
平成 26 年度黄砂飛来状況調査 報告書

平成 28 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 大気海洋研究所附属 国際連携研究センター 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 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 大学院環境生命科学研究科 地域総合センター 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 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 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	京都大学 大学院医学研究科 研究員

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 26 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. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

平成 14 (2002) 年度から 26 (2014) 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 26 (2014) 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 26 (2014) 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 26 (2014) 年度までの気象台発表黄砂日数は、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。2014 年度は、2008、2009 年度と同程度まで戻った。地点別では中国・九州で多く観測されていた。

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 年度と同程度になっていた。月変化では、6 月が最も多く、続いて 7 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26(2014)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17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

2014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3事例に分類された。

各事例の概要は以下の通りである。

(1)平成26(2014)年5月26日～6月2日

全国に拡がり、期間も長い大きな黄砂で、同時に煙霧の観測地点も多い。SPM濃度の上昇は小さいが、PM_{2.5}濃度は高く、後方流跡線の軌跡や硫酸イオンの濃度から、混在黄砂と考えられる。

(2)平成27(2015)年2月22日～25日

九州から東北まで拡がった大きな黄砂である。硫酸イオン濃度は低く、PM_{2.5}/SPMも小さいことから、単純黄砂と考えられる。

(3)平成27(2015)年3月2日

1地点のみの観測で、SPM濃度もさほど上昇していない。後方流跡線、CFORS、黄砂消散係数の上昇など、西日本に小さな黄砂の飛来はみられている。硫酸イオン濃度が上昇していないことやPM_{2.5}濃度の上昇も小さいことから、小規模の単純黄砂と思われる。

(4)平成27(2015)年3月22日～23日

西日本を中心に、東北まで広く黄砂が観測されている。九州北部では、煙霧も同時に観測されており、福岡での硫酸イオン濃度も高濃度で、混在黄砂と考えられる。

(5)平成27(2015)年3月28日～30日

北海道、東北で黄砂が、西日本で煙霧が観測されている。砂塵嵐の発生、札幌での後方流跡線など、北への黄砂の飛来がみられる。同時に、福岡での硫酸塩イオンの高さから、北日本へは主に黄砂、西日本へは主に汚染物質が飛来した混在黄砂と考えられる。

5.3. 煙霧の観測事例

2014年度、全国いずれかの地点で煙霧が観測されたのは209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。これらのほとんどのケースで、大陸からの越境による影響がみられた。

(1)平成26(2014)年4月10日

西日本、関東の多くの地点で煙霧が観測され、東アジア一帯ではHazeが観測されている。後方流跡線は中国内陸部から次第に沿岸部に移っており、北京のPM_{2.5}と壱岐・福岡での濃度変化に時間差がみられる。硫酸イオンも高く、中国沿岸部からの越境の影響による煙霧と思われる。

(2)平成26(2014)年4月16日～17日

日本列島の中心付近の多くの地点で煙霧が観測され、PM_{2.5}濃度は同じ地域で高くなっている。後方流跡線は、福岡は韓国南岸、東京は中国渤海付近からの流れである。福岡での硫酸イオンの濃度は10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ をやや超える値であり、福井・富山・東京などのPM_{2.5}濃度は35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値が測定されている。大陸からの越境による影響か、国内影響かは明確ではない。

(3)平成 26 (2014) 年 6 月 3 日～4 日

煙霧は本州中央部から北が中心で、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。黄砂と越境の煙霧が 6 月 2 日まで続いており、その影響が継続していたと考えられる。

(4)平成 26 (2014) 年 6 月 14 日～17 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。東アジアで Haze が観測されており、後方流跡線は中国沿岸部からである。福岡での硫酸イオン濃度は高く、中国沿岸部からの越境の影響と判断できる。

(5)平成 26 (2014) 年 7 月 1 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は高い。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 26 (2014) 年 7 月 23 日

煙霧は関東を中心したもので、福岡、東京の後方流跡線は、いずれも大陸からの影響を示していない。東京近辺では、SO₂、Ox 濃度が高く、国内の発生源による影響が推察される。

(7)平成 26 (2014) 年 12 月 30 日

九州が中心の煙霧で、東アジア一帯で Haze が観測されている。PM_{2.5} 濃度は九州を中心に高くなっている。後方流跡線は、福岡で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、中国沿岸部からの越境の影響によると考えられる。

(8)平成 27 (2015) 年 1 月 17 日

煙霧は九州が主で、四国、東海でも観測されて、東アジア一帯でも広く Haze が観測されている。後方流跡線は、福岡では中国沿岸部からの流れを示しており、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。

(9)平成 27 (2015) 年 3 月 31 日

煙霧観測は全国に散在しており、東アジア一帯でも広く Haze が観測されている。福岡・東京・北海道の後方流跡線はいずれも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、直前に黄砂・煙霧が観測されており、大陸からの流れが継続していたと思われる。

6. 黄砂・煙霧時の PM_{2.5} 濃度

6.1. 黄砂・煙霧時における PM_{2.5} 環境基準超過

2014 年度の黄砂日には、PM_{2.5} 平均濃度は 36.3 μg/m³、日平均値 35 μg/m³ の超過率は 52.0% で、煙霧日は、平均濃度 28.2 μg/m³、日平均値 35 μg/m³ の超過率は 26.0% 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。

6.2. 黄砂時・煙霧時の PM_{2.5} 成分濃度

全国の自治体を実施している 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。黄砂時は、5 月のケースに 4 件採取されていたが、主に金属類が含まれている others の割合が多く、さらに硫酸イオンの割合も高くなっていた。

煙霧で PM_{2.5} 高濃度のケースは、越境汚染によるもの、シベリアでの森林火災の影響と思われるもの、国内影響が大きいものなど、それぞれ成分組成に違いがみられた。

6.3. 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。煙霧時の寄与では、二次硫酸塩、バイオマス燃焼が大きな割合を占めていた。また、個別の事例では、発生源の要因に違いがあることが分かった。

7. ライダー消散係数と SPM・PM_{2.5} 濃度

7.1 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、2014 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 8 日、松江で 5 日、富山で 5 日抽出された。

7.2 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。

8. 後方流跡線と PM_{2.5} 濃度

PM_{2.5} の高濃度と後方流跡線の関係を見るために、1 時間毎の後方流跡線を PM_{2.5} 時間値と対応して色分けして観察した。黄砂時の PM_{2.5} 上昇では、後方流跡線はおおむね大陸の内陸部と沿岸部の両方の通過を示していた。煙霧時の PM_{2.5} 上昇では、関東地方を中心に PM_{2.5} が上昇した場合、後方流跡線は近い地域からのものになっており、九州地方での PM_{2.5} 上昇は、中国沿岸部の影響であることを示していた。

9. 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。

9.1 黄砂要素項目

黄砂の要素として、①気圧配置、②砂塵嵐の発生、③後方流跡線の軌跡、④CFORS (dust) による予測、⑤黄砂観測地点、⑥ライダー黄砂消散係数、⑦SPM 濃度の地域の上昇、⑧ SPM 最大濃度、⑨PM_{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 とし点数化を行った。

9.2 大気汚染要素項目

大気汚染物質の混在の要素として、①煙霧観測地点、②硫酸イオン濃度、③PM_{2.5}/SPM 比、④後方流跡線の軌跡、⑤CFORS (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 とし点数化を行った。

9.3 分類項目の点数化とその表示

2009～2012 年度の 33 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。また、過去の事例の判断と比べたところ、概ねその評価との大きな違いはみられなかった。

さらに、個々の事例毎にチャートを作成することによって、黄砂の明確さ、その特徴、混在の程度などを比較・対照できるようになった。

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1 平成26(2014)年5月26日～6月2日	12
(2)黄砂事例2 平成27(2015)年2月22日～23日	16
(3)黄砂事例3 平成27(2015)年3月2日	18
(4)黄砂事例4 平成27(2015)年3月22日～23日	20
(5)黄砂事例5 平成27(2015)年3月28日～30日	22
5.3. 煙霧の観測事例	24
(1)煙霧事例1 平成26(2014)年4月10日	26
(2)煙霧事例2 平成26(2014)年4月16日～17日	28
(3)煙霧事例3 平成26(2014)年6月3日～4日	30
(4)煙霧事例4 平成26(2014)年6月14日～17日	32
(5)煙霧事例5 平成26(2014)年7月1日	34
(6)煙霧事例6 平成26(2014)年7月23日	36
(7)煙霧事例7 平成26(2014)年12月30日	38
(8)煙霧事例8 平成27(2015)年1月17日	40
(9)煙霧事例9 平成27(2015)年3月31日	42
6. 黄砂・煙霧日のPM _{2.5} 濃度	44
6.1 黄砂・煙霧時におけるPM _{2.5} 環境基準超過	44
6.2 黄砂・煙霧時のPM _{2.5} 成分濃度	46
6.3 黄砂・煙霧時PM _{2.5} のPMFによる発生源寄与推定	49

7. ライダー消散係数と SPM・PM _{2.5} 濃度	52
7.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出	52
7.2 ライダーによる黄砂検出日の状況	53
8. 後方流跡線と PM _{2.5} 濃度	54
9. 黄砂の分類	56
9.1 黄砂要素項目	57
9.2 大気汚染要素項目	62
9.3 分類項目の点数化とその表示.....	65
10. 今後の課題	69
参考文献リスト	71

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に資することを目的として、平成 26 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 26(2014)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 26(2014)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 26 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¹¹⁾。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¹²⁾。また、世界気象資料¹³⁾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、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 のデータを使用した¹⁷⁾。計算の起点は、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。

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¹⁶⁾(RIAM/NIES-CFORS)による黄砂イベントとき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¹⁵⁾。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)。

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広がりを見た。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²⁷⁾。

* 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、解析に用いなかった。

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26(2014)年度までの13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。平成26年度は、25年度に比べ増加し、23、24年度と同程度である。図3-1-2には、平成26(2014)年度の黄砂延べ日数の経月変化を示している。5月に大きな黄砂がみられている。



図3-1-1 黄砂観測日数の経年変化 (黄砂観測：全国60地点)

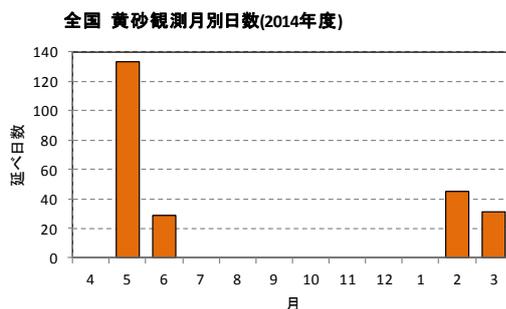


図3-1-2 黄砂観測日数の経月変化

平成26(2014)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・中国地方でほぼ占められている。

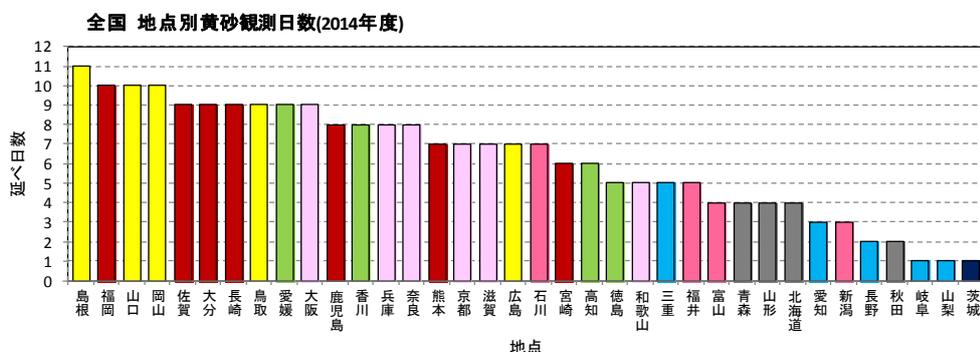


図3-1-3 黄砂日の地点別日数

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、2003(平成15)年から2014(平成26)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。

2014(平成26)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が、例年観測が少ない北海道でも観測されているのが特徴的である。

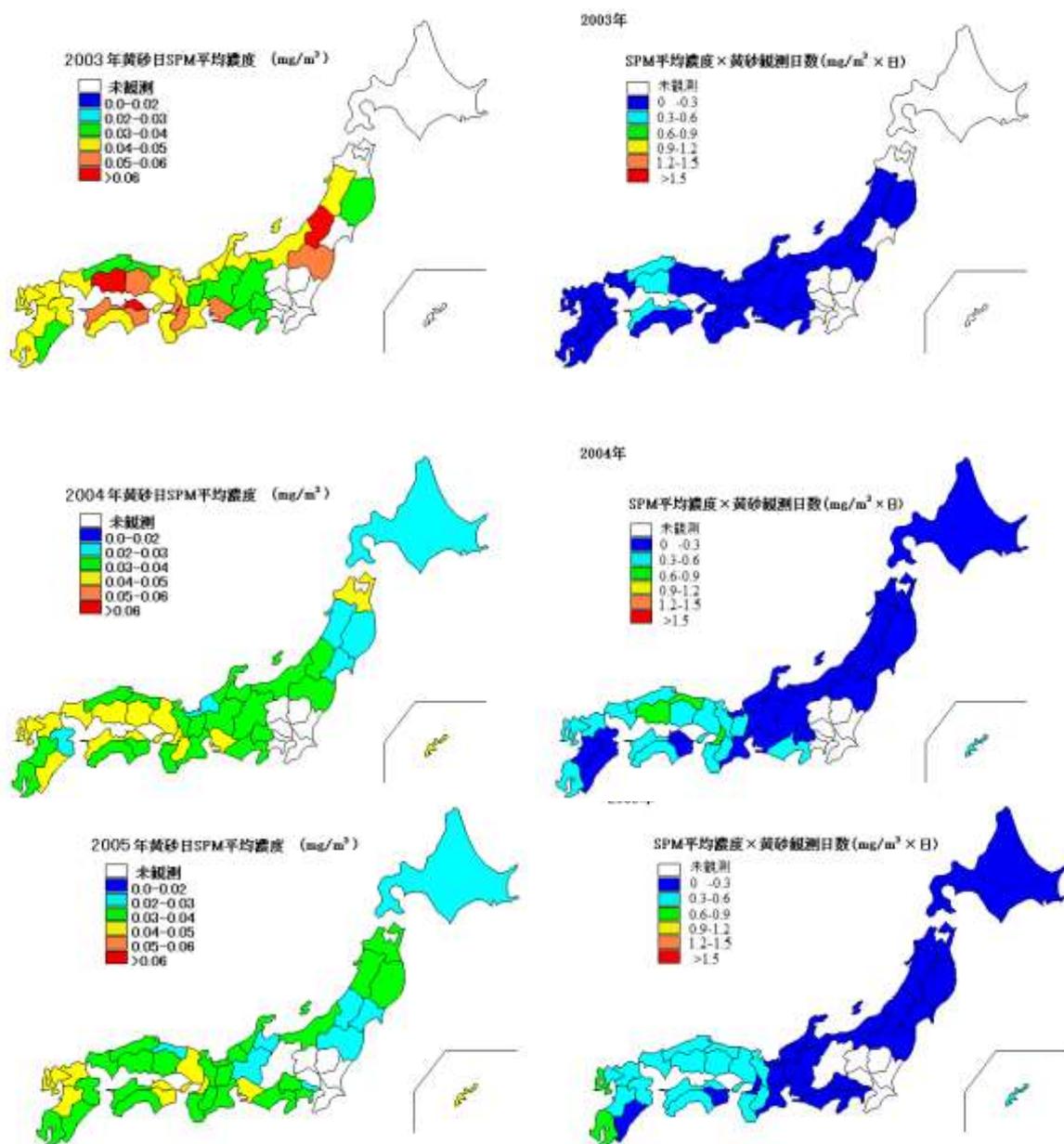


図3-2-1(1) 黄砂日のSPM平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

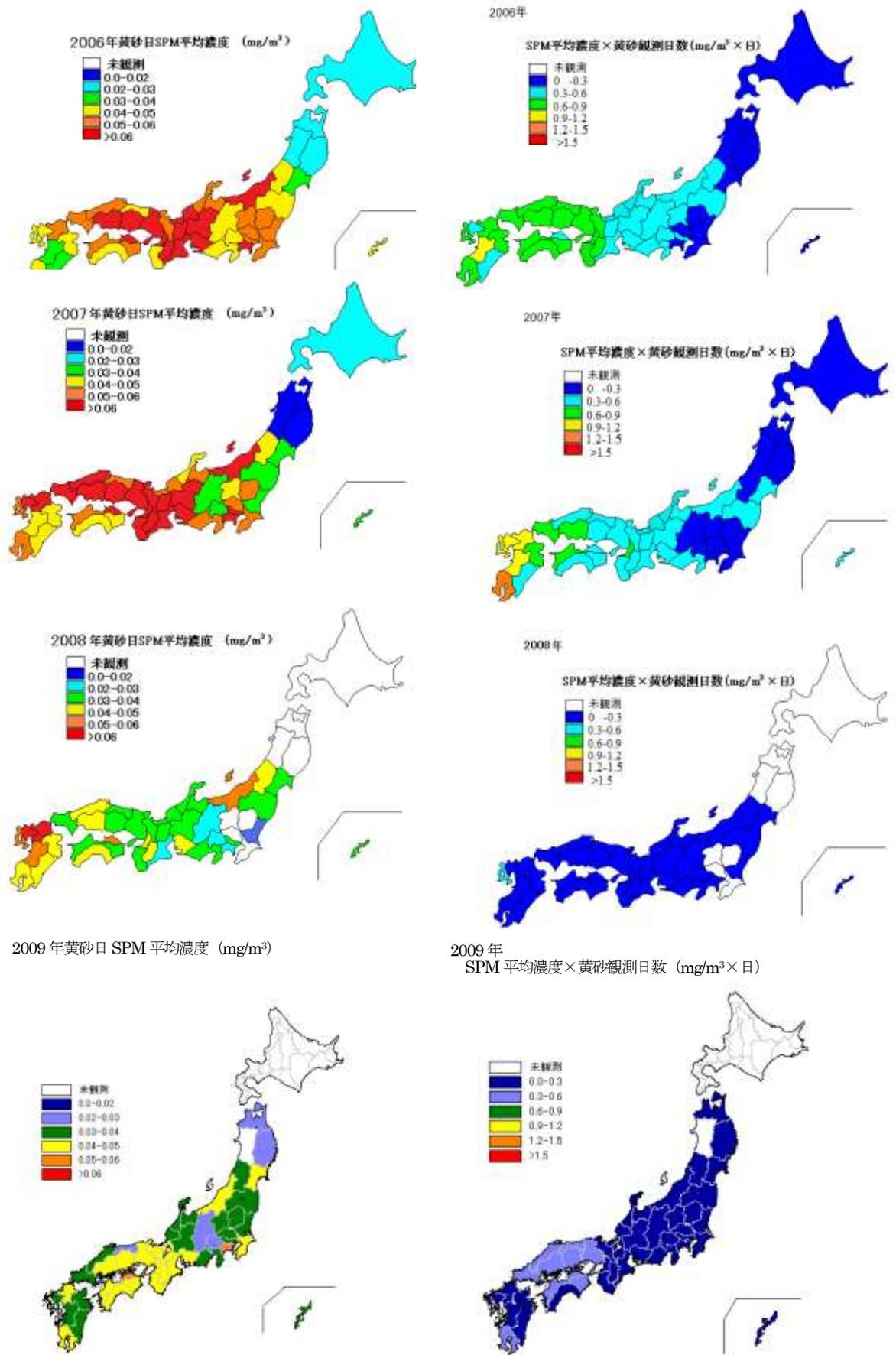
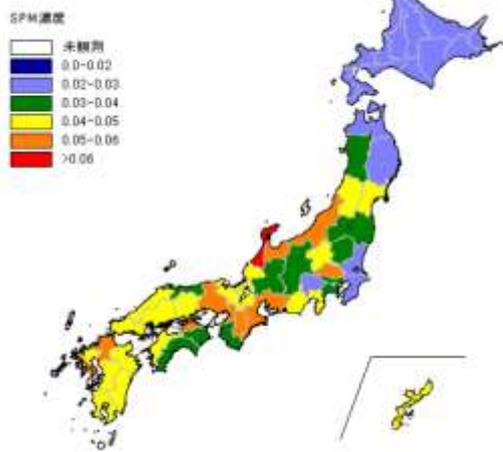


図3-2-1(2) 黄砂日のSPM平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

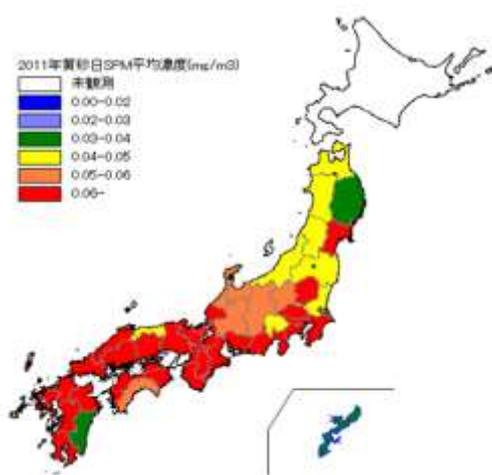
2010年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



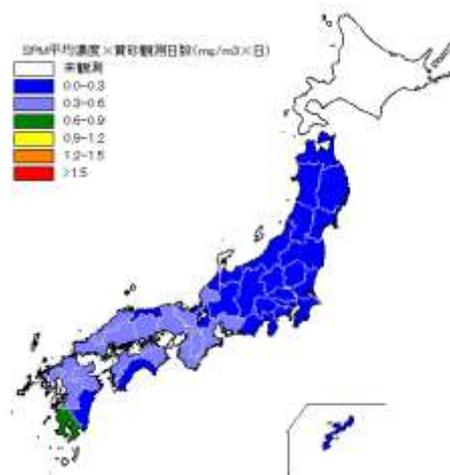
2010年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



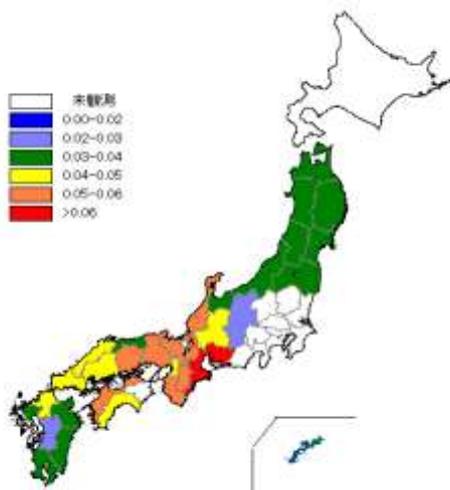
2011年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



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)

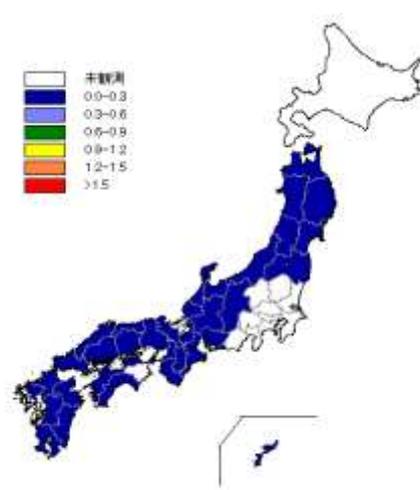
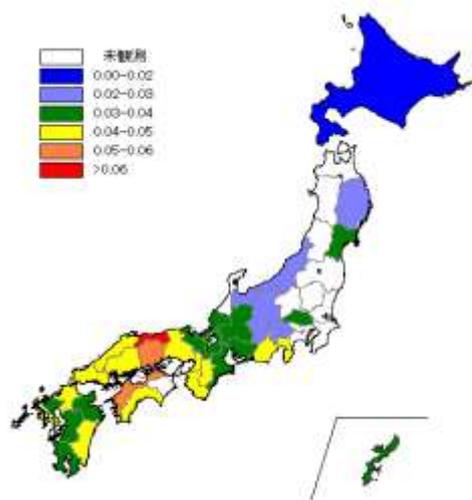
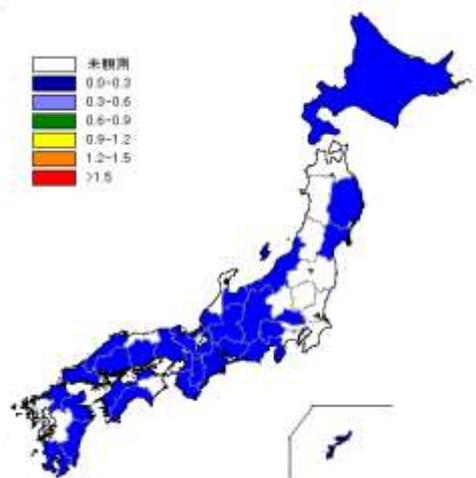


図 3-2-1 (3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

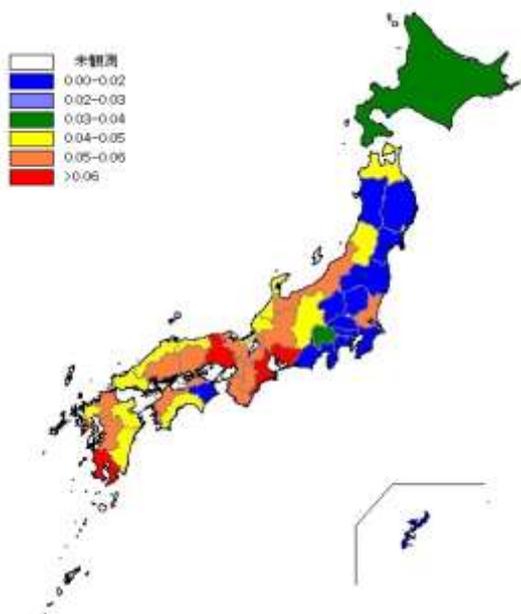
2013年黄砂日SPM平均濃度 (mg/m³)



