
平成 28 年度黄砂飛来状況調査
報告書

平成 30 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	滋賀県立大学 理事
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 教授
委員	鵜野 伊津志	九州大学 応用力学研究所 地球環境力学部門 教授
委員	大黒 俊哉	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生圏システム学専攻 緑地創成学研究室 教授
委員	西川 雅高	東京理科大学環境安全センター 副センター長
委員	三上 正男	一般財団法人気象業務支援センター 国際業務課 課長
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、2016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年度に再び増加したが、2013年度はここ10年間で最も少ない日数であった。次に黄砂観測日数が少ない年度は2015年度であり、2016年度は3番目に少なかった。

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。2013年度はやや増加したが、2014年度は2011、2012年度と同程度になり、2016年度は最も少ない日数となった。月変化では、5月が最も多かった。地点別では、関東と九州で多く観測されていた。

4. 2016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、硫酸イオン濃度時間値、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、小さなPM_{2.5}/SPMの比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、硫酸イオン濃度の上昇、中国沿岸部からの方向を示す後方流跡線、大きなPM_{2.5}/SPMの比などをもとに判断した。

4.2 2016年度の黄砂

2016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11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

2016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) 2016年4月9日～11日

北海道から九州まで全国的に黄砂が観測され、また同時に関東や九州で煙霧が観測された。SPM濃度の上昇は小さいが、福岡の硫酸イオン濃度が若干高く、大気汚染物質が黄砂とともに飛来したと考えられる。

(2) 2016年4月14日～15日

九州を中心に観測された黄砂であり、同時に四国で煙霧が観測された。ライダーの黄砂消散係数は低い値でSPMも低く、日本に与えた影響は小さいものと思われる。また福岡での硫酸イオン濃度も低く、大気汚染物質の混在もみられなかった。

(3) 2016年4月23日～26日

本事例は2016年度で最も観測地点数が多かった黄砂事例である。東北から九州まで広い範囲で観測され、同時に関東などで煙霧も観測された。福岡での硫酸イオンが高濃度を示すなど大気汚染物質の混在がみられ、また全国的にPM_{2.5}が高濃度となり、複数地点で環境基準値を超過するなどの状況がみられた。

(4) 2016年5月7日～8日

本事例は2016年度で2番目に観測地点数が多かった黄砂事例である。北日本から九州まで広い範囲で観測され、同時に近畿などで煙霧も観測された。PM_{2.5}が全国的に高く、環境基準値を超過した地点が多くみられた。またこの期間は、黄砂が観測された複数の地点でPM_{2.5}の成分分析が実施されている。硫酸イオンの濃度は2～7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度で全国的に低い状況であった。

5. 2016年度における煙霧日の事例解析

5.1 2016年度の煙霧日

2016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15日である。連続した日を1つの煙霧現象とすると、3事例になる。煙霧3事例について詳細にその状況を示した。

(1) 2016年5月24日～31日

5月24日～26日は関東を中心に3～4地点で観測された一方で、5月27日～28日は日本海側を中心に観測されている。本観測期間の前半と後半でその様子が異なっており、前半は関東を中心とした地域的な汚染によるもの、後半は大陸からの越境により日本海側を中心に影響が及んだ事例と考えられる。なお、この期間、岩手、神奈川、福岡で成分分析が行われた。福岡では、5月26日と27日でイオン成分が上昇しており、それぞれの硫酸イオン濃度は12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

(2) 2016年12月4日～6日

煙霧は、12月4日に関東で2地点、12月5日に九州北部で1地点での観測であったものが、12月6日には、近畿と九州の複数地点となった。

後方流跡線は、福岡では上海からの気流を示しており、この期間のHazeは大陸で非常に広い範囲で観測されている。このときPM_{2.5}は関東と九州を中心に高濃度を観測し、複数地点で環境基準を超過する状況であった。

(3) 2017年3月5日～8日

煙霧は、3月6日には関東と九州を中心に12地点で観測された。後方流跡線は、福岡が上海や北京からの気流を示しており、この期間のHazeは大陸で非常に広い範囲で観測されている。PM_{2.5}は関東を中心に高濃度を観測し、いくつかの地点で環境基準を超過していた。

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 黄砂消散係数とSPM濃度

黄砂飛来の判定方法として、ライダー黄砂消散係数とSPM濃度の時間変動から、黄砂を検出する方法について検討した。気象台黄砂日でのライダー消散係数とSPM濃度の相関係数などを参考に、相関係数(0.6以上)、SPM濃度(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)などの条件を設定した。それをもとに、2016年度の黄砂飛来の可能性がある日を抽出したところ、長崎で7日、松江で2日、富山で1日抽出された。

このうち、松江、富山で抽出された日は、いずれも気象台で黄砂が観測された日であった。長崎で抽出された日のうち、気象台で黄砂が観測された日は4月10日のみで、他の6日は気象台による黄砂の観測はなかった。

6.2 ライダーによる黄砂検出日の状況

長崎のライダーによる抽出は7日であり、このうち4月10日は気象台により黄砂が観測（黄砂事例1）されている。黄砂観測日以外で、長崎でライダーによる黄砂日とされた6日の状況について、後方流跡線などの解析を行った結果、2016年9月11日、2017年2月13日以外は概ね黄砂飛来の様子を示していた。

6.3 黄砂の検出条件の検討

SPMの条件のみを $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ と下げ、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PM_{2.5}濃度

7.1 黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}環境基準超過

2016年度の黄砂日におけるPM_{2.5}平均濃度は $23.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は6.1%で、煙霧日における平均濃度 $21.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は6.8%であり、黄砂・煙霧時のPM_{2.5}濃度上昇を示していた。しかし、前年度の黄砂時21.0%、煙霧時17.7%に比べると大幅に減少していた。黄砂では西日本の環境基準超過が多く、煙霧では関東と九州で日数が多い。

