

---

平成 30 年度黄砂飛来状況調査  
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	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	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、PM<sub>2.5</sub>/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、PM<sub>2.5</sub>/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、SO<sub>4</sub><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  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  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) 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  $\text{SO}_4^{2-}$  は  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  程度であったが、籠岳では  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  が  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  は最大でも  $6\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  が  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超え、他複数の地点で  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  が  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超え、 $\text{SO}_4^{2-}$  が  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超える濃度が観測された。一方、 $\text{SO}_4^{2-}$  はこの期間で  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超える濃度が観測された。ACSA の  $\text{SO}_4^{2-}$  は複数の地点で  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  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 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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、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 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  から 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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 13.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  の超過率は 2.0%で、前年度と比較して、平均濃度（前年度：22.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、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 16.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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：23.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、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 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上であり、かつ黄砂もしくは煙霧が観測された地点を抽出し、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  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ （硝酸イオン）などを測定している。そこで、ここでは ACSA の測定結果の利用について検討を行った。

### 8. 1 年平均

PM10 は、日本の西側ほど濃度が高い傾向を示し、特に隠岐や五島の離島で高いことが特徴である。また、 $\text{SO}_4^{2-}$  も同様に西側ほど濃度が高い傾向を示した。一方で  $\text{NO}_3^-$  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	調査目的	1
2	黄砂の観測状況	1
2.1	黄砂の観測状況	1
2.2	黄砂のSPM濃度	3
3	煙霧の観測状況	10
4	2018年度における黄砂日の事例解析	12
4.1	黄砂日の事例解析	12
4.2	解析方法	12
(1)	黄砂観測地点	12
(2)	気象状況	13
(3)	SPM濃度全国分布	14
(4)	後方流跡線	14
(5)	CFORS (Chemical weather FORecasting System)	14
(6)	ライダー	14
(7)	PM2.5日平均濃度	14
(8)	硫酸イオン等の大気汚染物質	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	2018年度の黄砂	18
4.4	黄砂日の解析結果	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	28
(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	52
5	2018年度における煙霧日の事例解析	61
5.1	煙霧日の事例解析	61
5.2	2018年度の煙霧日	61
5.3	煙霧日の解析結果	64
(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	91
(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	118
⑤		2018 年 12 月 2 日	119
⑥		2018 年 12 月 5 日	120
6.2	黄砂の検出条件の検討		121
①		2018 年 4 月 18 日	122
②		2018 年 4 月 20 日	123
③		2018 年 4 月 22 日	124
④		2018 年 4 月 23 日	125
⑤		2018 年 4 月 28 日	126
⑥		2018 年 5 月 28 日	127
⑦		2018 年 11 月 28 日	128
⑧		2018 年 11 月 29 日	129
⑨		2018 年 11 月 30 日	130
7	黄砂・煙霧日の PM <sub>2.5</sub> 濃度		132
7.1	黄砂・煙霧時における PM <sub>2.5</sub> 環境基準超過		132
7.2	黄砂時・煙霧時における PM <sub>2.5</sub> 成分濃度		135
7.3	黄砂・煙霧時 PM <sub>2.5</sub> の PMF 法による発生源寄与推定		138
8	PM <sub>2.5</sub> 成分自動測定機 ACSA-14 測定結果の利用		143
8.1	各項目の年平均		143
8.2	黄砂時における粗大粒子の成分濃度		144
(1)	黄砂事例 1	2018 年 4 月 6 日～7 日	145
(2)	黄砂事例 2	2018 年 4 月 11 日～13 日	148
(3)	黄砂事例 3	2018 年 4 月 15 日～17 日	149
(4)	黄砂事例 4	2018 年 5 月 25 日	152
8.3	PM <sub>2.5</sub> と PM <sub>10</sub> の比		153
(1)	年平均値との比較		153
(2)	PM <sub>2.5</sub> /SPM との比較		154
9	人工衛星データの利用		157

9.1	国内外における地球観測人工衛星の概要.....	157
(1)	ひまわり 8 号.....	157
(2)	CALIPSO.....	158
(3)	MODIS.....	158
9.2	ひまわり 8 号による Dust RGB による黄砂事例の検証.....	160
(1)	黄砂事例 1 2018 年 4 月 6 日～7 日.....	161
(2)	黄砂事例 2 2018 年 4 月 11 日～13 日.....	163
(3)	黄砂事例 3 2018 年 4 月 15 日～17 日.....	165
(4)	黄砂事例 4 2018 年 5 月 25 日.....	167
10	今後の課題.....	169