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)

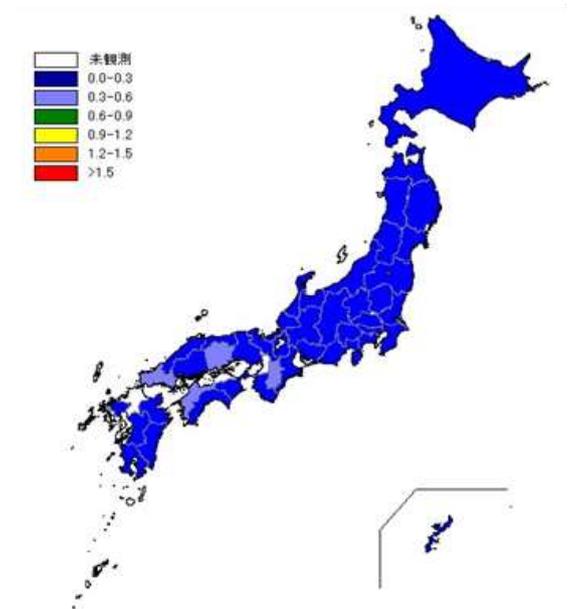


図 3-2-1(4) 黄砂日のSPM平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

4. 煙霧の観測状況

黄砂と同様に、平成15（2003）年度から平成26（2014）年度までの12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。

図4-2には、平成26（2014）年度の煙霧延べ日数の経月変化を示している。

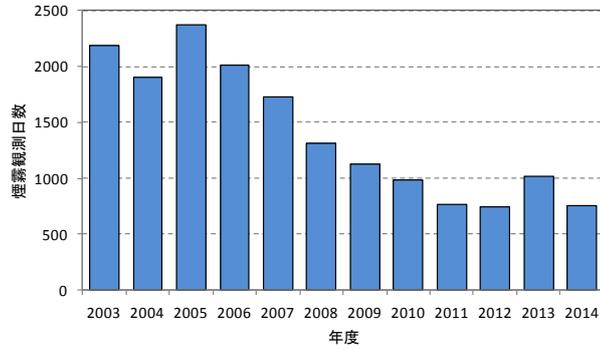


図4-1 煙霧の経年変化

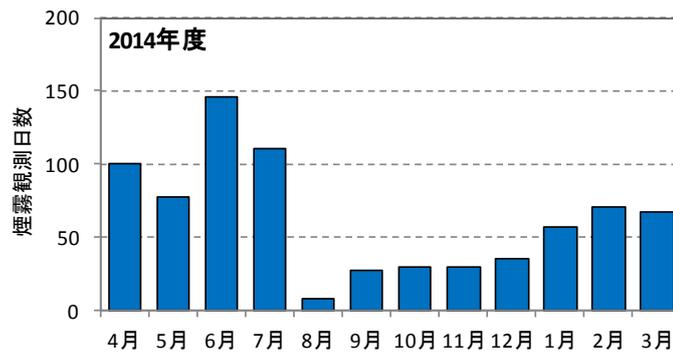


図4-2 煙霧観測の月別日数

平成26（2014）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、関東と九州地方が多い。

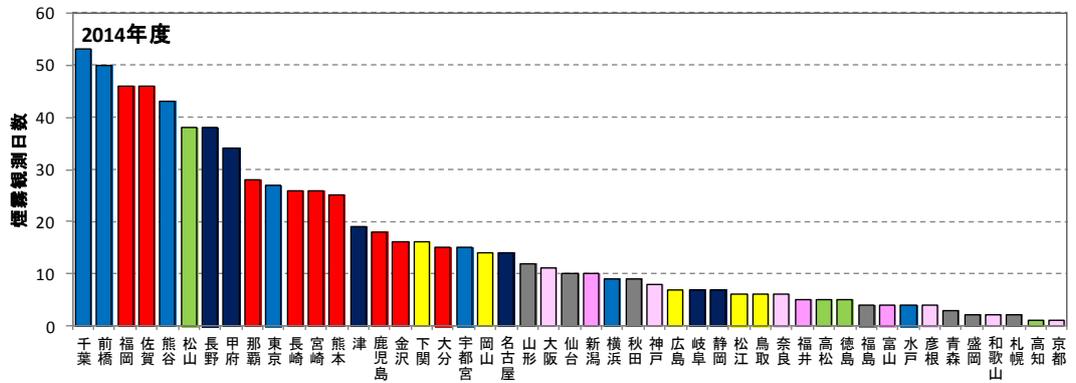


図4-3 煙霧日の地点別日数

煙霧の観測回数が多かった千葉と福岡について、その月ごとの観測回数を比較したものを、図 4-4 に示す。千葉では7月、6月で多く、福岡では2月、12月、1月に多いという違いが出ている。

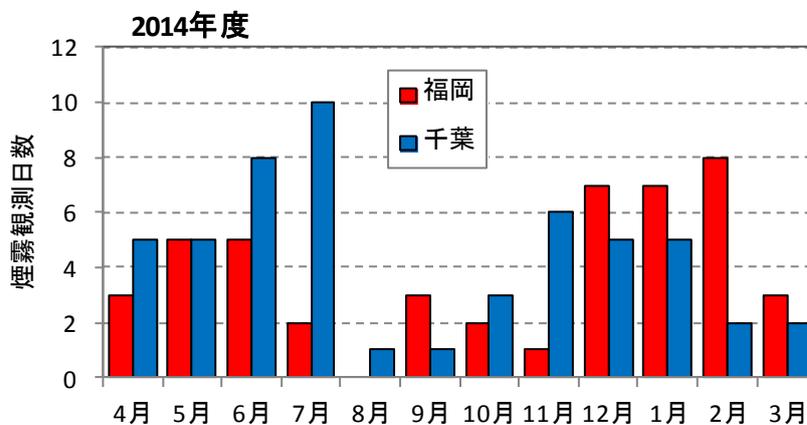


図 4-4 福岡と千葉での煙霧日の月別日数

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、広がり、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大気汚染物質の混在である。ここでは、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以上であつ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を起点とする
- 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濃度が地域で同時に上昇する
- 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を起点とする
- 気圧配置で、移動性高気圧が日本を通過している
- ライダー球形消散係数と硫酸イオンに同時上昇の傾向がみられる
- 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。

5.2. 黄砂事例の特徴

平成26年度中に気象台で観測された黄砂は、表5-2-1に示した17日である。

連続した日をまとめた全5事例について、それぞれの状況を示し、分類をおこなう。

表5-2-1 平成26年度の黄砂日一覧

(SPM濃度： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

年度	事例	No.	期日			地点数	黄砂の規模			
			年	月	日		SPM平均濃度	県数	SPM積算	SPM積算合計
2014	1	1	2014	5	26	5	30.5	5	153	7534
		2	2014	5	27	6	43.9	5	220	
		3	2014	5	28	20	43.1	19	819	
		4	2014	5	29	31	47.8	25	1195	
		5	2014	5	30	35	60.4	27	1631	
		6	2014	5	31	36	60.9	34	2071	
		7	2014	6	1	23	56.3	21	1182	
		8	2014	6	2	6	52.9	5	265	
	2	9	2015	2	22	1	13.0	1	13	1816
		10	2015	2	23	19	35.8	18	644	
	11	2015	2	24	20	46.7	20	934		
	12	2015	2	25	5	45.0	5	225		
	3	13	2015	3	2	1	28.3	1	28	28
	4	14	2015	3	22	23	49.7	22	1093	1177
		15	2015	3	23	4	20.9	4	84	
	5	16	2015	3	28	2	53.1	1	53	91
		17	2015	3	30	1	37.7	1	38	

(1) 黄砂事例01 (2014年5月26日~6月2日)

九州から北海道まで全国に広がり、期間も長い大きな黄砂²⁵⁾である。煙霧も、地点数は広範囲に観測されている。気圧配置は、日本列島の南岸に前線が停滞している黄砂特有のパターンである。砂塵嵐は、25日にモンゴル西部で発生しており、26日には東部でもみられている。福岡での後方流跡線の軌跡は、この期間を通してモンゴル方面が中心で、一部、中国沿岸部からも含まれている。長崎や松江のライダー黄砂消散係数からみると、黄砂は26日と28日に飛来し、その後、全国で継続している。しかし、広域に拡がった黄砂としては、SPM濃度はあまり高くなっていない。一方、PM_{2.5}濃度は高く、30日以降、全国に広がって上昇している。福岡での硫酸イオン濃度は、28日から30日に上昇(15μg/m³程度)しており、後方流跡線で中国沿岸部からの流れもみられていることから、汚染物質を混在した黄砂と考えられる。

表5-2-1-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2014	5	26	5	下関	福岡	佐賀	大分	長崎						
2014	5	27	6	下関	福岡	大分	長崎	熊本	鹿児島					
2014	5	28	20	金沢	福井	松江	鳥取	下関	広島	岡山	大阪	奈良	福岡	
				佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	名瀬	
2014	5	29	31	稚内	網走	札幌	室蘭	函館	青森	山形	金沢	福井	松江	
				鳥取	京都	下関	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	
2014	5	30	35	稚内	旭川	網走	札幌	帯広	室蘭	函館	青森	新潟	金沢	
				名古屋	津	松江	鳥取	京都	彦根	下関	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	
2014	5	31	36	函館	青森	山形	新潟	金沢	富山	長野	福井	岐阜	名古屋	
				甲府	つくば	津	松江	鳥取	京都	彦根	下関	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	
2014	6	1	23	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬					
				金沢	富山	長野	福井	名古屋	津	松江	鳥取	京都	彦根	
				下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	鹿児島	宮崎	松山	
2014	6	2	6	松江	岡山	和歌山	奈良	松山	徳島					

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	5	26	6	仙台	秋田	福島	宇都宮	熊谷	長野				
2014	5	27	1	佐賀									
2014	5	28	2	東京	佐賀								
2014	5	29	6	宇都宮	千葉	東京	長崎	那覇					
2014	5	30	8	秋田	山形	千葉	東京	名古屋	津	佐賀	那覇		
2014	5	31	6	秋田	山形	熊谷	千葉	東京	那覇				
2014	6	1	5	山形	千葉	新潟	甲府	佐賀					
2014	6	2	9	千葉	東京	横浜	金沢	甲府	岐阜	名古屋	津	佐賀	

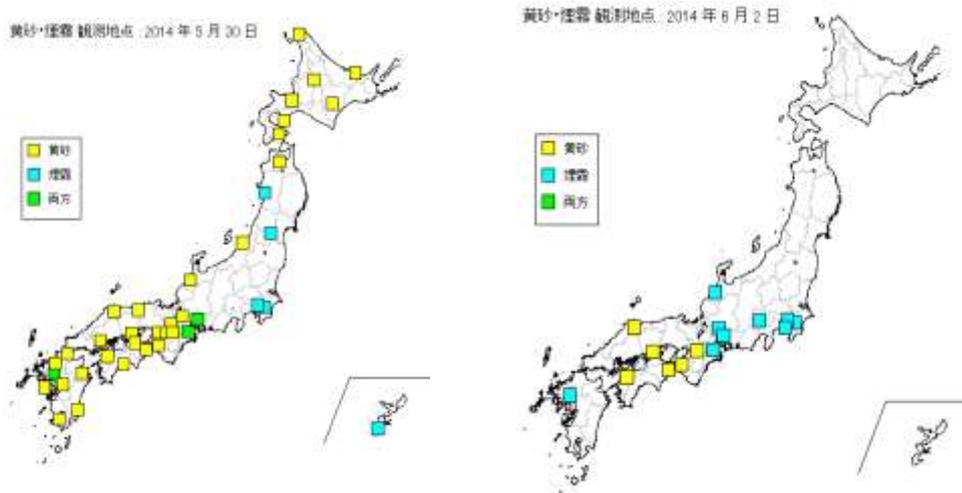


図5-2-1-1 黄砂・煙霧観測地点

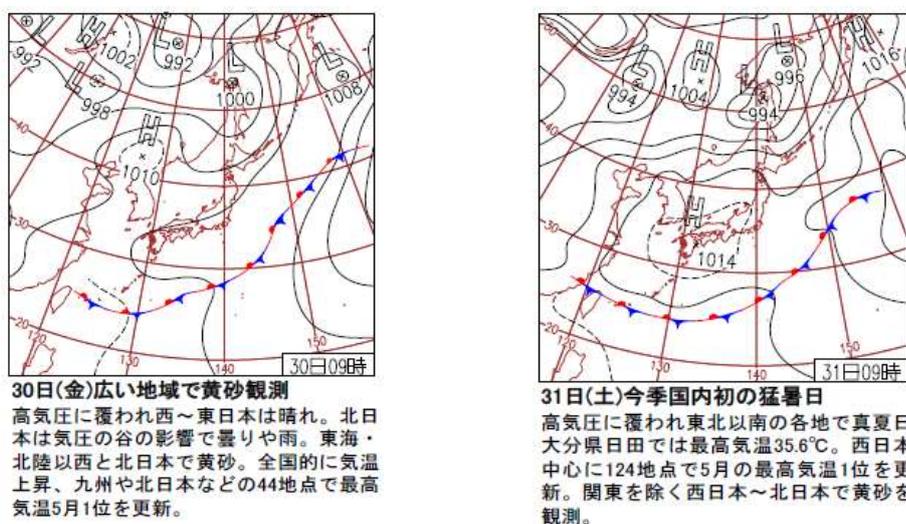


図5-2-1-2 天気図

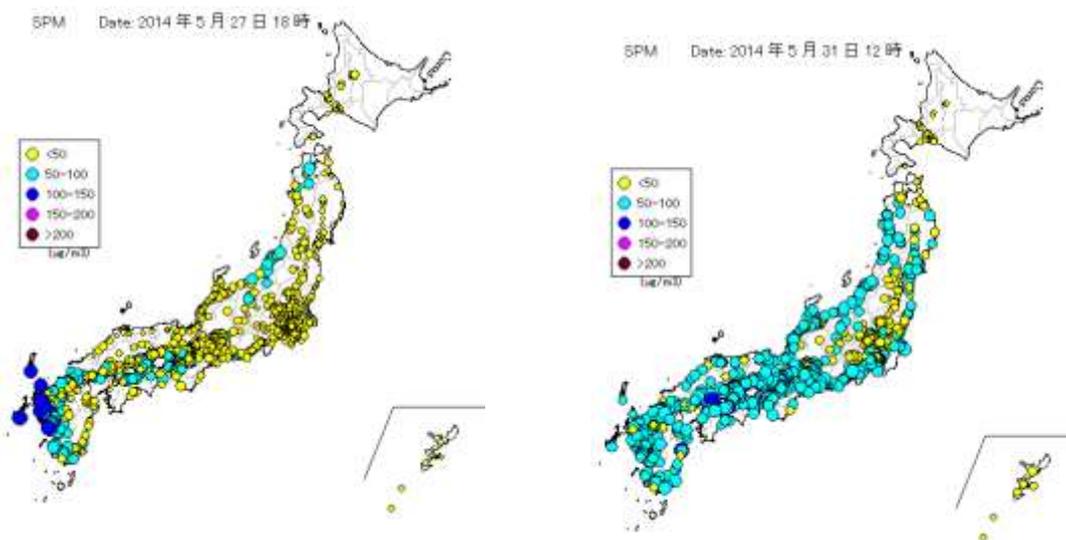


図5-2-1-3 SPM 濃度全国分布

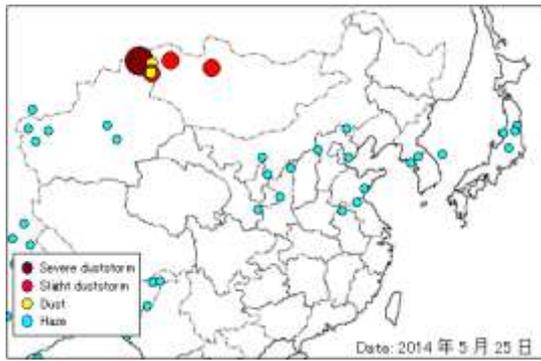


図5-2-1-4 砂塵嵐発生状況

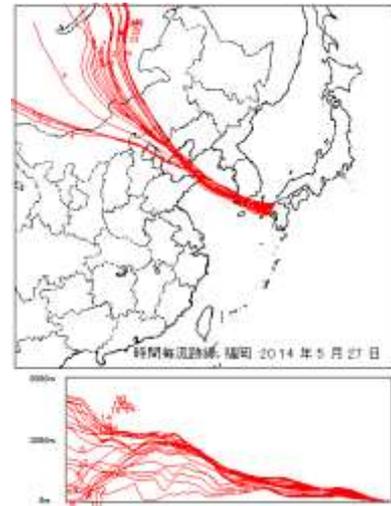


図5-2-1-5 後方流跡線

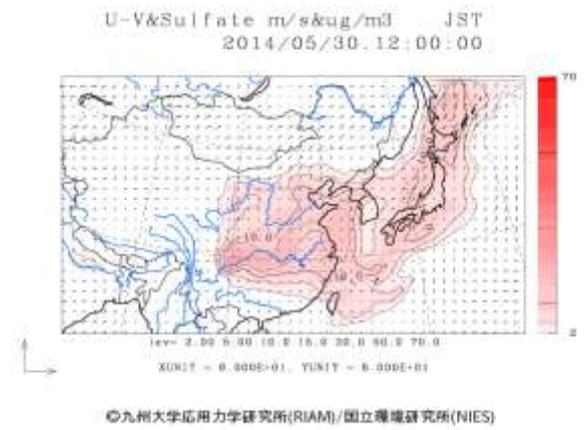
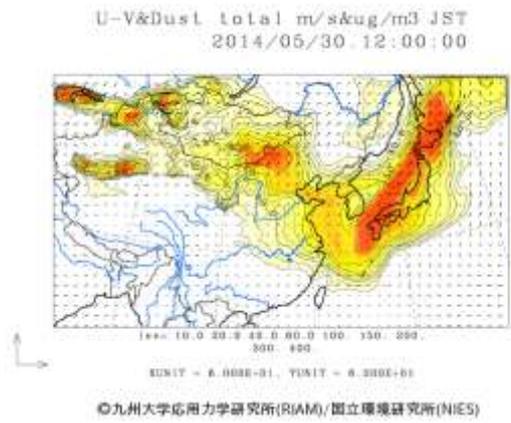


図5-2-1-6 CFORSによる黄砂・硫酸塩の濃度推定結果

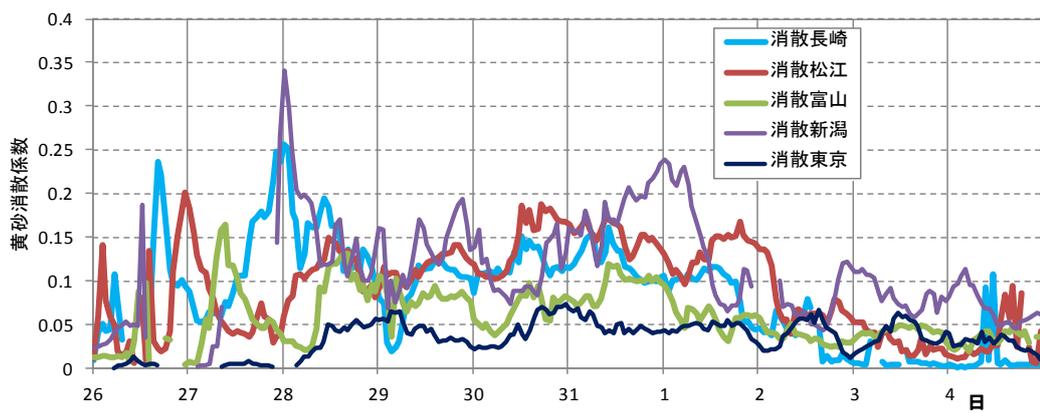


図5-2-1-7 ライダ-黄砂消散係数の経時変化

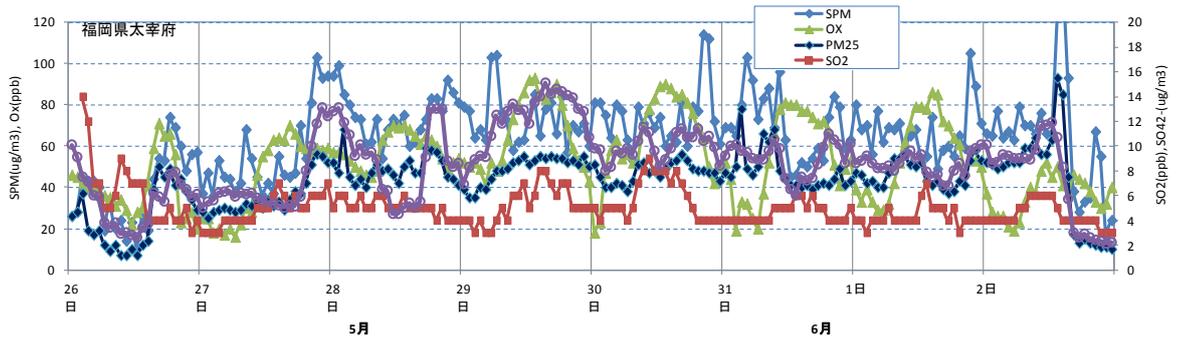


図5-2-1-8 硫酸イオン濃度(時間値)

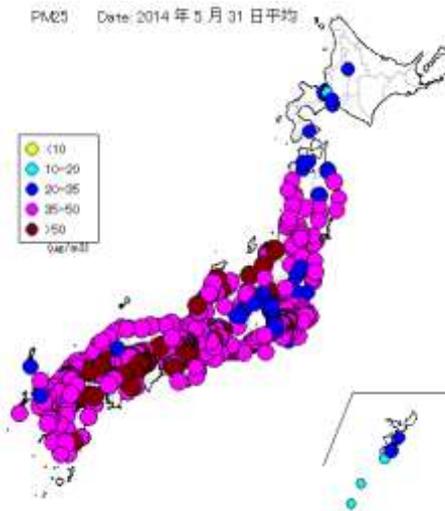


図5-2-1-9 PM_{2.5}日平均値全国分布

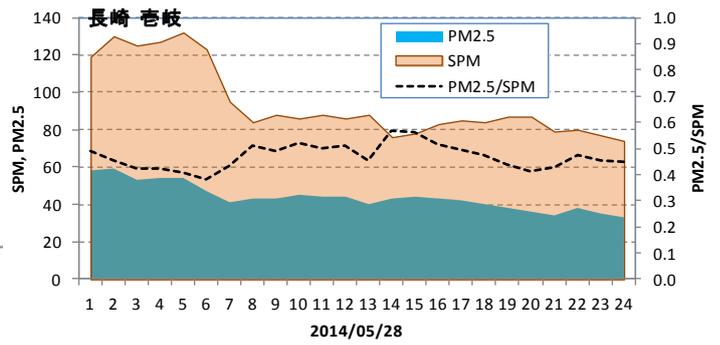


図5-2-1-10 SPM、PM_{2.5}濃度とPM_{2.5}/SPM

(2) 黄砂事例02 (2015年2月22日~25日)

九州から東北まで広がった比較的大きな黄砂であり、煙霧も観測されている。気圧配置は北海道東岸に低気圧があり、そこから南に前線が延びている。砂塵嵐は、モンゴル東部から内モンゴルの広い範囲で発生している。SPM濃度はあまり高くないが(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度)、PM_{2.5}濃度は、東北で日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す濃度が観測されている。福岡での硫酸イオン濃度は10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低く、新潟でのPM_{2.5}/SPM比も0.5~0.6と低いことから、単純黄砂と思われる。

表5-2-2-1 黄砂・煙霧観測地点

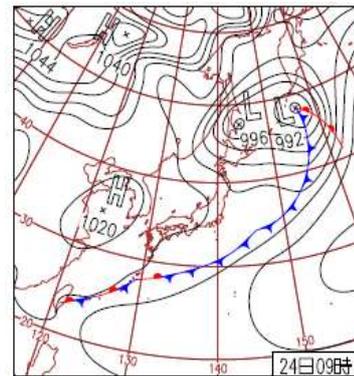
年	月	日	地点数	黄砂観測地点名												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2015	2	22	1	福岡												
2015	2	23	19	金沢	富山	福井	松江	鳥取	京都	彦根	下関	広島	岡山			
				神戸	大阪	福岡	佐賀	大分	長崎	鹿児島	松山	高松				
2015	2	24	20	青森	秋田	新潟	金沢	富山	津	松江	鳥取	京都	彦根			
				下関	岡山	神戸	大阪	福岡	佐賀	大分	長崎	松山	高松			
2015	2	25	5	松江	鳥取	神戸	大阪	佐賀								

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名									
				1	2	3	4	5	6	7	8		
2015	2	22	1	前橋									
2015	2	23	8	秋田	前橋	熊谷	新潟	富山	金沢	津	熊本		
2015	2	24	7	秋田	前橋	熊谷	長野	奈良	和歌山	熊本			
2015	2	25	6	前橋	熊谷	金沢	甲府	長野	福岡				