7.2 PM_{2.5}環境基準値を超過した日で黄砂もしくは煙霧が観測された地点のPM_{2.5}成分濃度

2016年度の成分分析調査結果のうち、PM_{2.5}の日環境基準（ $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過しており、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。黄砂時に上昇した項目は、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、Al、Mn、Feなどで、煙霧時に上昇した項目は、 SO_4^{2-} 、Se、Zn、Cr、Cl⁻、 NO_3^- 、OC、ECなどであり、黄砂時と煙霧時で上昇の項目が異なっていた。

7.3 黄砂時・煙霧時PM_{2.5}のPMF法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時にPM_{2.5}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、各因子は、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、海塩が想定された。黄砂時には土壌の上昇がみられた。煙霧時におけるPM_{2.5}濃度別の寄与は、二次硫酸塩の割合が大きくなる場合と二次硝酸塩・バイオ自動車の割合が大きくなる場合に分かれた。

8. 砂塵嵐発生と黄砂観測日数の減少について

我が国における黄砂の観測日数は、近年減少傾向にある。ここでは、日本で黄砂が観測される条件について検討を行ったうえで、黄砂の減少の要因を探る。日本で黄砂が観測される条件として、黄砂の発生源とその輸送経路の観点から、砂塵嵐発生頻度と日本での黄砂観測の関係および、後方流跡線軌跡と日本での黄砂観測の関係について検討を行った。

8.1 条件の設定

解析の対象期間は2002～2016年とし、対象月は3～5月とした。後方流跡線の起点位置は、福岡、富山、札幌の3地点とした。砂塵嵐の発生は世界気象資料を用いて集計を行った。また砂塵嵐発生地域について、砂塵嵐の発生回数と日本からの後方流跡線の通過回数から、特に日本に影響を与えやすい地域を絞り、北緯40～50°、東経100～120°を「黄砂発生主要地域」として集計した。

8.2 集計結果

上記の条件に従って、砂塵嵐の発生、日本からの後方流跡線通過状況、日本の黄砂観測状況、日本のSPMについて、表にまとめた。

8.3 日本での黄砂観測と砂塵嵐発生頻度の関係

黄砂発生主要地域における砂塵嵐の発生日数と、日本での黄砂観測日数の経年推移は、ある程度の関連性がみられ、大陸で砂塵嵐が多いほど、日本で黄砂が観測される日数が多くなる傾向が示唆された。

8.4 日本での黄砂観測と後方流跡線の関係

黄砂発生主要地域における後方流跡線は全体で見ると、この15年間で大きく変動している様子はみられず、黄砂観測との明確な関連は確認できない。ただ、福岡、富山、札幌の地点別にみると、日本の西側に位置するほど後方流跡線通過日数と黄砂観測日数がともに多い傾向がみられるなど、後方流跡線通過日数と黄砂観測日数の関連性がうかがわれる。

8.5 砂塵嵐発生頻度および後方流跡線軌跡と日本での黄砂観測との関係

黄砂発生主要地域の中で、さらにどの地域がより強い影響を与えているかについて、後方流跡線の通過と砂塵嵐の発生を関連付けて検討した結果、内モンゴル周辺（地域3）が示唆された。

日本での黄砂観測は、気流の流れの状況によっても変化するものの、その主要な要因として砂塵嵐の発生状況が大きく関与していると考えられる。環境省では、従来から日中韓の3カ国で黄砂の共同研究を推進しており、発生源対策として植生が発生源地域における砂の固定化や防風に有効な手段であるとし、植生の回復について検討を進めている。また中国でも積極的な植林が行われており、砂塵嵐発生地域における植生が回復している報告もある。日本の黄砂観測日の減少は、このような発生源エリアにおける植生の回復も一因と考えられる。

8.6 砂塵嵐及び気流の状況と日本での黄砂観測状況

大陸における砂塵嵐発生から日本の黄砂観測を一体的にみるために、特徴的な事例として3つの例を挙げ、砂塵嵐の発生状況とSPM濃度別に色分けした福岡・富山・札幌の後方流跡線を同時に示す図を作成した。一つ目の例は、大陸における砂塵嵐の発生と後方流跡線の軌跡が一致する場合で、日本で黄砂が観測される最も典型的なものである。二つ目の例は、砂塵嵐が発生したとしても後方流跡線の軌跡が一致していない場合で、このとき日本で黄砂が観測されることは稀である。三つ目の例として、大陸における砂塵嵐の発生と後方流跡線の軌跡が一致し、かつSPMの上昇が観測される場合でも日本で黄砂が観測されないことがある。これは、黄砂の現象が明確でなく見逃された場合であるが、事例としては少ない。

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. 2016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 2016年度の黄砂	12
4.4 黄砂日の解析結果	13
(1) 黄砂事例1 2016年4月9日～11日	13
(2) 黄砂事例2 2016年4月14日～15日	19
(3) 黄砂事例3 2016年4月23日～26日	25
(4) 黄砂事例4 2016年5月7日～8日	32
5. 2016年度における煙霧日の事例解析	39
5.1 煙霧日の事例解析	39
5.2 2016年度の煙霧日	39
5.3 煙霧日の解析結果	40
(1) 煙霧事例1 2016年5月24日～31日	40
(2) 煙霧事例2 2016年12月4日～6日	48
(3) 煙霧事例3 2017年3月5日～8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	56
6.1 黄砂消散係数とSPM濃度	56
6.2 ライダーによる黄砂検出日の状況	57
6.3 黄砂の検出条件の検討	61

7. 黄砂・煙霧日のPM _{2.5} 濃度	64
7.1 黄砂時・煙霧時におけるPM _{2.5} 環境基準超過	64
7.2 PM _{2.5} 環境基準値を超過した日で 黄砂もしくは煙霧が観測された地点のPM _{2.5} 成分濃度	66
7.3 黄砂日および煙霧日でPM _{2.5} 環境基準値を超過した日のPM _{2.5} 発生源寄与推定	68
8. 砂塵嵐発生と黄砂観測日数の減少について	71
8.1 条件の設定	71
8.2 集計結果	74
8.3 日本での黄砂観測と砂塵嵐発生頻度の関係	76
8.4 日本での黄砂観測と後方流跡線軌跡の関係	77
8.5 砂塵嵐発生頻度および後方流跡線軌跡と日本での黄砂観測との関係	78
8.6 砂塵嵐及び気流の状況と日本での黄砂観測状況	80
9. 今後の課題	84
参考文献リスト	85

