
平成 27 年度黄砂飛来状況調査 報告書

平成 29 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

	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	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大気環境モデリング研究室 特別研究員
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、平成 14 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、平成 27 年度に飛来してきた黄砂についてその状況を取りまとめたものである。

2. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

平成 14 (2002) 年度から 27 (2015) 年度の気象台発表の黄砂日について経年変化を整理する。また、平成 27 (2015) 年の経月変化と黄砂観測日の都道府県における SPM 平均濃度に黄砂日数を乗じたものについても整理する。

2.2. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴を解析するため、平成 27 (2015) 年度の各黄砂事例を対象に、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、PM_{2.5} 日平均値分布、PM_{2.5}/SPM の比、硫酸イオン濃度などについて考察する。

3. 黄砂の飛来状況

3.1. 気象台発表の黄砂日

平成 14 (2002) 年度から 27 (2015) 年度までの気象台発表黄砂日数の平均年間延べ日数 264 日である。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り、2015 年度は、2013 年度に続いて少なかった。

3.2. 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。

4. 煙霧の観測状況

煙霧の観測日数は 2005 年度から年々減少していたが、2013 年度はやや増加した。2014 年度は 2011、2012 年度と同程度になり、2015 年度はそれよりやや減少した。月変化では、8 月が最も多く、続いて 10 月、4 月となっていた。地点別では、関東と九州で多く観測されていた。

5. 黄砂の特徴と分類

5.1 黄砂の分類

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。これらの結果から、各黄砂事例の特徴を明らかにし、単純黄砂、混在黄砂、硫酸エアロゾルに分類した。黄砂飛来の把握には、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、汚染物質の混在については、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。

平成 27(2015)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、5 事例になる。黄砂 5 事例について詳細にその状況を示した。

5.2 黄砂事例の特徴

2015 年度の気象台黄砂日 5 事例について、単純黄砂、混在黄砂の分類を行った。その結果、単純黄砂が 2 事例、混在黄砂が 1 事例に分類された。また、黄砂と硫酸エアロゾルが分かれてきたものが、2 事例みられた

各事例の概要は以下の通りである。

(1)平成 27 (2015) 年 4 月 17 日～18 日

西から東に広がった黄砂で、同時に関東では煙霧が観測されている。SPM 濃度の上昇は小さいが、PM_{2.5} 濃度はやや高い。硫酸イオンの濃度はあまり高くなく、単純黄砂と考えられる。

(2)平成 27 (2015) 年 4 月 25 日

北陸と東北で観測された黄砂である。PM_{2.5} 濃度は西日本で高く、また福岡での硫酸イオン濃度も高い。北陸・東北で黄砂、西日本で硫酸エアロゾルの飛来があったと考えられる。

(3)平成 27 (2015) 年 5 月 5 日～7 日

九州と北海道で同時に観測された黄砂である。後方流跡線ではいずれの地点も砂塵嵐発生地域からの大気の流れを示している。硫酸イオン濃度の上昇はみられず、単純黄砂と思われる。

(4)平成 27 (2015) 年 5 月 20 日

松江のみで観測された黄砂で、煙霧は九州など多く観測されている。黄砂消散係数は松江、富山で上昇している。福岡での硫酸イオン濃度も高濃度である。小規模な黄砂と硫酸エアロゾルの飛来と思われる。

(5)平成 27 (2015) 年 6 月 12 日～13 日

西日本を中心に観測された黄砂である。砂塵嵐の発生、福岡での後方流跡線など、黄砂の様相をみせている。PM_{2.5} が高く、また、福岡での硫酸塩イオンも高いことから、福岡周辺への混在黄砂の飛来と考えられる。

5.3 煙霧の観測事例

2015 年度、全国いずれかの地点で煙霧が観測されたのは 186 日である。このうち、10 地点以上で煙霧が観測された 9 事例について、その状況を示した。これらの多くで、大陸からの越境による影響がみられた。

(1)平成 27 (2015) 年 4 月 28 日

西日本、関東で煙霧が観測されている。後方流跡線は中国沿岸部からの軌跡を示しており、PM_{2.5} の濃度は全国で高くなっているおり、福岡での硫酸イオン濃度も高い。

(2)平成 27 (2015) 年 7 月 30 日～8 月 5 日

日本列島の中心付近の多くの地点で長い期間、煙霧が観測され、PM_{2.5} 濃度は同じ地域で高くなっている。後方流跡線では、九州、東京は大陸からの影響はみられない。PM_{2.5} の中国大都市はあまり高くなっておらず、大陸からの越境による影響は大きくないと思われる。

(3)平成 27 (2015) 年 10 月 10 日

煙霧は本州中央部が中心で、この地域で PM_{2.5} 濃度も高くなっている。硫酸イオン濃度は低く、後方流跡線は大陸方向とは無関係である。この時期、野焼きの影響が報告されており、その影響を含めた国内によるものと考えられる。

(4)平成 27 (2015) 年 10 月 21 日～24 日

西日本を中心に煙霧が観測され、北は新潟まで広がっている。福岡での後方流跡線は中国沿岸部からの軌跡を示している。PM_{2.5}も高く、福岡での硫酸イオン濃度は 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、中国沿岸部からの越境の影響と判断できる。