黄砂・煙霧観測地点 2015年2月24日



図5-2-2-1 黄砂・煙霧観測地点



24日(火)東北でも黄砂

日本海に高気圧が張り出すが、南岸の前線の影響で西~東日本は雲が多く、沖縄・奄美は曇りや雨。寒気が入った北陸や北日本では雪や雨。黄砂の観測範囲は東北にも拡大。

図5-2-2-2 天気図

SPM Date: 2015年2月24日6時

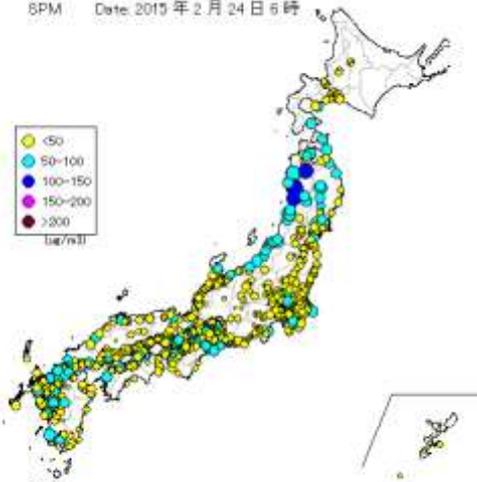


図5-2-2-3 SPM濃度全国分布

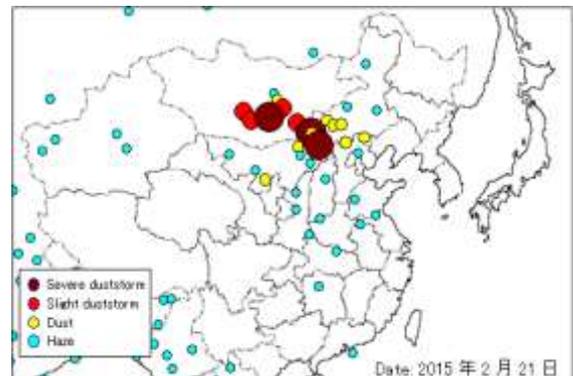


図5-2-2-4 砂塵嵐発生状況

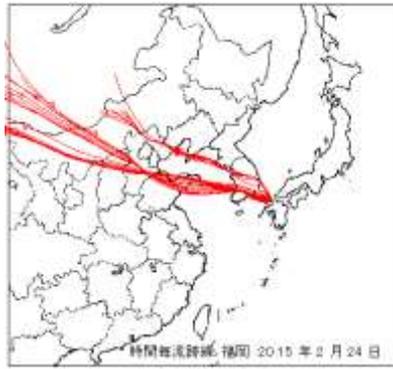


図 5-2-2-5 後方流跡線

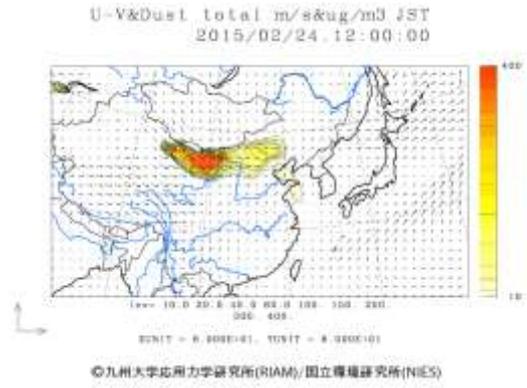


図 5-2-2-6 CFORS による黄砂の濃度推定結果

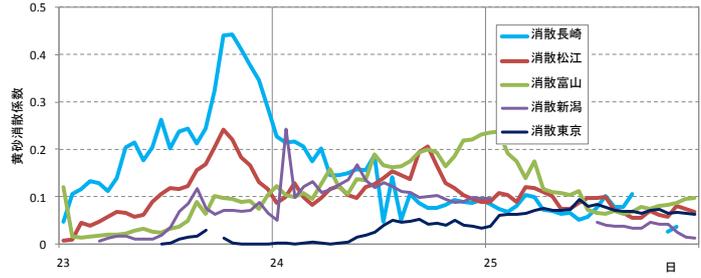


図 5-2-2-7 ライタ[®]-黄砂消散係数の経時変化

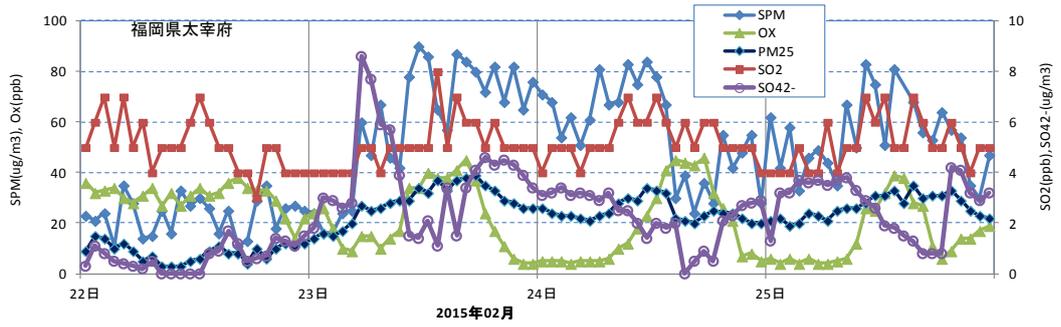


図 5-2-2-8 硫酸イオン濃度(時間値)

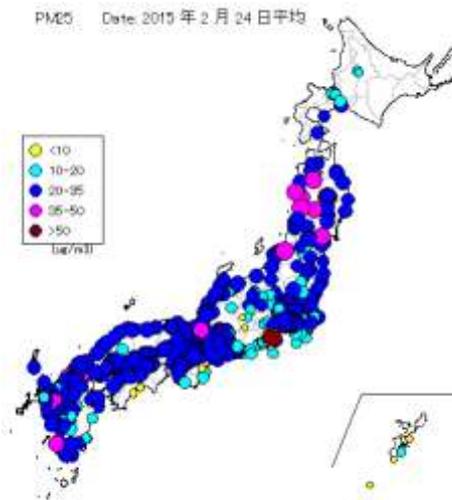


図 5-2-2-9 PM_{2.5} 日平均値全国分布

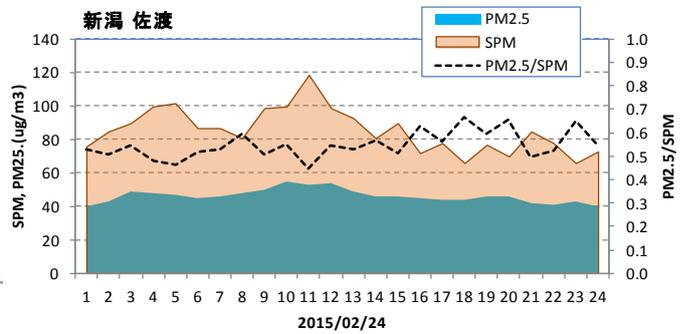


図 5-2-2-10 SPM、PM_{2.5}濃度とPM_{2.5}/SPM

(3) 黄砂事例03 (2015年3月2日)

黄砂の観測は、松江1地点でのみであるが、日本列島東岸に前線が位置する気圧配置で、砂塵嵐の発生、後方流跡線の軌跡など、黄砂の様相はみられている。ライダー黄砂消散係数も、長崎、松江、富山で比較的高く、西日本への飛来を示している。SPM濃度の地域的な上昇はないが、西日本でのPM_{2.5}濃度はやや高くなっている。福岡での硫酸イオン濃度は上昇しておらず、小規模の単純黄砂と考えられる。

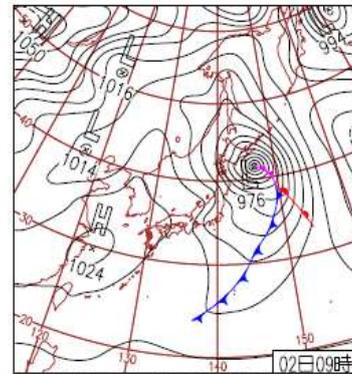
表5-2-3-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名
			1	松江
2015	3	2	1	松江

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名
			1	佐賀
2015	3	2	1	佐賀



図5-2-3-1 黄砂・煙霧観測地点



2日(月)北日本を中心に強い風
低気圧が急速に発達、北海道東部では羅臼で最大瞬間風速37.9m/sなど所によりふぶき。栃木県那須高原でも最大瞬間風速32.7m/s。松山市、岡山市でウグイス初鳴。

図5-2-3-2 天気図

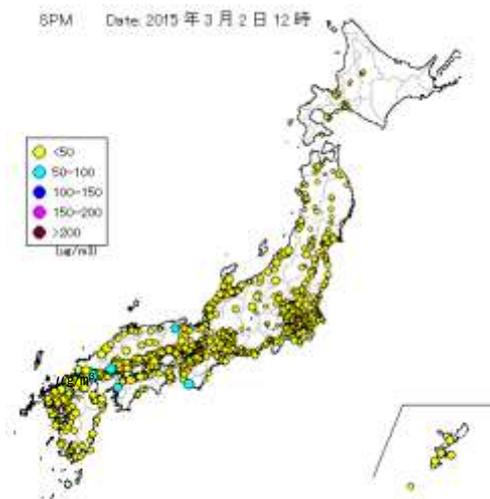


図5-2-3-3 SPM濃度全国分布

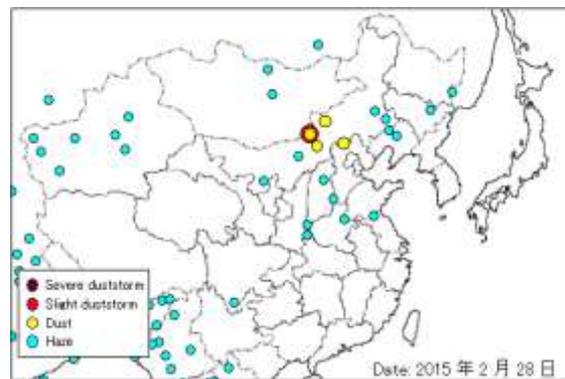


図5-2-3-4 砂塵嵐発生状況

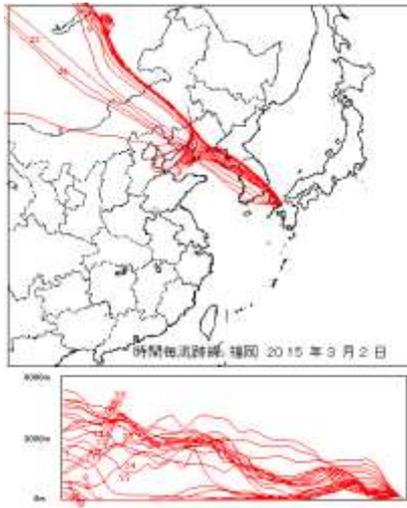


図5-2-3-5 後方流跡線

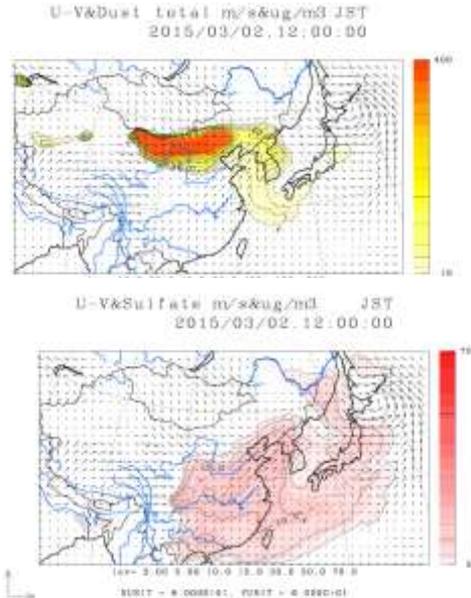


図5-2-3-6 CFORSによる黄砂・硫酸塩の濃度推定結果

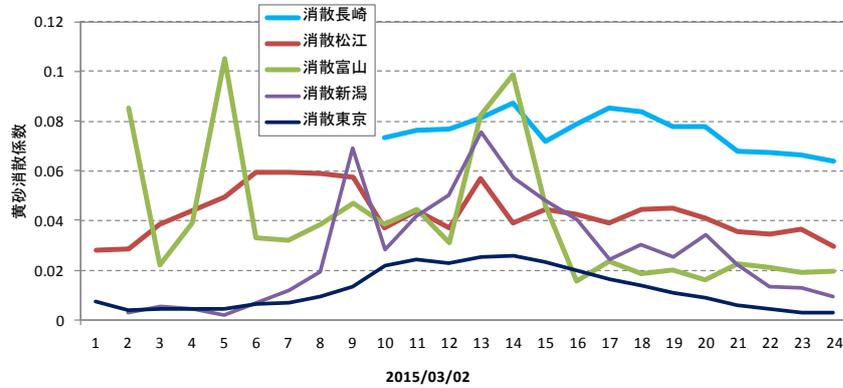


図5-2-3-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化

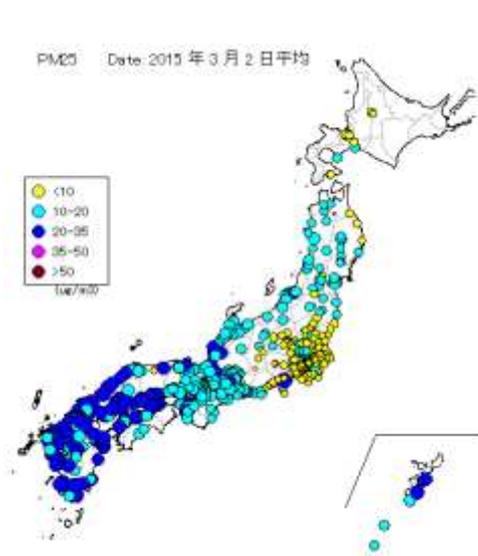


図5-2-3-8 PM_{2.5}日平均値全国分布

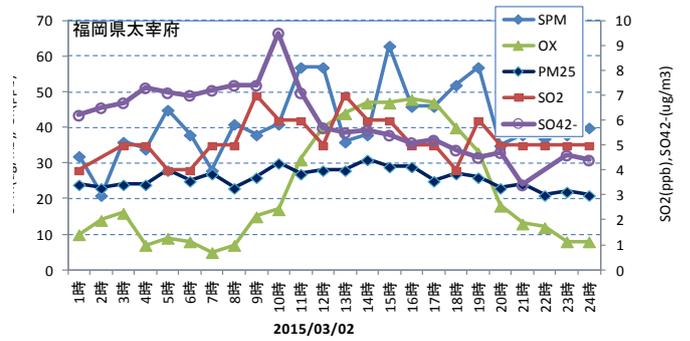


図5-2-3-9 硫酸イオン濃度(時間値)

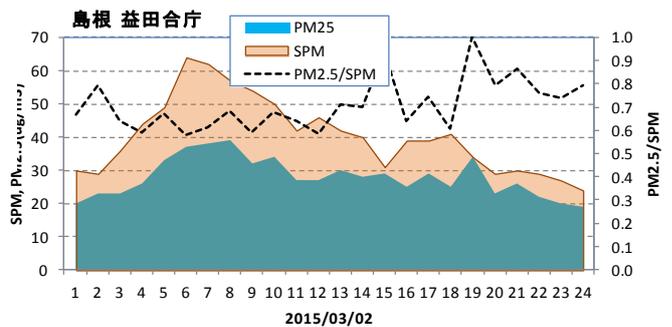


図5-2-3-10 SPM、PM_{2.5}濃度とPM_{2.5}/SPM

(4) 黄砂事例 04 (2015年3月22~23日)

西日本を中心に、東北まで広く黄砂が観測されている。天気図では、移動性高気圧の通過がみられ、典型的な黄砂時の気圧配置ではない。砂塵嵐はモンゴル東部で発生が観測されている。後方流跡線はモンゴル方向からと沿岸部からが混在している。ライダー黄砂消散係数は、長崎、松江、富山、新潟といずれの地点でも22日に上昇している。九州北部では、煙霧も同時に観測されており、福岡での硫酸イオン濃度は $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越す高濃度になっている。また、SPMはさほど上昇していないが、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は高い。黄砂とともに汚染物質も飛来してきている混在黄砂と考えられる。

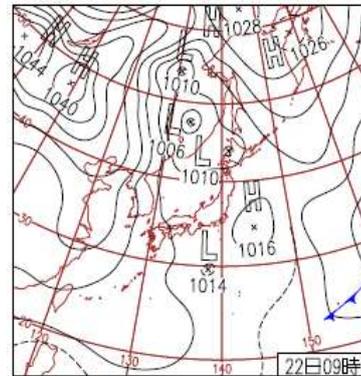
表 5-2-4-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2015	3	22	23	秋田	山形	津	松江	鳥取	京都	彦根	下関	広島	岡山	
				神戸	大阪	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	
				松山	高松	高知								
2015	3	23	4	彦根	岡山	奈良	熊本							

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名					
				1	2	3	4	5	6
2015	3	22	6	前橋	長野	下関	福岡	熊本	那覇



図 5-2-4-1 黄砂・煙霧観測地点



22日(日)各地で黄砂
先島諸島では曇りや雨。北海道では曇りや雪。その他の地方は高気圧に覆われ晴れ。鹿児島、大阪、秋田等各地で黄砂。福岡市、高知市、静岡市など6都市でサクラ開花。

図 5-2-4-2 天気図

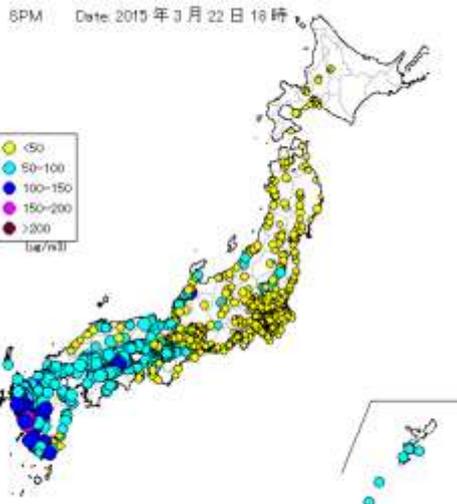


図 5-2-4-3 SPM 濃度全国分布

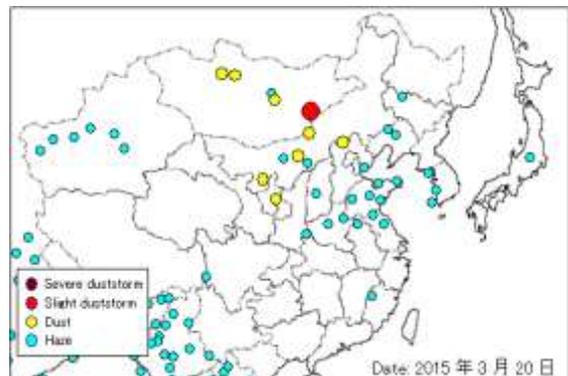


図 5-2-4-4 砂塵嵐発生状況

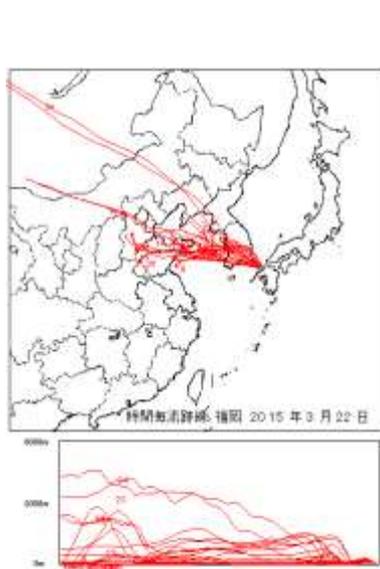


図 5-2-4-5 後方流跡線

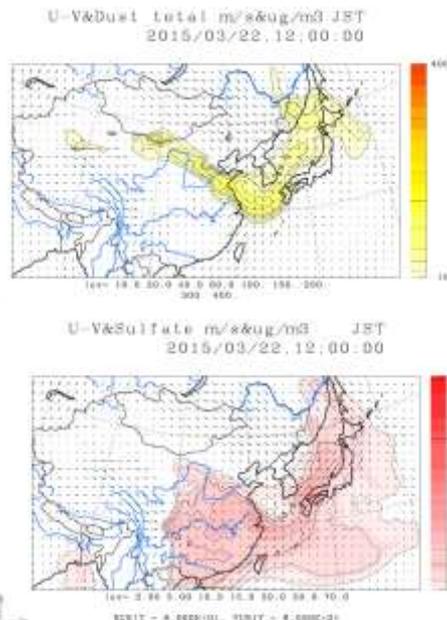


図 5-2-4-6 CFORS による黄砂・硫酸塩の濃度推定結果

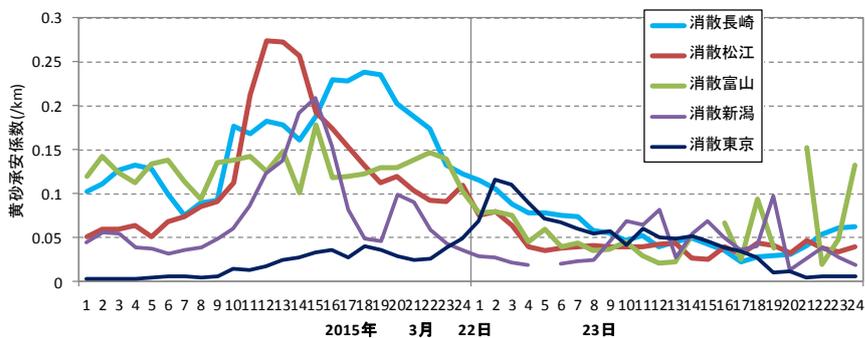


図 5-2-4-7 ライト黄砂消散係数の経時変化

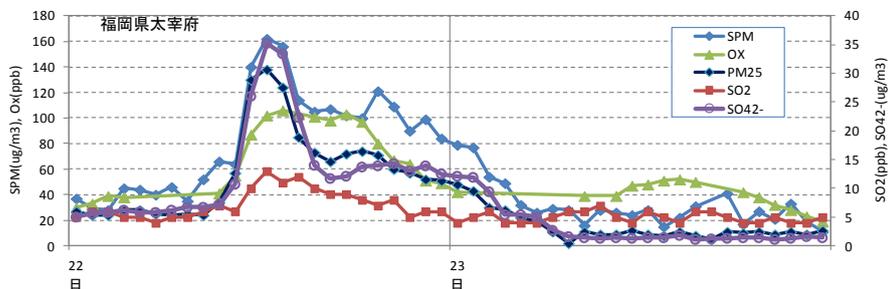


図 5-2-4-8 硫酸イオン濃度(時間値)

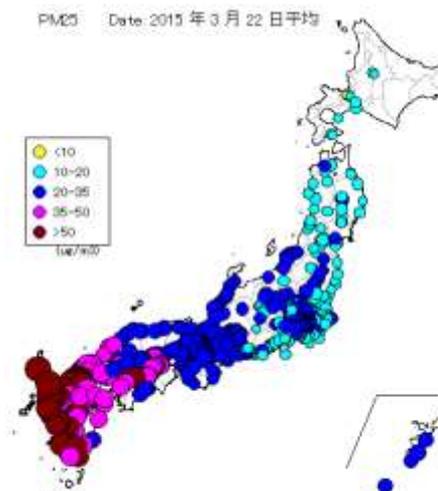


図 5-2-4-9 PM_{2.5} 日平均値全国分布

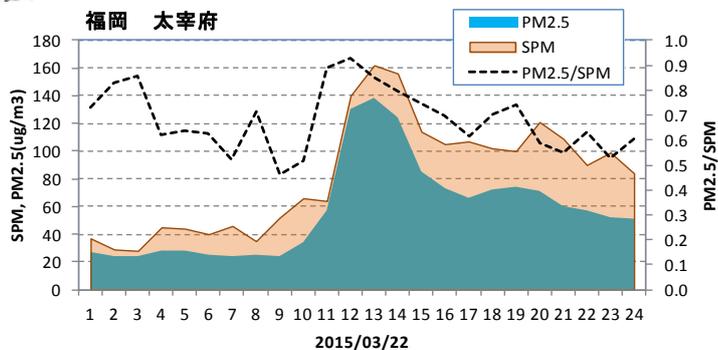


図 5-2-4-10 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

(5) 黄砂事例05 (2015年3月28~30日)

北海道、東北で黄砂が、西日本で煙霧が観測されている。天気図では、日本東南岸に前線がみられている。砂塵嵐がモンゴル東部で発生している。札幌での後方流跡線は、この地域からの流れがみられている。同時に、福岡では中国沿岸部からの流れがみられており、福岡での硫酸塩イオンも $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。東北、北海道方面へは主に黄砂、西日本へは主に汚染物質の飛来による混在黄砂と考えられる。

表 5-2-5-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名	
				1	2
2015	3	28	2	網走	室蘭
2015	3	30	1	山形	

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名				
				1	2	3	4	5
2015	3	28	1	長野				
2015	3	30	5	長野	彦根	大阪	神戸	佐賀

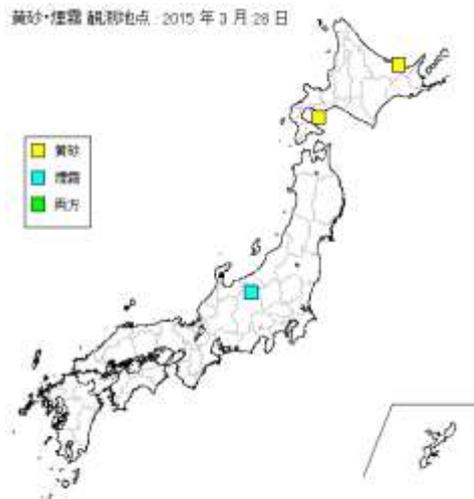
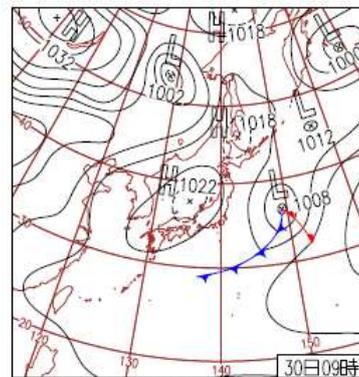


図 5-2-5-1 黄砂・煙霧観測地点



30日(月)暖かさ続く
 ほぼ全国的に晴れ平年より最高気温が高い。東北地方日本海側と北海道オホーツク海側を中心に霧や雨の所も。水戸市など3都市で桜が開花。名古屋市など6都市で桜満開。