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、2016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2016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2016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の指標の推移を示した。

2. 1 黄砂の観測状況

2002年度から2016年度までの15年間について、気象台発表の黄砂日の年間延べ日数を図2-1-1に示している。2016年度は、2015年度に比べやや増加している。図2-1-2には、2016年度の黄砂延べ日数の経月変化を示している。

2016年度の観測地点毎の黄砂日数を、多い順で図2-1-3に示している。上位は、北信越・中国・九州地方での出現が多い。

2002～2016年度の黄砂日数の総計（図2-1-4）でみると、上位は九州・中国地方で占められている。

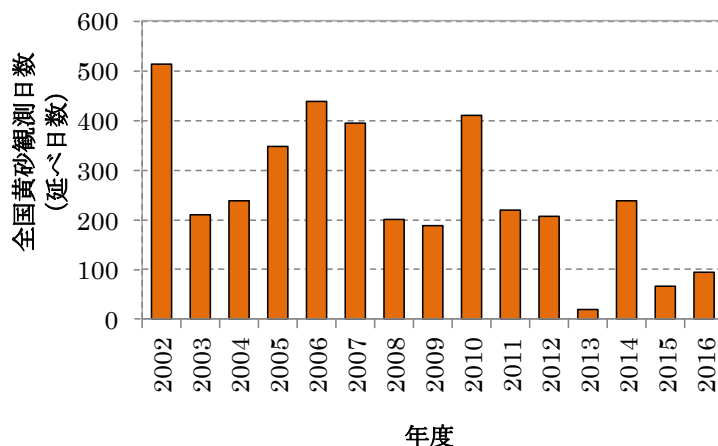


図 2-1-1 黄砂観測日数の経年変化

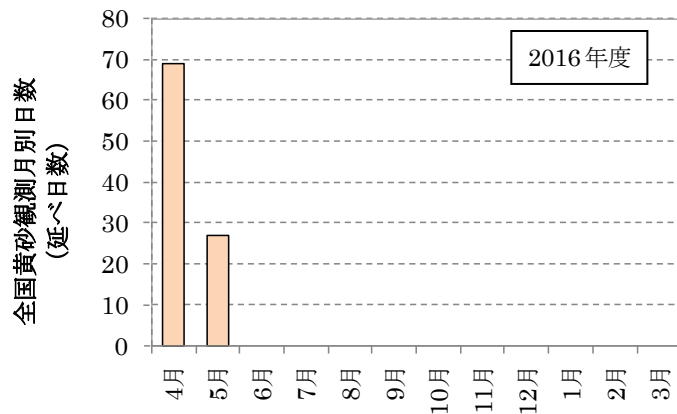


図 2-1-2 黄砂観測日数の経月変化 (2016 年度)

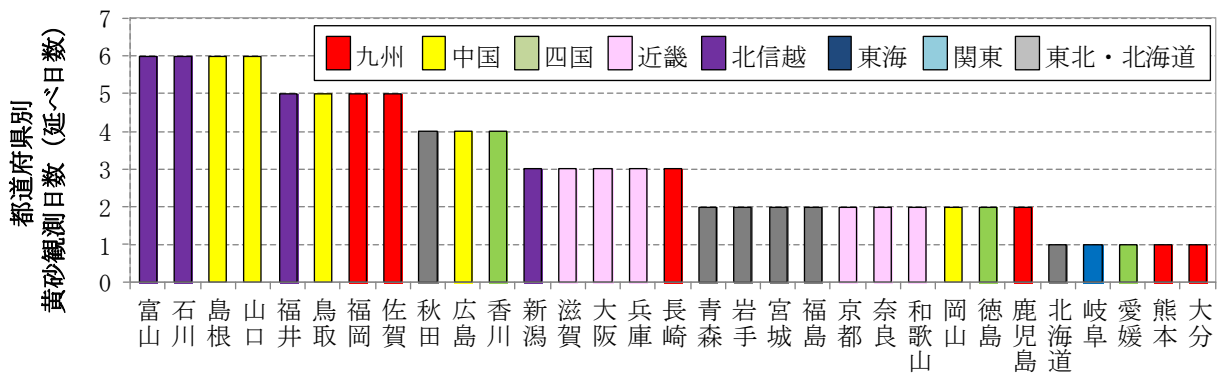


図 2-1-3 黄砂日の地点別日数 (2016 年度)

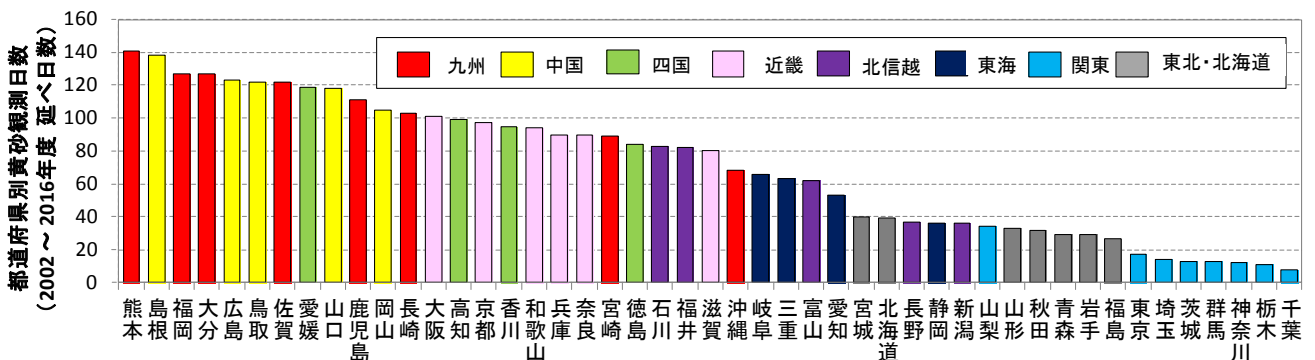


図 2-1-4 黄砂日の地点別日数 (2002～2016 年度)

