全体黄砂日	全体煙霧日
1	2018	4	3	富山	1	0.801	67	0.292			0
2	2018	4	15	長崎	1	0.894	72	0.268	0	0	
3	2018	4	16	長崎	1	0.739	116	0.320	0	0	
4	2018	4	17	長崎	1	0.909	86	0.331	0	0	
5	2018	4	18	長崎	1	0.777	68	0.202			
6	2018	5	26	富山	1	0.955	65	0.133			
7	2018	5	30	富山	1	0.618	50	0.055			
8	2018	11	28	長崎	1	0.890	50	0.097			0
9	2018	12	2	長崎	1	0.850	51	0.189			0
10	2018	12	5	長崎	1	0.790	51	0.172			0

表 6-1-1 黄砂消散係数1時間平均値と SPM 時間値の相関等の条件による抽出日

備考1.地点黄砂日:当該地点で気象台により黄砂が観測された日

2. 全体黄砂日:日本のいずれかの地点で気象台により黄砂が観測された日

3. 全体煙霧日:日本のいずれかの地点で気象台により煙霧が観測された日









U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/04/18.12:00:00









図 6-1-2-2 砂塵嵐発生状況

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/05/26.12:00:00 60°N 50°N 40°N 札幌

200

60.0 100. 150. 400.

= 6.000E+01, YUNIT = 6.000E+01

40.0

XUNIT

図 6-1-2-3













Ş

札幌 新潟

富山 松江

長崎

90°E 100°E 110°E 120°E 130°E 140°E

図 6-1-3-4 後方流跡線

150°E

80°E

70°E

### 図 6-1-3-2 砂塵嵐発生状況

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/05/30.12:00:00



# ④ 2018年11月28日







図 6-1-4-2 砂塵嵐発生状況



















# 6.2 黄砂の検出条件の検討

本手法における検出条件のうち「③ SPM 濃度の日最大値が 50µg/m<sup>3</sup>以上であること」 について、条件を SPM 濃度の日最大値が 40µg/m<sup>3</sup>以上 50µg/m<sup>3</sup>未満に変更し、検出を行 ったところ、表 6-2-1 のとおりとなった。なお、4 月 16 日は黄砂日であり、また 4 月 18 日を除く全ての日について、全国のいずれかの地点で煙霧が観測された。

4月16日以外の事例についての解析結果は以下に示すとおりである。

表 6-2-1 条件「SPM 濃度の日最大値が 40µg/m<sup>3</sup>以上 50µg/m<sup>3</sup>未満」による抽出日

No.	年	月	E	地点	データ数 (1:16時間 以上、0: 12~15時間)	相関係数	SPM最大値 (μg/m <sup>3</sup> )	消散係数最大 値(/km)	地点黄砂日	全体黄砂日	全体煙霧日
1	2018	4	16	富山	1	0.920	42	0.244	0	0	0
2	2018	4	18	松江	1	0.733	40	0.188			
3	2018	4	20	長崎	1	0.743	42	0.063			0
4	2018	4	22	富山	1	0.633	42	0.178			0
5	2018	4	23	長崎	1	0.654	46	0.085			0
6	2018	4	28	富山	1	0.665	48	0.069			0
7	2018	5	28	富山	1	0.610	45	0.063			0
8	2018	11	28	松江	1	0.910	49	0.172			0
9	2018	11	29	長崎	1	0.857	41	0.088			0
10	2018	11	30	長崎	1	0.814	43	0.091			0

備考1.地点黄砂日:当該地点で気象台により黄砂が観測された日

2. 全体黄砂日:日本のいずれかの地点で気象台により黄砂が観測された日

3. 全体煙霧日:日本のいずれかの地点で気象台により煙霧が観測された日

# ① 2018年4月18日











### 図 6-2-1-2 砂塵嵐発生状況

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/04/18.12:00:00 60°N 50°N 2 40°N 札幌 新潟 30°N 富山 松江 20°N 長崎 150. 200 40.0 60.0 100. XUNIT = 6.000E+01, YUNIT = 6.000E+01 70°E 80°E 90°E 100°E 110°E 120°E 130°E 140°E 150°E 図 6-2-1-3 CFORS 予測結果 図 6-2-1-4 後方流跡線

# ② 2018年4月20日



図 6-2-2-1 SPM 及び黄砂消散係数(長崎)







# 図 6-2-2-2 砂塵嵐発生状況

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/04/20.12:00:00



# ③ 2018年4月22日



図 6-2-3-1 SPM 及び黄砂消散係数(長崎)





U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/04/22.12:00:00 60°N 50°N ž 40°N 札幌 新潟 30°N 富山 松江 20°N 長崎 1.0 .0 60.0 100. 150. 200 0. 400. 10.0 300. 90°E 100°E 110°E 120°E 130°E 140°E 150°E 80°E XUNIT = 6.000E+01, YUNIT = 6.000E+01 70°E 図 6-2-3-4 後方流跡線 図 6-2-3-3 CFORS 予測結果

# ④ 2018年4月23日







図 6-2-4-2 砂塵嵐発生状況

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/04/23.12:00:00 60°N 50°N 40°N 札幌 新潟 30°N 富山 松江 20°N 長崎 60.0 100. 150 200 70°E 80°E 90°E 100°E 110°E 120°E 130°E 140°E 150°E 000E+01, YUNIT = 6.000E+01 XUNIT 図 6-2-4-3 CFORS 予測結果 図 6-2-4-4 後方流跡線

# ⑤ 2018年4月28日









U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/04/28.12:00:00











U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST 2018/05/28.12:00:00























上記のように、長崎、松江、富山の3地域のライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度を用い たデータ解析により、黄砂飛来状況の把握を行った。

SPM 濃度の日最大値 50µg/m<sup>3</sup> 以上という検出条件下では、黄砂消散係数と SPM の相関 係数をもとに黄砂日として抽出したところ、計 10 日であった。SPM 濃度の日最大値を 40µg/m<sup>3</sup> 以上 50µg/m<sup>3</sup> 未満とした条件下では、黄砂日として計 10 日抽出された。