図 5-2-5-2 天気図

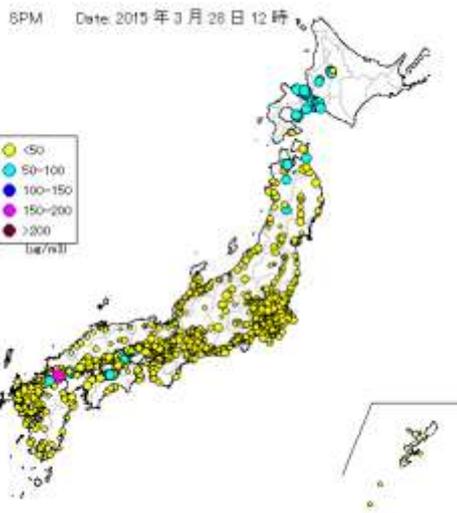


図 5-2-5-3 SPM 濃度全国分布

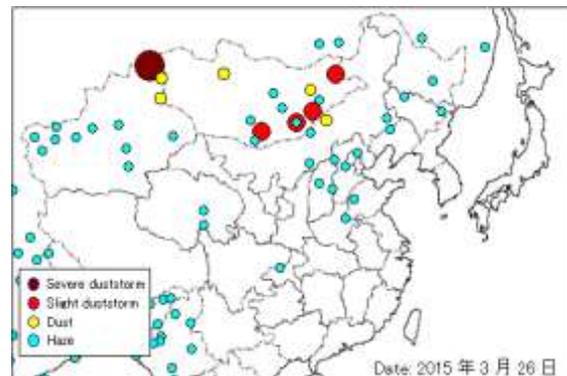


図 5-2-5-4 砂塵嵐発生状況

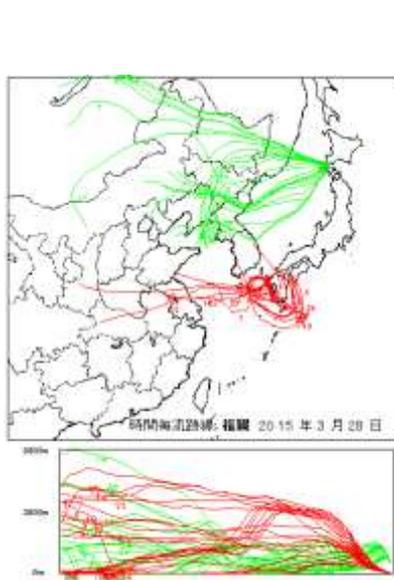


図 5-2-5-5 後方流跡線

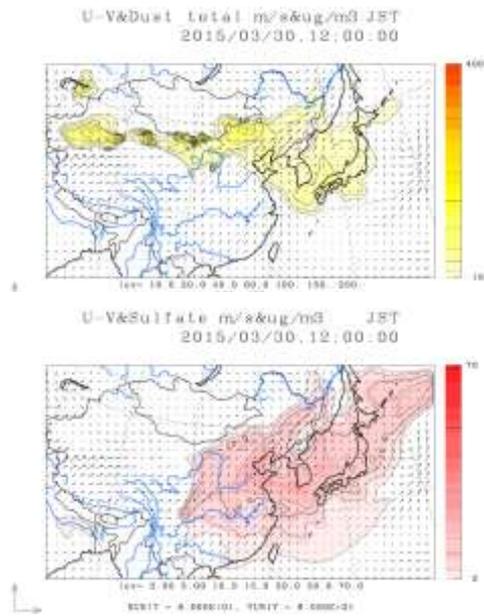


図 5-2-5-6 CFORS による黄砂・硫酸塩の濃度推定結果

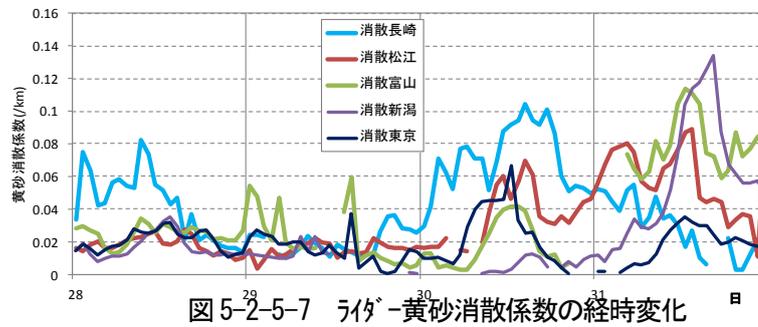


図 5-2-5-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化

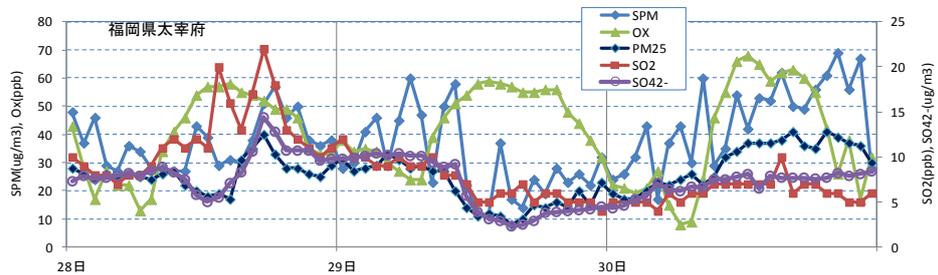


図 5-2-5-8 硫酸イオン濃度(時間値)

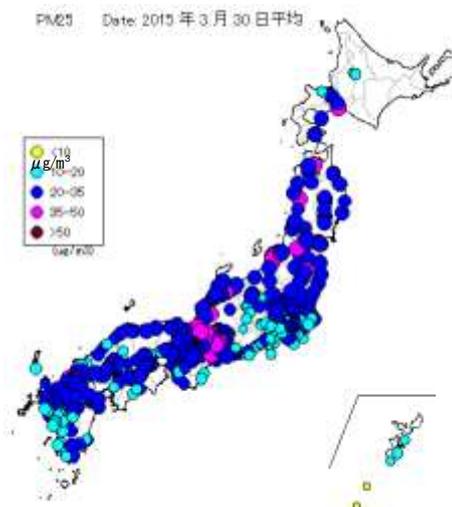


図 5-2-5-9 PM_{2.5} 日平均値全国分布

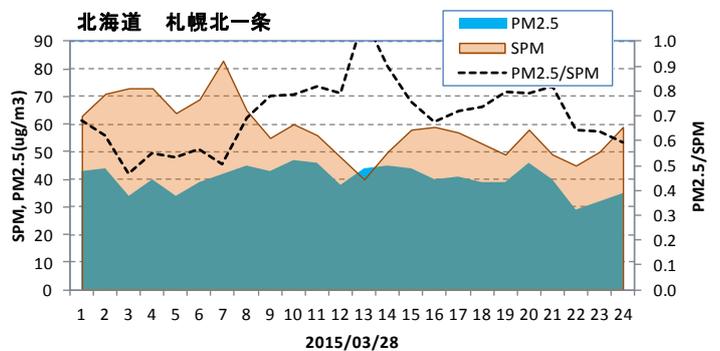


図 5-2-5-10 SPM、PM_{2.5}濃度とPM_{2.5}/SPM

5.3. 煙霧の観測事例

2014年度の全国での煙霧の観測日を地点数とともに、表5-3-1に示している。全国いずれかの地点で煙霧が観測されたのは209日である。このうち、10地点以上で煙霧が観測された9事例を青で示す。

表5-3-1 平成26年度に観測された煙霧

No.	年	月	日	煙霧観測地点数	No.	年	月	日	煙霧観測地点数	No.	年	月	日	煙霧観測地点数
1	2014	4	8	3	71	2014	6	28	1	141	2014	11	28	2
2	2014	4	9	2	72	2014	6	29	6	142	2014	12	11	1
3	2014	4	10	18	73	2014	6	30	3	143	2014	12	12	2
4	2014	4	11	5	74	2014	7	1	11	144	2014	12	14	1
5	2014	4	12	4	75	2014	7	2	4	145	2014	12	16	1
6	2014	4	15	1	76	2014	7	3	7	146	2014	12	20	4
7	2014	4	16	12	77	2014	7	6	1	147	2014	12	21	1
8	2014	4	17	16	78	2014	7	9	1	148	2014	12	24	1
9	2014	4	18	9	79	2014	7	11	4	149	2014	12	25	2
10	2014	4	19	9	80	2014	7	12	2	150	2014	12	29	2
11	2014	4	20	2	81	2014	7	13	2	151	2014	12	30	12
12	2014	4	21	2	82	2014	7	14	4	152	2014	12	31	8
13	2014	4	22	2	83	2014	7	16	5	153	2015	1	1	2
14	2014	4	23	1	84	2014	7	17	5	154	2015	1	5	1
15	2014	4	24	1	85	2014	7	18	2	155	2015	1	6	4
16	2014	4	25	3	86	2014	7	19	3	156	2015	1	7	1
17	2014	4	26	3	87	2014	7	21	1	157	2015	1	8	1
18	2014	4	27	2	88	2014	7	22	6	158	2015	1	9	2
19	2014	4	29	4	89	2014	7	23	12	159	2015	1	10	4
20	2014	4	30	1	90	2014	7	24	8	160	2015	1	11	5
21	2014	5	1	1	91	2014	7	25	5	161	2015	1	14	1
22	2014	5	2	1	92	2014	7	26	7	162	2015	1	15	1
23	2014	5	3	9	93	2014	7	27	6	163	2015	1	16	3
24	2014	5	4	1	94	2014	7	28	4	164	2015	1	17	10
25	2014	5	5	2	95	2014	7	29	4	165	2015	1	19	4
26	2014	5	6	1	96	2014	7	30	6	166	2015	1	20	4
27	2014	5	7	1	97	2014	8	1	2	167	2015	1	21	3
28	2014	5	9	2	98	2014	8	6	1	168	2015	1	22	1
29	2014	5	13	2	99	2014	8	13	1	169	2015	1	26	2
30	2014	5	14	2	100	2014	8	15	1	170	2015	1	27	6
31	2014	5	15	3	101	2014	8	18	1	171	2015	1	28	2
32	2014	5	16	2	102	2014	8	22	1	172	2015	2	4	4
33	2014	5	18	1	103	2014	8	24	1	173	2015	2	5	4
34	2014	5	19	1	104	2014	9	2	2	174	2015	2	6	1
35	2014	5	20	5	105	2014	9	4	1	175	2015	2	7	1
36	2014	5	21	2	106	2014	9	5	1	176	2015	2	8	7
37	2014	5	22	7	107	2014	9	9	1	177	2015	2	11	1
38	2014	5	23	1	108	2014	9	10	5	178	2015	2	12	6
39	2014	5	24	2	109	2014	9	11	3	179	2015	2	13	2
40	2014	5	25	3	110	2014	9	12	1	180	2015	2	14	1
41	2014	5	26	6	111	2014	9	15	1	181	2015	2	15	7
42	2014	5	27	1	112	2014	9	23	2	182	2015	2	16	2
43	2014	5	28	2	113	2014	9	29	4	183	2015	2	17	4
44	2014	5	29	6	114	2014	9	30	6	184	2015	2	18	5
45	2014	5	30	8	115	2014	10	1	3	185	2015	2	19	1
46	2014	5	31	6	116	2014	10	2	2	186	2015	2	22	1
47	2014	6	1	5	117	2014	10	6	1	187	2015	2	23	8
48	2014	6	2	9	118	2014	10	8	1	188	2015	2	24	7
49	2014	6	3	10	119	2014	10	9	2	189	2015	2	25	6
50	2014	6	4	16	120	2014	10	12	2	190	2015	2	26	3
51	2014	6	5	6	121	2014	10	16	1	191	2015	3	2	1
52	2014	6	6	1	122	2014	10	17	1	192	2015	3	3	2
53	2014	6	7	1	123	2014	10	20	1	193	2015	3	4	1
54	2014	6	8	3	124	2014	10	21	2	194	2015	3	7	1
55	2014	6	9	6	125	2014	10	25	2	195	2015	3	10	1
56	2014	6	10	4	126	2014	10	26	2	196	2015	3	12	2
57	2014	6	11	1	127	2014	10	27	3	197	2015	3	13	1
58	2014	6	13	1	128	2014	10	30	3	198	2015	3	14	4
59	2014	6	14	12	129	2014	10	31	3	199	2015	3	15	1
60	2014	6	15	15	130	2014	11	6	3	200	2015	3	16	8
61	2014	6	16	9	131	2014	11	8	2	201	2015	3	17	9
62	2014	6	17	12	132	2014	11	12	9	202	2015	3	18	4
63	2014	6	18	4	133	2014	11	13	2	203	2015	3	20	2
64	2014	6	19	4	134	2014	11	14	1	204	2015	3	21	4
65	2014	6	20	3	135	2014	11	18	1	205	2015	3	22	6
66	2014	6	21	3	136	2014	11	21	2	206	2015	3	28	1
67	2014	6	23	1	137	2014	11	22	4	207	2015	3	29	1
68	2014	6	24	1	138	2014	11	24	1	208	2015	3	30	5
69	2014	6	25	7	139	2014	11	25	1	209	2015	3	31	12
70	2014	6	26	2	140	2014	11	27	1					

表 5-3-2 に示す、10 地点以上で煙霧を観測した 9 事例について、その状況を詳細に検討した。

表 5-3-2 平成 26 年度の大きな煙霧

(PM_{2.5}濃度 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

事例	No.	期日			地点数	煙霧の規模		
		年	月	日		PM2.5平均	県数	PM2.5積算
1	1	2014	4	10	18	29.6	17	503
2	2	2014	4	16	12	35.2	11	387
	3	2014	4	17	16	47.2	13	614
3	4	2014	6	3	10	43.1	8	345
	5	2014	6	4	16	37.4	13	486
4	6	2014	6	14	12	34.5	11	380
	7	2014	6	15	15	35	14	490
	8	2014	6	16	9	32.8	7	230
	9	2014	6	17	12	34.4	10	344
5	10	2014	7	1	11	37	10	370
6	11	2014	7	23	12	33.6	9	302
7	12	2014	12	30	12	36.6	9	329
8	13	2015	1	17	10	25.5	8	204
9	14	2015	3	31	12	30.6	11	337

(1) 煙霧事例01 (2014年4月10日)

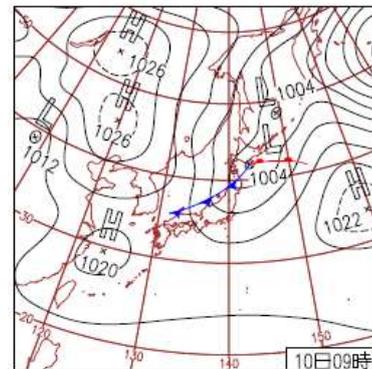
西日本、関東の多くの地点で煙霧が観測されている。気圧配置では、九州へ移動性高気圧が近づいているのがわかる。それに併せて、後方流跡線が、中国内陸部から次第に沿岸部に移っている様子がみられる。東アジア一帯でHazeが観測されている。PM_{2.5}濃度は、九州と、中国・四国地域でやや高濃度になっている。北京のPM_{2.5}と壱岐・福岡での濃度変化に時間差をみる事が出来る。硫酸イオンは、流跡線が沿岸部になるとともに最高18μg/m³まで達している。以上から、中国沿岸部からの越境の影響による煙霧と思われる。

表 5-3-1-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	4	10	18	福岡 大阪	佐賀 神戸	長崎 甲府	大分 長野	鳥取 金沢	松江 宇都宮	岡山 熊谷	下関 千葉	松山	京都



図 5-3-1-1 黄砂・煙霧観測地点



10日(木)寒冷前線通過
寒冷前線の通過により北陸や北日本を中心に一時雨。西日本や東海、関東は晴れ、西日本～東北の太平洋側は前線に流れ込む暖気により気温上昇、関東中心に最高気温が6月並に。

図 5-3-1-2 天気図

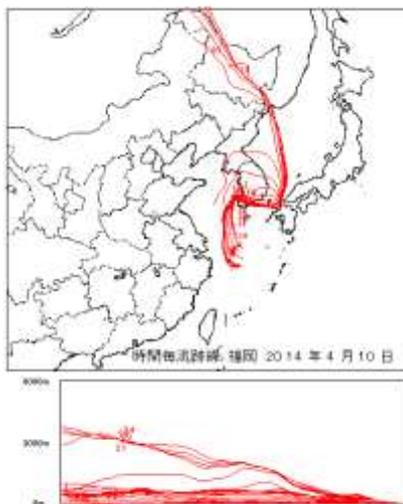


図 5-3-1-3 後方流跡線

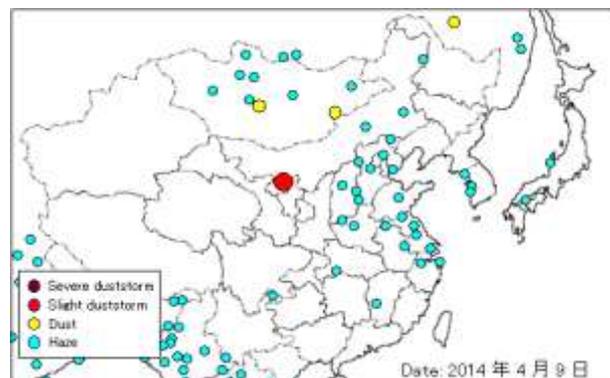


図 5-3-1-4 Haze の観測状況

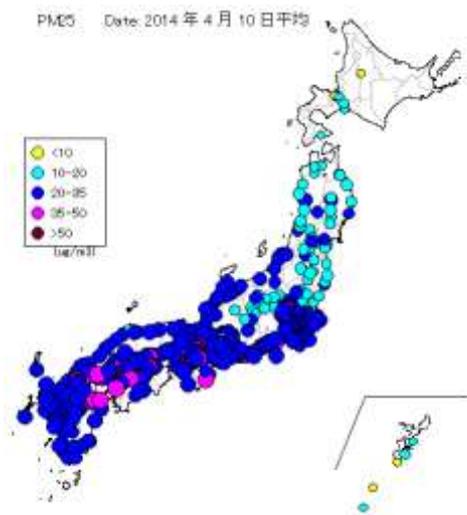


図 5-3-1-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

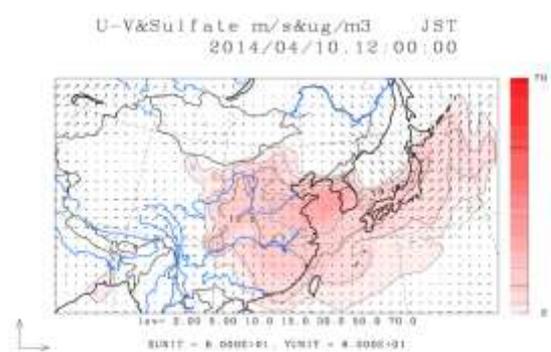


図 5-3-1-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

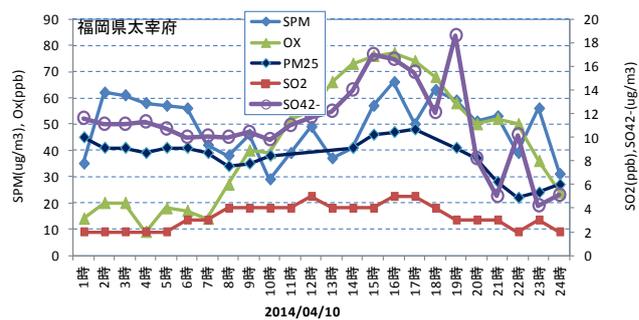


図 5-3-1-7 硫酸イオン濃度

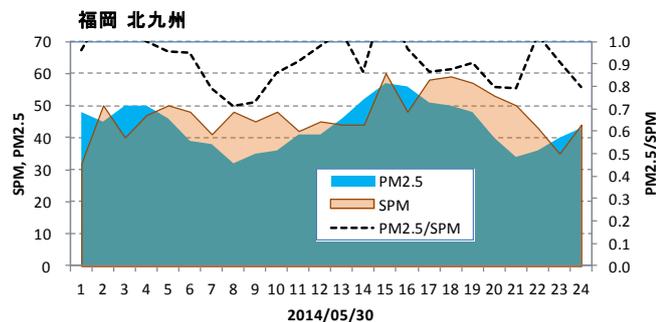


図 5-3-1-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

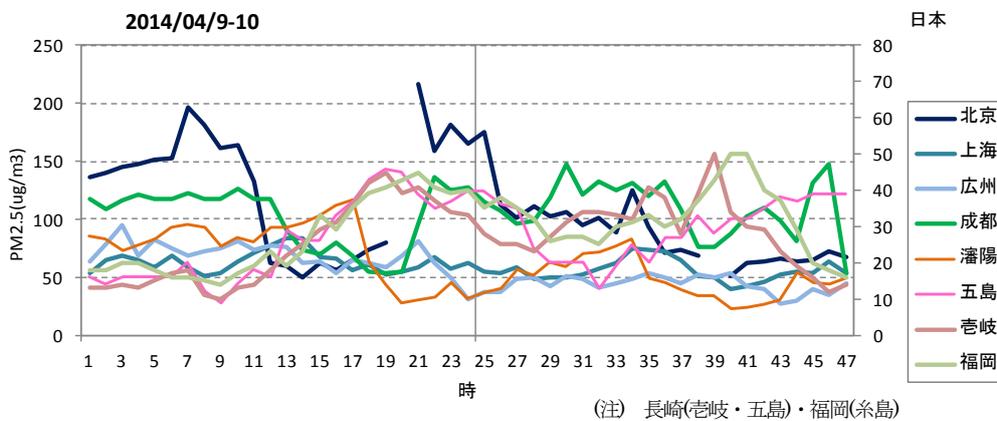


図 5-3-1-9 中国・日本(離島・福岡)での PM_{2.5} 濃度

(2) 煙霧事例02 (2014年4月16~17日)

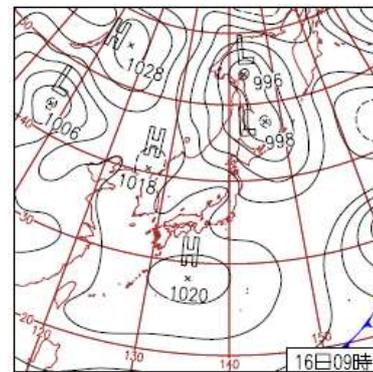
関東・東海など日本列島の中心に煙霧が観測されている。九州の南を移動性高気圧が通過する気圧配置になっている。PM_{2.5}濃度は、煙霧観測地点と同様に、本州中央部で高い。後方流跡線は、福岡は韓国南岸、東京は中国渤海、北朝鮮の流れになっている。東アジアで広くHazeも観測されている。福岡での硫酸イオンの濃度は10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ をやや超える値である。福井・富山・東京などのPM_{2.5}濃度は35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値が測定されている。大陸からの越境による影響か、国内影響かは明確ではない。

表 5-3-2-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	4	16	12	宇都宮 下関	前橋 佐賀	千葉	富山	金沢	福井	長野	津	奈良	松江
2014	4	17	16	宇都宮 静岡	前橋 名古屋	千葉 津	東京 大阪	富山 岡山	金沢 徳島	福井	甲府	長野	岐阜



図 5-3-2-1 黄砂・煙霧観測地点



北海道は曇りで所々雪や雨。北日本は風が強く、青森県八戸で最大瞬間風速24.2m/s。その他は晴れて東西南部以南は最高気温が平年より高く、沖縄や関東甲信など34地点で夏日。