2. 2 黄砂日の SPM 濃度

SPM 濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために、2003 年から 2016 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)～(4)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現象を被る概略的な量的指標を示すと考えられる。

2016 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。

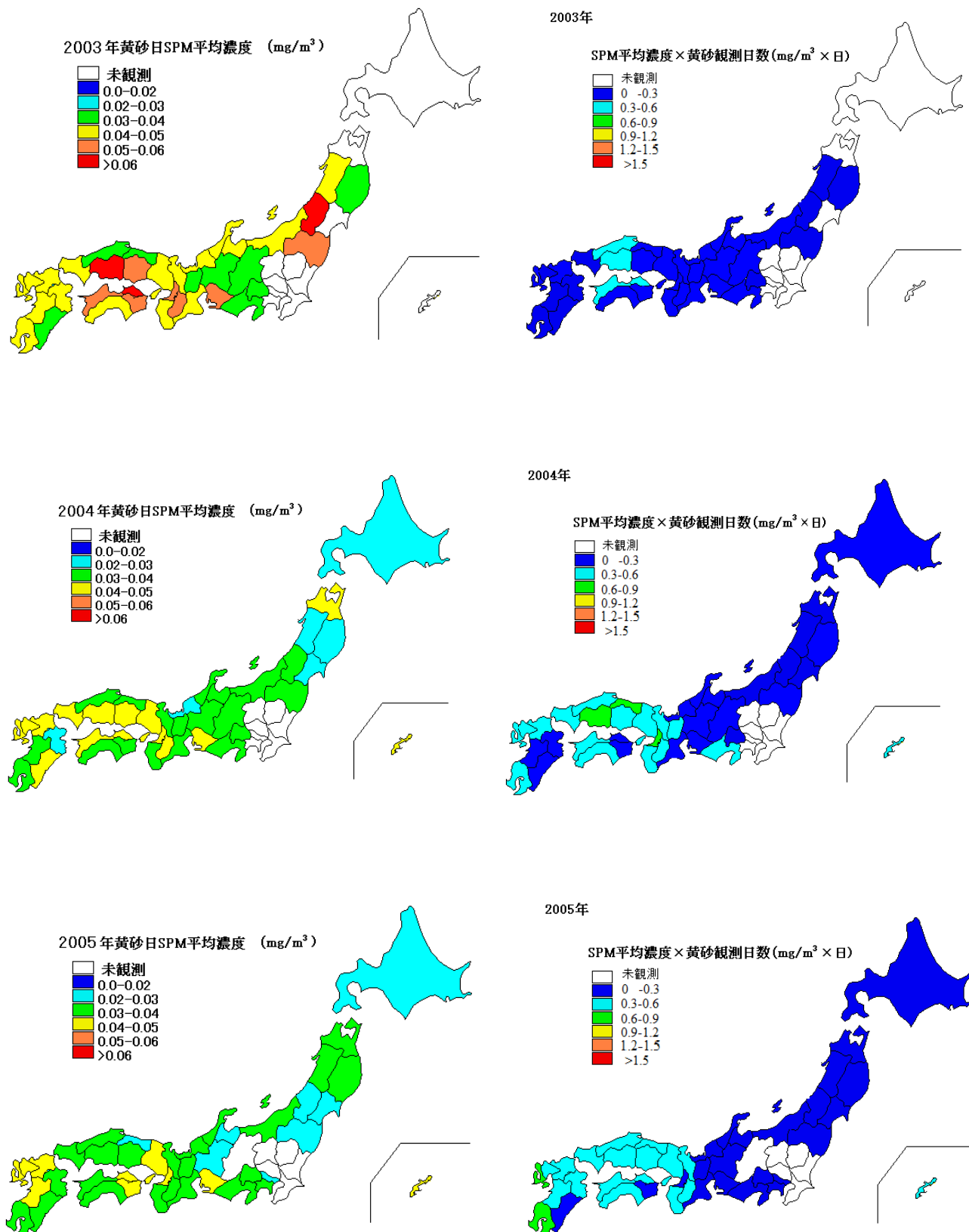


図 2-2-1(1) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