また、後方流跡線による軌跡は中国大陸からの気流を示しており、黄砂消散係数及び SPM 濃度は上昇時に高い相関関係を示すことから、黄砂の飛来が主な要因であることが示唆される。

本手法のような、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の観測データに基づいた分析手法の 長所としては、目視に頼ることなく黄砂を判定するできる点が挙げられる。また、地上付近 で観測する SPM 濃度と異なり、上空を通過していくような黄砂が捉えられることもライダ ー観測の長所の一つである。一方、短所としては、ライダーの特性上雨や雪などを感知して しまうため、天候によっては欠損値が多くなってしまうことが挙げられる。実際、衛星観測 により黄砂が確認されているものの、ライダーでは確認できなかった事例が報告されてい る。このような短所により、少なくとも現時点では、本手法の有効性が天候に大きく左右さ れるという弱点がある。

最近、地方気象台における黄砂の観測が終了し、黄砂観測点が大幅に減少した。このよう な状況下にあって、引き続き弱い黄砂の飛来状況の把握・影響の評価を継続することが重要 であると考えられており、本手法による黄砂の飛来状況の把握は大きな意義を有すると言 える。本手法を今後の黄砂飛来状況の把握に役立てるために、例えば黄砂消散係数と SPM 濃 度の相関係数に関して、定数値を用いるだけではなく、黄砂飛来時の相関係数の変化率を用 いることも考えられる。これまでの情報の蓄積と、本手法によって黄砂が検出された例、検 出されなかった例を照合し、検出条件の検討を重ねていく必要があると考えられる。

### 7 黄砂・煙霧日の PM2.5 濃度

黄砂は、PM2.5 の環境基準達成に大きな影響を与えていると考えられる。また、越境に よる煙霧の存在も、黄砂と同程度の影響を与える可能性がある。そのため、2018 年度の黄 砂・煙霧時の PM2.5 濃度について検討した。

#### 7.1 黄砂・煙霧時における PM2.5 環境基準超過

ここでは、全国の 1,082 箇所の測定局を評価対象とする。2018 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 379,863 (日×局)であり、平均濃度は 11.4 μg/m<sup>3</sup> であった。このうち、環境基準値である、 1 日平均 35.0 μg/m<sup>3</sup> を超えた日数×局は、2,168 (日×局) であり、全体の 0.57%であっ た。

測定局における黄砂観測日は、1,861(日×局)であり、黄砂時の平均濃度は13.3 µg/m<sup>3</sup>、 このうち環境基準値を超えた割合は、38(日×局)であった。これは黄砂観測日×局数全体 の2.0%にあたり、前年度の平均濃度22.6 µg/m<sup>3</sup>、環境基準値を超過した割合7.7%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 16,646(日×局)、煙霧時の平均濃度は 16.3 μg/m<sup>3</sup>で、 このうち環境基準値を超えた日数は 536(日×局)であった。これは、煙霧観測日×局数全 体の 3.2%であり、前年度の平均濃度 23.5 μg/m<sup>3</sup>、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 7-1-1 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 7-1-1 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(2018 年 度)

2018 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 7-1-2 に示す。同様に、観測日数と煙霧日の PM2.5 環境基準超過日数を図 7-1-3 に示す。黄砂時の環境基準超過日数は、西日本で多い。一方、煙霧時の環境基準超過日数は、東西で大きな差は見られない。

図 7-1-4 に、PM2.5 環境基準超過日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数を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、2018 年度においては、黄砂・煙霧以外の要因による PM2.5 高濃度が多くあったことが確認できた。






図 7-1-4 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(2018 年度)

# 7.2 黄砂時・煙霧時における PM2.5 成分濃度

全国の自治体では、毎年度、4季にわたって PM2.5 の成分分析を実施している。ここでは、2018年度の成分分析調査結果のうち、PM2.5 の重量濃度が 20µg/m<sup>3</sup>以上であり、かつ 黄砂もしくは煙霧が観測された地点を抽出し、金属成分について項目別に黄砂日と煙霧日 で比較した。

PM2.5 の重量濃度が 20µg/m<sup>3</sup>以上であり、かつ黄砂が観測された日の検体は、0 検体で ある。一方で、PM2.5 の重量濃度が 20µg/m<sup>3</sup>以上で、かつ煙霧が観測された日の検体は、 37 検体であった。

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



煙霧時 金属成分 濃度



煙霧時 イオン成分等 濃度





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

PMF 解析を行うために、黄砂・煙霧時で PM2.5 成分濃度調査が実施された期間に、黄 砂・煙霧が観測された日、地点を選択した。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、59 データが抽出された。なお、地点については 黄砂・煙霧が観測された地点の都道府県でのすべてのデータを抽出対象とした(東京都小笠 原村は除外)。計算の条件は下記の通りである。PM2.5 の発生源寄与は、PMF(Positive Matrix Factorization) 法により求めた。PMF 法はリセプターモデルの一種であり、発生源 の組成や特徴をもとにしたサンプルから発生源の寄与を定量化するものである。ソフトは、 EPA-PMFv5.0 を使用した。

計算の条件は下記のとおりとした。

PMFの計算の条件

【件数】
黄砂:0件、煙霧:59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)<="" th=""></ocpyroの場合は>
【因子数】
7 因子

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

Factor1はSO4<sup>2・</sup>NH4<sup>+</sup>などで高く、二次生成された(NH4)2SO4と考えられる。(NH4)2SO4のSO4<sup>2-</sup>/NH4<sup>+</sup>比は2.7となるが、ここでも2.7となった。