図 5-3-2-2 天気図

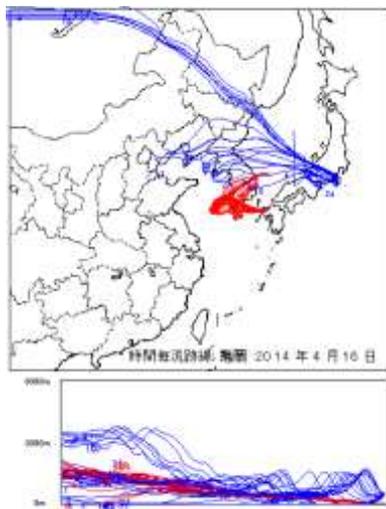


図 5-3-2-3 後方流跡線

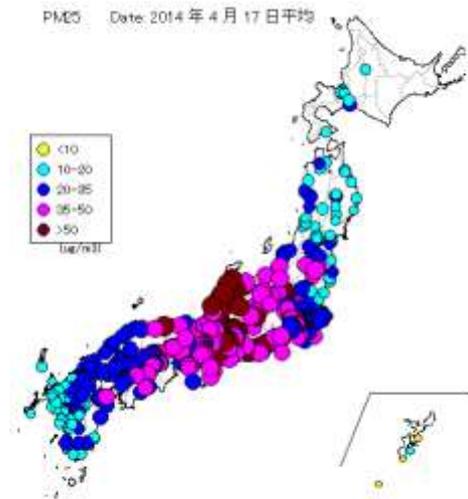


図 5-3-2-4 PM_{2.5}日平均値全国分布

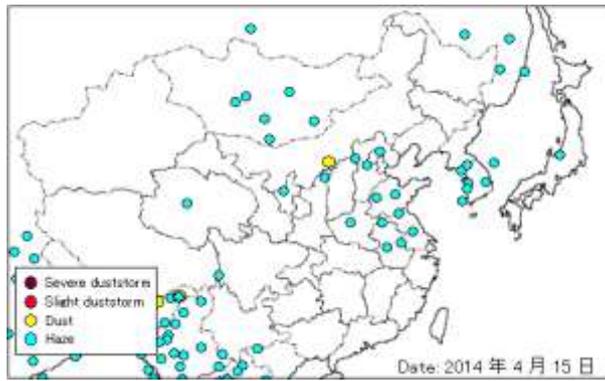


図 5-3-2-5 Haze の観測状況

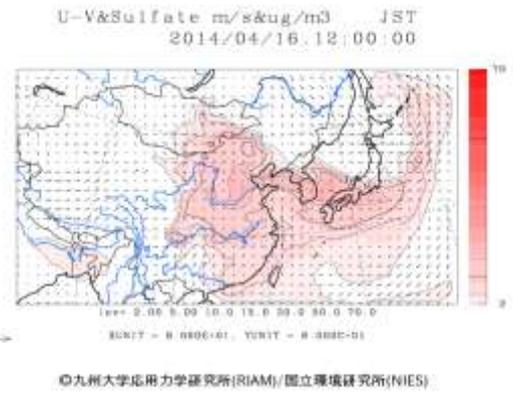


図 5-3-2-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

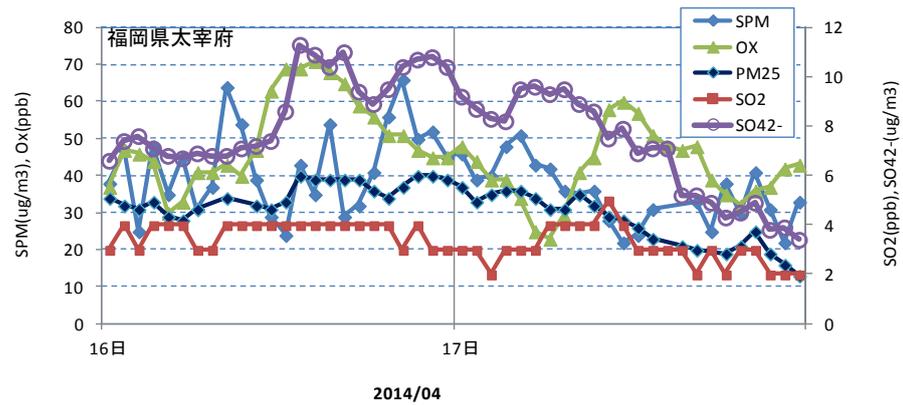


図 5-3-2-7 硫酸イオン濃度

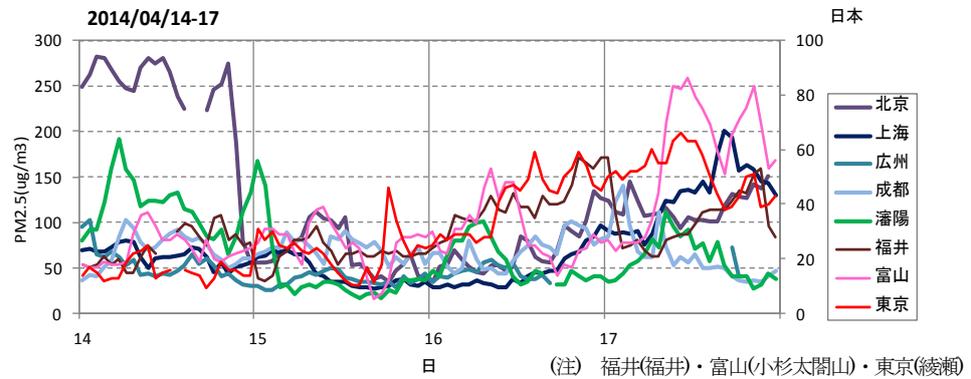


図 5-3-2-8 中国・日本(北陸・東京)での PM_{2.5} 濃度

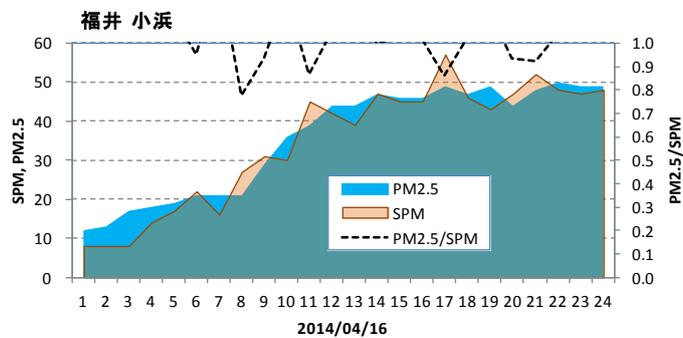


図 5-3-2-9 PM_{2.5}/SPM の分布

(3) 煙霧事例03 (2014年6月3~4日)

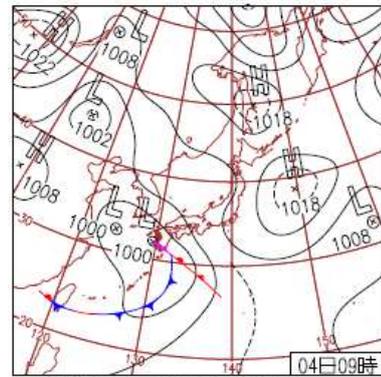
煙霧の観測は、本州中央部から北が中心で、この地域でPM_{2.5}濃度も高くなっている。移動性高気圧が本州中央部を通過している。福岡での硫酸イオンは前日の2日は10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値であるが、3日以降は低い。後方流跡線は大陸方向とは無関係であるが、黄砂事例01に示すように黄砂と越境の煙霧が6月2日まで続いており、その影響が継続していたと考えられる。

表 5-3-3-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	6	3	10	仙台	前橋	熊谷	千葉	東京	横浜	甲府	岐阜	静岡	名古屋
2014	6	4	16	青森	山形	宇都宮	前橋	熊谷	千葉	東京	新潟	金沢	福井
				甲府	長野	岐阜	静岡	名古屋	那覇				



図 5-3-3-1 黄砂・煙霧観測地点



4日(水)中国～東海で梅雨入り
 気圧の谷が接近し九州・四国で大雨、高知県土佐清水市三崎で日降水量464mm。中国、近畿、東海で梅雨入り発表。北海道は引き続き暑く15地点で最高気温の史上1位を更新。

図 5-3-3-2 天気図

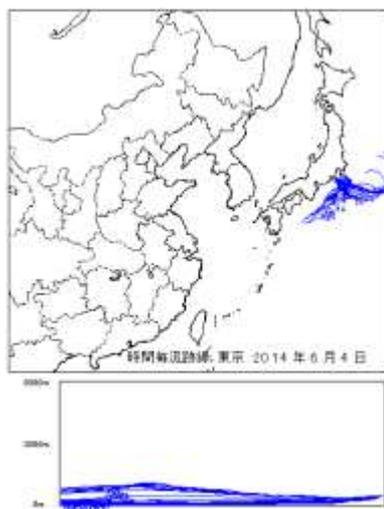


図 5-3-3-3 後方流跡線

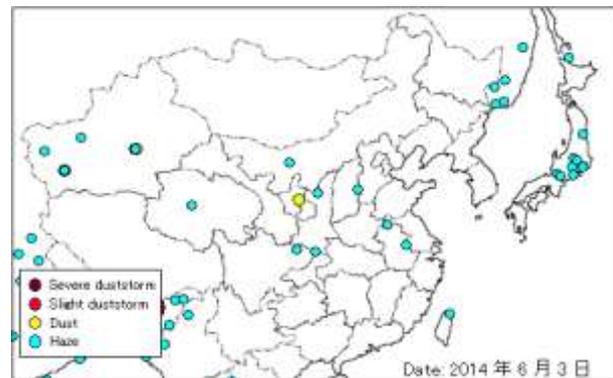


図 5-3-3-4 Haze の観測状況

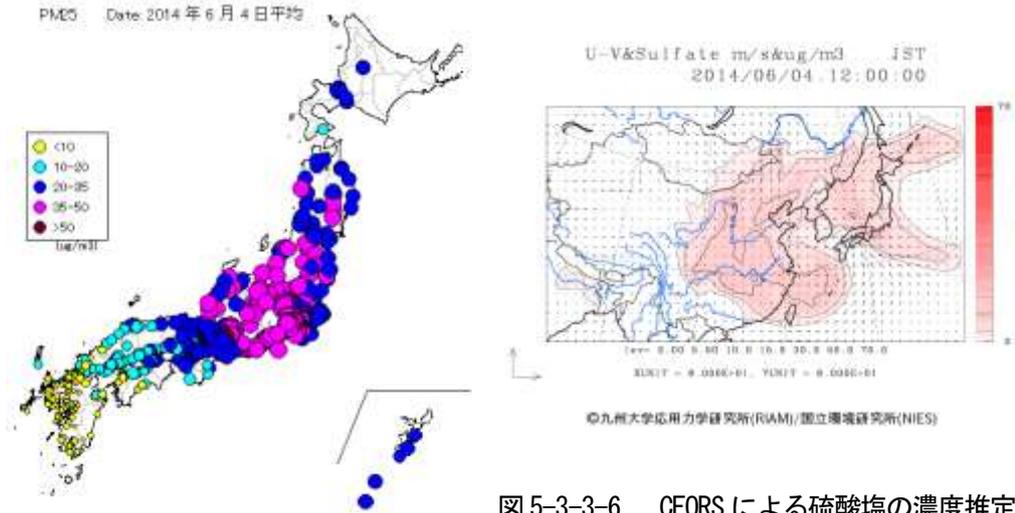


図 5-3-3-5 PM_{2.5}日平均値全国分布

図 5-3-3-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

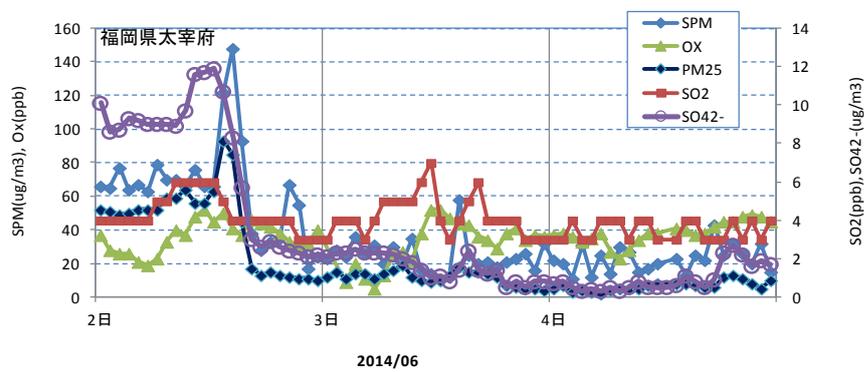


図 5-3-3-7 硫酸イオン濃度

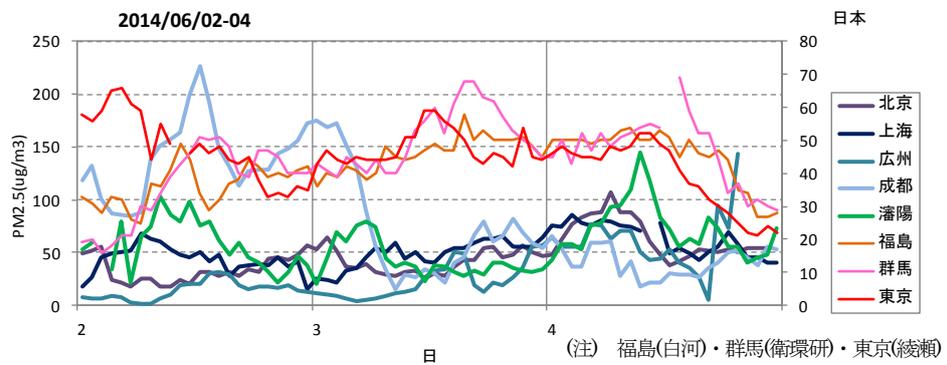


図 5-3-3-8 中国・日本(関東)での PM_{2.5}濃度

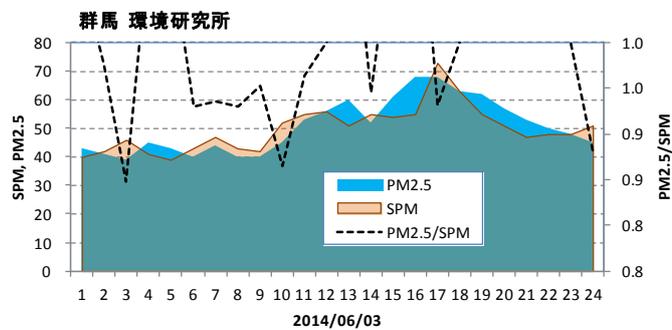


図 5-3-3-9 SPM、PM_{2.5}濃度と PM_{2.5}/SPM

(4) 煙霧事例04 (2014年6月14~17日)

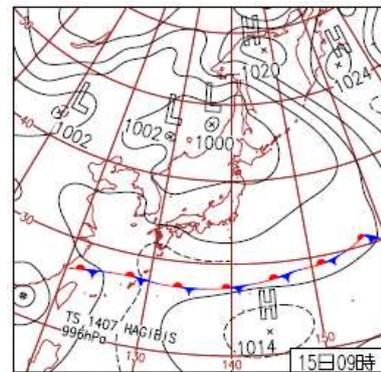
煙霧の観測は西日本を中心に、北は新潟まで観測されている。東アジアでHazeが観測されており、後方流跡線は中国沿岸部からである。CFORSでも sulfate の飛来を予測している。PM_{2.5}の高濃度域は、西日本が中心であり、福岡での硫酸イオン濃度は15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に近い。北京でのPM_{2.5}は200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、中国沿岸部からの越境の影響と判断できる。

表 5-3-4-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	6	14	12	神戸	鳥取	松江	広島	下関	松山	福岡	佐賀	熊本	大分
				宮崎	鹿児島								
2014	6	15	15	新潟	金沢	大阪	神戸	和歌山	鳥取	広島	下関	徳島	高松
				松山	福岡	佐賀	大分	宮崎					
2014	6	16	9	千葉	大阪	神戸	岡山	徳島	松山	佐賀	長崎	宮崎	
				前橋	熊谷	千葉	東京	横浜	新潟	金沢	静岡	名古屋	大阪
2014	6	17	12	岡山	高松								



図 5-3-4-1 黄砂・煙霧観測地点



15日(日)梅雨前線活発
 沖縄～九州南部は梅雨前線の影響で雨、前線近傍の沖縄県伊是名村内花で46.5mm/1hの激しい雨。北日本は気圧の谷の影響で曇りや雨。その他は概ね晴れ、岩手県、青森県で震度4。

図 5-3-4-2 天気図

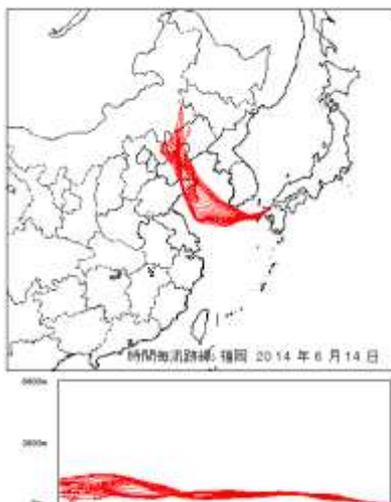


図 5-3-4-3 後方流跡線

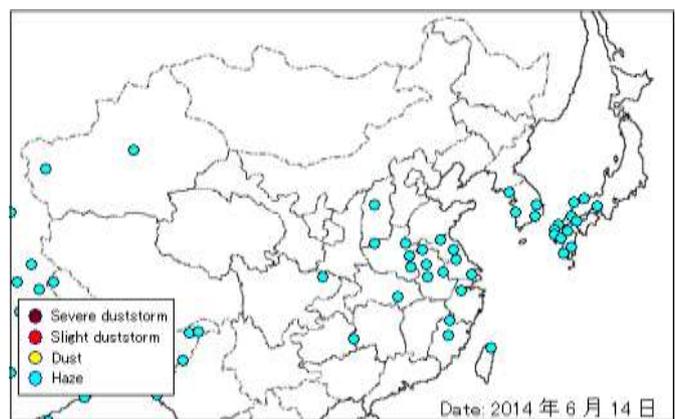


図 5-3-4-4 Haze の観測状況

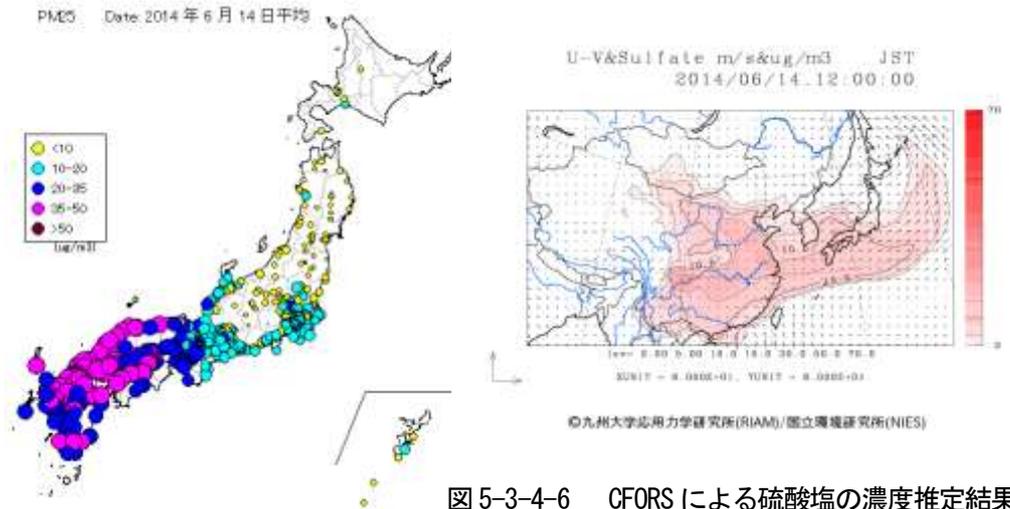


図 5-3-4-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

図 5-3-4-5 $\text{PM}_{2.5}$ 日平均値全国分布

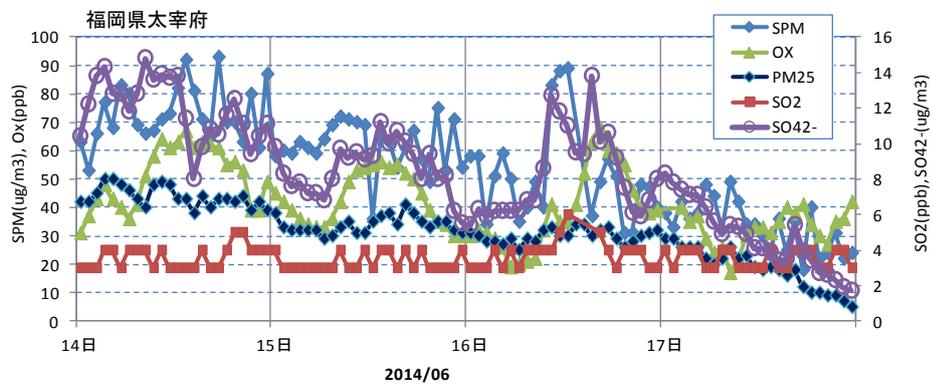


図 5-3-4-7 硫酸イオン濃度

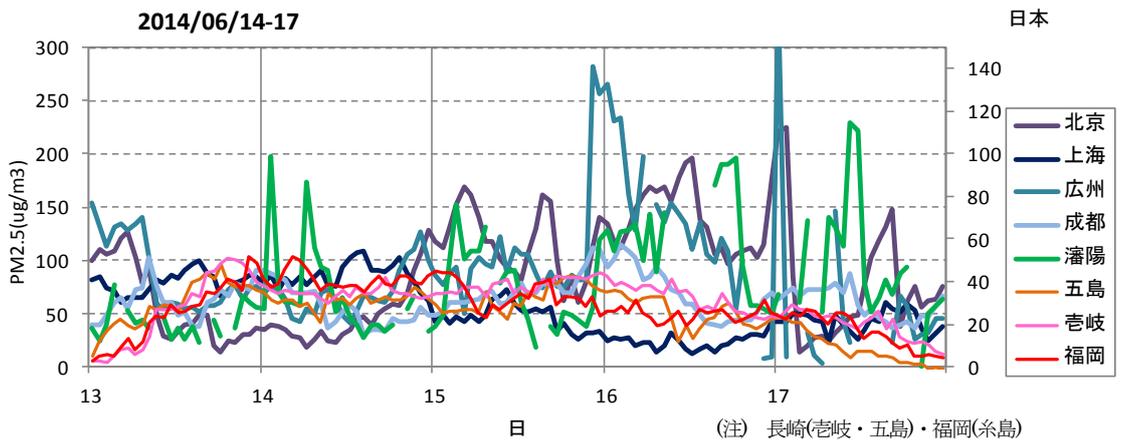


図 5-3-4-8 中国・日本(離島・福岡)での $\text{PM}_{2.5}$ 濃度

(5) 煙霧事例05 (2014年7月1日)

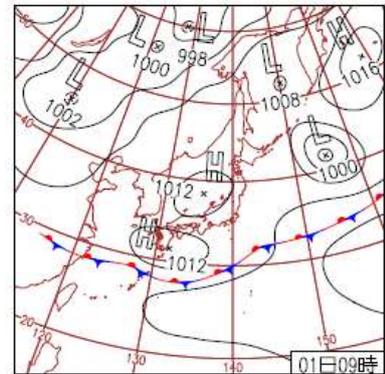
煙霧は、九州、中国、四国の西日本で観測されている。この時期、移動性高気圧が日本列島を通過している。福岡での後方流跡線は、中国沿岸部からの流れを示している。中国沿岸部、韓国では、広く Haze が観測されている。CFORS(sulfate)でも強い日本への影響を予測しており、福岡での硫酸イオン濃度は $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで上昇している。以上のことから、煙霧の観測は中国沿岸部からの越境の影響によるものと思われる。

表 5-3-5-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	7	1	11	岡山	広島	下関	松山	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎
				鹿児島									



図 5-3-5-1 黄砂・煙霧観測地点



1日(火)関東北部で大雨
高気圧に覆われて広く晴れたが、寒気を伴った気圧の谷が通過した関東では、明け方にかけて北部を中心に大雨。茨城県銚田で $59\text{mm}/1\text{h}$ の非常に激しい雨、観測史上1位更新。

図 5-3-5-2 天気図

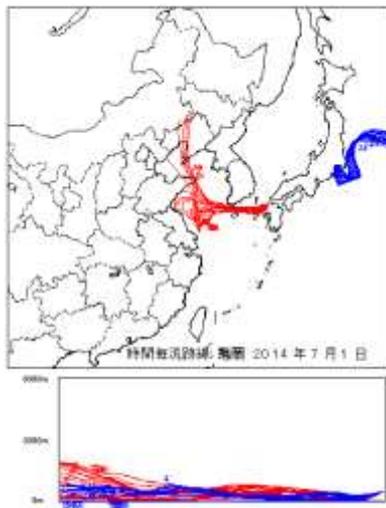


図 5-3-5-3 後方流跡線

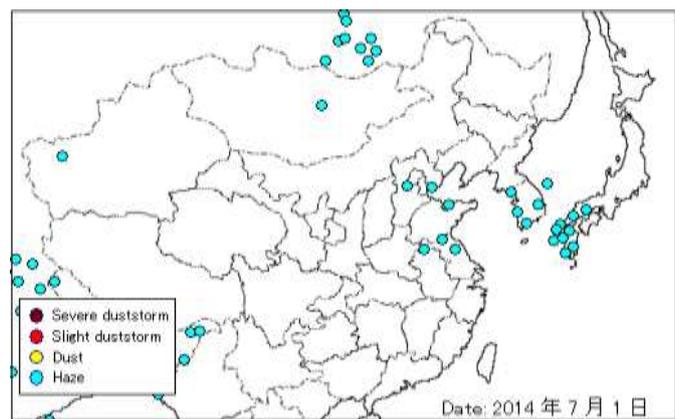


図 5-3-5-4 Haze の観測状況

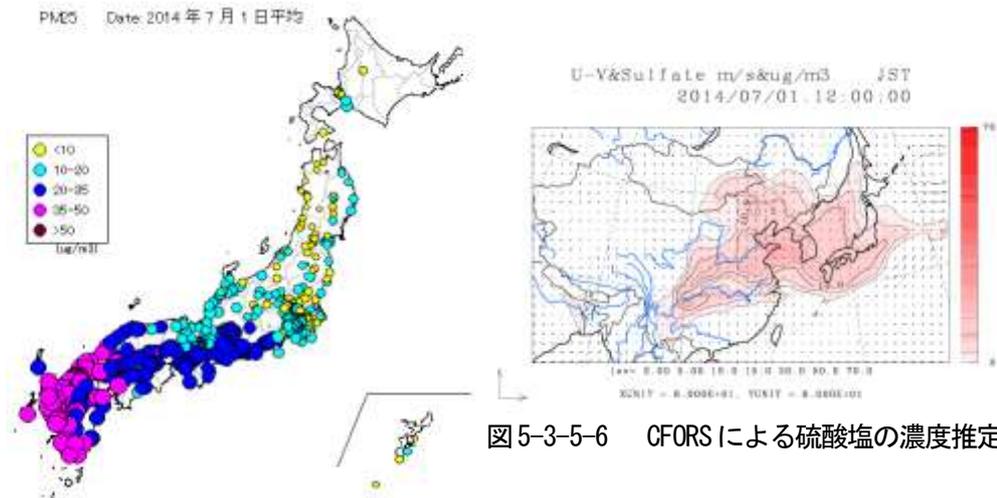


図 5-3-5-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

図 5-3-5-5 $\text{PM}_{2.5}$ 日平均値全国分布

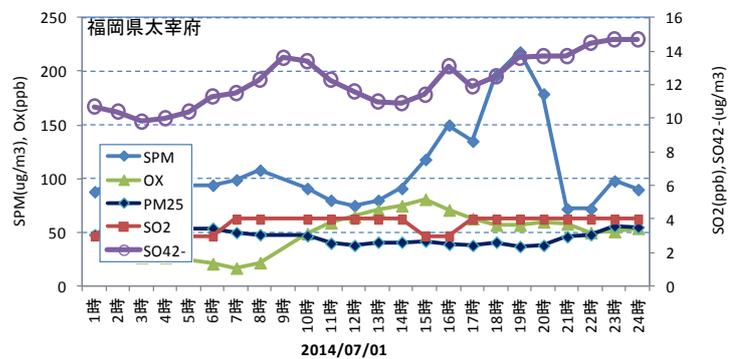


図 5-3-5-7 硫酸イオン濃度

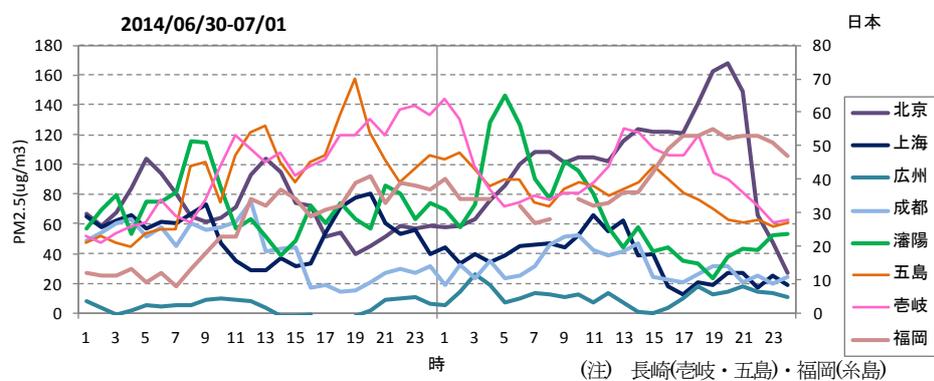


図 5-3-5-8 中国・日本(離島・福岡)での $\text{PM}_{2.5}$ 濃度

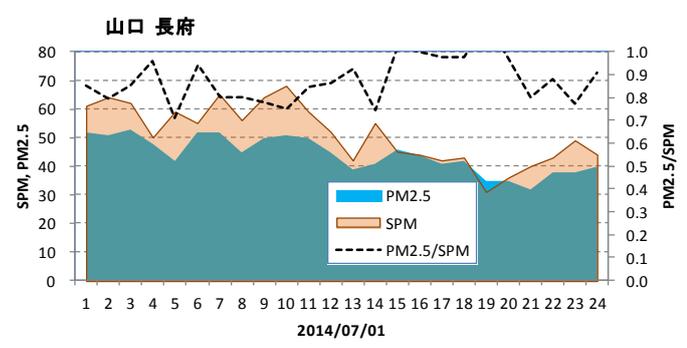


図 5-3-5-9 SPM、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$

(6) 煙霧事例06 (2014年7月23日)