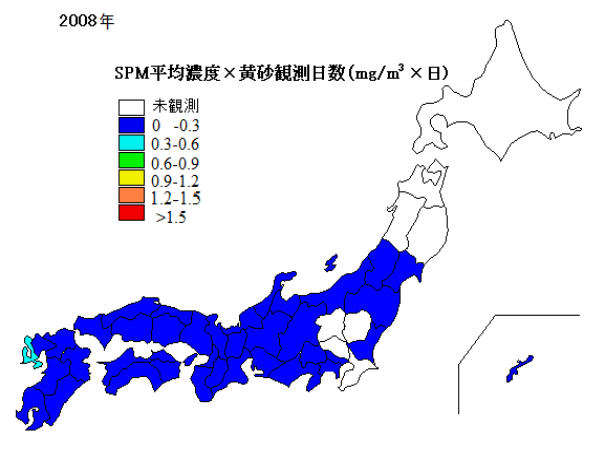
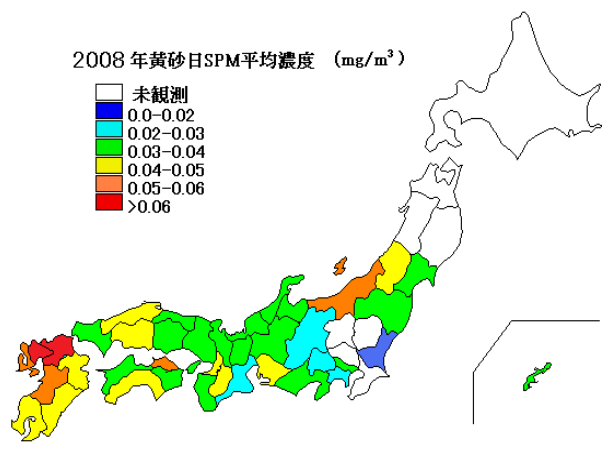
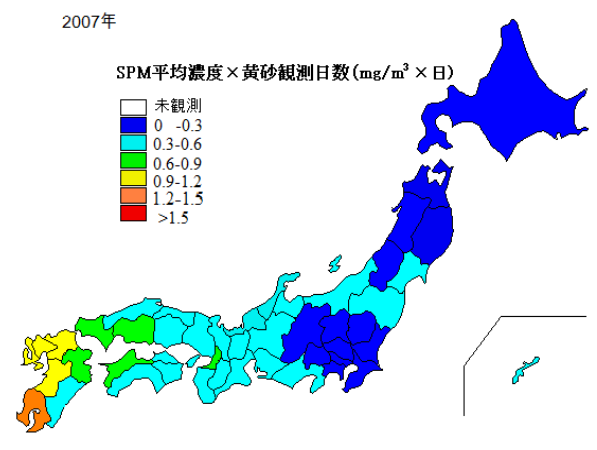
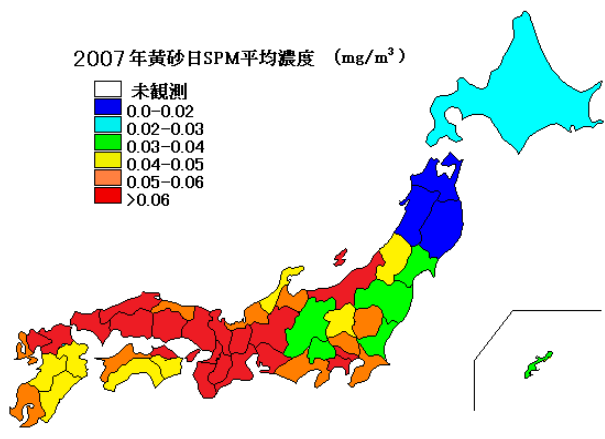
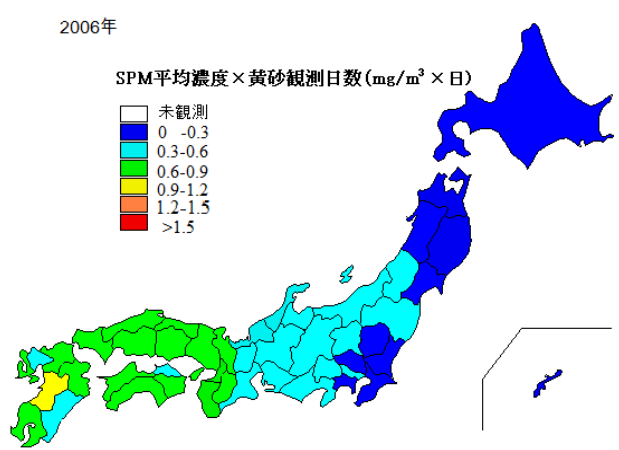
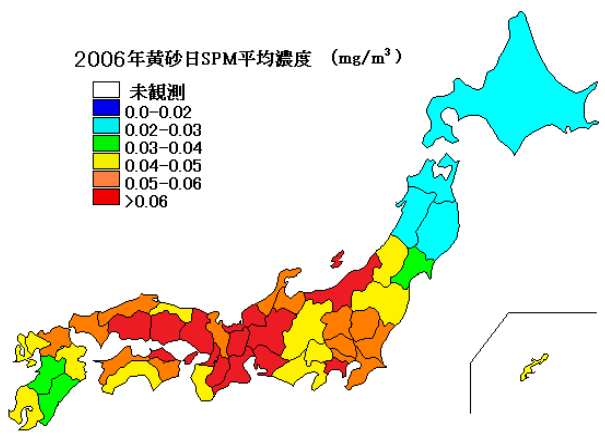
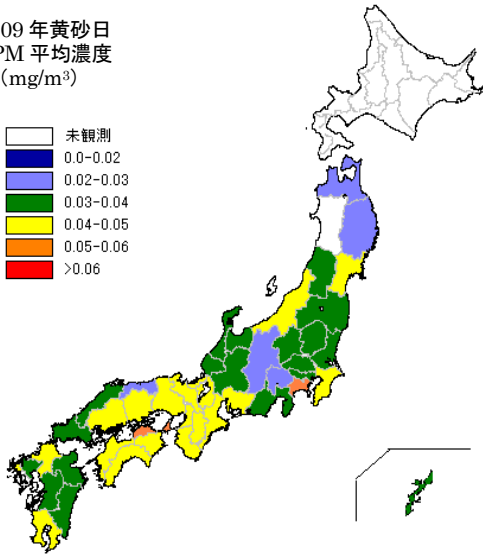
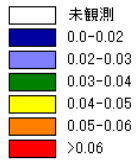
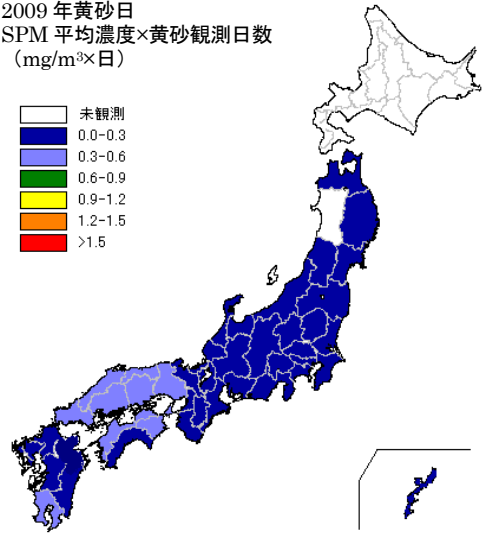
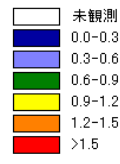