(5)平成 28 (2016) 年 1 月 4 日～5 日

煙霧は西日本が中心で、福岡での後方流跡線は、中国沿岸部からの流れを示している。中国沿岸部・韓国では、広く Haze が観測されており、福岡での硫酸イオン濃度も高い。これらから、中国沿岸部からの越境の影響によるものと思われる。

(6)平成 28 (2016) 年 2 月 1 日

煙霧は九州・四国・中国を中心としたもので、福岡の後方流跡線は、大陸からの大気の流れを示している。福岡での硫酸イオン濃度も高いが、この時の福岡の後方流跡線を PM_{2.5}濃度時間値と対応させると、北京・山東省付近を通過していたが、北京の PM_{2.5}は 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達しておらず、大陸からの移流寄与は大きくないと思われる。高濃度地点での PM_{2.5}成分濃度では、硝酸イオンが高濃度（硫酸イオンと同程度）を示している。

(7)平成 28 (2016) 年 2 月 28 日

関西が中心の煙霧で、中国全体でも Haze が観測されている。ライダー消散係数などから、日本海側に広く、SPM 濃度が低い黄砂であることを示している。しかし、瀬戸内海沿岸域での PM_{2.5}の高濃度は、黄砂による影響ではないと思われる。

(8)平成 28 (2016) 年 3 月 5 日

煙霧は九州と本州中央部が主で、中国全域でも広く Haze が観測されている。後方流跡線は、九州は大陸からの流れを示しており、福岡での硫酸イオン濃度も高く、中国沿岸部からの越境の影響を受けていたと思われる。また、日本海側では、ライダー黄砂消散係数などから黄砂の影響もみられる。

(9)平成 28 (2016) 年 3 月 8 日

煙霧観測は西日本が主であり、中国全域でも広く Haze が観測されている。福岡での後方流跡線は中国沿岸部からの流れを示している。福岡での硫酸イオン濃度も高く、大陸からの流れが継続していたと思われる。また、北海道でも気象台観測はないが黄砂の様子がみられており、瀬戸内海沿岸部および関東の煙霧とは異なると思われる。

6. ライダー消散係数と SPM・PM_{2.5}濃度

6.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出

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、2015 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 6 日、松江で 2 日、富山で 1 日抽出された。

6.2 ライダーによる黄砂検出日の状況

ライダーによって黄砂が検出された日について、後方流跡線をみたところ、いずれも黄砂の飛来を予測させる流れを示していた。

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と下げて、黄砂の検出の有無を検証した。その結果、40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ではほぼ全ての事例、30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でも半分以上の事例で、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・煙霧時の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

2015年度の黄砂日には、PM_{2.5}平均濃度は26.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は21.0%で、煙霧日は、平均濃度26.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は17.7%であり、黄砂・煙霧時のPM_{2.5}濃度上昇を示していた。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ことがわかった。

7.2 黄砂時・煙霧時のPM_{2.5}成分濃度

全国の自治体が実施しているPM_{2.5}成分濃度をもとに、黄砂・煙霧日を抽出してその特徴を探った。黄砂時でPM_{2.5}濃度が20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越す検体は、北海道、島根県、福岡県で5件採取された。煙霧でのPM_{2.5}高濃度のケースは、越境汚染によるものが多くみられ、硝酸イオンが高いケースもみられた。

7.3 黄砂時・煙霧時PM_{2.5}のPMF法による発生源推定

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6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・自動車排ガスに想定された。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、高濃度で二次硫酸塩の割合が大きくなる傾向がみられた。

8. 黄砂の分類

気象台で観測された黄砂や煙霧を対象として、黄砂であることの確認、大きさ、汚染物質の混在とその程度などを分類する方法を検討した。黄砂の要素として、気圧配置、砂塵嵐の発生、後方流跡線の軌跡、CFORS(dust)による予測、黄砂観測地点、ライダー黄砂消散係数、SPM濃度の地域の上昇、SPM最大濃度、PM_{2.5}/SPM比の9項目について、それぞれランク分けし、満点を6として点数化を行った。大気汚染物質の混在の要素として、煙霧観測地点、硫酸イオン濃度、PM_{2.5}/SPM比、後方流跡線の軌跡、CFORS(sulfate)の予測の5項目について、それぞれランク分けし、満点を6として点数化を行った。2015年度の黄砂事例を項目毎に点数化し、黄砂項目と煙霧項目に分けて合計点数を算出した。さらに合計点数を満点で除し、それぞれの指数として集計した。事例毎に、黄砂様相を明確に示しているものとそうでないもの、また混在の程度と黄砂との強度の違いなどをみることが出来た。

9. 砂塵嵐の発生と黄砂の観測

9.1 砂塵嵐発生状況の経年変化

日本で黄砂の飛来が多い4、5月について、2002～2014年の砂塵嵐の発生を経年的に解析した。その結果、砂塵嵐の発生日数と日本での黄砂観測日数と良好な相関関係がみられた。

9.2 後方流跡線方位の経年変化

同様に、後方流跡線の軌跡を経年的に解析した。その結果、後方流跡線の通過日数と日本での黄砂観測日数に類似の傾向がみられた。

9.3 砂塵嵐発生の個別の状況

砂塵嵐発生日数と後方流跡線軌跡の通過日数では、長期間では関連がみられるが、大きく異なる年も多いことから、個別の事例を検証した。その結果、大きな砂塵嵐の発生と日本での黄砂が結びついているケース、砂塵嵐は発生しているが日本へは到着していないケースなど6ケースに分けられた。大きな砂塵嵐に伴う日本での黄砂観測は、14年間で19事例ほどみられた。