## 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べ日数を、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。

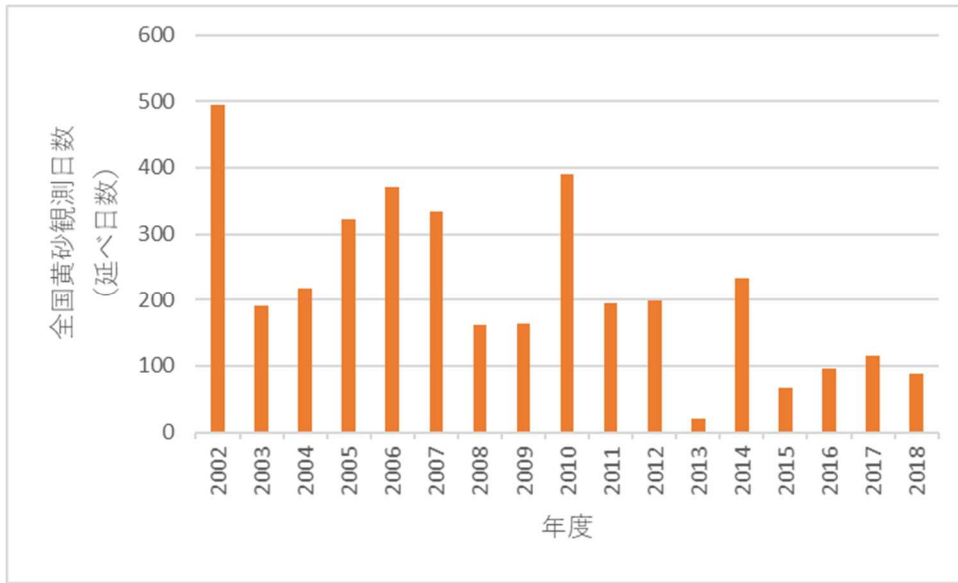


図 2-1-1 黄砂観測日数の経年変化

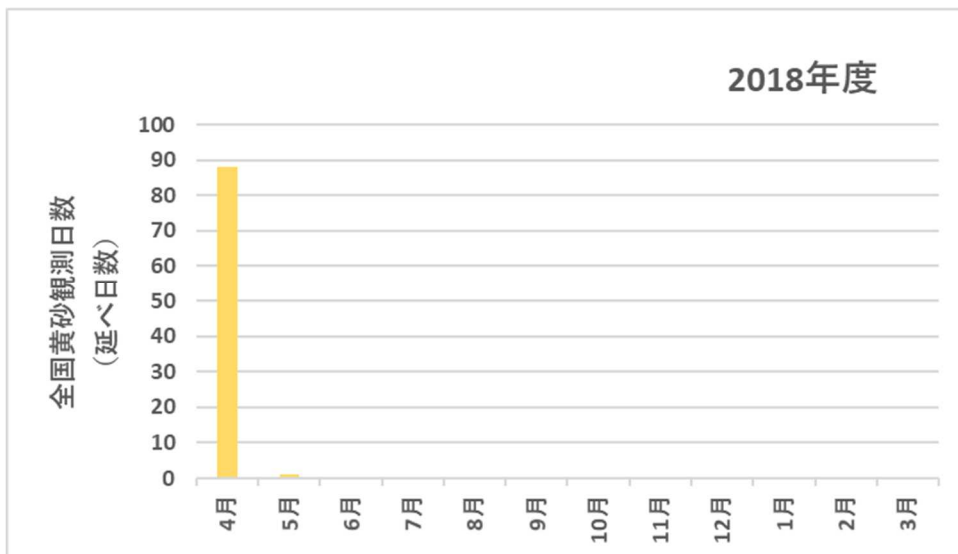


図 2-1-2 黄砂観測日の経月日数 (2018年度)