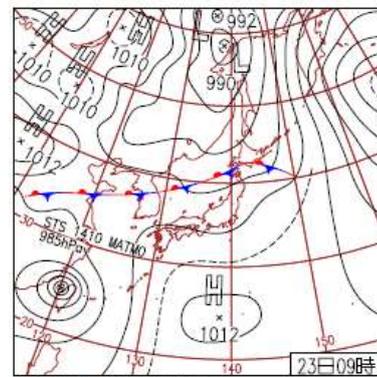
煙霧観測は関東を中心としたものである。福岡、東京の後方流跡線は、いずれも大陸からの影響を示していない。また、東アジアでのHazeの観測地点も少なく、福岡での硫酸イオン濃度も低い。東京近辺では、SO₂濃度が10ppbを越す地点が多く、光化学Oxも120ppbを越す測定局が多くみられており（関東で310局中55局超過）、国内の発生源による影響が推察される。

表 5-3-6-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	7	23	12	山形 長野	水戸 岐阜	宇都宮	前橋	熊谷	千葉	東京	横浜	新潟	甲府



図 5-3-6-1 黄砂・煙霧観測地点



23日(水)梅雨前線南下
先島諸島は台風第10号の雨雲がかかる。北陸と北日本は梅雨前線が南下し曇りや雨。その他の地域は高気圧の圏内で晴れた所が多く、西～東日本太平洋側の17地点で猛暑日。

図 5-3-6-2 天気図

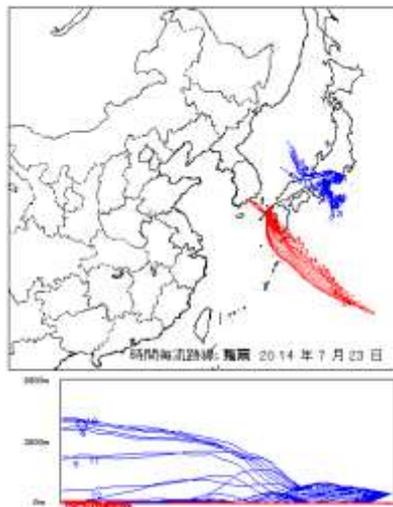


図 5-3-6-3 後方流跡線

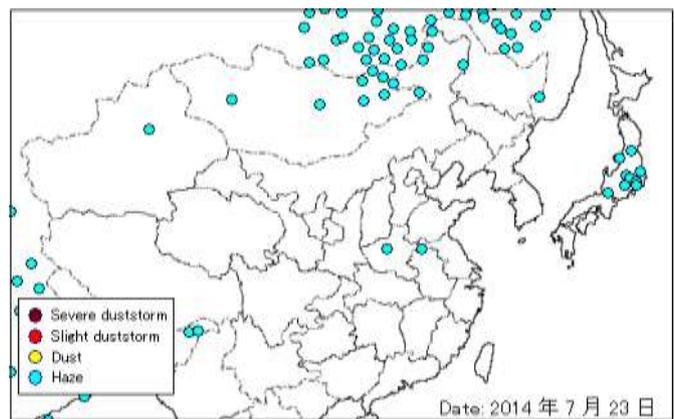


図 5-3-6-4 Hazeの観測状況

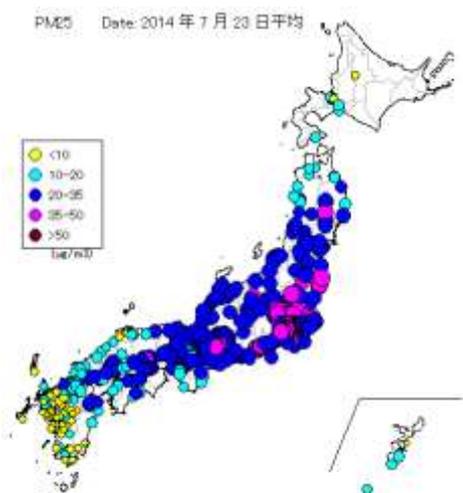


図 5-3-6-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

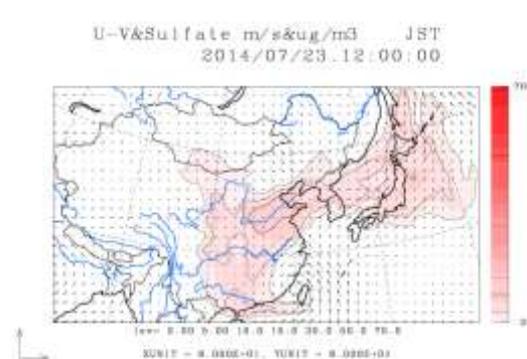


図 5-3-6-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

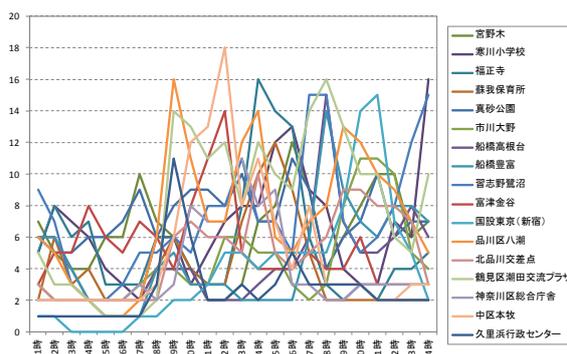


図 5-3-6-7 東京近辺での SO₂ 濃度

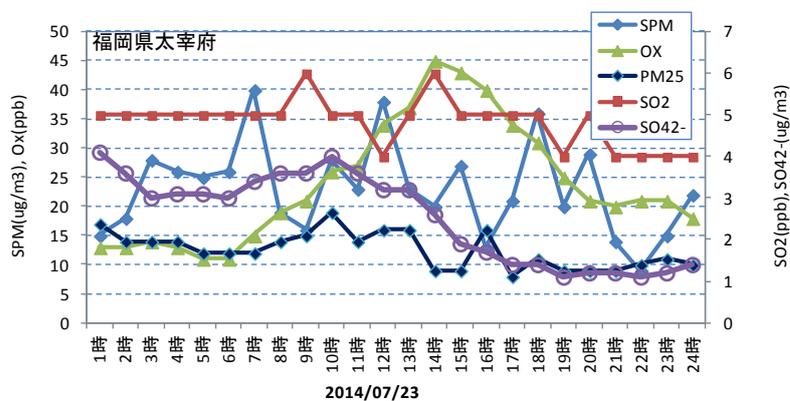


図 5-3-6-8 硫酸イオン濃度

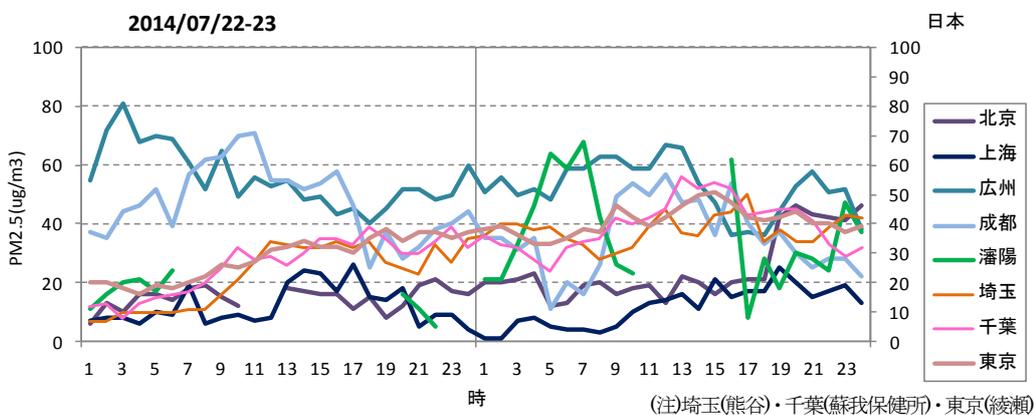


図 5-3-6-9 中国・関東での PM_{2.5} 濃度

(7) 煙霧事例07 (2014年12月30日)

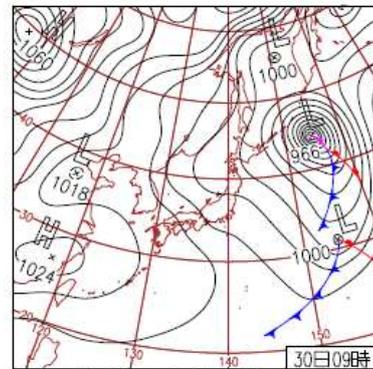
煙霧観測は九州が主で、東アジア一帯でHazeが観測されている。PM_{2.5}濃度は、九州を中心に高くなっている。後方流跡線は、九州では中国沿岸部からの流れを示している。CFORSも sulfateの飛来を予測している。福岡での硫酸イオン濃度は15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 近くまで上昇している。これらから、中国沿岸部からの越境の影響によると考えられる。

表 5-3-7-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	12	30	12	千葉 鹿児島	奈良 那覇	広島	下関	松山	福岡	佐賀	長崎	熊本	宮崎



図 5-3-7-1 黄砂・煙霧観測地点



30日(火)北日本中心に寒気流入
冬型の気圧配置となり、東～北日本の日本海側と東北南部の太平洋側は雨または雪。その他の地方は概ね晴れ。はじめ暖気が残った北海道では所々で最低気温が11月中旬並。

図 5-3-7-2 天気図

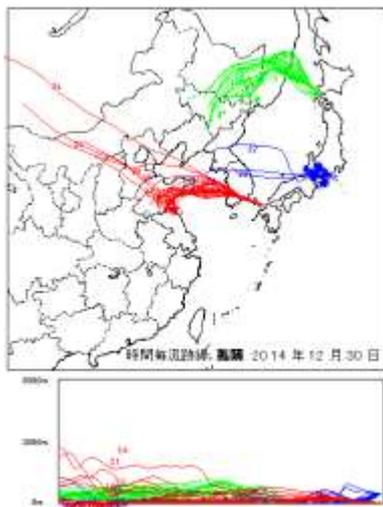


図 5-3-7-3 後方流跡線

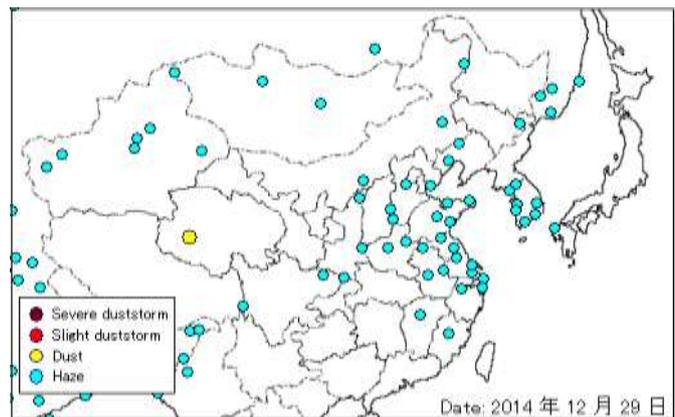


図 5-3-7-4 Hazeの観測状況

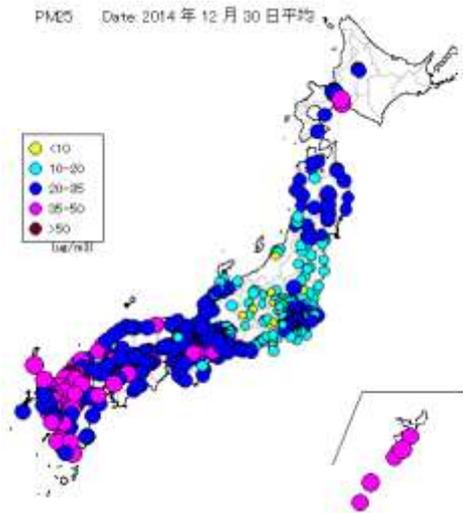


図5-3-7-5 PM_{2.5}日平均値全国分布

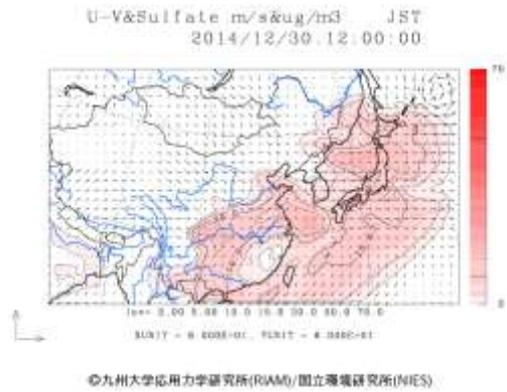


図5-3-7-6 OFORSによる硫酸塩の濃度推定結果

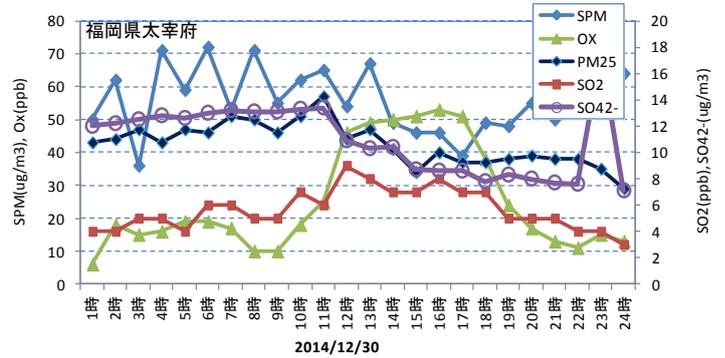


図5-3-7-7 硫酸イオン濃度

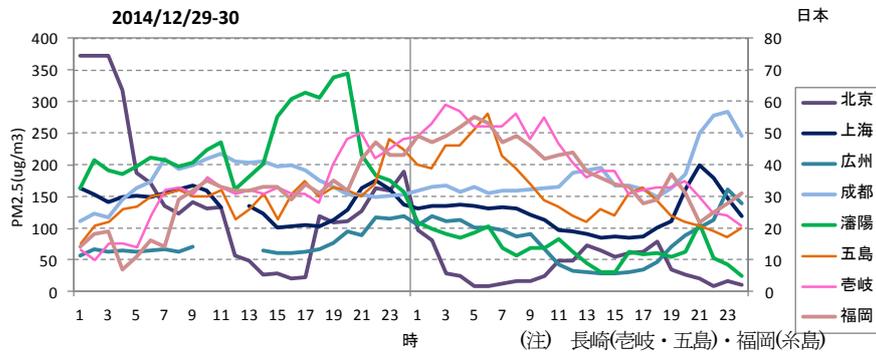


図5-3-7-8 中国・離島・福岡でのPM_{2.5}濃度

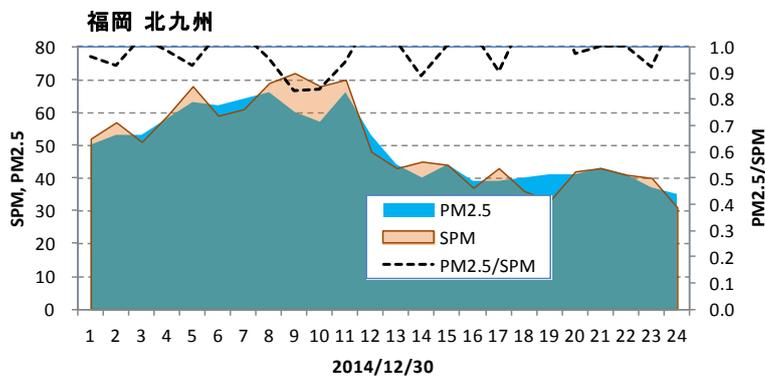


図5-3-7-9 SPM、PM_{2.5}濃度とPM_{2.5}/SPM

(8) 煙霧事例08 (2015年1月17日)

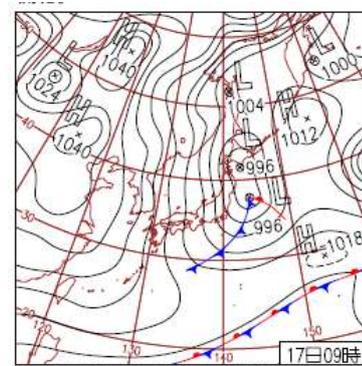
煙霧は九州が主で、四国、東海でも観測されている。東アジア一帯で広く Haze が観測されている。PM_{2.5}濃度は、九州・沖縄で高くなっている。CFORS も sulfate の飛来を予測している。後方流跡線は、福岡では中国沿岸部からの流れを示しており、硫酸イオン濃度は20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越す値である。PM_{2.5}濃度の経時変化から、16日夜から17日の早朝に短い時間、中国沿岸部からの越境の影響を受けていたと思われる。

表 5-3-8-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2015	1	17	10	津	下関	徳島	松山	福岡	長崎	熊本	大分	宮崎	那覇



図 5-3-8-1 黄砂・煙霧観測地点



17日(土)冬型の気圧配置強まる
 低気圧発達に伴い次第に冬型の気圧配置が強まり北日本は暴風雪。山形県酒田市飛島で最大瞬間風速30m/s。群馬県みなかみ町藤原で日降雪量60cm等、東日本の山沿い中心に大雪。

図 5-3-8-2 天気図

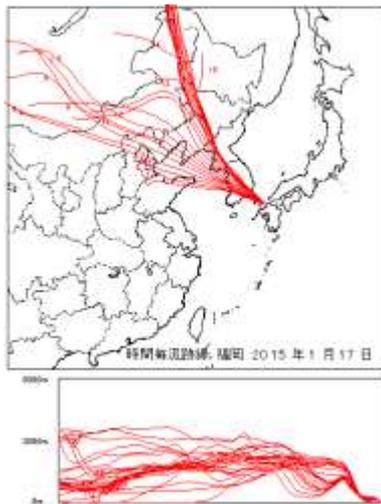


図 5-3-8-3 後方流跡線

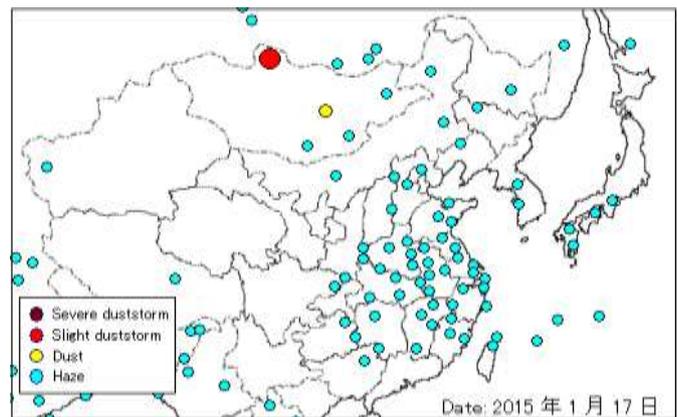


図 5-3-8-4 Haze の観測状況

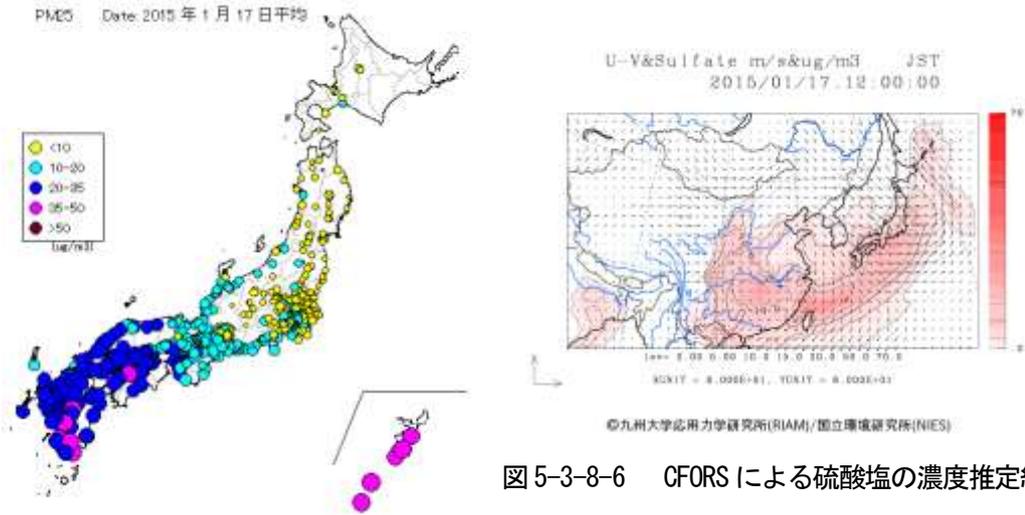


図 5-3-8-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

図 5-3-8-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

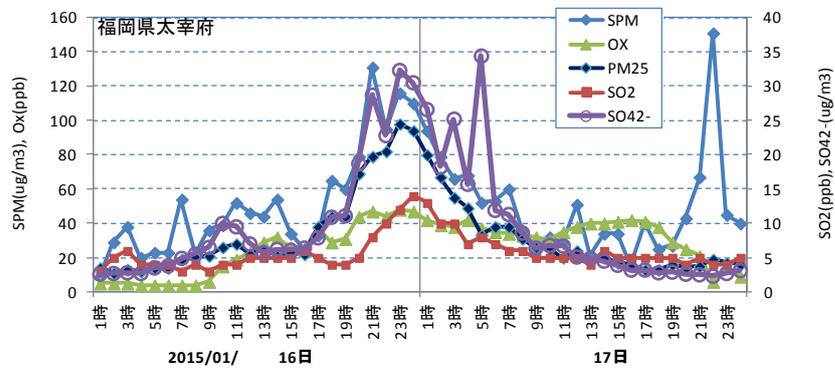


図 5-3-8-7 硫酸イオン濃度

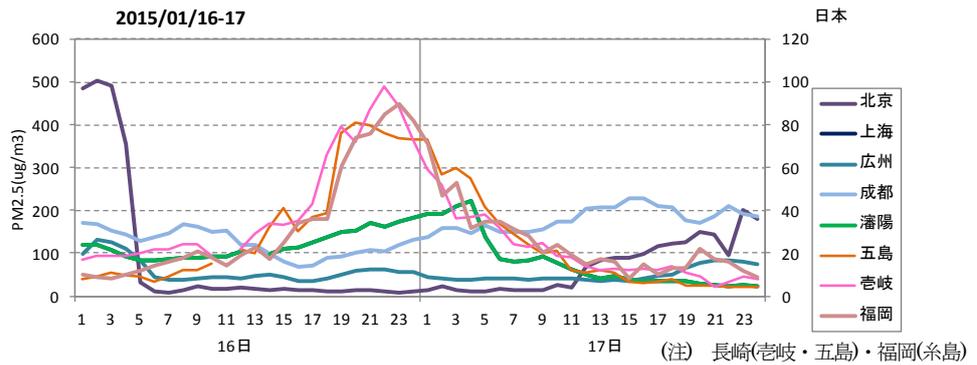


図 5-3-8-8 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

(9) 煙霧事例09 (2015年3月31日)