黄砂飛来状況報告書 目次

1. 調査目的	1
2. 調査方法	1
2.1. 黄砂の飛来状況	1
2.2. 黄砂の特徴と分類	1
3. 黄砂の飛来状況.....	3
3.1. 黄砂の観測状況	3
3.2. 黄砂日の SPM 濃度	4
4. 煙霧の観測状況.....	8
5. 黄砂の特徴と分類	10
5.1. 黄砂の分類	10
5.2. 黄砂事例の特徴	11
(1)黄砂事例 01 平成 27 (2015) 年 4 月 17 日～18 日	12
(2)黄砂事例 02 平成 27 (2015) 年 4 月 25 日	15
(3)黄砂事例 03 平成 27 (2015) 年 5 月 5 日～7 日	18
(4)黄砂事例 04 平成 27 (2015) 年 5 月 20 日.....	22
(5)黄砂事例 05 平成 27 (2015) 年 6 月 12 日～13 日	25
5.3. 煙霧の観測事例.....	29
(1)煙霧事例 01 平成 27 (2015) 年 4 月 28 日.....	31
(2)煙霧事例 02 平成 27 (2015) 年 7 月 30 日～8 月 5 日.....	33
(3)煙霧事例 03 平成 27 (2015) 年 10 月 10 日.....	37
(4)煙霧事例 04 平成 27 (2015) 年 10 月 21 日～24 日.....	39
(5)煙霧事例 05 平成 28 (2016) 年 1 月 4 日～5 日.....	42
(6)煙霧事例 06 平成 28 (2016) 年 2 月 1 日.....	44
(7)煙霧事例 07 平成 28 (2016) 年 2 月 28 日.....	47
(8)煙霧事例 08 平成 28 (2016) 年 3 月 5 日.....	50
(9)煙霧事例 09 平成 28 (2016) 年 3 月 8 日.....	53
6. ライダー消散係数と SPM 濃度	56
6.1. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出	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	59

7. 黄砂・煙霧日の PM _{2.5} 濃度	63
7.1. 黄砂・煙霧時における PM _{2.5} 環境基準超過	63
7.2. 黄砂・煙霧時の PM _{2.5} 成分濃度	67
7.3. 黄砂・煙霧時 PM _{2.5} の PMF 法による発生源寄与推定	70
8. 黄砂の分類	73
9. 砂塵嵐の発生と黄砂の観測	76
9.1. 砂塵嵐発生状況の経年変化	76
9.2. 後方流跡線方位の経年変化	81
9.3. 砂塵嵐発生時の個別の状況	82
10. 今後の課題	89
参考文献リスト	91

1. 調査目的

近年、北東アジア地域（モンゴル、中国、韓国、日本等）では黄砂現象が頻発しており、その影響等に対する関心が高まっている。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、近年急速に拡大しつつある過放牧や農地転換などによる耕地の拡大も原因とされ、人為的影響により、その規模が拡大してい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^{1~8)}に資することを目的として、平成 27 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. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

平成 14(2002)年度から 27(2015)年度の気象台発表の黄砂日について経年変化、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、平成 13(2001)年から平成 27(2015)年にかけて、気象台が発表している黄砂観測日につ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。

2.2. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴を解析するために、平成 27 年度の各黄砂事例を対象に、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、PM_{2.5} 日平均値全国分布、PM_{2.5}/SPM の比、硫酸イオン濃度などについて考察した。

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測したと発表した地点を示した¹⁰⁾。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」) 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。

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¹¹⁾。また、世界気象資料¹²⁾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 として分類した。

SPM 濃度全国分布は、全国で行われている常時監視局の SPM 測定データから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。

後方流跡線は、アメリカ NOAA の HYSPLIT により気象データ GDAS を使い計算した。起点は、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。

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¹⁵⁾ (RIAM/NIES-CFORS) による黄砂イベント当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。

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¹⁴⁾。国立環境研究所ではライダー観測結果から消散係数を算出し、そのデータと画像を公開している。画像は 1 ヶ月毎に非球形粒子（黄砂）と球形粒子（大気汚染性エアロゾル）の消散係数の大きさが高度 6km まで示されている。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 (/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」）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。

硫酸イオン等の大気汚染物質の飛来を観察するために、硫酸イオンの 1 時間値を随時使用した。硫酸イオンの 1 時間値は、福岡県が太宰府市（福岡県保健環境研究所）で測定しているデータを提供いただいた（機種：SPA 5020i Thermo Fisher Scientific 社）。4~5 月に機器の故障により、欠測となったため、その期間については、九州大学応用力学研究所設置の ACSA のデータを提供いただいた。

PM_{2.5} 日平均値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。PM_{2.5} 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、PM_{2.5} 濃度、SPM 濃度及び PM_{2.5}/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 PM_{2.5} 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¹⁷⁾。