Factor2はCa<sup>2+</sup>、Al、Tiの割合が高く、煙霧に関連する土壌を表す因子と思われる。

**Factor3**は**Na**<sup>+</sup>、**Mg**<sup>2+</sup>などで高く、海塩によるものと想定される。海塩の**Mg**<sup>2+</sup>/**Na**<sup>+</sup>比は 0.11 とされており、ここでは 0.18 と若干高めであった。

Factor4 は V、Ni などが高く、石油燃焼と思われる。石油燃焼の一般的な V/Ni 比は 2.1 ~3.1 とされて<sup>29)</sup>おり、ここでは 3.08 と範囲内であった。

Factor5 は K<sup>+</sup>、Cr、Cu、As、Sb などが高く廃棄物燃焼と思われる。

**Factor6**はNO<sub>3</sub>・Cl·で高く、二次生成されたNH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>などの粒子と考えられる。NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>のNO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>+比は 3.4 であり、ここでは 1.6 と低い値を示した。

Factor7は soot-EC で高く自動車排気ガスと思われる。













Factor 4 石油燃焼





Factor 6 二次生成硝酸塩





Factor 7 自動車排気ガス

図 7-3-1 発生源プロファイル



図 7-3-2 煙霧時の各寄与濃度の平均組成

2018年度に観測された黄砂・煙霧の期間と、環境省が実施した成分分析の調査期間が一致した全国の調査結果 59 件について、PMF による発生源寄与平均組成の結果は、図 7-3-2 に示すとおりである。

平均組成は、二次生成硫酸塩の寄与が最も高く 31.9%を示し、次いで土壌の寄与が高く 21.28%を示した。

# 8 PM2.5 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用

これまでの黄砂実態解明調査では、黄砂の成分濃度を把握するため、自治体による PM2.5 成分分析結果を利用していたが、自治体による PM2.5 成分分析は黄砂飛来時と時 期が一致することが少なく、黄砂時の成分に関する情報が不足していた。また、福岡県 の自動測定機(SPA)による PM2.5 中の SO4<sup>2</sup>(硫酸イオン)濃度の1時間値を利用して、 黄砂と人為起源系汚染物質との混在状況を確認したところ混在状況は不明のままであっ た。

環境省では PM2.5 の発生源を推計するため、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た。このうち、PM2.5 自動測定機

(ACSA)は、全国 10 地点で PM2.5 及び粗大粒子中の SO4<sup>2</sup>、NO3<sup>-</sup>(硝酸イオン)など を測定している。ここでは PM2.5 中の成分のほか、粗大粒子の成分などの利用について 検討を行った。

本検討では ACSA のデータのうち、PM2.5、PM10、SO<sub>4</sub><sup>2</sup>、NO<sub>3</sub>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 8-1 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	$\mathrm{fSO}_{4^{2^{-}}}$	fNO3 <sup>-</sup>						
(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	$cSO_4^{2-}$	cNO3 <sup>-</sup>						
(PM10-2.5)	(図表中では cSO4 と表記)	(図表中では cNO3 と表記)						

表 8-1 本調査で使用する成分

#### **8.1 各項目の年平均**

ACSA の測定項目について、黄砂時における PM10 及び PM2.5 中の成分濃度を評価する にあたり、各項目の年平均値を地点別にまとめた(表 8-1-1、図 8-1-1)。

PM10は、西日本で濃度が高い傾向を示し、特に隠岐や五島などの離島で高い傾向がみられた。

fNO3は、東京、名古屋、大阪、福岡などの都市部で高い傾向がみられた。

fSO42 も PM10 と同様に西日本で高い傾向を示すが、特に福岡、五島で高い値であった。

	札幌	巻	箟岳	東京	名古屋	大阪	赤穂	隠岐	五島	福岡
PM2.5	10.6	9.6	10.4	13.4	12.6	11.8	11.8	11.4	13.1	12.0
PM10	18.8	22.6	19.2	25.6	23.8	23.3	23.6	30.2	32.4	24.9
fNO3	1.1	0.6	0.7	1.6	1.2	1.4	1.1	0.9	1.0	1.2
fSO4	2.1	2.2	2.1	2.5	2.8	2.7	3.2	3.1	3.7	3.7

表 8-1-1 年平均值



# 8.2 黄砂時における粗大粒子の成分濃度

ACSAは、PM2.5 質量濃度だけでなく、粗大粒子側(PM10-PM2.5)の成分濃度も同時に測定している。黄砂飛来時には、粗大粒子の濃度が高くなることが知られており、2018 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。

# (1) 黄砂事例 1 2018 年 4 月 6 日~7 日

4月6日の福岡及び五島で、4月6日に PM10 が上昇する前の4月5日に PM2.5の fSO4<sup>2-</sup> が上昇している。また、東京、名古屋、赤穂、隠岐では4月6日の PM10上昇とともに fSO4<sup>2-</sup> が上昇している。これらの地点では、いずれも fSO4<sup>2-</sup>は上昇した後、減少に転じており、4 月7日は濃度が低下傾向であった。東京では粗大粒子の cSO4<sup>2-</sup>も同時期に上昇傾向であっ た。

**NO**<sub>3</sub><sup>•</sup>については、いずれも PM10 と同期している地点が多い。PM2.5 の fNO<sub>3</sub><sup>•</sup>は、東京 や巻で 4 月 6 日に大きな上昇がみられた。一方、粗大粒子の cNO<sub>3</sub><sup>•</sup>は、赤穂及び名古屋で 4 月 6 日に最大で 4µg/m<sup>3</sup>程度に大きくなり、その後減少した。







図 8-2-1-1 PM10 及び PM2.5 と粗大粒子の成分の経時変化

図 8-2-1-2 に黄砂が観測された地点に近い観測値での PM2.5/PM10 の継時変化を示す。 ここでは、黄砂観測時における観測データに欠損がない地点を選んでいる。この図より、黄 砂時には PM2.5/PM10 が低くなりその状態が数時間継続していることが分かる。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。これを参考に、図 8-2-1-2 から その比が 0.3 以下になっている時間を見積もると、隠岐においては約 30 時間、五島におい ては約 21 時間継続していることが分かる。この期間について気象庁の過去の気象データを 見ると、長崎で 15 時間の黄砂が観測された。