図 2-2-1 (2) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

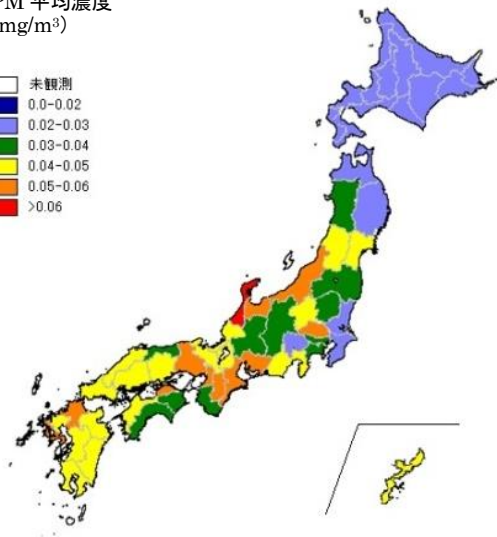
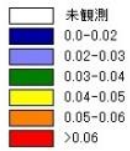
2009年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



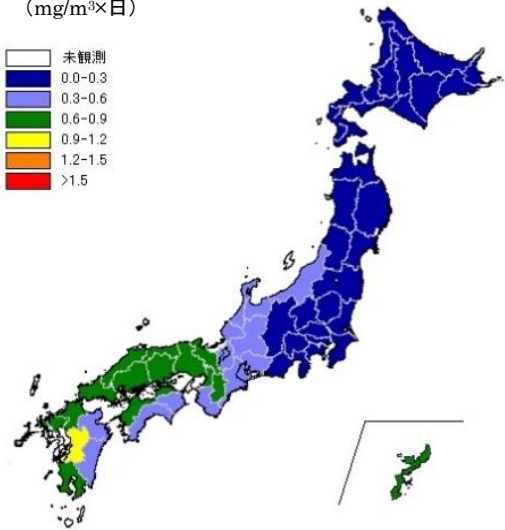
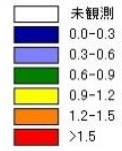
2009年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



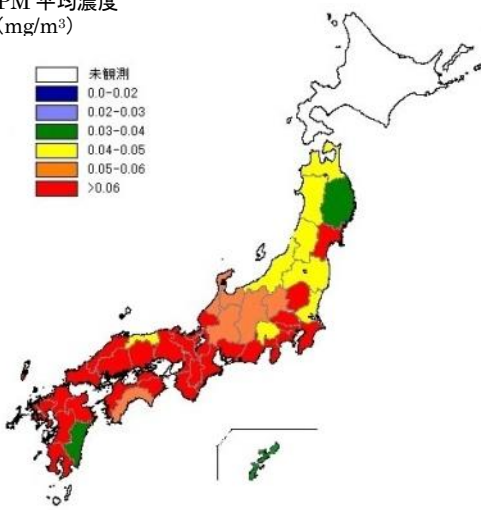
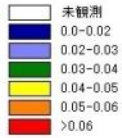
2010年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



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
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)

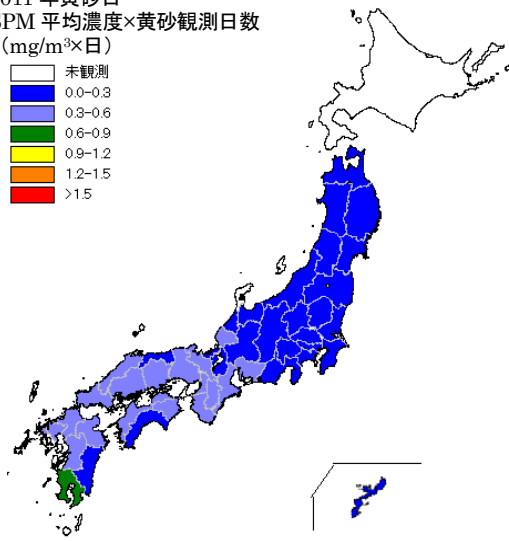
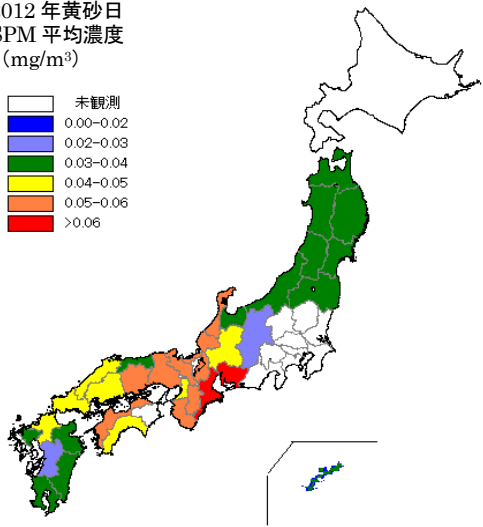
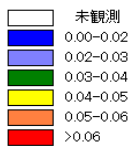
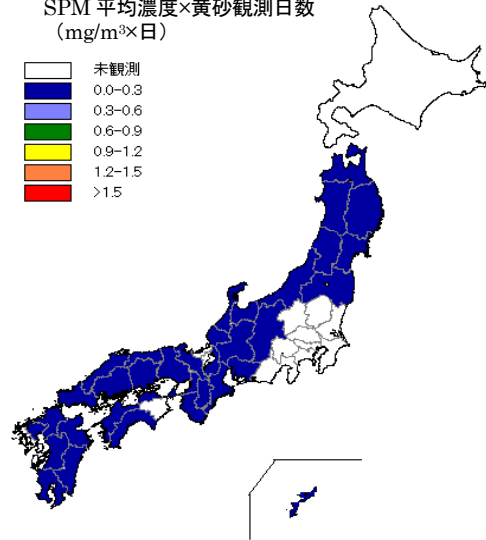
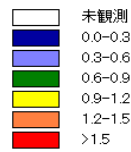