全国の自治体で測定されている PM_{2.5} 成分濃度調査について、黄砂煙霧の時期・地点と重なっている場合は、そのデータを解析に使用した。

3. 黄砂の飛来状況

3.1 黄砂の観測状況

平成 14(2002)年度から平成 27(2015)年度までの 14 年間について、気象台発表の黄砂日の年間延べ日数を図 3-1-1 に示している。14 年間の平均年間延べ日数は 264 日である。平成 27(2015)年度は、26((2014)年度に比べ減少し、最も少なかった 25(2013)年度よりやや多い程度で非常に低いレベルであった。図 3-1-2 には、平成 27(2015)年度の黄砂延べ日数の経月変化を示しているが、2015 年度は 4~6 月のみの観測であった。



図 3-1-1 黄砂観測日数の経年変化

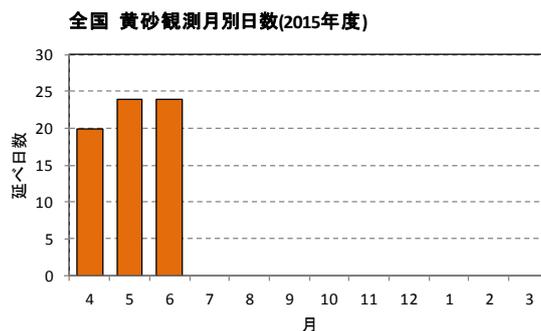


図 3-1-2 黄砂観測日数の経月変化

平成 27(2015)年度の観測地点毎の黄砂日数を、多い順で図 3-1-3 に示している。上位は、九州・中国地方が主である。

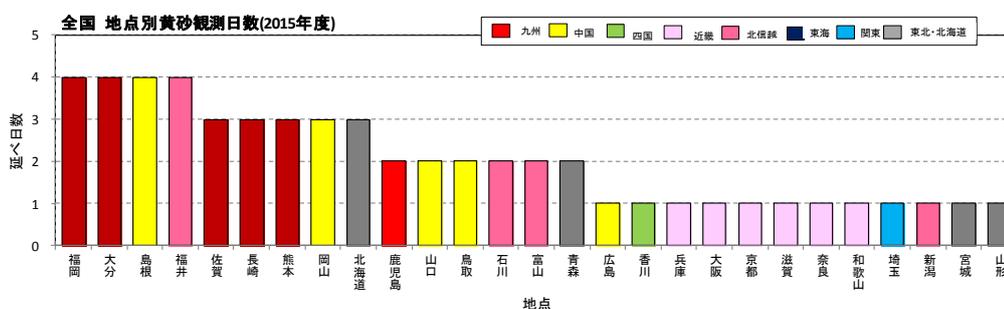


図 3-1-3 黄砂日の地点別日数

3.2 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、平成15(2003)年から平成27(2015)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(積算値と呼ぶ)を、図3-2-1(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。