図 8-2-1-2 各地点における PM2.5/PM10

#### (2) 黄砂事例 2 2018 年 4 月 11 日~13 日

4月11日~13日の事例では黄砂の観測が北海道と東北地方のみであったので札幌、箟岳の濃度推移を示した。

この期間、黄砂が観測された4月11日から札幌、篦岳ともにfSO4<sup>2</sup>の濃度上昇が見られる。これらの上昇はPM10の上昇と同期していた。また、cSO4<sup>2</sup>に関して、濃度上昇は確認されなかった。

硝酸イオンは、札幌、箟岳ともに PM10 の変動と同期しており、PM10 の最大値が現れ た 4 月 12 日以前に fNO<sub>3</sub><sup>-</sup>、cNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の最大値が現れてそれぞれ、2.5µg/m<sup>3</sup>以上の値となって いた。



# 図 8-2-2-1 PM10 ならびに PM2.5 と粗大粒子の成分の経時変化

図8-2-2-2に黄砂が観測された地点に近い観測地点でのPM2.5/PM10の継時変化を示す。 ここでは、黄砂観測時における観測データに欠損がない地点を選んでいる。事例(1)と同 様、黄砂時にはPM2.5/PM10が低くなりその状態が数時間継続していることが分かる。図 8-2-2-2からその比が 0.3以下になっている時間を見積もると、札幌においては約20時間 継続していることが分かる。この期間について気象庁の過去の気象データを見ると、釧路で 2時間10分の黄砂が観測された。



図 8-2-2-2 札幌での PM2.5/PM10

#### (3) 黄砂事例 3 2018 年 4 月 15 日~17 日

黄砂が北海道、東北地方で見られなかったため、札幌、篦岳を除いた地点の濃度の推移を 示した。ほぼすべての地点で4月16日にPM10が上昇しているが、その前の4月14日に PM2.5のfSO4<sup>2</sup>が上昇している地点が多い。また、福岡、五島ではそれぞれ、4月15日、 4月16日のPM10上昇とともにfSO4<sup>2</sup>が上昇している。これらの地点では、いずれもfSO4<sup>2</sup> は上昇した後、減少に転じているが、その後も高い値を保っている。東京、赤穂、大阪、福 岡では粗大粒子のcSO4<sup>2</sup>でも同時期に上昇した。それ以外でcSO4<sup>2</sup>の大きな増加は確認さ れなかった。

また、NO3 については、東京、赤穂、隠岐、福岡、五島で PM10 と同期している。PM2.5 の fNO3 は、ほぼすべての地点で黄砂飛来中に上昇がみられた。一方、粗大粒子の cNO3 も 地点によって大きさの違いはあるものの、黄砂飛来中に上昇がみられる。東京では急激に上 昇した後、すぐに減衰、大阪では急激に減少するが上昇した後はしばらくその濃度を保つな ど地域によって異なる傾向を示している。





図 8-2-3-1 PM10 及び PM2.5 と粗大粒子の成分の経時変化

図8-2-3-2に黄砂が観測された地点に近い観測地点でのPM2.5/PM10の継時変化を示す。 ここでは、黄砂観測時における観測データに欠損がない地点を選んでいる。これまでの事例 と同様、黄砂時には PM2.5/PM10 が低くなりその状態が数時間継続していることが分かる。 図8-2-3-2 からその比が 0.3 以下になっている時間を見積もると、隠岐においては約86 時 間、五島においては約56 時間継続していることが分かる。この期間について気象庁の過去 の気象データを見ると、松江で約48 時間、長崎で約42 時間の黄砂が観測された。



図 8-2-3-2 各地点における PM2.5/PM10

# (4) 黄砂事例 4 2018 年 5 月 25 日

5月25日の黄砂事例では、松江でのみ観測されたので、隠岐の濃度の推移を示した。黄 砂観測前での5月24日からPM10が上昇し濃度の高い状態を保っているが、その数時間 前にPM2.5のfSO4<sup>2</sup>が上昇している。また、fSO4<sup>2</sup>は5月25日午後にも上昇が見られる。 これらの上昇では、いずれもfSO4<sup>2</sup>は上昇した後、減少に転じている。粗大粒子のcSO4<sup>2</sup>で も5月25日1:00前後からの上昇が見られた。

NO3<sup>-</sup>については、黄砂観測日前の PM10 の上昇と同期していた。PM2.5 の fNO3<sup>-</sup>は、黄砂観測期間中に高い上昇がみられる。一方、粗大粒子の cNO3<sup>-</sup>も黄砂観測日前からの上昇が みられた。



図 8-2-4-1 PM10 及び PM2.5 と粗大粒子の成分の経時変化

図8-2-4-1に黄砂が観測された地点に近い観測地点でのPM2.5/PM10の継時変化を示す。 ここでは、黄砂観測時における観測データに欠損がない地点を選んでいる。これまでの事例 と同様、黄砂時には PM2.5/PM10 が低くなりその状態が数時間継続していることが分かる。 図8-2-4-2からその比が0.3以下になっている時間を見積もると、隠岐においては約30時 間継続していることが分かる。この期間について気象庁の過去の気象データを見ると、松江 で約7時間の黄砂が観測された。



図 8-2-4-2 隠岐における PM2.5/PM10

## 8.3 PM2.5とPM10の比

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

PM10 は SPM よりも粗大な粒子の量的指標となるため、黄砂時の PM2.5/PM10 は、 PM2.5/SPM よりも顕著な変化となる可能性があるため、PM2.5/PM10 についてとりまと めを行う。なお、ここでは煙霧日の事例としてはアジア大陸のダスト起源と判断した事例に ついて解析する。