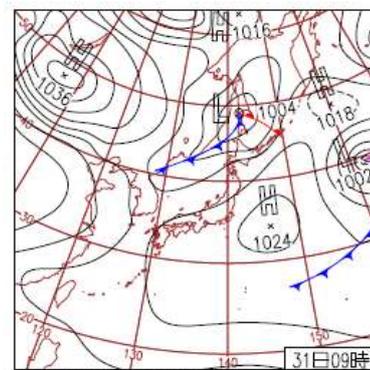
煙霧観測は全国に散在しており、東アジア一帯でも広く Haze が観測されている。PM_{2.5} 高濃度は全国に広がる。CFORS は sulfate が全国を覆っていることを予測している。福岡・東京・北海道の後方流跡線はいずれも中国沿岸部からの流れを示している。福岡での硫酸イオン濃度は12~14μg/m³程度の値である。黄砂事例05に示しているように、直前に黄砂が観測されており、大陸からの流れが継続していたと思われる。

表 5-3-9-1 煙霧観測地点

年	月	日	地点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2015	3	31	12	仙台 松山	秋田 佐賀	山形	宇都宮	前橋	東京	長野	津	彦根	大阪



図 5-3-9-1 黄砂・煙霧観測地点



31日(火)西・東日本で夏日
九州と北海道は曇りや雨。その他の地方は高気圧に覆われ晴れ25地点で最高気温が3月1位の高温。兵庫県豊岡で26.0℃など西・東日本で夏日。横浜市など8都市でサクラ満開。

図 5-3-9-2 天気図

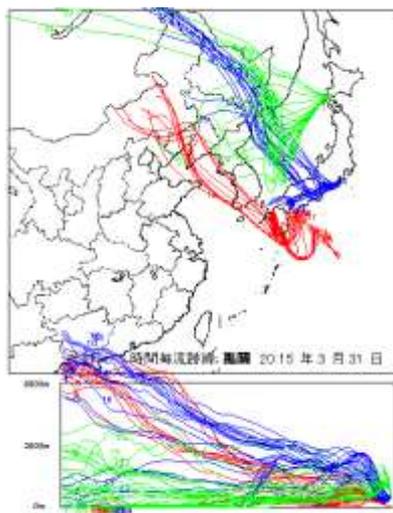


図 5-3-9-3 後方流跡線

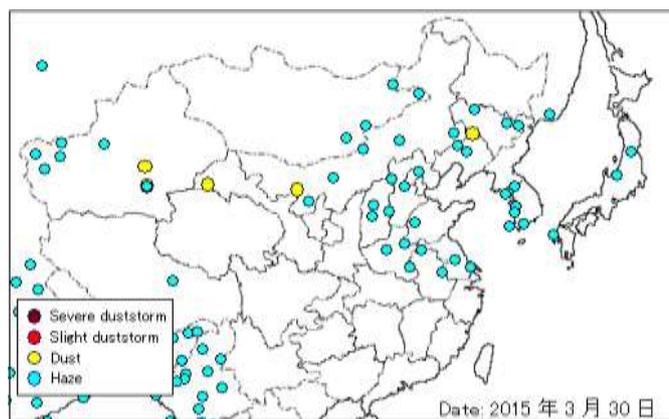


図 5-3-9-4 Haze の観測状況

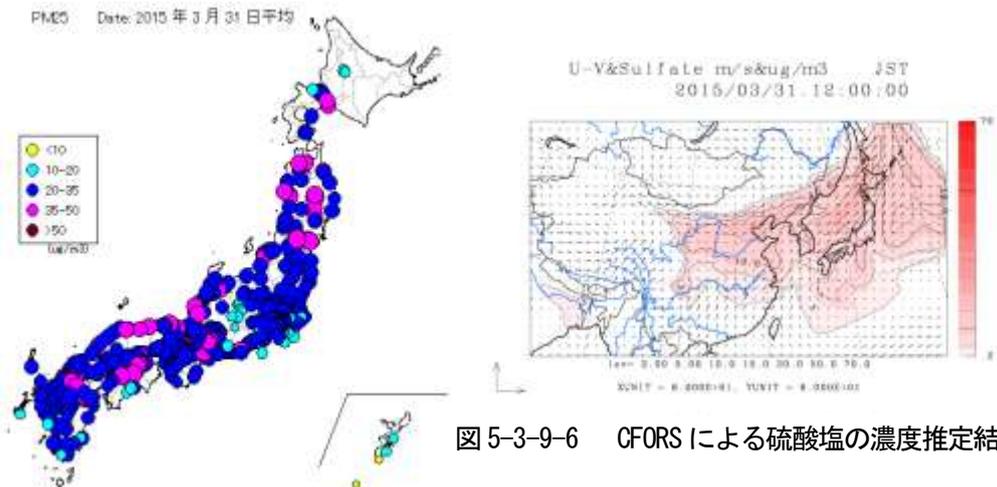


図 5-3-9-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

図 5-3-9-6 CFORS による硫酸塩の濃度推定結果

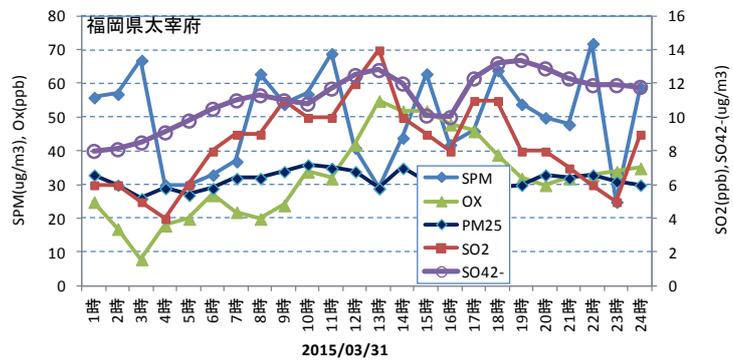


図 5-3-9-7 硫酸イオン濃度

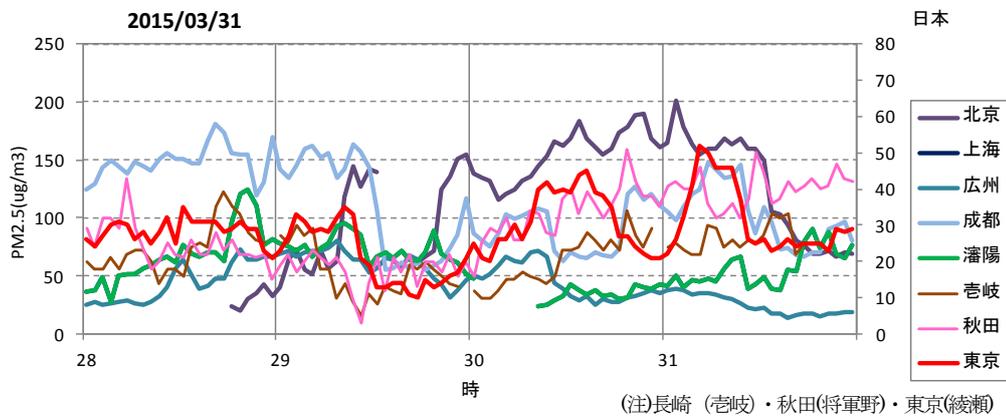


図 5-3-9-8 中国・日本(岐阜・東京・秋田)での PM_{2.5} 濃度

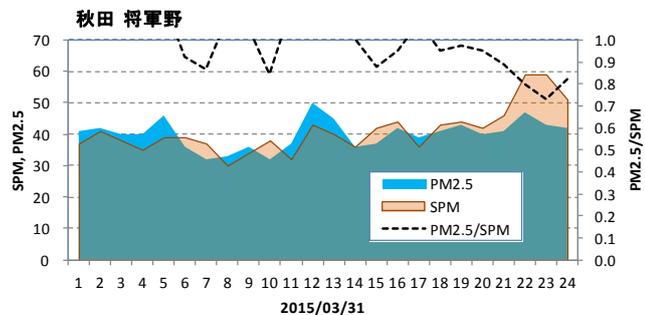


図 5-3-9-9 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

6. 黄砂・煙霧日のPM_{2.5}濃度

黄砂は、PM_{2.5}の環境基準達成に大きな影響を与えていると思われる。また、越境による煙霧の存在も、黄砂と同程度かそれ以上に大きな影響を与える可能性がある。そこで、平成26(2014)年度の黄砂、煙霧時のPM_{2.5}濃度との関係を検討した。

6.1 黄砂時・煙霧時におけるPM_{2.5}環境基準超過

評価対象測定局は、全国の914局である。

平成26(2014)年度において環境基準値1日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数×局は8596で、全体294611(日×局)の2.9%である。図6-1-1には、全体と黄砂日および煙霧日でのPM_{2.5}平均濃度と環境基準超過率をグラフで示している。測定局における黄砂観測日は3546(日×局)、黄砂時の平均濃度は36.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は1843(日×局)(52.0%)である。平成26(2014)年度は、前年に比べ黄砂の飛来は平年まで戻り、2013年度より高い割合になっている。一方、測定局における煙霧観測日は14629(日×局)、煙霧時の平均濃度は28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は3800(日×局)(26.0%)である。

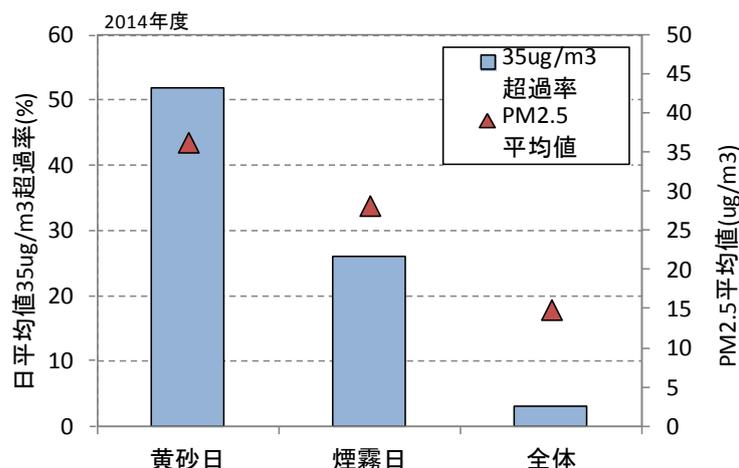


図6-1-1 黄砂日、煙霧日のPM_{2.5}平均濃度と環境基準超過率(2014年度)

平成26(2014)年度の黄砂観測日数と黄砂日のPM_{2.5}環境基準超過日数を都道府県別に図6-1-2に示す。同様に、観測日数と、煙霧日のPM_{2.5}環境基準超過日数を図6-1-3に示す。黄砂では西日本での環境基準超過が多くなっている。煙霧については、西日本では東日本に比べて煙霧時の環境基準超過については頻度が高いことが特徴となっている。

図6-1-4に、PM_{2.5}環境基準超過日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数を地点別に示している。この図から、関東以西では環境基準超過日数の半分近くを占めていることが分かる。

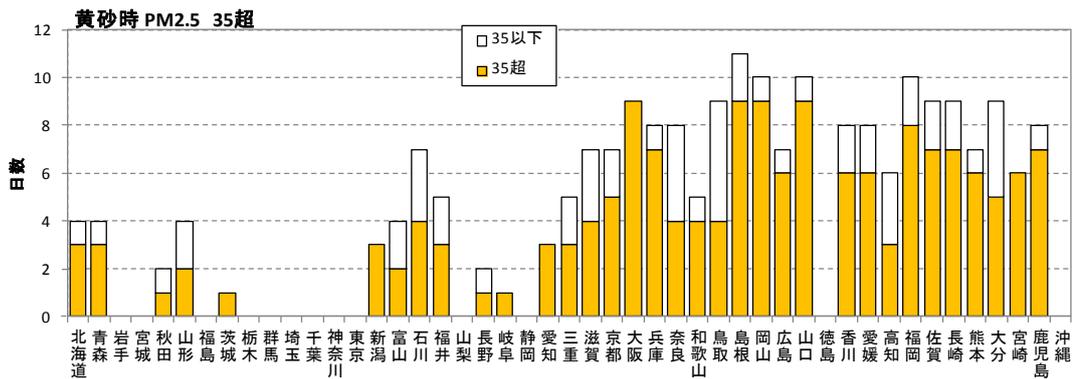


図 6-1-2 都道府県別の黄砂日数と PM_{2.5} 環境基準超過日数 (2014 年度)

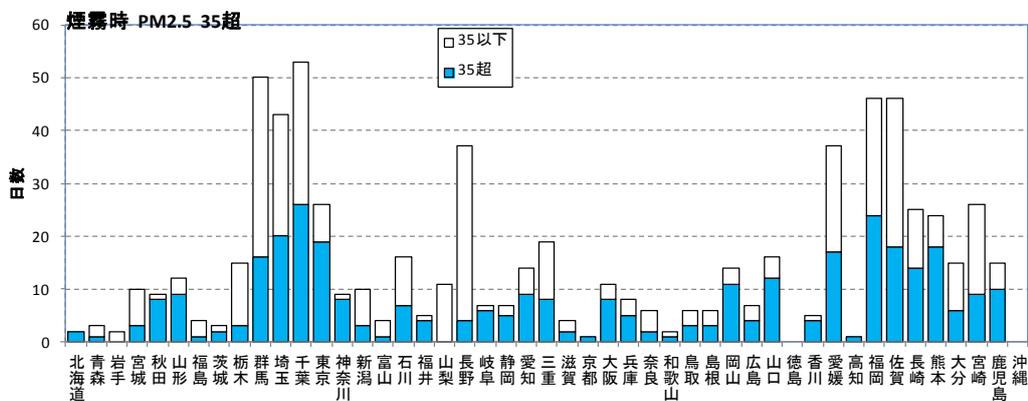


図 6-1-3 都道府県別の煙霧日数と PM_{2.5} 環境基準超過日数 (2014 年度)

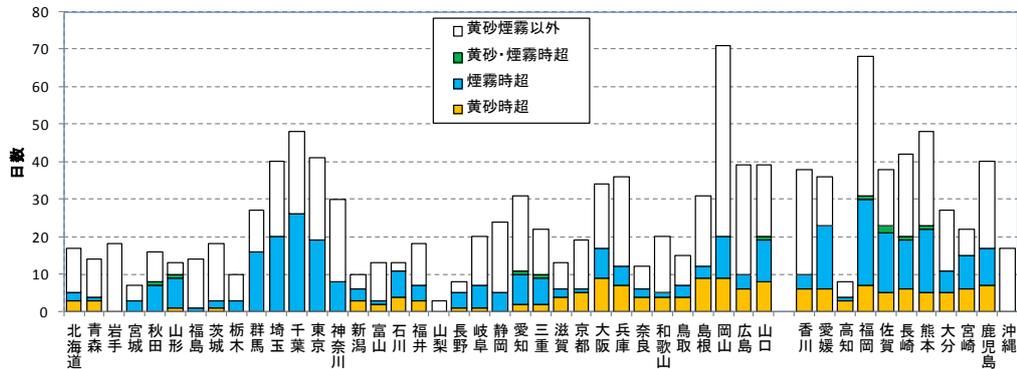


図 6-1-4 地点別の PM_{2.5} 環境基準超過日に占める黄砂・煙霧の割合 (2014 年度)

6.2. 黄砂・煙霧時のPM_{2.5}成分濃度

全国の自治体では、年間を四季に分けてPM_{2.5}の成分濃度調査を実施している。平成26(2014)年度に環境省に集約されたPM_{2.5}成分濃度データをもとに、黄砂・煙霧日を抽出して、その特徴を探った。

黄砂が観測されている2014年5月28～31日には、PM_{2.5}濃度も上昇している(黄砂事例01参照)が、その時の福岡県田川と長野県八方尾根で採取されたPM_{2.5}成分の組成を図6-2-1に示す。同時に、福岡での後方流跡線を下に示している。主に金属成分が含まれていると思われるothersの割合が高くなっている。

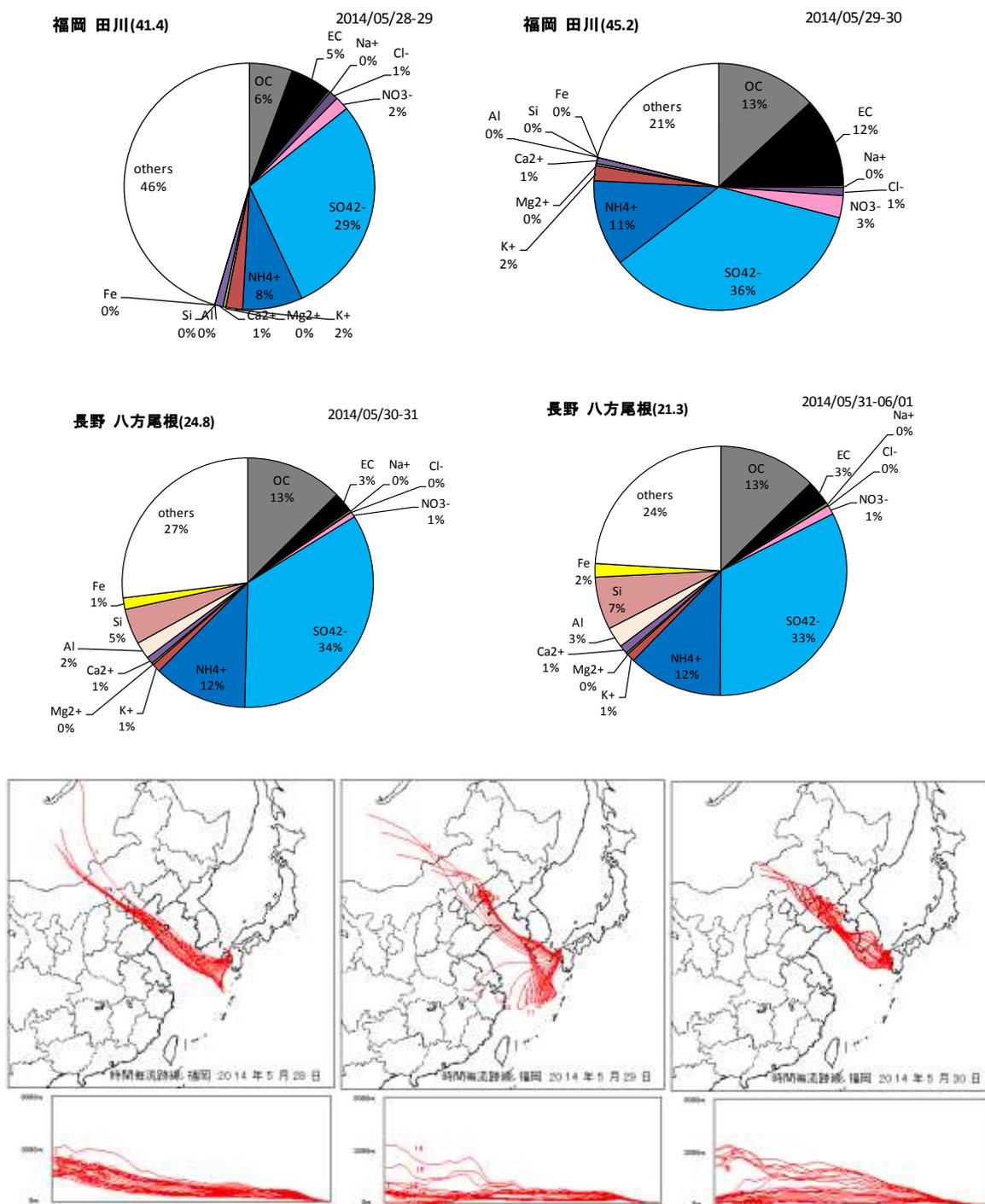


図6-2-1 黄砂時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2014年5月28～29日)

成分分析が実施された期間が煙霧と重なり、且つPM_{2.5}重量濃度が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した日のうち、特徴的なものについて、その様子を観察した。

2014年7月23～24日は関東地方12地点で煙霧が観測されている。図6-2-2のように、硫酸イオン濃度が高く、硝酸イオンは非常に低い。大陸の影響の様子がみられないことから、国内影響または火山の影響が考えられる（煙霧事例05）。この時、煙霧観測は12地点で、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は34測定地点中13地点である。

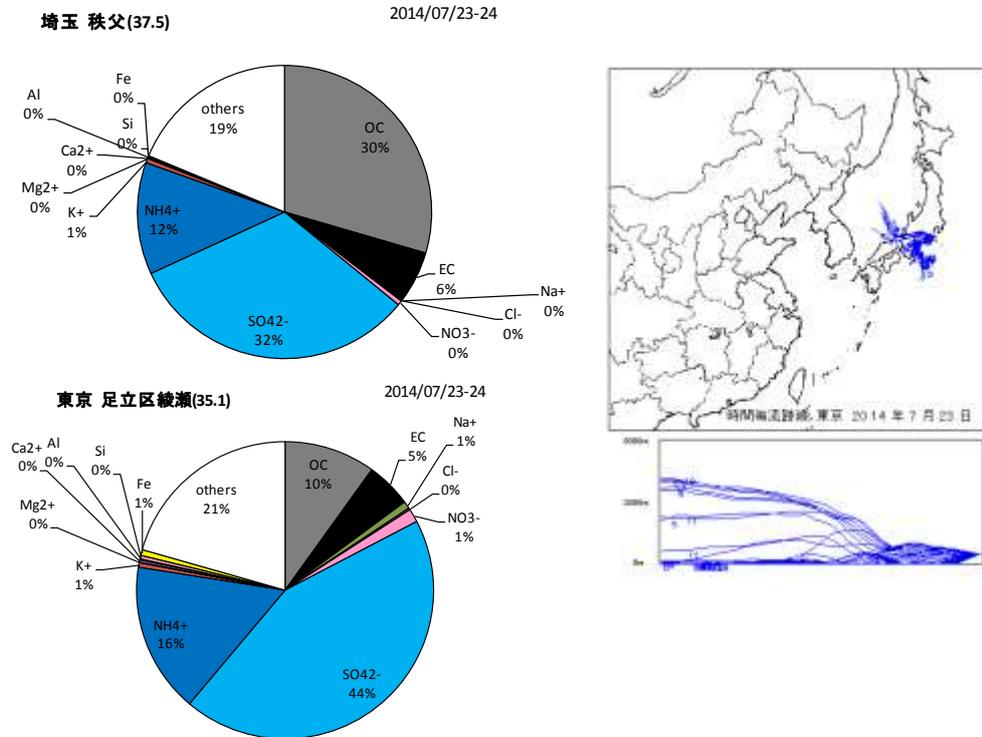


図 6-2-2 煙霧時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2014年7月23～24日)

2014年7月28～29日に東北地方で高濃度を示していたが、この直前の26日頃にシベリア クラスノヤルスク地方で大規模な森林火災（延焼面積73万ha）があっており、その影響が出て、OCの濃度が非常に高くなっていると思われる。この時、煙霧観測は6地点で、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は34測定地点中13地点である。

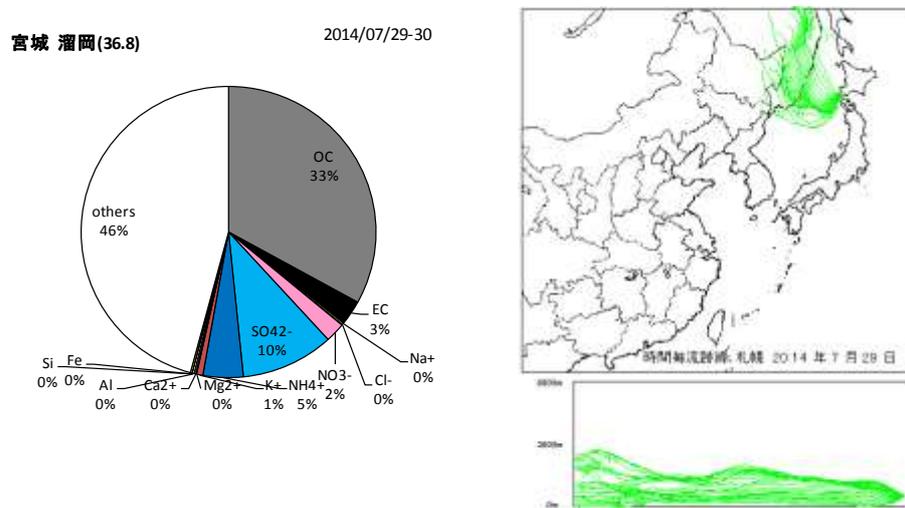


図 6-2-3 煙霧時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2014年7月28～29日)

2014年10月31～11月1日は、関東地方でのみの煙霧観測であるが、硝酸イオン濃度が高く、硫酸イオン濃度は低くなっており、国内での影響が大きいと考えられる。この時、煙霧観測は3地点で、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は13測定地点中7地点である。

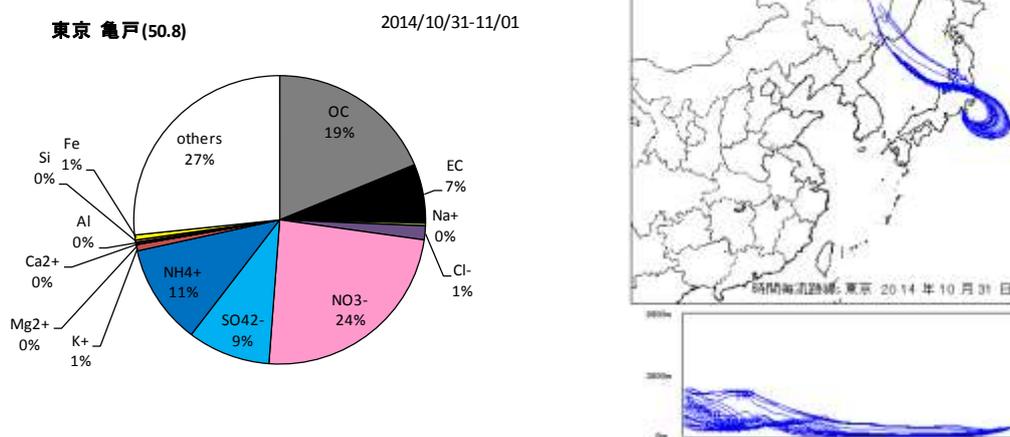


図 6-2-4 煙霧時の $\text{PM}_{2.5}$ 成分構成とその時の後方流跡線(2014年10月31～11月1日)

