
平成 29 年度黄砂飛来状況調査 報告書

平成 31 年 3 月

環 境 省

黄砂問題検討会委員名簿

(50音順)

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

黄砂実態解明調査解析ワーキンググループ委員名簿

(50音順)

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

報告書の要旨

1. 調査目的

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

2. 黄砂の飛来状況

2. 1 黄砂の観測状況

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

2. 2 黄砂日のSPM濃度

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

3. 煙霧の観測状況

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

4. 2017年度における黄砂日の事例解析

4. 1 解析方法

黄砂を多角的に把握するため、天気図、砂塵嵐の発生状況、SPM濃度全国分布、後方流跡線、CFORS予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数とSPM濃度の関係、ACSAによる大気汚染物質濃度の時間値、PM_{2.5}/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、PM_{2.5}/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、PM_{2.5}/SPMの比の上昇などをもとに判断した。

4. 2 2017年度の黄砂

2017年度に気象台が日本国内のいずれかの地点で黄砂を観測した日は、合計で5日である。連続した日を1つの黄砂現象とすると、2事例になる。黄砂2事例について詳細にその状況を示した。

4. 3 黄砂日の解析結果

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

(1) 2017年5月6日～8日

北海道から九州まで全国的に黄砂が観測された。特に札幌では一時350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度となり、黄砂の影響を強く受けたものと思われる。一方、人為起源系汚染物質は、5月6日の福岡でSO₄²⁻が若干高い程度で、全体的に濃度が低い状況であり、黄砂との混在は少なかった。

(2) 2018年3月28日～29日

黄砂は、北海道と青森のみの観測であったが、同時に全国で煙霧が観測された。札幌でのACSAのSO₄²⁻は欠測であるが、札幌に近い筧岳でSO₄²⁻が高く、人為起源系大気汚染物質が黄砂と混在している様子がみられた。

5. 2017年度における煙霧日の事例解析

5. 1 2017年度の煙霧日

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

(1) 2017年5月30日～6月2日

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

(2) 2018年1月16日～23日

1月19日～20日は西日本を中心に11～12地点で観測された。後方流跡線や $\text{PM}_{2.5}$ 成分などから、1月16日から17日あたりは関東地方を中心とした地域的な汚染によるもの、それ以降は大陸からの越境により西日本側を中心に影響が及んだ事例と考えられる。

(3) 2018年2月24日～3月1日

煙霧は、西日本を中心に観測されている。後方流跡線は、概ね大陸からの気流を示し、同時に SO_4^{2-} が上昇している様子がみられ、西日本を中心に大陸からの影響が及んだ事例と考えられる。

(4) 2018年3月24日～31日

煙霧は、特に3月25日～29日にかけて全国で12地点～26地点と非常に広範囲で煙霧が観測された。また、3月28日～29日は北海道と青森で黄砂が観測されている。ACSAでは SO_4^{2-} と NO_3^- が、 $\text{PM}_{2.5}$ の増加とともに都市部以外の地域も含めて高い濃度で推移している様子がみられ、全国的に大陸からの影響が及んだ事例と考えられる。

6. ライダー黄砂消散係数とSPM濃度による黄砂検出の検討

6. 1 ライダーによる黄砂検出日とその状況

ライダーから黄砂飛来の判定を行った。方法はライダー黄砂消散係数とSPM濃度(最大値 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ の条件を含む)の時間変動から黄砂を検出するものである。本方法で、2017年度の黄砂飛来の可能性がある日を抽出したところ、長崎、松江、富山で9日抽出された。これらについて、多角的に解析を行った結果、いずれも黄砂飛来の可能性を示していた。

6. 2 黄砂の検出条件の検討

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

7. 黄砂・煙霧日のPM2.5濃度

7. 1 黄砂・煙霧時におけるPM2.5環境基準超過

2017年度の黄砂日におけるPM2.5平均濃度は $22.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は7.7%で、前年度と比較して、平均濃度（前年度： $23.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は減少しているものの、環境基準値超過率（前年度：6.1%）はやや増加した。また、煙霧日における平均濃度 $23.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は12.1%であり、前年度と比較して、平均濃度（前年度： $21.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、環境基準値超過率（前年度：6.8%）ともに増加した。

7. 2 黄砂時・煙霧時におけるPM2.5成分濃度

2017年度の成分分析調査結果のうち、PM2.5の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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、成分の項目別に黄砂日と煙霧日で比較した。黄砂時は煙霧時と比較して、特にAl、Feが顕著に上昇した。

7. 3 黄砂時・煙霧時PM2.5のPMF法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時にPM2.5成分濃度調査が実施された期間に、黄砂・煙霧が観測された日、地点を選択してPMF解析を行った。因子数を7としたところ、それぞれ黄砂を含む土壌、重油燃焼、二次硫酸塩、鉄鋼・石炭、二次硝酸塩、バイオマス燃焼・自動車排ガス、海塩と思われる因子となった。