#### (1) 年平均値との比較

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

#### 年平均

2018 年度における PM2.5/PM10 は、10 地点平均で 0.5 であり、地点別にみると 0.39~0.59 であった。

② 気象台で黄砂が観測された日

黄砂が観測された 9 日間をみると、10 地点平均が 0.32~0.45 となり全国的に年 平均を下回った。

黄砂が観測された4月6日、7日は、10地点平均で0.42、0.43と全国的に低い 状況であった。

4月11日~13日は、10地点平均で0.38~0.41と年平均を大きく下回り、地点別 でも全国的に低い状況であった。

4月15日~17日は、10地点平均で0.32~0.45と年平均を大きく下回り、地点別でも全国的に低い状況であった。

5月25日は、10地点平均で0.37と年平均を大きく下回り、地点別でも全国的に 低い状況であった。

③ 気象台で大規模煙霧が観測された日

気象台で大規模煙霧が観測された 15 日間をみると、10 地点平均が 0.40~0.55 と なり、黄砂時より高い傾向がみられた。このうち最も高い値 (0.55) を示した日は、 2018 年 5 月 15 日である。このとき、名古屋において 0.63 など全国的に高い値を 示していた。ただし、煙霧日において 4 月 3 日の五島で 0.23 となるなど PM2.5/PM10 が低い日も見られた。

地点		札幌	巻	箟岳	東京	名古屋	大阪	赤穂	隠岐	五島	福岡	平均
年平	∠均	0.59	0.44	0.57	0.55	0.55	0.51	0.51	0.39	0.43	0.51	0.50
	2018/4/6	0.63	0.42	0.67	0.39	0.30	0.48	0.48	0.19	0.27	0.35	0.42
	2018/4/7	0.75	0.26	0.57	0.38	0.53	0.39	0.34	0.34	0.41	0.34	0.43
	2018/4/11	0.58	0.48	0.40	0.37	0.44	0.35	0.33	0.34	0.30	0.41	0.40
	2018/4/12	0.39	0.40	0.45	0.51	0.44	0.39	0.38	0.32	0.42	0.37	0.41
気象台黄砂	2018/4/13	0.45	0.22	0.40	0.38	0.53	0.42	0.38	0.31	0.40	0.32	0.38
	2018/4/15	0.73	0.33	0.60	0.43	0.64	0.59	0.51	0.22	0.19	0.27	0.45
	2018/4/16	0.52	0.25	0.63	0.33	0.31	0.27	0.26	0.22	0.22	0.18	0.32
	2018/4/17	0.57	0.31	0.62	0.33	0.37	0.24	0.26	0.23	0.29	0.33	0.35
	2018/5/25	0.39	0.26	0.49	0.44	0.47	0.40	0.42	0.27	0.28	0.30	0.37
	2018/4/1	0.56	0.55	0.56	0.43	0.44	0.41	0.37	0.37	0.30	0.44	0.44
	2018/4/2	0.59	0.38	0.49	0.40	0.39	0.39	0.41	0.34	0.26	0.42	0.41
	2018/4/3	0.57	0.39	0.43	0.40	0.46	0.44	0.46	0.29	0.23	0.38	0.40
	2018/4/4	0.46	0.36	0.61	0.43	0.52	0.52	0.39	0.24	0.24	0.30	0.41
	2018/5/14	0.55	0.37	0.49	0.59	0.63		0.57	0.52	0.46	0.52	0.52
	2018/5/15	0.55	0.42	0.56	0.61	0.63	-	0.60	0.53	0.48	0.53	0.55
与兔台博霆	2018/5/16	0.49	0.43	0.51	0.61	0.63		0.57	0.47	0.39	0.50	0.51
入り家ロル主教	2018/5/17	0.37	0.38	0.56	0.55	0.59	-	0.49	0.46	0.33	0.61	0.48
	2018/5/18	0.45	0.41	0.45	0.50	0.61	-	0.46	0.37	0.30	0.46	0.44
	2019/3/20	0.48	0.56	0.55	0.57	0.60	0.59	0.52	0.40	0.35	0.47	0.50
	2019/3/21	0.54	0.47	0.43	0.35	0.34	0.47	0.26	0.33	0.30	0.54	0.40
	2019/3/22	0.53	0.42	0.61	0.34	0.62	0.57	0.62	0.46	0.53	0.54	0.52
	2019/3/26	0.51	0.38	0.49	0.53	0.59	0.56	0.52	0.40	0.48	0.52	0.50
	2019/3/27	0.64	0.25	0.39	0.43	0.52	0.49	0.53	0.40	0.49	0.50	0.45

表 8-3-1 黄砂時、大規模煙霧時における PM2.5/PM10

# (2) PM2.5/SPM との比較

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

PM2.5/SPM は、黄砂時に 0.56~0.76、煙霧時に 0.66~0.87 が示された。

一方、PM2.5/PM10は、黄砂時に 0.23~0.49、煙霧時に 0.40~0.55 であった。

PM2.5/SPM では黄砂時と煙霧時の最小値の差が 0.10、最大値の差が 0.11 であったが、 PM2.5/PM10 では黄砂時と煙霧時の最小値の差が 0.17、最大値の差が 0.06 となり、最小値 での差が大きくなった。このように黄砂時においては、PM2.5/SPM より PM2.5/PM10 で 顕著な差が見られた。しかし、煙霧時においては、PM2.5/SPM で顕著な差があることから、 黄砂と煙霧を検討する場合には、PM2.5/SPM と PM2.5/PM10 の両者を集計することが有 効と考えられる。

事例	年	月	日	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
1	2018	4	6	0.65	0.47
T	2018	4	7	0.64	0.37
	2018	4	11	0.74	0.34
2	2018	4	12	0.74	0.49
	2018	4	13	0.76	0.39
	2018	4	15	0.56	0.34
3	2018	4	16	0.61	0.34
	2018	4	17	0.62	0.23
4	2018	5	25	0.73	0.23