平成27(2015)年は、それ以前と同様に、黄砂日の平均濃度は全体的に、西日本及び日本海側で高くなっている。

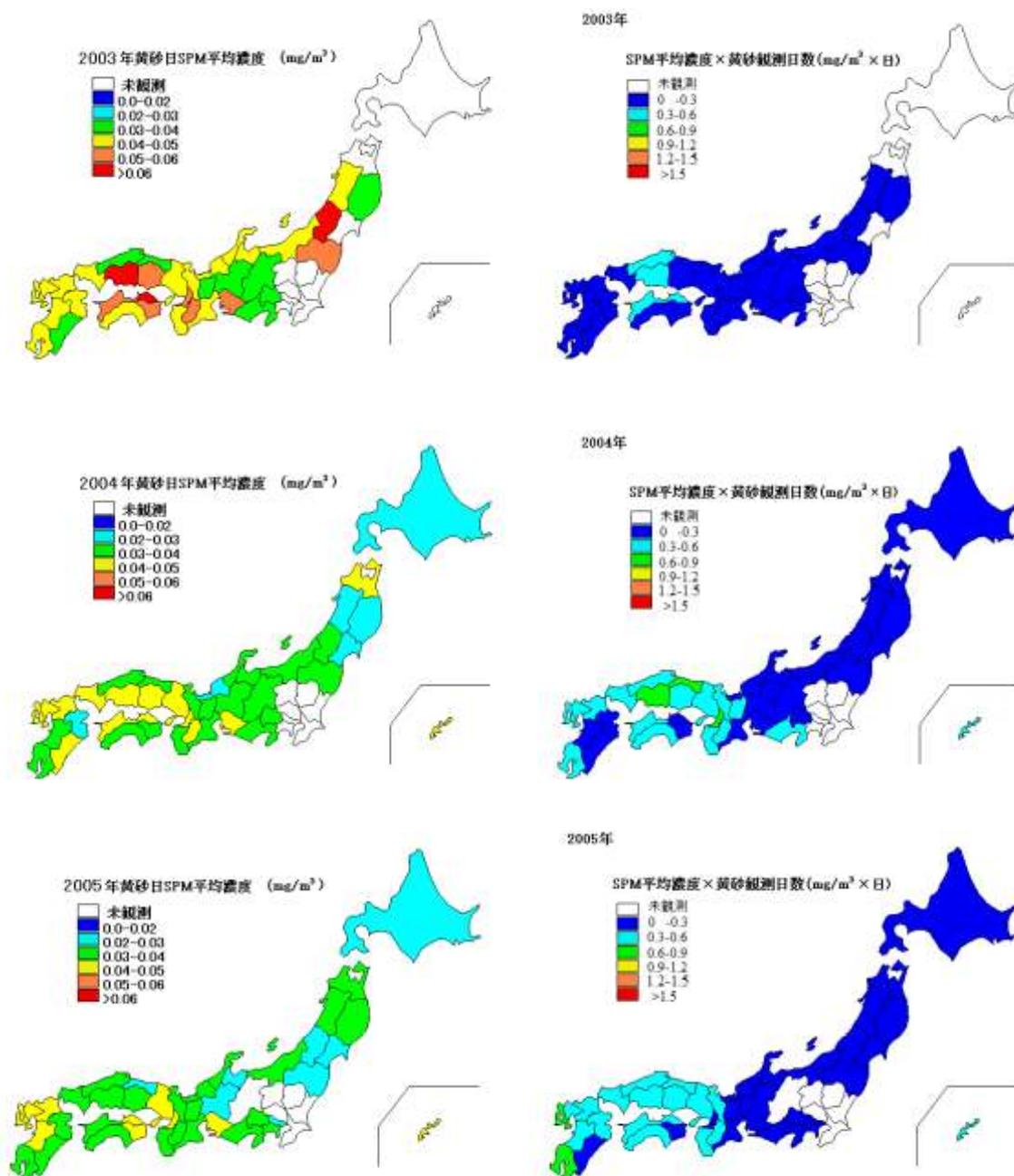


図3-2-1(1) 黄砂日のSPM平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

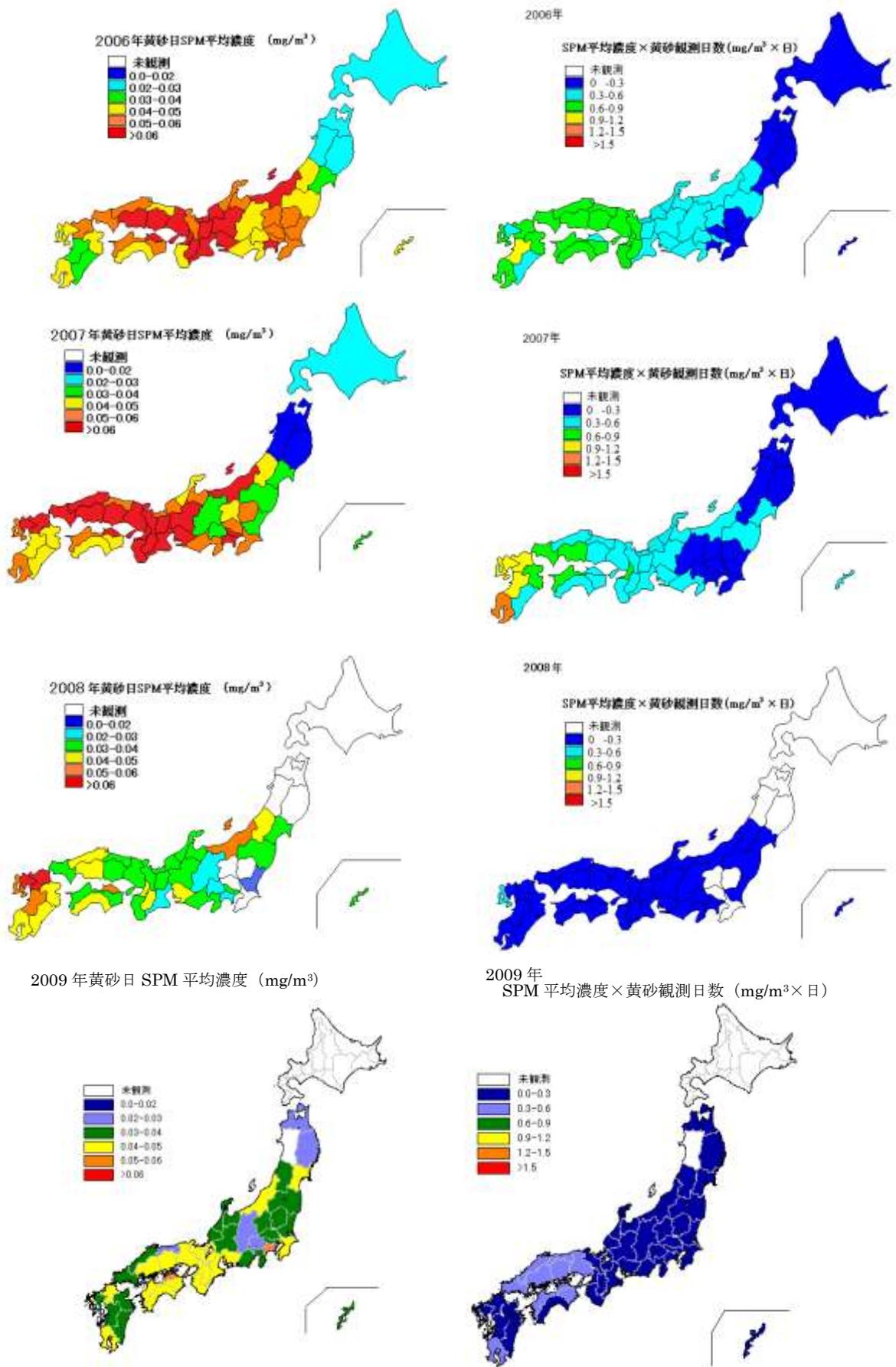
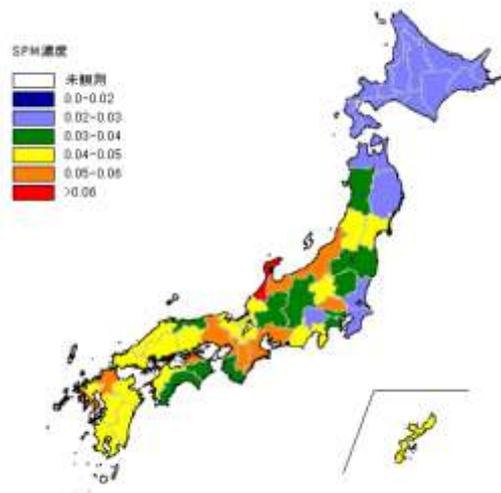
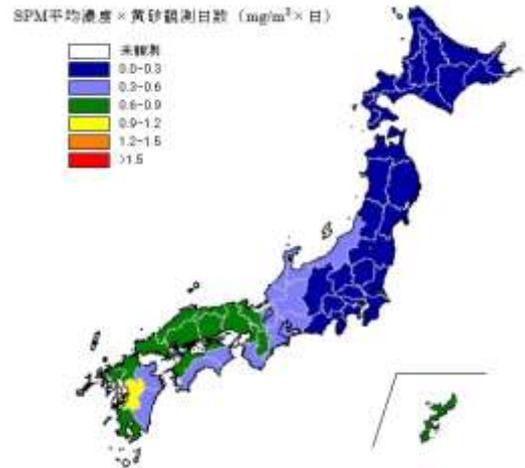