8. PM2.5成分自動測定機ACSA-14測定結果の利用

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

8. 1 年平均

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

8. 2 黄砂時における粗大粒子の成分濃度

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

8. 3 PM2.5とPM10の比

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

9. 人工衛星データの利用

ここでは地球観測用の人工衛星におけるデータの活用について検討を行った。

9. 1 国内外における地球観測人工衛星の概要

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

9. 2 2017 年度黄砂事例における PM2.5 成分濃度推移

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

黄砂飛来状況報告書 目次

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

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

1. 調査目的

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

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

2. 黄砂の観測状況

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

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

2. 1 黄砂の観測状況

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

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

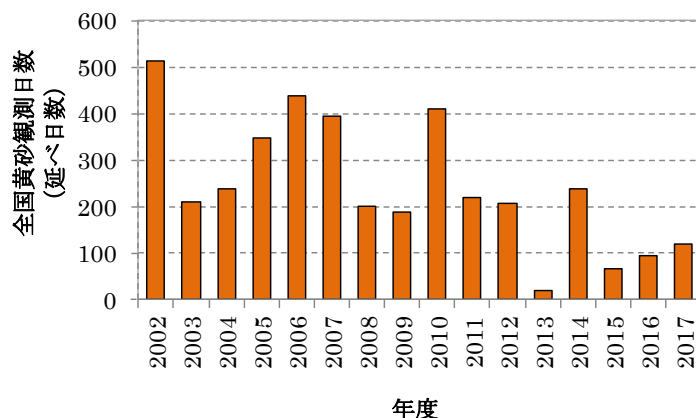


図 2-1-1 黄砂観測日数の経年変化

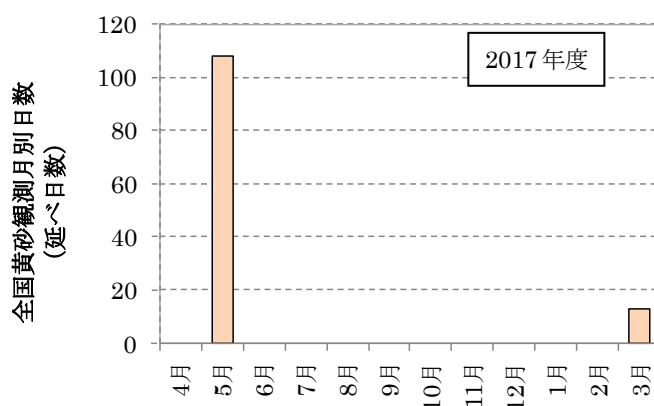


図 2-1-2 黄砂観測日数の経月変化 (2017 年度)

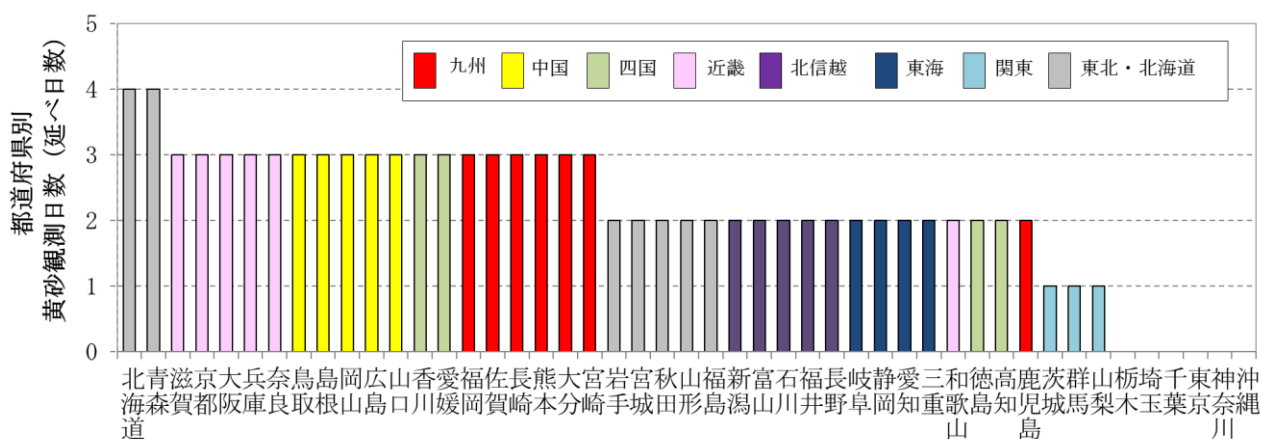


図 2-1-3 黄砂日の地点別日数 (2017 年度)