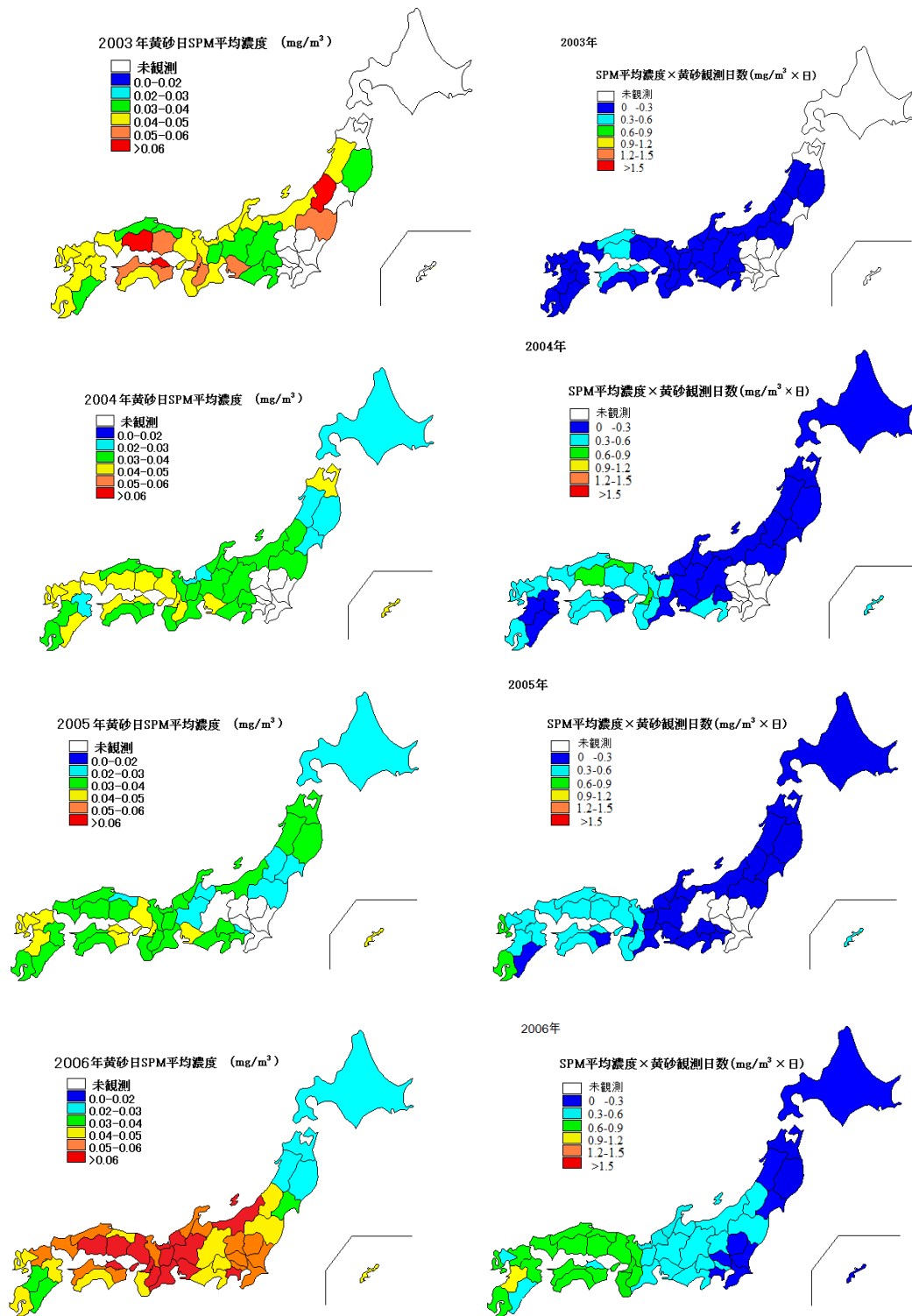


図 2-2- 1(1) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

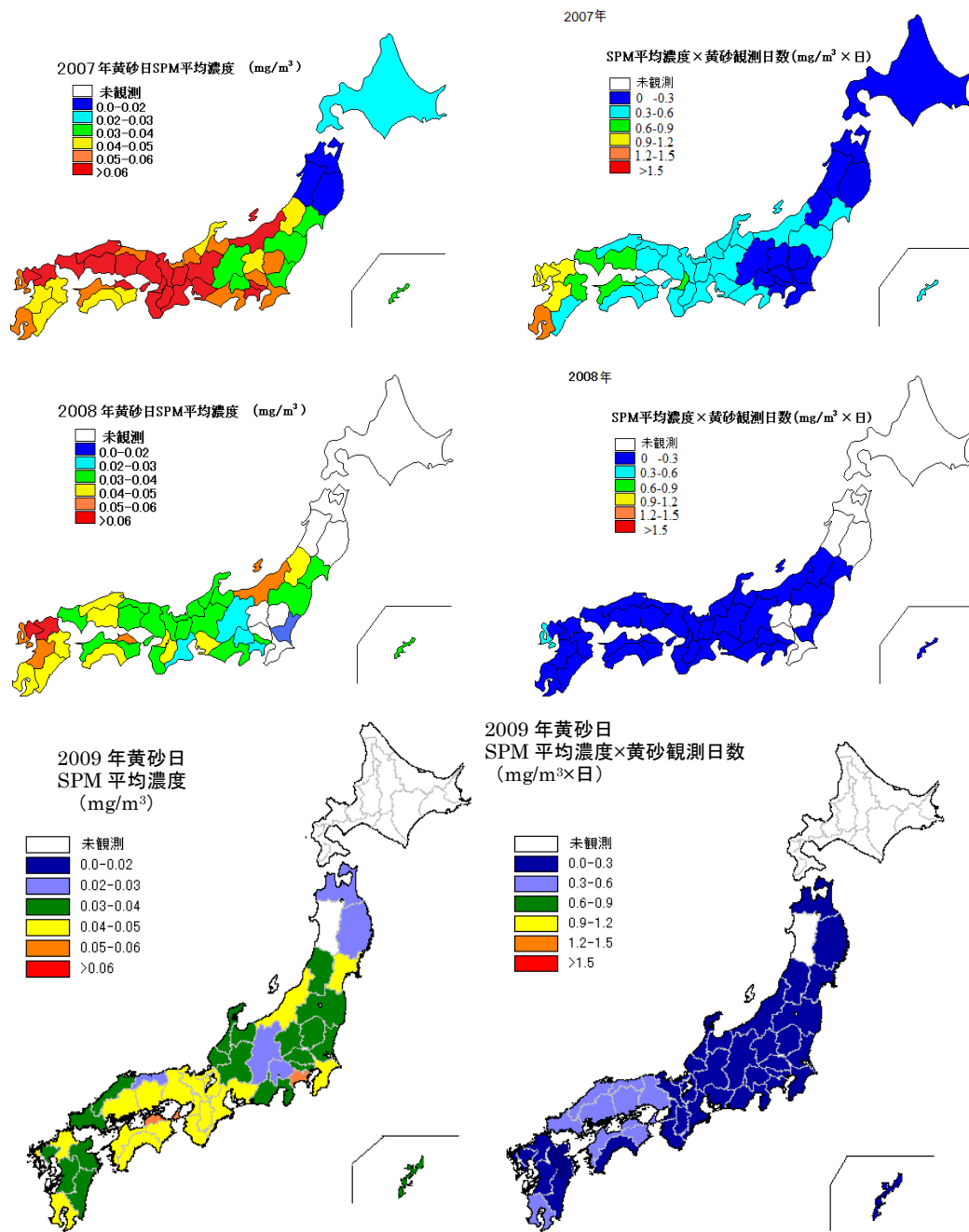


図 2-2-1(2) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)