表 8-3-2 2018 年度の黄砂日一覧

表 8-3-3 2018 年度の煙霧日一覧

事例	年	月	日	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
	2018	4	1	0.76	0.44
1	2018	4	2	0.74	0.41
Ť	2018	4	3	0.74	0.40
	2018	4	4	0.73	0.41
	2018	5	14	0.79	0.52
	2018	5	15	0.80	0.55
2	2018	5	16	0.87	0.51
	2018	5	17	0.72	0.48
	2018	5	18	0.66	0.44
	2018	3	20	0.81	0.50
3	2018	3	21	0.69	0.40
	2018	3	22	0.76	0.52
1	2018	3	26	0.81	0.50
4	2018	3	27	0.79	0.45

上記のように、PM2.5 成分自動測定機 ACSA-14 のデータを利用して、黄砂飛来時における PM2.5 及び PM10 の硫酸イオン・硝酸イオン成分の経時変化をみたところ、黄砂日には PM10 の濃度が上昇する前に PM2.5 の硫酸イオンが上昇している地点が多くあった。また、 PM10 濃度の上昇と併せて、PM2.5 及び PM10 の硝酸イオンが上昇していた。ただ、今後の課題として、さらに詳細に硫酸イオンの上昇と PM10 の上昇に係る空気塊が同一のもの

と判断するためには、湿度の高低を調べるのが良い方法であると思われる。

黄砂日における PM2.5/PM10 の経時変化をみたところ PM2.5/PM10 の値は年間平均と 比べて小さくなる傾向になることが明らかになった。これは、黄砂に PM10 程度の粒径の 粒子が多く含まれ、PM10 濃度が高くなることによる。

また、1時間ごとの PM2.5/PM10 の値は黄砂飛来時にその比が小さくなり、数十時間継続していたことから、黄砂が数十時間継続していると推測された。

PM2.5/PM10 は場所によって大きく異なるため、全国一律に判断を行うには不適切な部 分もある。このような理由のため、PM2.5/PM10 は黄砂を把握するために有効な指標とな る可能性があるが、黄砂日のデータ量がまだ少ないなどの理由も含め、ライダー観測や PM2.5 成分自動測定機のデータと併せてさらにデータを収集し、解析する必要がある。ま た、PM2.5/PM10 のみでなく PM10 濃度との相関係数なども黄砂の把握に取り入れていく 必要がある。

# 9 人工衛星データの利用

黄砂は、中国大陸で発生した砂塵嵐が偏西風によって日本へ飛来するものである。日本へ 飛来する際に様々な経路をとることで混在する大気汚染物質の質や量が異なる。黄砂の飛 来経路については、現状では CFORS によるモデル計算や、後方流跡線による気流の流れで 評価している。しかし、黄砂が到達するまでの実際の経路は不明であるため、人工衛星のデ ータを活用し、黄砂の捕捉について検討を行う。

# 9.1 国内外における地球観測人工衛星の概要

黄砂の捕捉に適用可能な国内外の地球観測用の人工衛星について、ひまわり 8 号、 CALIPSO、MODIS の3種類を取り上げ、その概要をまとめた。

# (1) ひまわり8号

ひまわり 8 号は気象庁で運用されている日本の気象衛星である。高度約 36,000 km の静 止軌道にあり、分解能は 0.5~2 km で、1,000 km×1,000 km の範囲を撮影することができ る。ひまわり 8 号では、16 の観測バンドによる観測を実施しており、バンドを利用した RGB 合成による黄砂の検出について検討を行った。ひまわり 8 号の衛星データを黄砂の検出に 利用する際、各バンドの差分を用いた Dust RGB を用いた。Dust RGB では、バンド 15 とバ ンド 13 の差分、バンド 13 とバンド 11 の差分、バンド 13 の画像を赤色、緑色、青色に割り 当て、RGB 合成した画像であり、黄砂や火山灰の識別に有効である。図 9-1-1-1 では、気 象庁のホームページで、人工衛星で黄砂をとらえたとして紹介された画像である。このよう に Dust RGB では、黄砂などの砂塵が赤紫色で示される。



図 9-1-1-1 Dust RGB (ひまわり 8 号 RGB 合成画像の基礎(平成 27 年度 予報技術研修テキスト)より)

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

#### (2) CALIPSO

CALIPSO は、アメリカ航空宇宙局とフランス国立宇宙研究センターとの共同による地球 観測衛星であり、ライダーを搭載していることが特徴である。

CALIPSO は地球全体を把握できる軌道上を動いていることから、日本付近の状況を常に 見ている訳ではないが、搭載されているライダーによって黄砂の判別が容易であり、黄砂の 飛来高度も判定できる。図 9-1-2-1 は、日本で観測された黄砂事例であるが、モンゴル・ゴ ビ砂漠付近において広範囲で発生した黄砂が、韓国付近を経由し、日本へ飛来している様子 がわかる。なお、CALIPSO は既に耐用年数を過ぎており、データ提供の停止が懸念される。



図 9-1-2-1 CALIPSO のデータ(左: CALIPSO の軌道、右: ライダーデータ(黄: Dust))

#### (3) MODIS

MODISはアメリカ航空宇宙局で開発されたセンサーで、地球観測軌道衛星のTerraとAqua に搭載されている。観測波長帯は 0.4µm から 14.4µm の範囲に 36 バンドを有しており、汚

染物質を判別する手段として利用されているものの、黄砂への適用は見られない。MODIS を搭載した Terra と Aqua も CALIPSO と同様に、耐用年数を過ぎており、データ提供の停止 が懸念される。

ここで取り上げた地球観測人工衛星 3 種類について、表 9-1-3-1 に特徴をまとめた。 CALIPSO はライダーを搭載しており、黄砂の判別が可能であることから、有効性が高いが、 打ち上げから 14 年経ち耐用年数が過ぎている。また、MODIS を搭載している Terra、Aqua も耐用年数を過ぎていることからデータの提供が停止される恐れがあることから、詳細な 検討は行わないものとした。