図 3-2-1(2) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

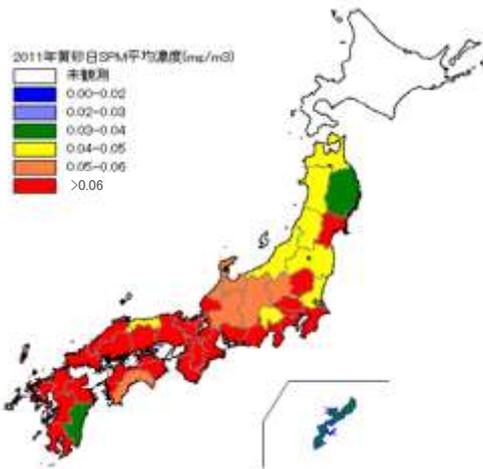
2010年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



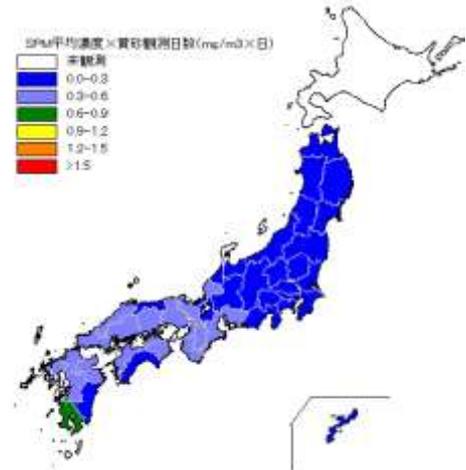
2010年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



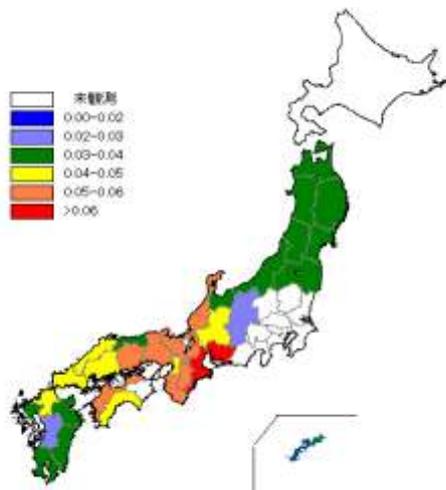
2011年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2011年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



2012年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2012年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)

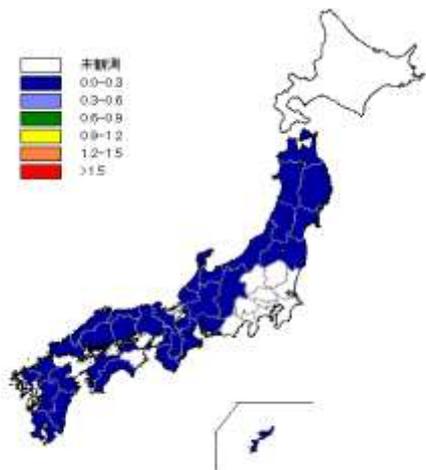
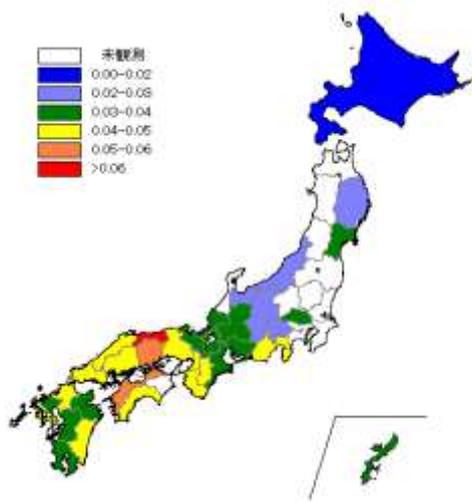
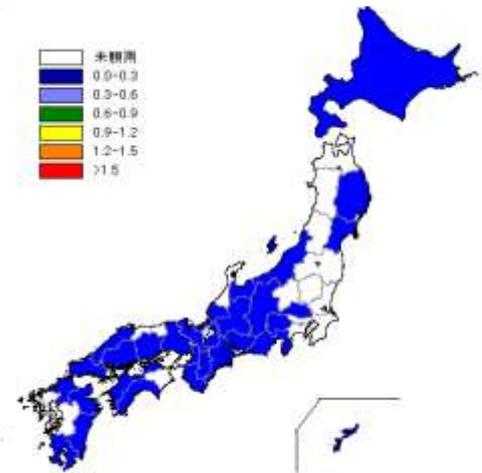