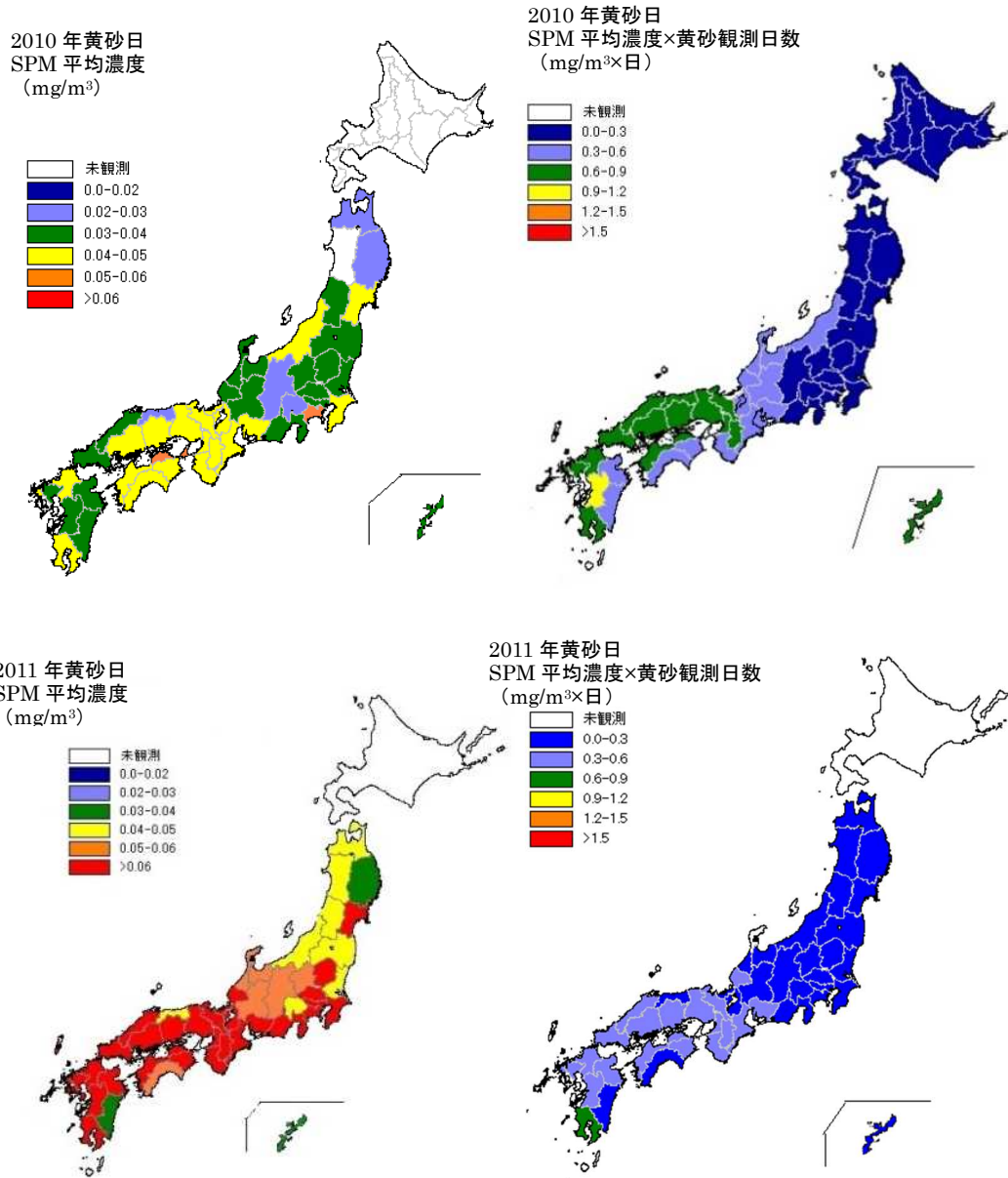


図 2-2-1(3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

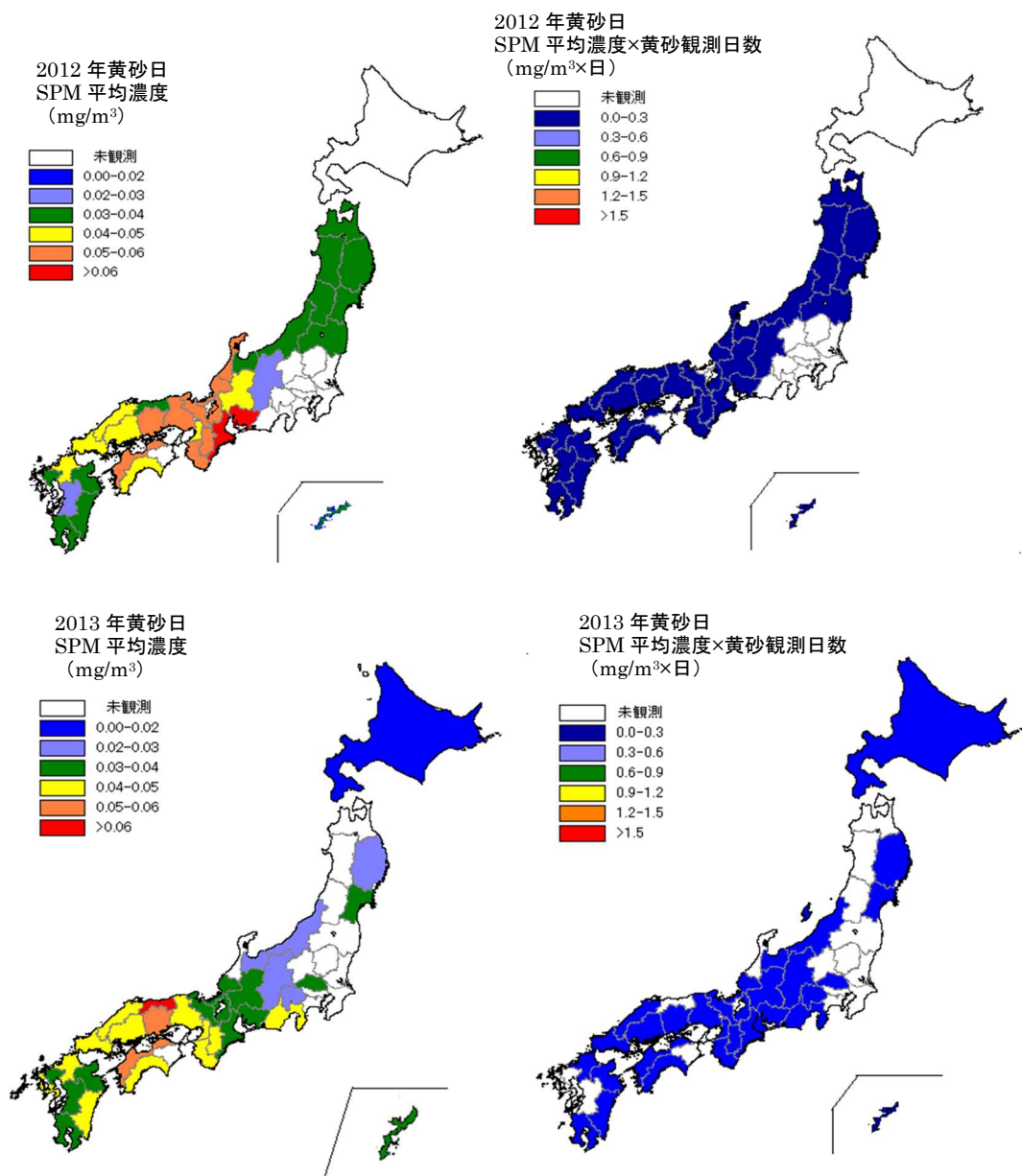


図 2-2-1(3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

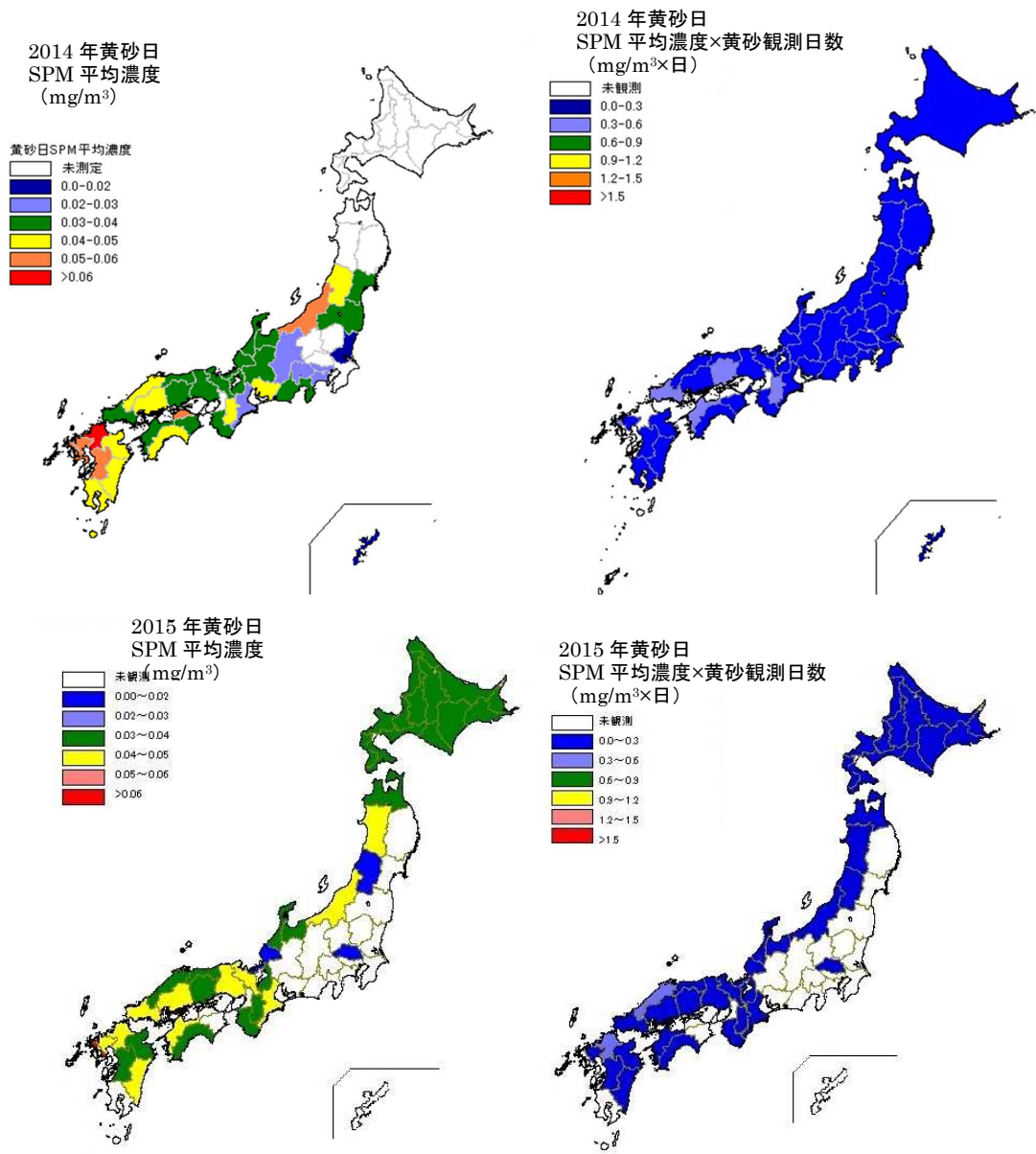