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

2. 2 黄砂日の SPM 濃度

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

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

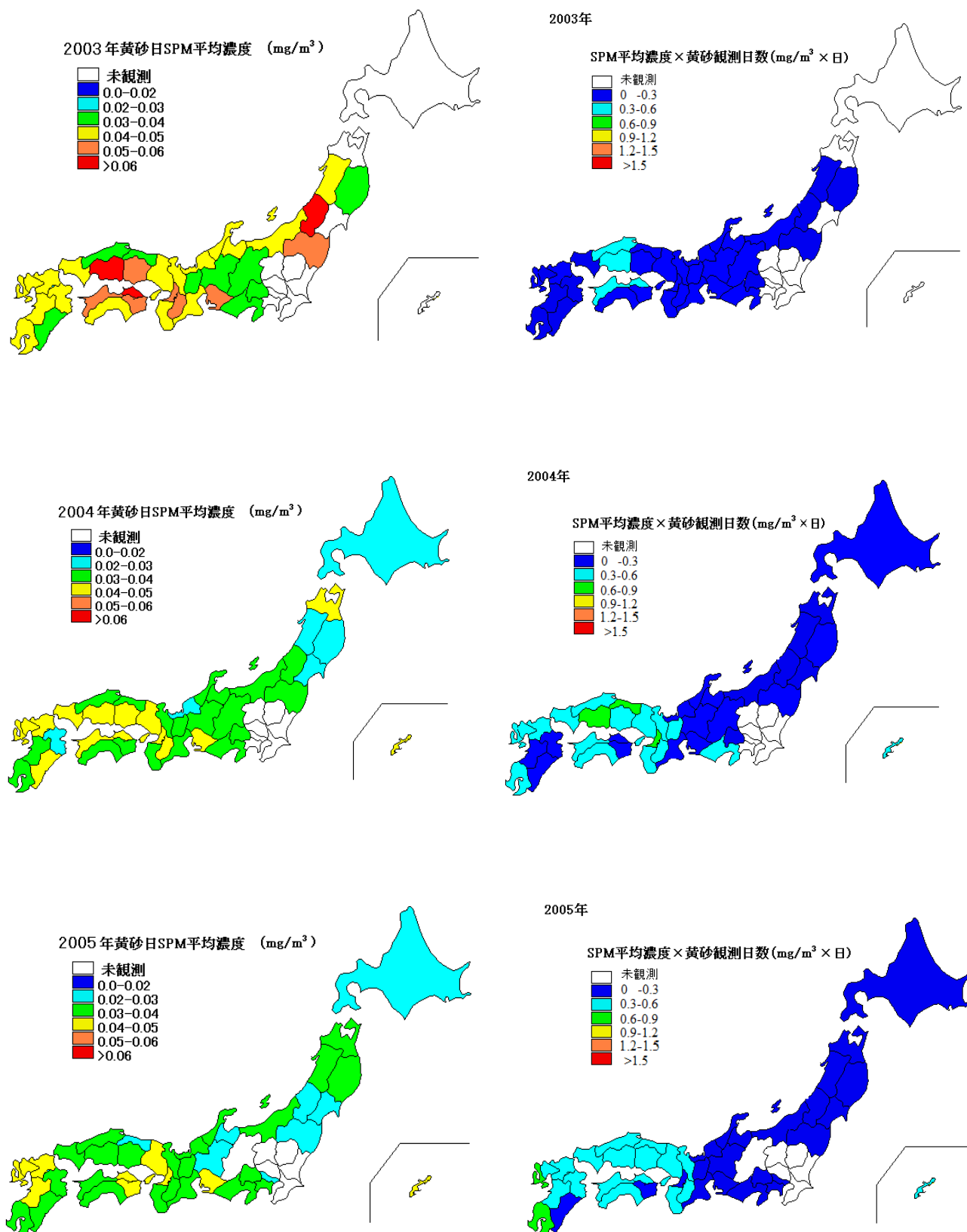


図 2-2-1(1) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

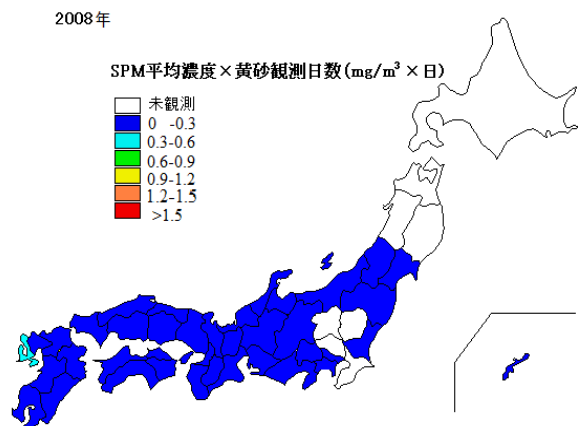