図 3-2-1 (3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

2013年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



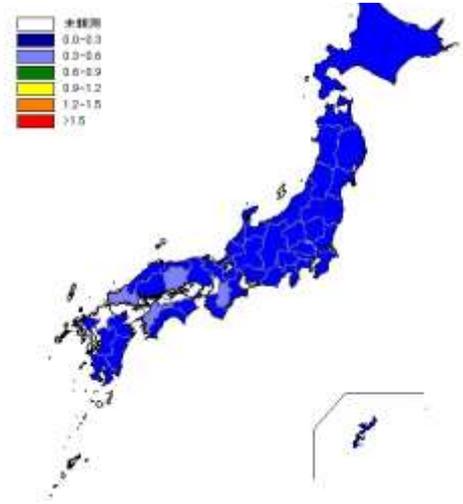
2013年 SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



2014年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2014年 SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



2015年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2015年 SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)

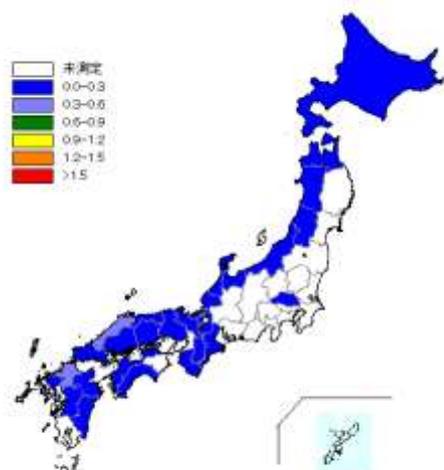


図 3-2-1(4) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

4. 煙霧の観測状況

黄砂と同様に、平成 15(2003)年度から平成 27(2015)年度までの 13 年間について、気象台観測の煙霧日の年間延べ日数を図 4-1 に示している。平均年間延べ日数は 1355 日であるが、2005 年度をピークに年々減少傾向にあることが分かる。図 4-2 には、平成 27(2015)年度の煙霧延べ日数の経月変化を示している。