一方、ひまわり8号は、耐用年数に問題はなく、Dust RGBにより画像処理が可能なため、 比較的黄砂の識別が容易と考えられることから、詳細を検討することとする。

人工衛星	(1)ひまわり 8 号	(2) CALIPSO	(3) MODIS (Terra,Aqua)
国籍	日本	米・仏	*
衛星の種類	静止衛星	極軌道衛星	極軌道衛星
打ち上げ年	2014	2006	1999,2002
耐用年	≧2022	≧2018	≧2018
データ	Dust RGB	消散係数	AOT
空間解像度	1000~2000m	333m	250~1000m
特徴	●黄砂の判別が容易。	●ライダー搭載で黄	●汚染物質の判断で
	●画像による定性的評価。	砂の判別が可能。	使用可能。
	●直近2日間上り過去の街	●軌道衛星のため、	●衛星の耐用年数を
	● 直近 3 日间より 適去の 解	黄砂の発生と経路が	過ぎている。
課題	生回家が公用されてわら	わかりにくい。	●黄砂検出の適用に
	り、アータから画像処理す	●衛星の耐用年数が	ついて報告が見当た
	る心女/パ&)る。	過ぎている。	らず検討が必要。

表 9-1-3-1 国内外の地球観測人工衛星

## 9.2 ひまわり 8 号による Dust RGB による黄砂事例の検証

2018 年度に観測された黄砂について、ひまわり 8 号の衛星データから Dust RGB 処理を した画像を用いて検証を行う。Dust RGB は、ひまわり 8 号の 16 の観測バンドのうち、バン ド 11 からバンド 15 を使って差分したデータから画像処理したものである。

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

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

次に 2018 年度に観測された黄砂 4 事例(2018 年 4 月 6 日~7 日、4 月 11 日~13 日、4 月 15 日~17 日、5 月 25 日) について、ACSA による PM10 の経時変化と Dust RGB 画像(日本時間の 12 時の画像)をまとめた。

# (1) 黄砂事例 1 2018 年 4 月 6 日~7 日

2018年4月6日は九州、7日は西日本で黄砂が観測された。本事例のPM10の経時変化 とDust RGBを図 9-2-1-1、図 9-2-1-2に示す。

日本では福岡で4月6日20時50分~7日14時、長崎で6日17時30分~7日8時30 分に黄砂が観測されていた。Dust RGBから、4月6日12時の時点で大陸に黄砂が発生し ている様子が確認でき、時間が経つにつれ日本に流れ込む様子が確認できた。7日は西日本 の広い範囲で黄砂が観測されたが、日本海に濃い赤色が見られ、西日本を薄い赤色で覆って いる様子が確認できた。Dust RGB上で赤色の濃淡を比較すると、島根県付近が最も濃度が 高くなるように見えるが、ACSAのデータを見ると、隠岐の濃度は他地点と大きな差は確認 できず、五島で最高濃度を観測した。



図 9-2-1-1 PM10 の経時変化



図 9-2-1-2 Dust RGB

#### (2) 黄砂事例 2 2018 年 4 月 11 日~13 日

2018年4月11日は島根県、12日~13日は北海道・東北地方で黄砂が観測された。本事 例の PM10の経時変化と Dust RGB を図 9-2-2-1、図 9-2-2-2 に示す。

4月11日は松江で15時20分~20時50分、12日は釧路で16時~18時10分にかけて 黄砂が観測された。11日のDust RGBでは、黄砂が観測された松江付近は雲に覆われてお り、黄砂を確認することはできなかった。12日は北海道の西の海上に黄砂が確認され、北 海道・東北を覆う様子が見られた。ACSAのデータからの12日の北海道で濃度の上昇が確 認でき、黄砂の影響であることが示唆される。しかし、13日は帯広で黄砂が観測されてい たものの、Dust RGBでは帯広付近に黄砂を確認することはできなかった。



図 9-2-2-1 PM10の経時変化



図 9-2-2-2 Dust RGB

#### (3) 黄砂事例 3 2018 年 4 月 15 日~17 日

2018年4月15日~17日は、西日本の広い範囲で黄砂が観測された。本事例のPM10の 経時変化とDust RGBを図 9-2-3-1図 9-2-3-2 に示す。

松江では4月15日20時50分~17日20時、長崎では15日15時20分~17日9時30 分にかけて長時間黄砂が観測された。Dust RGBから、15日12時の時点で韓国・北朝鮮に 黄砂があることが確認でき、16日にかけて日本に流れ込んでくる様子が確認できた。16日 は西日本の広い範囲が薄い赤色で覆われており、観測結果及びACSAで見られた濃度上昇 と同様の結果が得られた。一方、17日は16日と同様、西日本広域で黄砂が観測されたが、 Dust RGBからは黄砂を確認することはできなかった。17日は沖縄~東日本にかけて曇り や雨が観測されており、広い範囲が雲で覆われていた。Dust RGBでも雲に覆われている様 子が表されており、雲の影響により17日の黄砂は確認できなかった。



図 9-2-3-1 PM10 の経時変化



図 9-2-3-2 Dust RGB

# (4) 黄砂事例 4 2018 年 5 月 25 日

2018 年 5 月 25 日は島根県松江市で黄砂が観測された。本事例の PM10 の経時変化と Dust RGB を図 9-2-4-1、図 9-2-4-2 に示す。

日本では、松江にて 25 日 13 時 20 分~20 時にかけて黄砂が観測された Dust RGB 上で は、日本海が薄い赤色で覆われており、黄砂を確認することができた。しかし、ACSA のデ ータからは隠岐での濃度上昇は確認できず、5 月 24 日の午後に上昇した後の濃度はほぼ横 ばいであった。一方、巻では 25 日に濃度が上昇しており、巻での濃度上昇は黄砂以外の影 響であることが示唆される。