図 2-2-1(3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

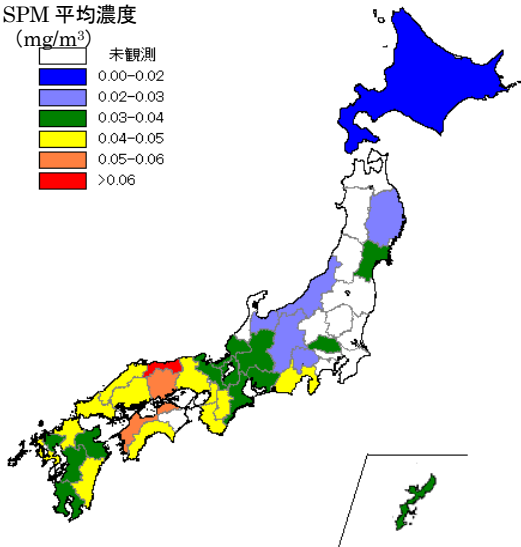
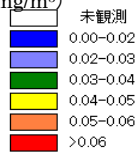
2012年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



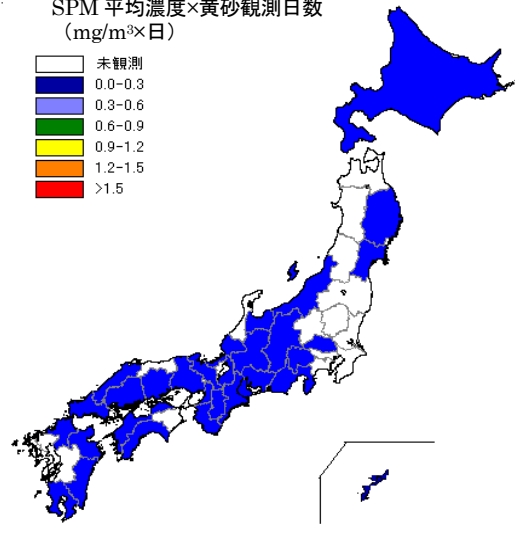
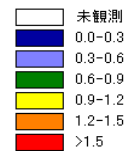
2012年黄砂日
SPM平均濃度×黄砂観測日数
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)



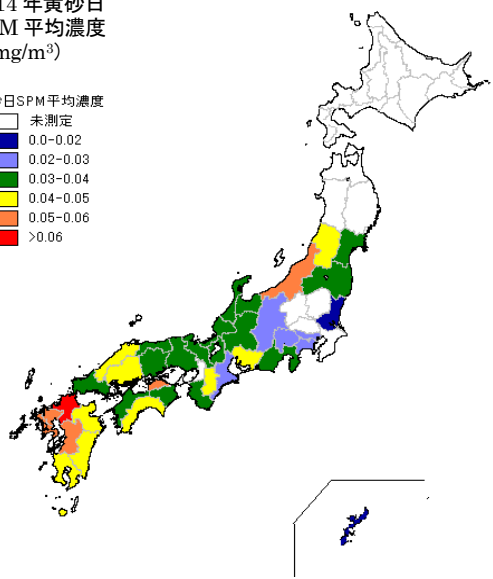
2013年黄砂日
SPM平均濃度
(mg/m^3)



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
($\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{日}$)

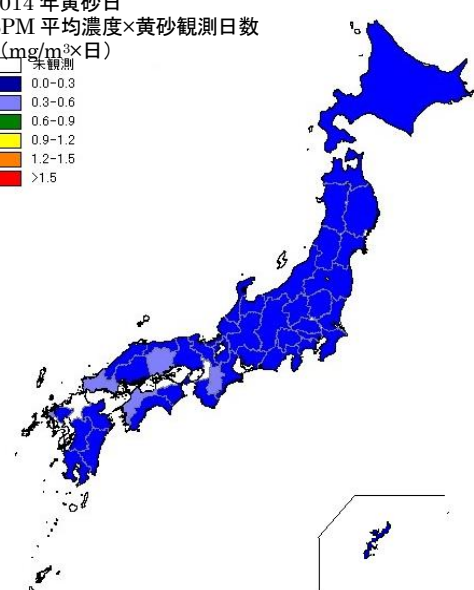
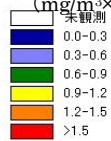