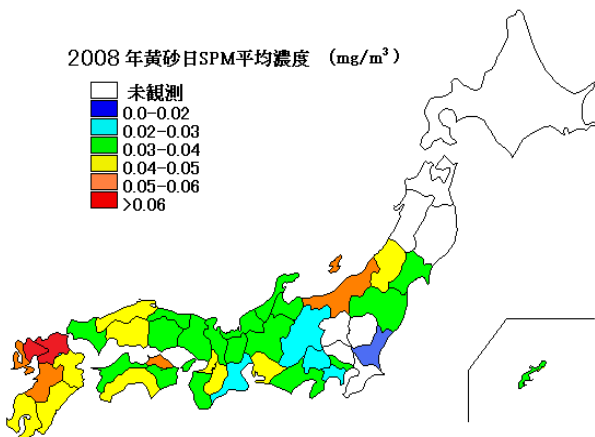
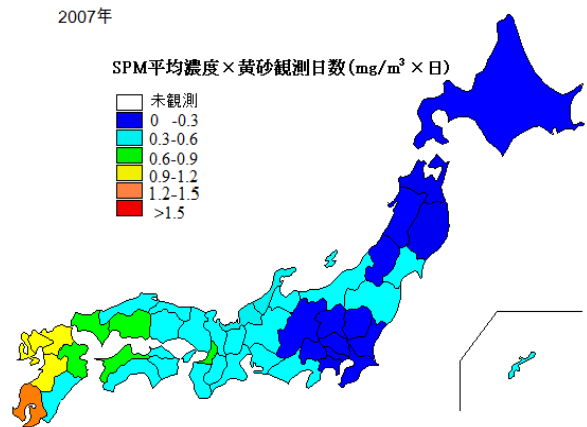
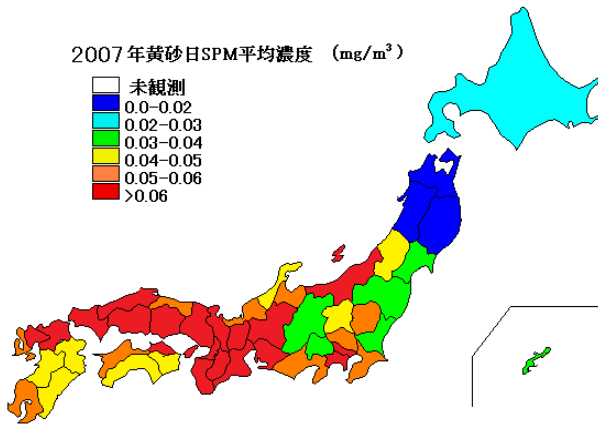
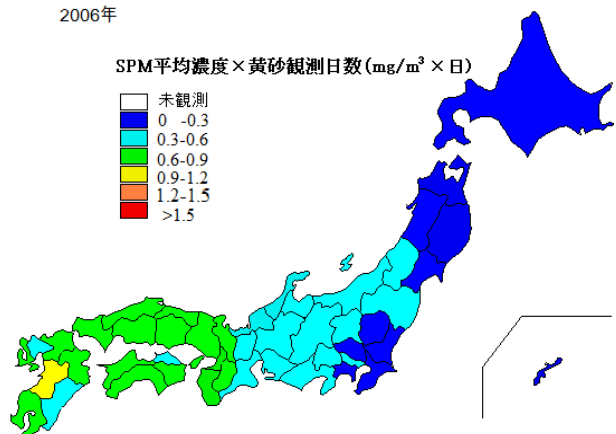
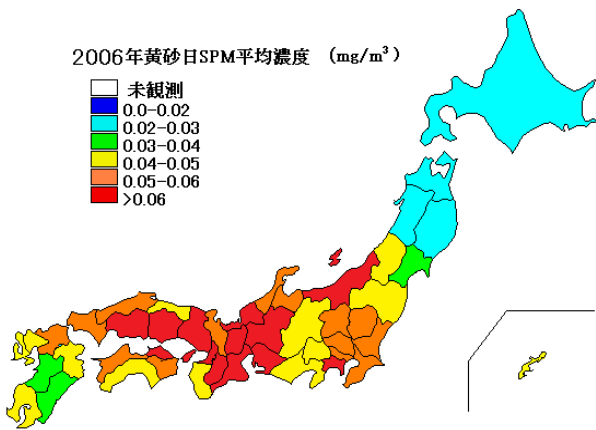
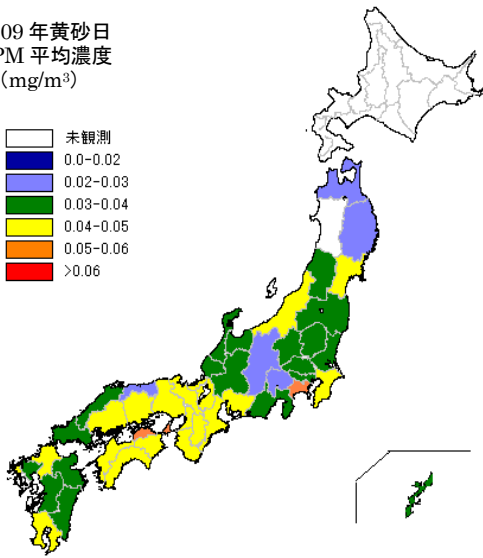
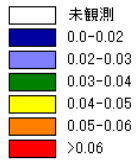
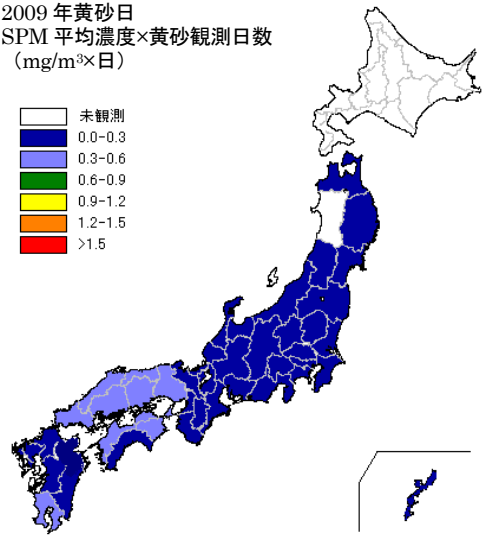
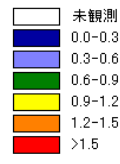