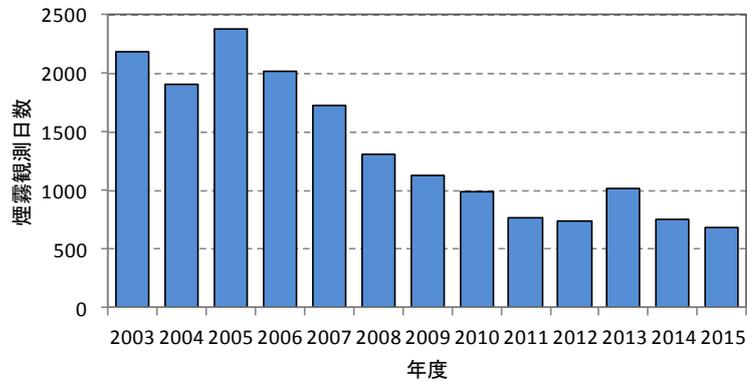


図 4-1 煙霧の経年変化

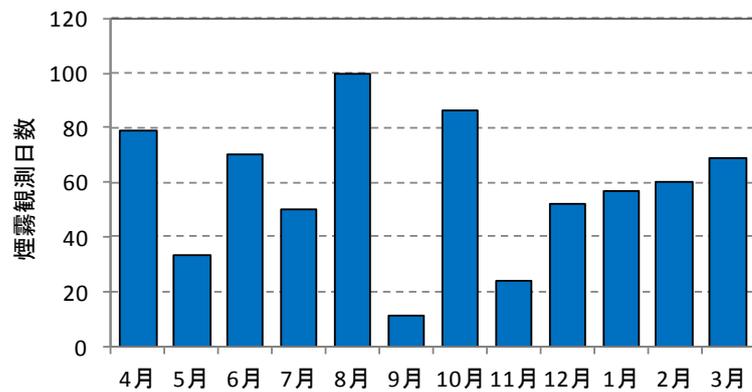


図 4-2 煙霧の経月変化

平成 27(2015)年度の観測地点毎の煙霧日数を、多い順で図 4-3 に示している。上位は、例年に比べ九州地方が減っている。

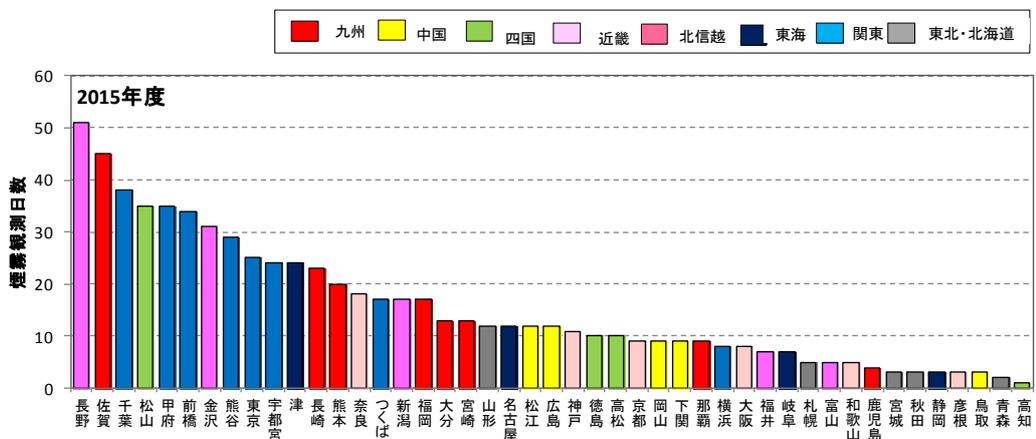


図 4-3 煙霧日の地点別日数

図 4-4 に煙霧の観測延べ日数の経年変化を関東と九州に分けて示している。関東における煙霧観測の減少が著しく、それと比べて九州での変化は少ない。

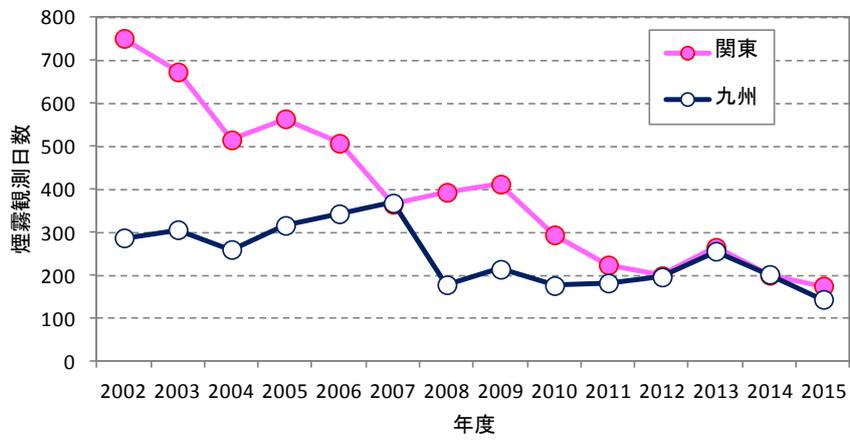


図 4-4 関東と九州での煙霧観測延べ日数の経年変化

5. 黄砂の特徴と分類

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特徴にも違いがみられることから、それぞれの特徴から共通性を抽出し、分類を試みた¹⁹⁾。

5.1. 黄砂の分類

黄砂の分類を考える時の大きなテーマは、人為的発生源からの汚染物質の混在であるため、黄砂及び越境大気汚染の一つと考えられている煙霧についてその特徴を整理した。

(1) 黄砂

気象庁では黄砂を「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」と定義しており、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。

これまでの調査から、気象台の黄砂日には概ね次のような特徴がみられている。

- 後方流跡線がモンゴル付近からの大気の流れを示す
- 気圧配置で、日本南岸に前線が延びる
- 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
- PM_{2.5}/SPMの比が小さくなる(粗大粒子の割合が大きくなる)

(2) 煙霧

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。気象庁での煙霧の定義は、「乾いた微粒子によって視程が10km未満となった場合で、乾いたとは湿度75%未満」としている。

長距離移流を原因とした煙霧の特徴としては、概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
- 硫酸イオンの濃度が上昇する
- CFORSの「硫酸塩エアロゾル(大気汚染物質)」(sulfate)の予想分布で、硫酸塩の移流が予測されている
- PM_{2.5}/SPMの比が大きい(粗大粒子の割合が小さい)

これらの要素を集約して次のような分類をおこなった。

①単純黄砂

硫酸塩エアロゾルの存在が少ない黄砂の飛来とした。硫酸イオン濃度が低いことから人為起源からの影響は小さく、自然起源による黄砂のみの飛来が主であると判断されるものである。

②混在黄砂

硫酸イオン濃度の上昇があり、硫酸塩エアロゾルが黄砂に混在しているものとした。硫酸イオンの増加は、人為的な汚染物質を含む微小粒子も同時に飛来してきていると想定される。なお、大陸に近い福岡県では、硫酸イオン濃度の時間値を常時監視しており、この値を混在黄砂の判断に利用した。

③硫酸塩エアロゾル

黄砂以外の硫酸イオン濃度が上昇する煙霧現象を示す。硫酸塩エアロゾルの上昇は、気象庁のいう煙霧のような状態となることが多いが、気象庁の煙霧は、大気中の硫酸イオン濃度は無関係であるため、気象庁の煙霧と区別して硫酸塩エアロゾルと表現する。