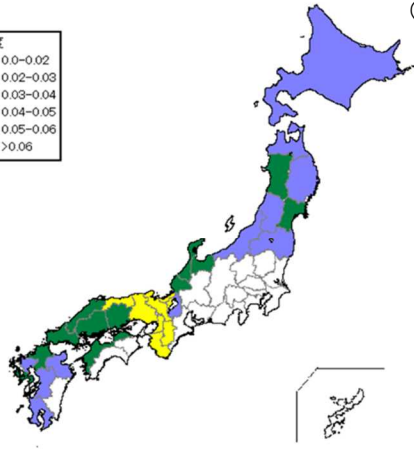
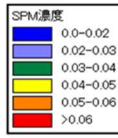
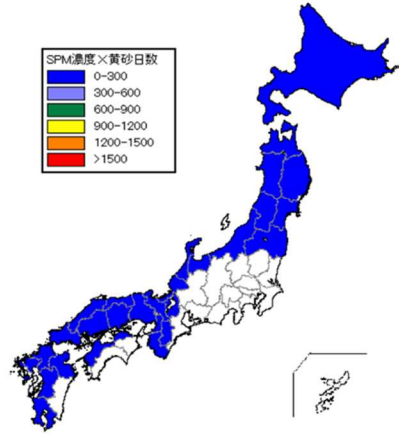
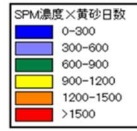


図 2-2-1(4) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

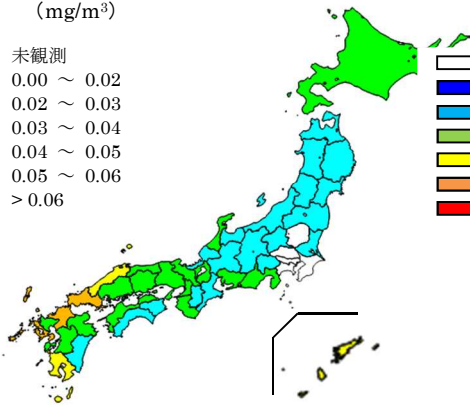
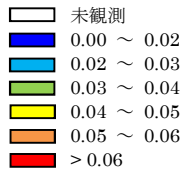
2016 年黄砂日  
SPM 平均濃度  
( $\text{mg}/\text{m}^3$ )



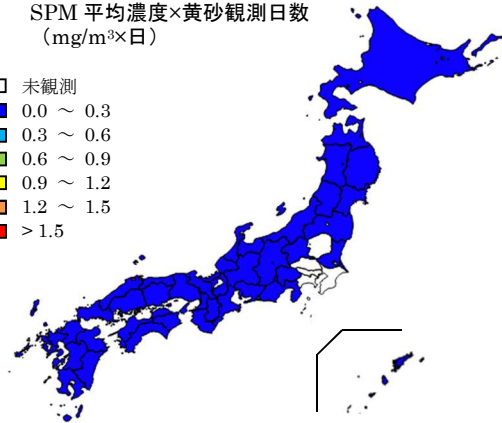
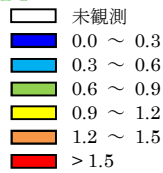
2016 年黄砂日  
SPM 平均濃度×黄砂観測日数  
( $\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$ )