図 2-2-1 (2) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

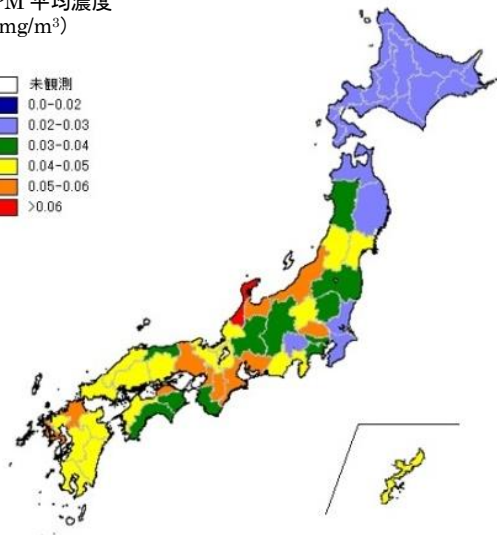
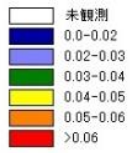
2009年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



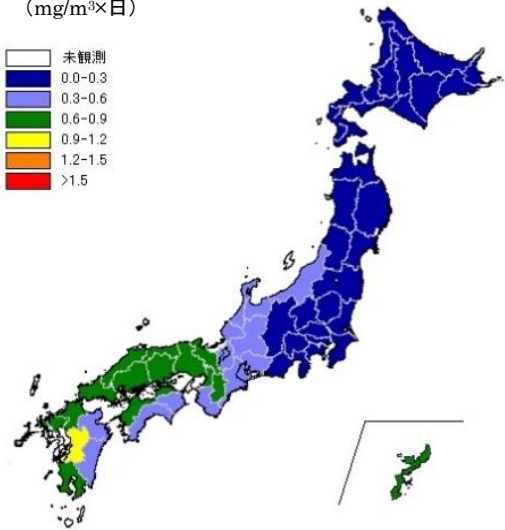
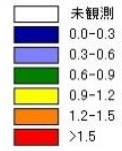
2009年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



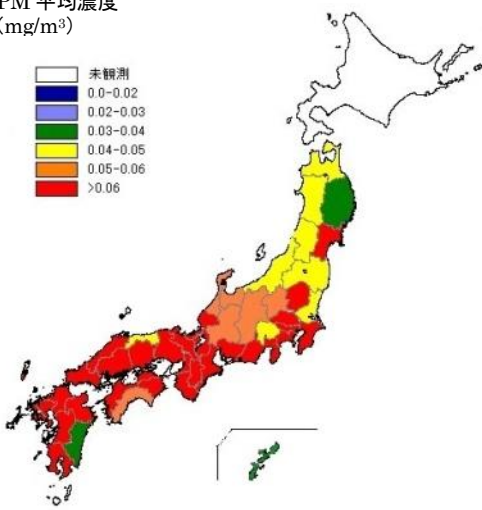
2010年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



2010年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



2011年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



2011年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)

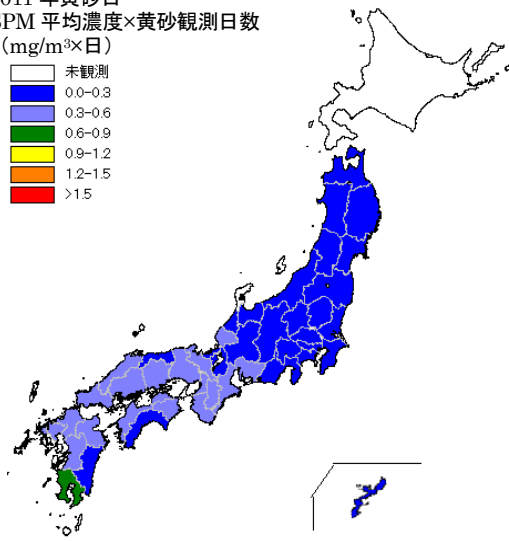
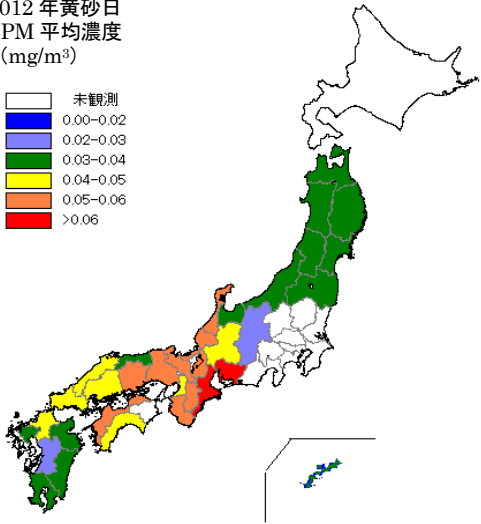
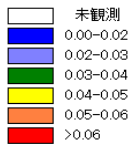
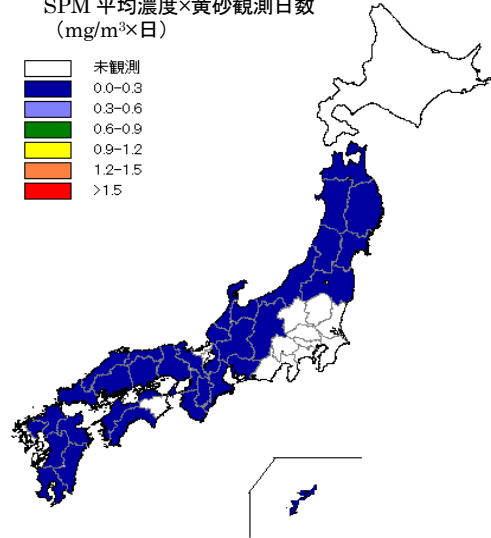
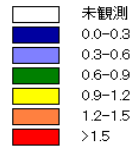