図 2-2-1 (4) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

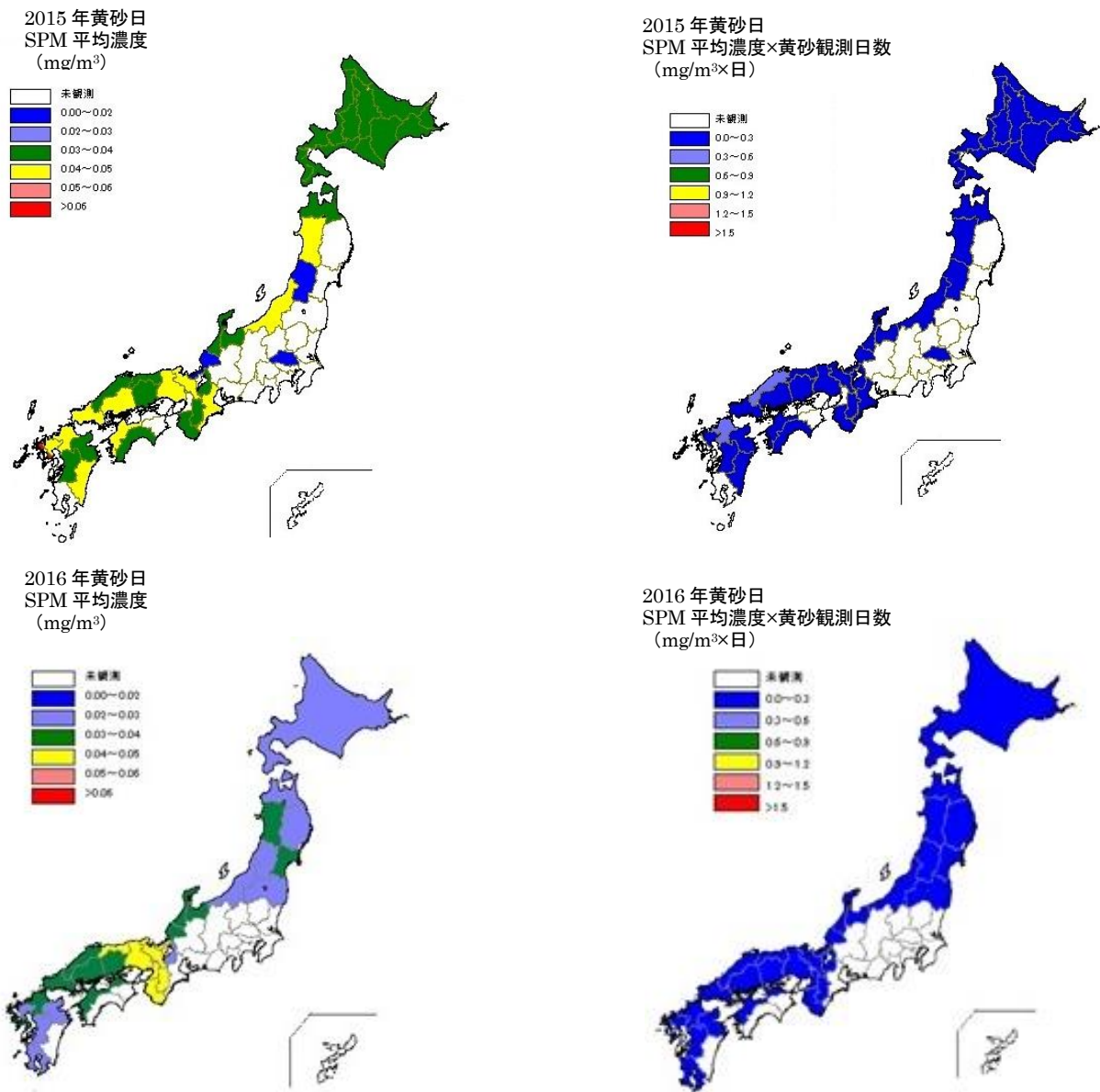


図 2-2-1(5) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

3. 煙霧の観測状況

黄砂と同様に、2003年度から2016年度までの14年間について、気象台観測の煙霧日の年間延べ日数を図3-1に示している。

図3-2には、2016年度の煙霧延べ日数の経月変化を示している。

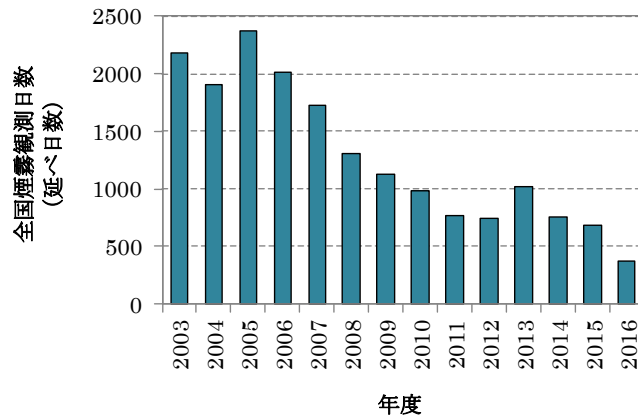


図3-1 煙霧の経年変化

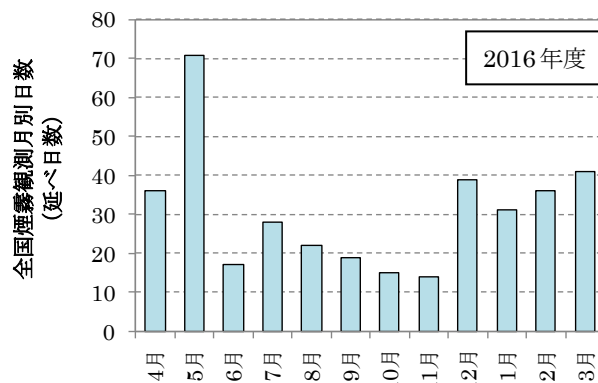


図3-2 煙霧の経月変化

2016年度の観測地点毎の煙霧日数を、多い順で図3-3に示している。

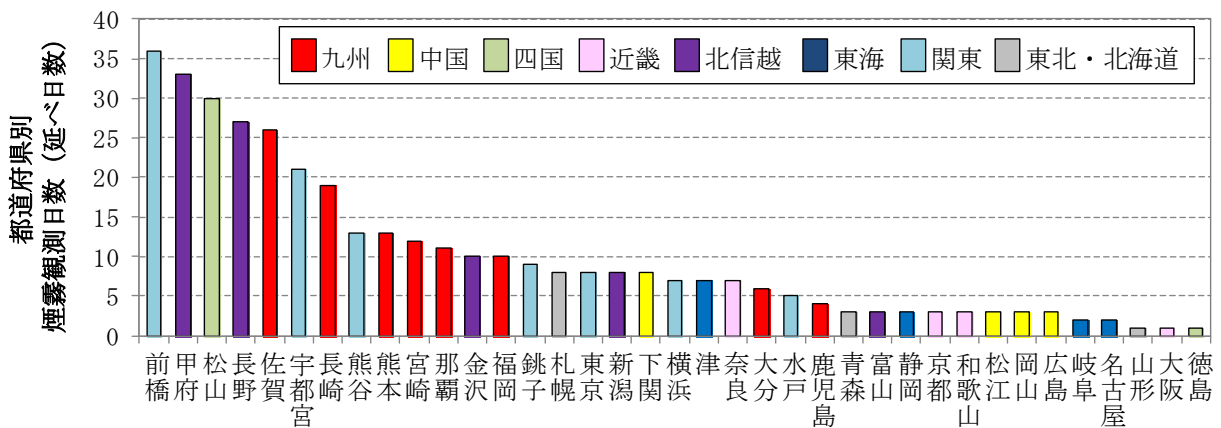


図3-3 煙霧日の地点別日数