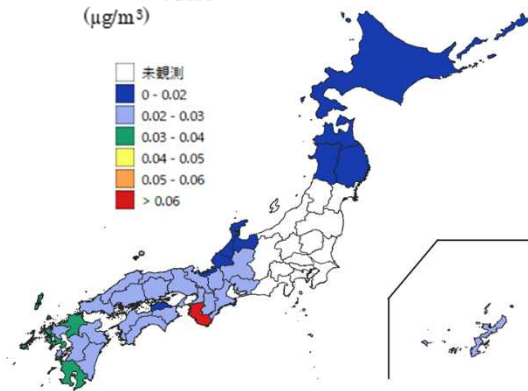
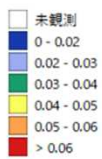
2017 年黄砂日  
SPM 平均濃度  
( $\text{mg}/\text{m}^3$ )



2017 年黄砂日  
SPM 平均濃度×黄砂観測日数  
( $\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$ )



2018 年度黄砂日  
SPM 平均濃度  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



2018 年度黄砂日  
SPM 平均濃度×黄砂観測日数  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{日}$ )

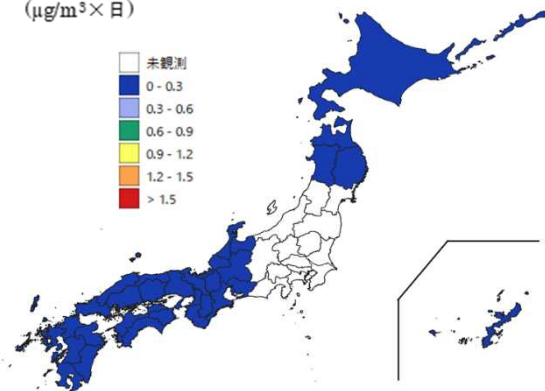
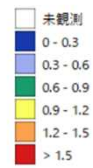