図 2-2-1(3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

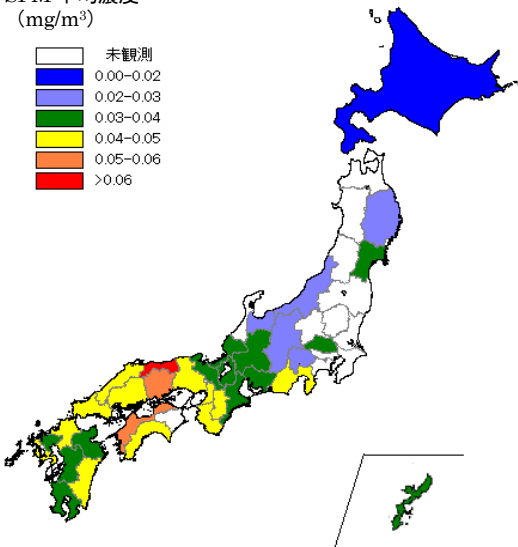
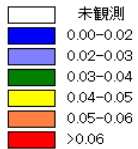
2012年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



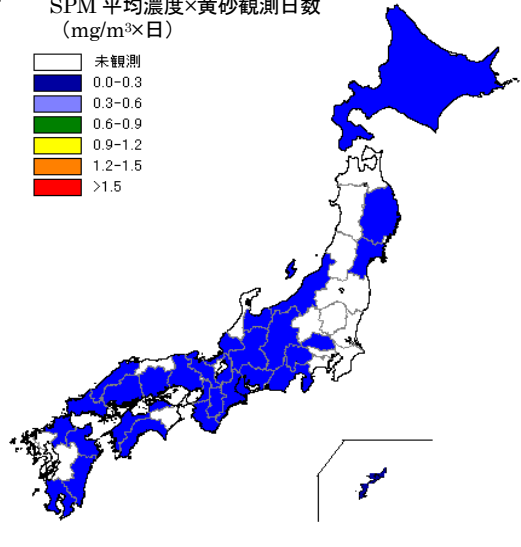
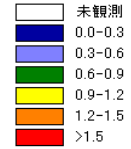
2012年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



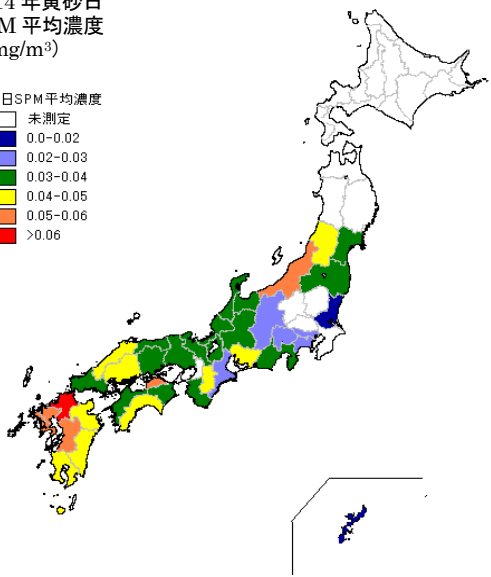
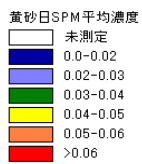
2013年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



2013年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



2014年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



2014年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)