図 9-2-4-1 PM10の経時変化



図 9-2-4-2 Dust RGB

2018年度に観測された黄砂4事例について、人工衛星のデータを活用した黄砂の感知に ついて検討を行った。Dust RGBの結果、黄砂が大陸から日本へ飛来している様子を確認す ることができ、範囲についてもある程度特定することは可能であった。しかし、衛星画像は 水蒸気を多く含む範囲での撮影には適していない。一方で、大陸で発生したダストや大陸上 の移流を表すことに長けている。そのため、日本への黄砂飛来状況を確認するために用いる のではなく、モデルの初期値設定のためのデータ同化として活用することで、より正確な黄 砂飛来予測が可能となる可能性がある。また、ここでは日本時間の12時のみで評価を行っ たが、ひまわり8号のデータは10分毎に公開されているため、様々な時間のデータを用い ることでより詳細なモデルの計算等に活用できる可能性が示唆される。

# 10 今後の課題

本報告書では、ライダー及び PM2.5 成分自動測定機(ACSA)等のデータにより、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 PM2.5 成分自動測定機(ACSA)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を確認したが、その他の成分等も混在してい ると考えられることから、金属成分の測定が可能な PM2.5 成分自動測定機(PX-375)等の データも合わせた解析が望まれる。また、今年度は黄砂時において微小粒子の硫酸イオンの 上昇の後、PM10の上昇が見られたが、これらは別の空気塊である可能性がある。同一の空 気塊か判断するためには湿度の解析も必要である。これに加えて黄砂の判断には PM2.5/PM10の比のみでなく、それと PM10 濃度との相関を調べてみることも有効である。

○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。

○全国の黄砂観測日については、各気象台が観測した黄砂日の延べ日数で把握されていた が、黄砂観測を中止する気象台が出てきたため(昨年度は59カ所から51カ所に減少)、 過去の黄砂観測結果との継続性について確保する必要がある。
## 参考文献リスト

- 1. 「環境省」2007:黄砂実態解明調查中間報告書
- 2. 「環境省」2008:黄砂実態解明調查報告書
- 3. 「環境省」2009:黄砂飛来状況報告書

 「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:黄砂実態解明調查中間報告書-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查報告書
- 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查報告書
- 12. 「環境省」2018:平成29年度黄砂飛来状況調査報告書
- 12. 「環境省」HP(環境省大気汚染物質広域監視システム): http://soramame.taiki.go.jp/
- 13. 「気象庁」HP(地球環境のデータバンク黄砂):

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa\_data\_index.html

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

http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html

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

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

- 20. 「アメリカ国務省 Mission China」 http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html
- 21. 日下部正和他:日本における黄砂飛来の影響-平成25年度黄砂実態解明調査結果概要(10年間のまとめ-、第55回大気環境学会年会講演要旨集、475(2014)
- 22. 後藤隆久、岩本真二、日下部正和:日本に飛来する黄砂の分類について、第53回大気環境 学会年会講演要旨集、487 (2012)
- 23. A. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, I. Mori, M. Nishikawa. M. Kido : Relationship

between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentration in Japan, SOLA, Vol7A, 1-4 ,2011

- 24. 日下部正和、後藤隆久、岩本真二: ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検 討、第 53 回大気環境学会年会講演要旨集、488 (2012)
- 25. 原由香里、佐竹晋輔、鵜野伊津志、竹村俊彦:領域ダスト輸送モデルを用いた黄砂現象の 年々変動シミュレーション、天気、51 (10) 719-728 (2004)
- 26. 日下部正和、岩本真二:黄砂・煙霧時における PM2.5 の環境基準超過について、第 54 回大 気環境学会年会講演要旨集、491 (2013)
- 27. Cohen, D., David., Crawford, Jagoda., Stelcer, Eduard., Atanacio, J., Armand. (2012) Application of positive matrix factorization, multi-linear engine and back trajectory techniques to the quantification of coal-fired power station pollution in metropolitan Sydney, Atmospheric Environment 61, 204-211.
- 28. 辻昭博:大気エアロゾル中のイオン成分および無機元素成分の粒径別高時間分解能観測による黄砂と人為起源物質の越境汚染輸送の詳細解析、大気環境学会誌、48 (2) 82-91(2013)
- Bressi, M., Sciare, J., Ghersi, V., Mihalopoulos, N., Petit, J.-E., Nicolas, J. B., Moukhtar, S., Rosso, A., Féron, A., Bonnaire, N. Poulakis, E., Theodosi, C. Sources and geographical origins of fine aesols in Paris (France), Atmos. Chem. Phys., 14, 8813– 8839. (2014)
- 30. 岩本真二他:日本に飛来する黄砂の分類方法、第57回大気環境学会年会講演要旨集、
  2B0930 (2016)
- 31. 西川雅高他:日本で捕集した典型的な黄砂エアロゾルの化学組成、大気環境学会誌、 51(5)218-229 (2016)
- 32. 鵜野伊津志他:九州北部で2014年5月下旬から1週間継続した黄砂期間の硝酸塩の越境輸送のモデル解析、大気環境学会誌、51(4)181-189 (2016)
- 33. Uematsu, M., A. Yoshikawa, H. Muraki, K. Arao and I. Uno: Transport of mineral and anthropogenic aerosols during a Kosa event over East Asia, J. Geophy. Res., 107, No.D7, 10.1029/ 2001JD000333 (2002).
- 34. Sugimoto, N., A. Shimuzu, I. Matsui and M. Nishikawa: A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM2.5-to-PM10 ratios, Particulogy, 28, 114-120
- 35. 森育子他: 2018年7月における PM2.5 高濃度事象の解析、第60回大気環境学会年会

講演要旨集、P-47(2018)

36. 池森文数:2019年2月下旬から3月上旬の北海道における PM2.5 高濃度事例解析 - テープろ紙の有機トレーサー成分測定とその特徴-、第60回大気環境学会年会講演要 旨集、2A10145(2018)