図 2-2-1(6) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

### 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。

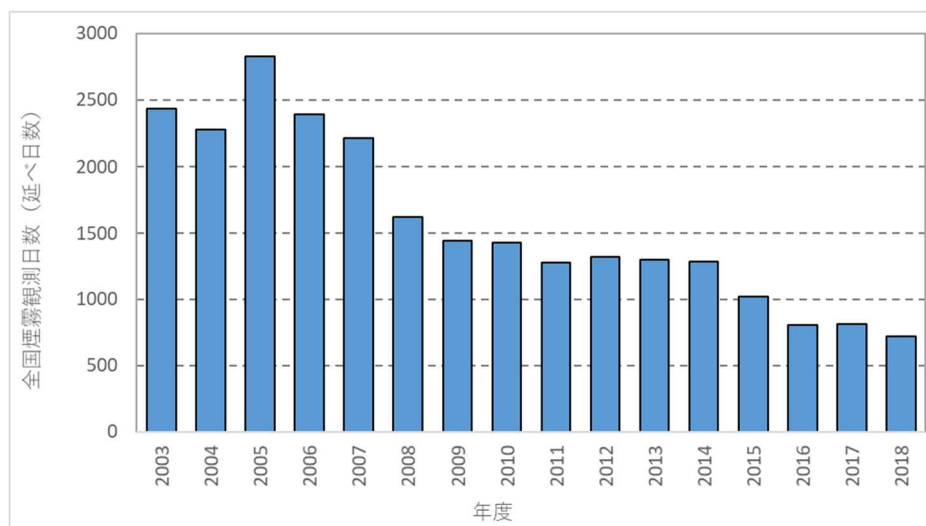


図3-1 煙霧の経年変化

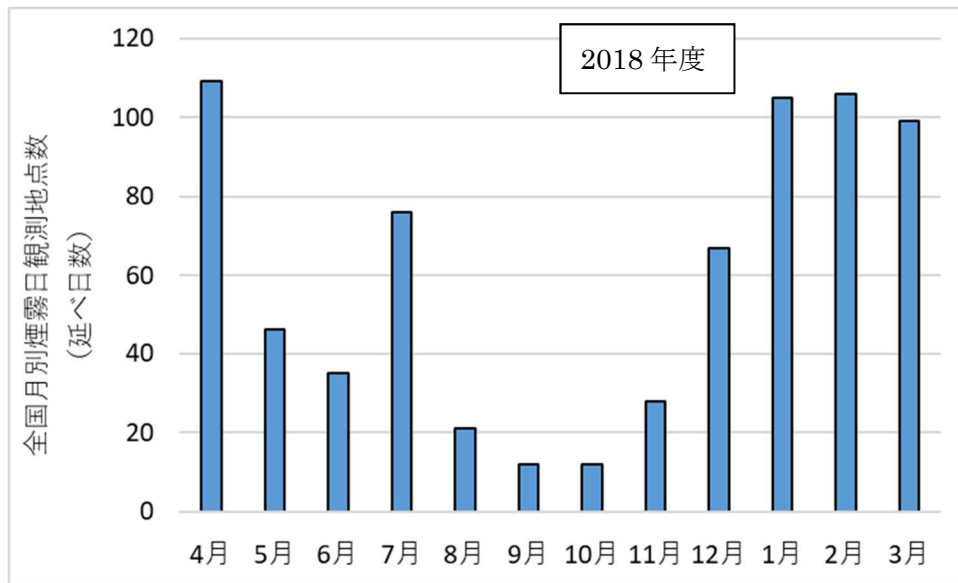


図 3-2 煙霧の経月変化

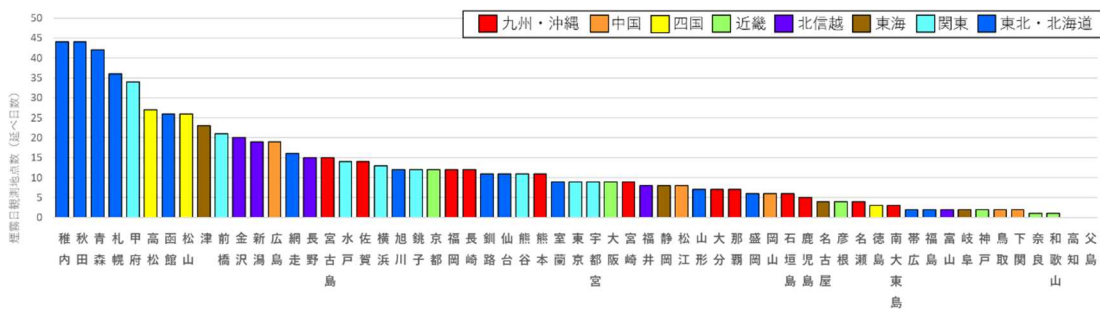


図 3-3 煙霧日の地点別日数

## 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、大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂の粒子が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象」と定義されており、气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
- ・気圧配置で、日本南岸に前線が延びている
- ・ライダーの黄砂消散係数とSPM濃度が同時に上昇する
- ・SPM濃度が多地点で同時に上昇する
- ・CFORS (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、ライダー観測結果、PM2.5日平均全国分布、PM2.5/SPMの比、SO<sub>4</sub><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、气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、气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 Widespread 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	Dust
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	
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	Slight duststorm
31	Slight or moderate duststorm or sandstorm no appreciable change during the preceding hour	
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	Severe duststorm
34	Severe duststorm or sandstorm no appreciable change during the preceding hour	
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鶴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壌性ダストと硫酸塩の高度 0~1km 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見た。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

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（硫酸イオン）は大気汚染物質の飛来を観察するために、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>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  $\text{SO}_4^{2-}$  や  $\text{NO}_3^-$  (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、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  を使用するものとし、微小粒子 (PM2.5) と粗大粒子 (PM10-2.5) の成分が区別できるよう、表 4-2-1 に従って表記する。

表 4-2-1 本調査で使用する成分

	硫酸イオン	硝酸イオン
微小粒子側の成分 (PM2.5)	f $\text{SO}_4^{2-}$ (図表中では f $\text{SO}_4$ と表記)	f $\text{NO}_3^-$ (図表中では f $\text{NO}_3$ と表記)
粗大粒子側の成分 (PM10-2.5)	c $\text{SO}_4^{2-}$ (図表中では c $\text{SO}_4$ と表記)	c $\text{NO}_3^-$ (図表中では c $\text{NO}_3$ と表記)



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>。

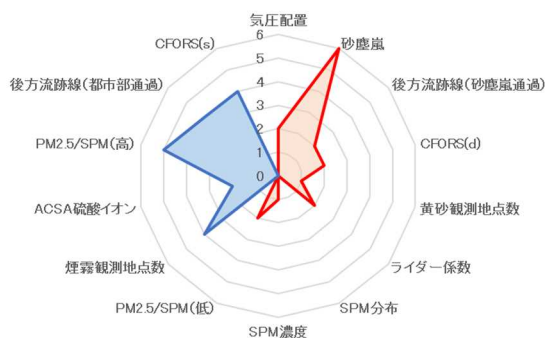


図 4-2-2 黄砂の特徴を示すレーダーチャート (例)

表 4-2-2 各項目の点数化一覧表

項目名	点 数						
	6	5	4	3	2	1	0
黄砂観測地点数	>30	20~30	15~20	10~15	5~10	0~5	0
SPM 濃度	>300	200~300	150~200	100~150	50~100	20~50	>20
PM2.5/SPM (低)	<0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	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

項目名	点 数			
	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)	○ (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)	○ (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)	○ (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	◎ (複数地点で黄砂消散係数が高く、SPM 変動と同期)	○ (黄砂消散係数がやや高く、SPM 変動と同期)	△ (黄砂消散係数がやや高い)	× (左記以外)
後方流跡線 (砂塵嵐通過)	◎ (砂塵嵐発生地域を直線的に通過)	○ (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)	○ (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)	○ (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： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

事例	No.	期日			黄砂の規模					PM2.5 平均 濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
		年	月	日	地点 数	SPM 平均 濃度	県 数	SPM 積算	SPM 積算 合計			
1	1	2018	4	6	6	21.8	6	130.8	481.8	13.8	0.65	0.47
	2	2018	4	7	20	19.5	18	351		13.1	0.64	0.30
2	3	2018	4	11	1	22.9	1	22.9	121.7	15.9	0.72	0.34
	4	2018	4	12	5	20.6	4	82.4		14.5	0.73	0.49
	5	2018	4	13	1	16.4	1	16.4		12.1	0.76	0.39
3	6	2018	4	15	9	19.2	9	172.8	1549.8	8.0	0.56	0.34
	7	2018	4	16	28	31.6	27	853.2		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箕岳の平均

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