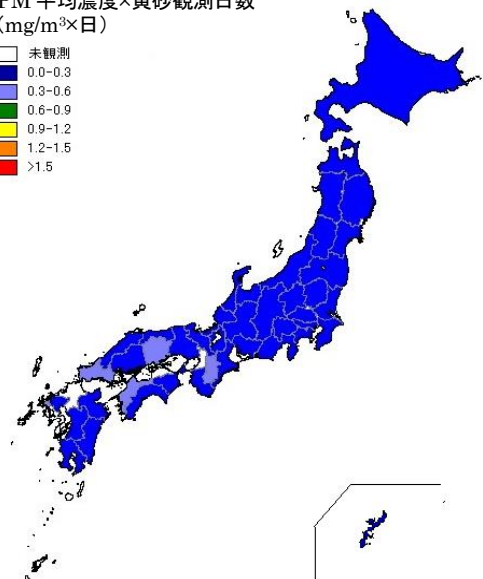
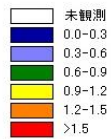
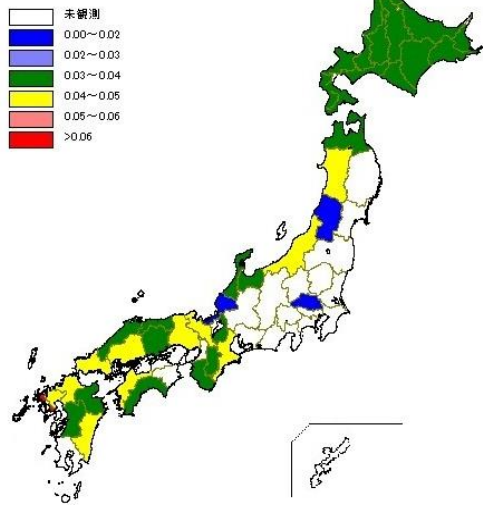
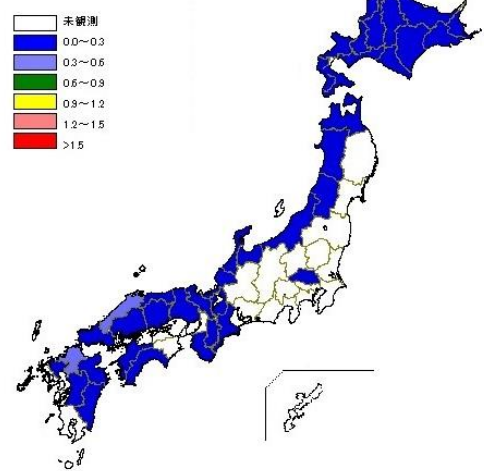


図 2-2-1(4) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

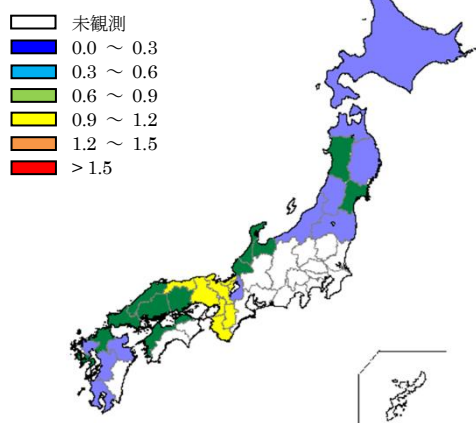
2015年黄砂日
SPM 平均濃度
(mg/m^3)



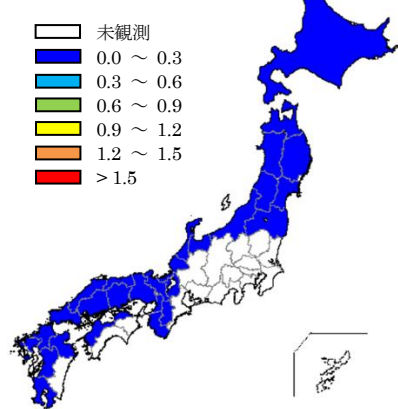
2015年黄砂日
SPM 平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



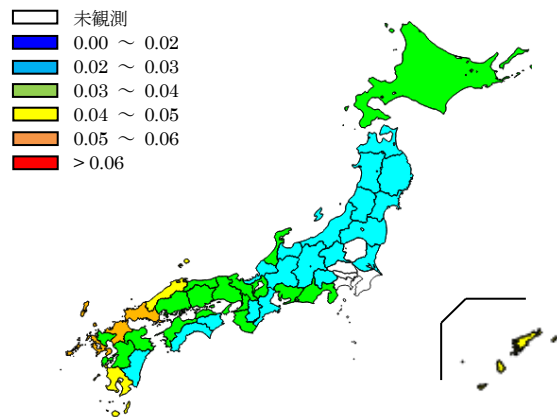
2016年黄砂日
SPM 平均濃度
(mg/m^3)



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
(mg/m^3)



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

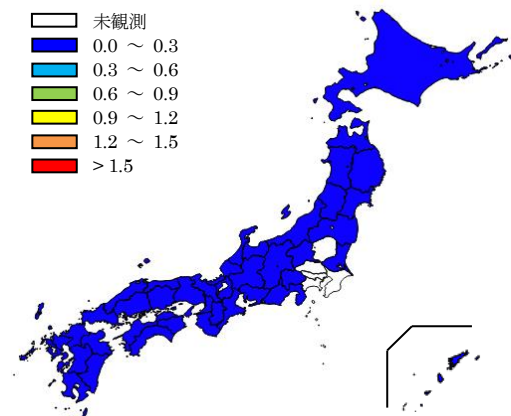


図 2-2-1 (5) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

4. 2017 年度における黄砂日の事例解析

4. 1 黄砂日の事例解析

黄砂は、気象庁において「主として、大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂の粒子が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象」と定義されており、気象台では目視により黄砂現象を判断している。以前は、視程が 10km 未満となるような黄砂現象を記録していたが、1989 年以降、視程が 10km 以上であっても明らかな黄砂は記録されている。一般に、日本へ飛来してくる黄砂は、大陸の黄土地帯で低気圧が発生し巻き上げられた砂塵が、日本付近にある前線の東への移動に伴って地上付近へ降下し視程の低下をもたらしているケースが多い。

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

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

ここでは、これまでの調査に引き続き、2017 年度における黄砂日の事例について、多角的に解析を行い、その状況を明らかにする。解析の項目は、黄砂観測地点、気象概況（天気図・大陸における砂塵嵐の発生）、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS（Chemical weather FORecasting System）の予測結果、ライダー観測結果、PM2.5 日平均値全国分布、PM2.5/SPM の比、SO₄²⁻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による評価を実施した。

詳細は、次項のとおりである。

4. 2 解析方法

（1）黄砂観測地点

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

(2) 気象概況

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

コード	コードの定義	本報告書における略称
04	Visibility reduced by smoke, e.g. veldt or forest fires, industrial smoke or volcanic ashes	smoke
05	Haze	Haze
06	Widespread dust in suspension in the air, not raised by wind at or near the station at the time of observation	Widespread dust
07	Dust or sand raised by wind at or near the station at the time of observation, but no welldeveloped dust whirl(s) or sand whirl(s), and no duststorm or sandstorm seen; or, in the case of ships, blowing spray at the station	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¹²⁾ から地域的に高濃度になっている時間の値を地図上に示した。

(4) 後方流跡線

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

(5) CFORS (Chemical weather F0Recasting 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、国立環境研究所で定常運用を行っているバージョン¹⁸⁾ (RIAM/NIES-CFORS) による黄砂イベント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¹⁷⁾。国立環境研究所ではライダー観測結果から非球形粒子（黄砂）と球形粒子（大気汚染性エアロゾル）の消散係数を算出し、そのデータを公開している。これは、黄砂モニタリングのため 532nm の偏光解消度を利用して、非球形の黄砂と球形の大気汚染性エアロゾルを分離して、それぞれの散乱への寄与を推定したものである。数値データとして示されている消散係数 ($1/\text{km}$) は、光が物質に衝突し物質への吸収や散乱によって単位長さ当たりに消失する割合である。この非球形粒子の消散係数（以下、「黄砂消散係数」という。）のうち、下層である 150m~270m のデータを 1 時間毎に平均したものを経時変化グラフとして示した。さらに、下層での黄砂消散係数と SPM 時間値を経時変化グラフで表し、その類似性を検討した。

(7) PM2.5 日平均濃度

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

(8) 硫酸イオン等の大気汚染物質

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

(9) PM2.5 自動測定器 ACSA-14 の活用

環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017 年 4 月から継続的な測定を開始している。PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14（以下、「ACSA」という。）では、全国 10 地点（図 4-2-1）において、PM2.5 中の SO_4^{2-} （硫酸イオン）や 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^{2-} 、 NO_3^- を使用するものとし、微小粒子（PM2.5）と粗大粒子（PM10-2.5）の成分が区別できるよう、表 4-2-1 に従って表記するものとする。

表 4-2-1 本調査で使用する成分

	硫酸イオン	硝酸イオン
微小粒子側の成分 (PM2.5)	fSO_4^{2-} (図表中では fSO_4 と表記)	fNO_3^- (図表中では fNO_3 と表記)
粗大粒子側の成分 (PM10-2.5)	cSO_4^{2-} (図表中では cSO_4 と表記)	cNO_3^- (図表中では cNO_3 と表記)

- 備考) 1. 硫酸イオン : 塩化バリウム試薬添加後、硫酸バリウムの難溶性塩の懸濁を光散乱法で測定。
2. 硝酸イオン : 紫外吸光光度法 (200nm 付近)



図 4-2-1 PM2.5 成分連続モニタリングサイト配置図

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

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

(10) レーダーチャートによる評価

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

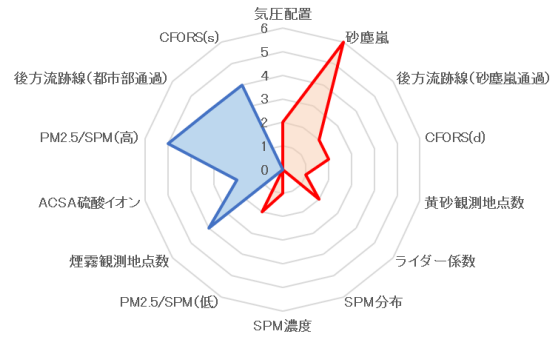


図 4-2-2 黄砂の特徴を示すレーダーチャート (例)

表 4-2-1 各項目の点数化一覧表

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)

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

4. 3 2017年度の黄砂

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

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

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

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

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

表4-3-1 2017年度の黄砂日一覧

(SPMおよびPM2.5濃度： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

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	2017	5	6	18	24.7	18	444.6	3370.8	15.8	0.66	0.42
	2	2017	5	7	46	32.4	40	1296.0		20.8	0.67	0.29
	3	2017	5	8	44	41.8	39	1630.2		28.4	0.70	0.33
2	4	2018	3	28	8	36.1	2	72.2	129.2	29.1	0.81	0.58
	5	2018	3	29	5	28.5	2	57.0		20.9	0.79	0.41

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

※「PM2.5/PM10」について、2017年5月は全国で黄砂が観測されたため10地点の平均値とし、2018年3月は北海道と青森のみで黄砂が観測されたため札幌の値を示した。