2015年1月26～27日も、埼玉、東京で煙霧の観測と $\text{PM}_{2.5}$ の高濃度が出現している。前の10月31～11月1日と類似した成分構成を示していることから、同様に国内影響が大きいと思われる。この時、煙霧観測は7地点で、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超は18測定地点中3地点である。

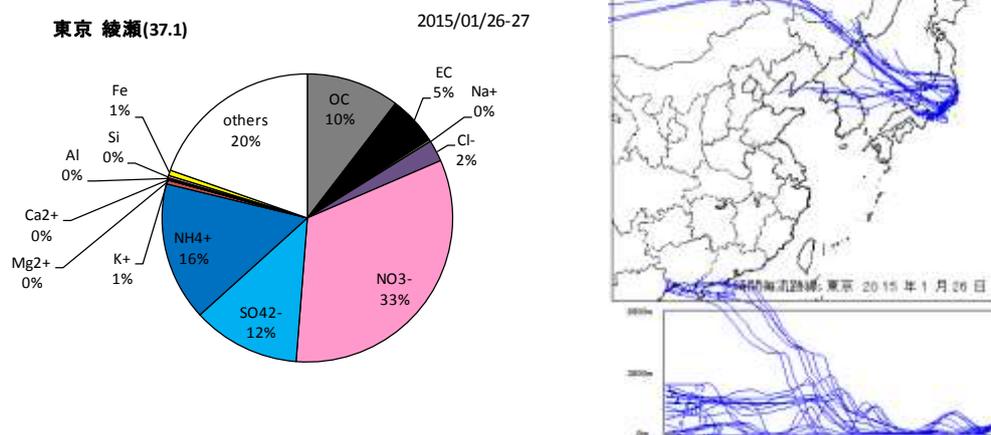


図 6-2-5 煙霧時の $\text{PM}_{2.5}$ 成分構成とその時の後方流跡線(2015年1月26～27日)

2015年2月4～5日は、九州のみの煙霧観測であるが、PM_{2.5}濃度は高くなっている。長崎県五島でPM_{2.5}濃度45μg/m³を示し、その時の成分は硫酸イオン濃度が16μg/m³まで上昇しており、後方流跡線の状況を含め、中国沿岸部からの影響と思われる。この時、煙霧観測は延べ6地点で、35μg/m³超は3測定地点中3地点である。

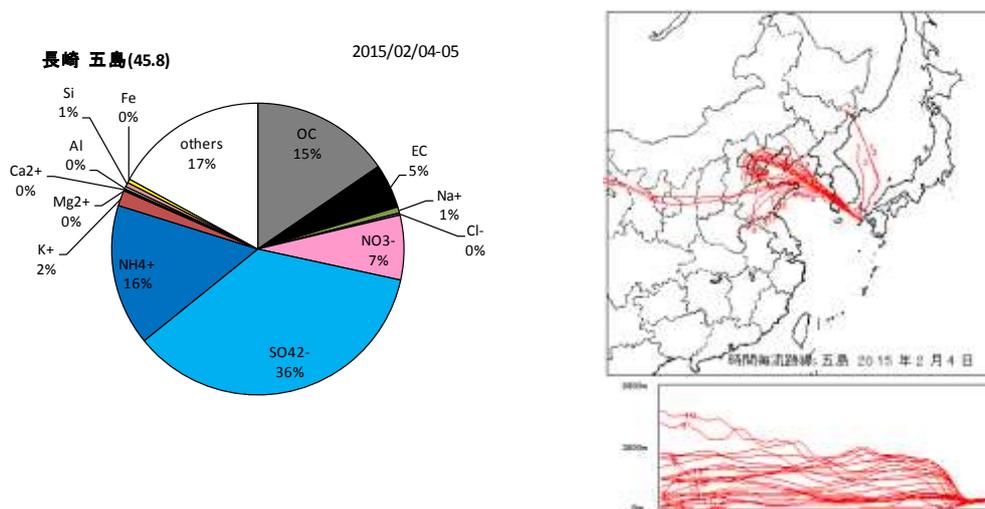


図 6-2-6 煙霧時のPM_{2.5}成分構成とその時の後方流跡線(2015年2月4～5日)

6.3. 黄砂・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。計算の条件は下記の通りである。解析のためのソフトは、EPA-PMFv5.0を使用した。

計算に使用したサンプルは、黄砂・煙霧が観測された日に採取された535件である。成分は、OC, EC, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, V, Mn, Zn, Pb の15項目とした。因子数は5、6、7とし、その中でプロファイルの分離やBootstrapの結果が良好であった6を採用した。

図6-3-1に因子数6での発生源プロファイルを示す。

それぞれの因子の発生源については、次のように想定した、Factor1はAl、Feの割合が高く、黄砂を含む土壌を表す因子と思われる。Factor2はV、Niが高く、V/Ni比が2.7で、重油燃焼の一般的な値2.1~3.1²⁶⁾と近い。Factor3はSO₄²⁻・NH₄⁺で高く、二次生成された(NH₄)₂SO₄²⁻と考えられる。(NH₄)₂SO₄²⁻でのSO₄²⁻/NH₄⁺重量比は2.7となるが、ここでは2.87となっている。Factor4はZn、Fe、Pbなどの金属類が卓越しており、一般的には鉄鋼・石炭と見なされる、Factor5は、NO₃⁻、Cl⁻で高く、二次硝酸塩と考えられる。Factor6はOC、ECが顕著でバイオマスの燃焼によると想定した。バイオマスでのOC/EC比は2~4とされている²⁶⁾。ここでは4.7とやや高い。また、他の因子に比べECも高いことから、自動車排ガスもこの中に含まれると思われる。

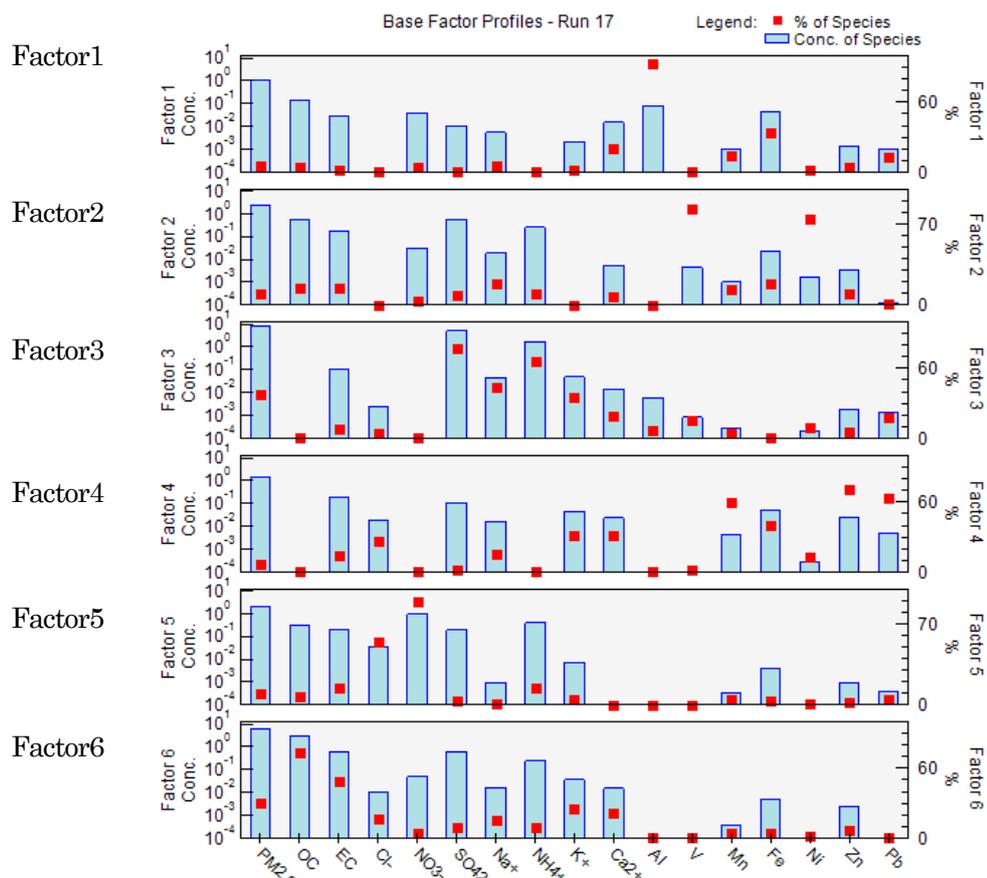


図6-3-1 PMF法による発生源プロファイル

図6-3-2には、すべてのサンプルを横軸にして、因子毎の寄与をグラフで示している。このうち、煙霧時で濃度が高くなった(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超)ケースを、図6-3-3に事例・地点別に構成グラフで示している。福岡での5月の事例や、関東での7月での事例などは、二次硫酸塩の影響が大きく出ている。一方、関東での1月の事例では二次硝酸塩の影響が強く出ているなど、事例によって寄与割合に大きな違いをみることができる。煙霧全体での平均発生源寄与は、図6-3-4に示す。

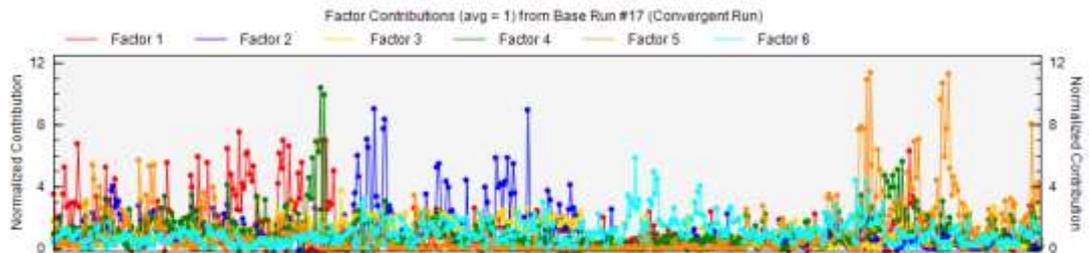


図6-3-2 PMF法による各因子の発生源寄与（横軸はサンプル毎）

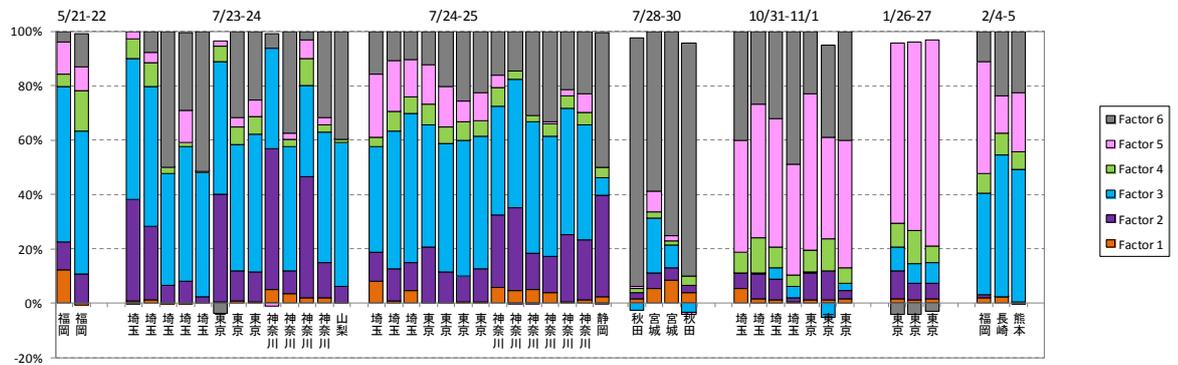


図6-3-3 日毎・地点毎の発生源寄与推定

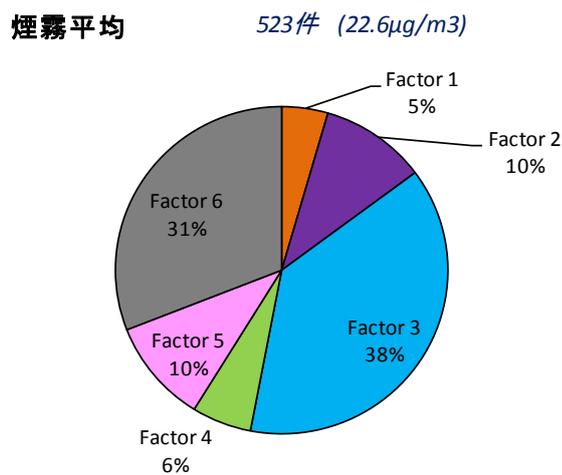


図6-3-4 煙霧時の平均発生源寄与推定割合

7. ライダー消散係数と SPM 濃度

7.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出

(1) 黄砂消散係数と SPM 濃度

ライダーによる観測では、気象台が観測した黄砂日（以下気象台黄砂日）でない日にも黄砂粒子の飛来を示唆するデータが見られることから、ライダー観測データによって得られる下層での黄砂消散係数と SPM 時間値との関係を使って黄砂を検出する方法^{18), 20), 24)}について、2014 年度データを検討した。

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~270m の 1 時間平均値（長崎、松江、富山）を算出したものと、ライダー設置地点に隣接する常時監視局での SPM 濃度時間値である。期間は、平成 26（2014）年度の 1 年間である。

気象台黄砂日における黄砂消散係数と SPM 濃度の関係

黄砂によって SPM 濃度が上昇した場合、ライダーにおける黄砂消散係数と SPM 濃度には、相関関係の存在が予想される。そこで、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、回帰式（傾き、切片）について、24 時間単位で計算を行った。その中から、次の条件に合致するものを抽出し、地点別に表 1-1 に示している。

- 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 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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

表 7-1-1 に、3 地点で抽出した日を示している。1 年間で、長崎 8 日、松江 5 日、富山 5 日となった。

表 7-1-1 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

長崎															
No.	年	月	日	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日	
1	2014	5	3	24	0.081	0.030	90	37	0.791	848	11.7	●			
2	2014	5	21	23	0.081	0.037	56	34	0.842	539	14.7	●			
3	2014	5	27	23	0.248	0.115	108	61	0.942	408	14	●	○	◎	
4	2014	6	2	23	0.173	0.043	64	37	0.606	315	23.2	●	○		
5	2015	1	10	24	0.065	0.042	52	39	0.632	361	23.9	●			
6	2015	1	11	24	0.153	0.056	86	34	0.787	422	10.1	●			
7	2015	3	22	23	0.239	0.158	152	95	0.757	585	2.8	●	○		
8	2015	3	23	22	0.115	0.057	61	21	0.872	490	-7	●	○	◎	
松江															
	年	月	日	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日	
1	2014	5	3	23	0.080	0.047	64	27	0.720	651	-3.7	●			
2	2014	5	30	17	0.188	0.142	52	32	0.952	477	-35.9	●	○	◎	
3	2014	6	1	24	0.167	0.134	73	39	0.630	304	-1.1	●	○	◎	
4	2015	2	15	23	0.054	0.030	69	37	0.656	1447	-5.4	●			
5	2015	3	22	24	0.275	0.126	53	30	0.832	138	12.6	●	○	◎	
富山															
	年	月	日	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日	
1	2014	5	27	22	0.165	0.072	71	35	0.676	311	12.4	●	○		
2	2014	5	28	24	0.132	0.076	79	45	0.842	453	10.3	●	○		
3	2014	6	1	23	0.096	0.059	70	54	0.647	361	32.9	●	○	◎	
4	2015	2	23	23	0.103	0.051	66	43	0.777	430	21.6	●	○	◎	
5	2015	2	24	24	0.231	0.157	91	60	0.772	368	2.2	●	○	◎	

単位) SPM : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、消散係数 : km^{-1}

7.2 ライダーによる黄砂検出比の状況

観測日以外でライダーによる黄砂日とされた日の後方流跡線を、長崎は図 7-2-1 に、松江は図 7-2-2 にそれぞれ示している。いずれも黄砂の飛来を予測させる流れを示している。

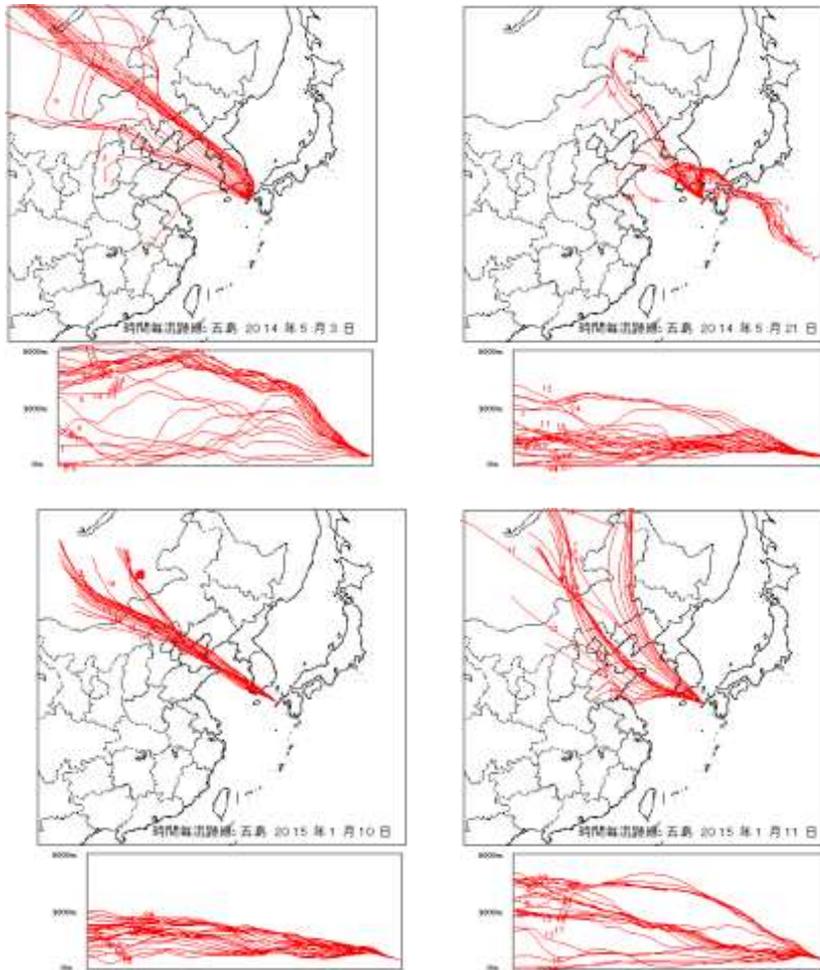


図 7-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の後方流跡線（五島）

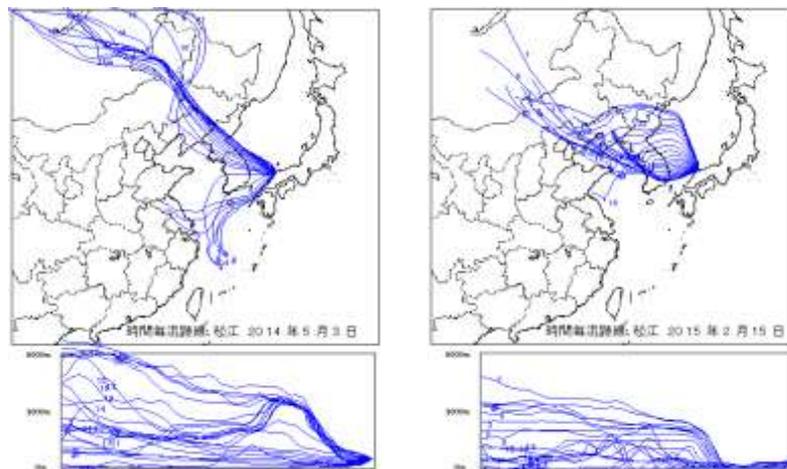


図 7-2-2 松江でのライダーによる黄砂検出時の後方流跡線

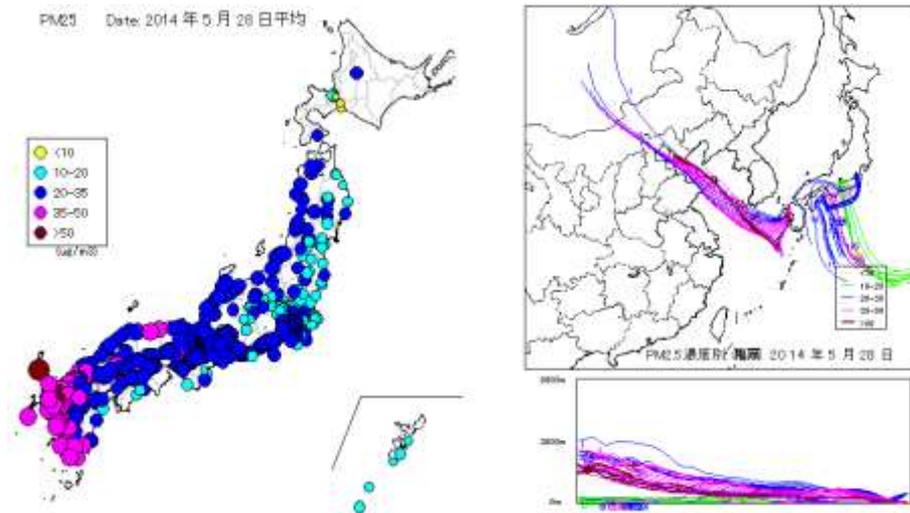
8. 後方流跡線とPM_{2.5}濃度

PM_{2.5}の高濃度と後方流跡線の関係を見るために、1時間毎の後方流跡線をPM_{2.5}時間値と対応して色分けして観察した。PM_{2.5}データの対象とした測定地点は、福岡は糸島局、東京は氷川局である。

黄砂時のPM_{2.5}上昇として、2014年5月28日、2015年3月22日の2例を図8-1に示す。PM_{2.5}濃度上昇地点の後方流跡線は、概ね大陸の内陸部と沿岸部の両方の気流の通過を示している。

煙霧時のPM_{2.5}上昇として、2014年7月23日と12月30日の2例を図8-2に示す。7月23日の関東地方を中心にPM_{2.5}が上昇し、後方流跡線は近い地域からのものになっている。一方12月30日の九州地方でのPM_{2.5}上昇は、中国沿岸部の影響であることを示している。

2014年5月28日



2015年3月22日

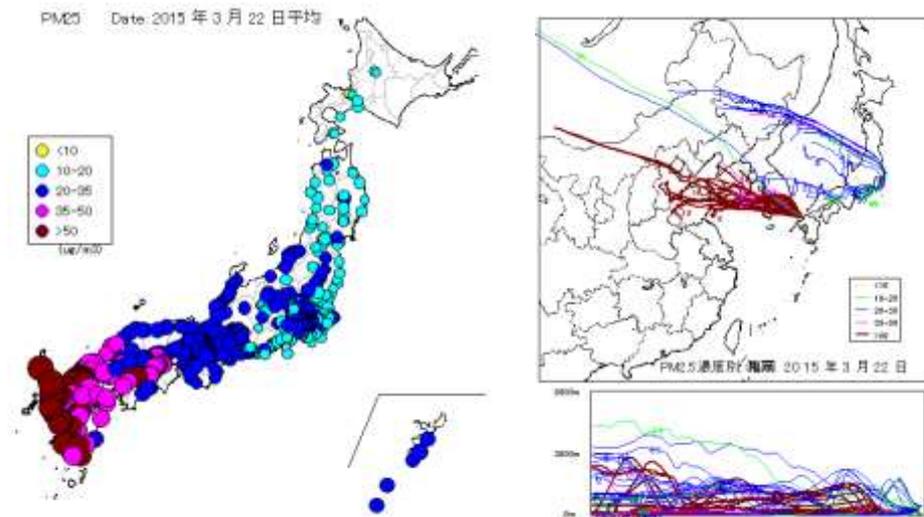
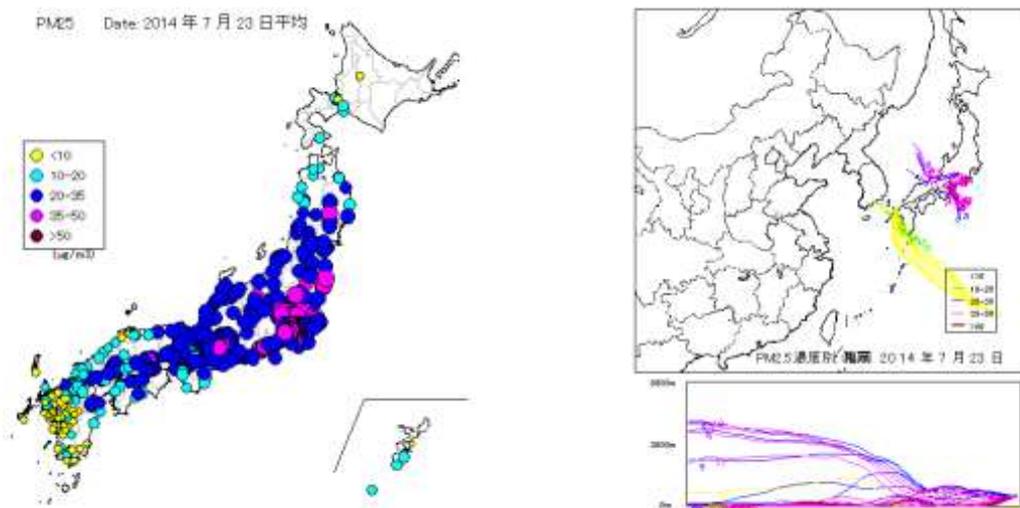


図8-1 黄砂時のPM_{2.5}全国分布と後方流跡線

2014年7月23日



2014年12月30日

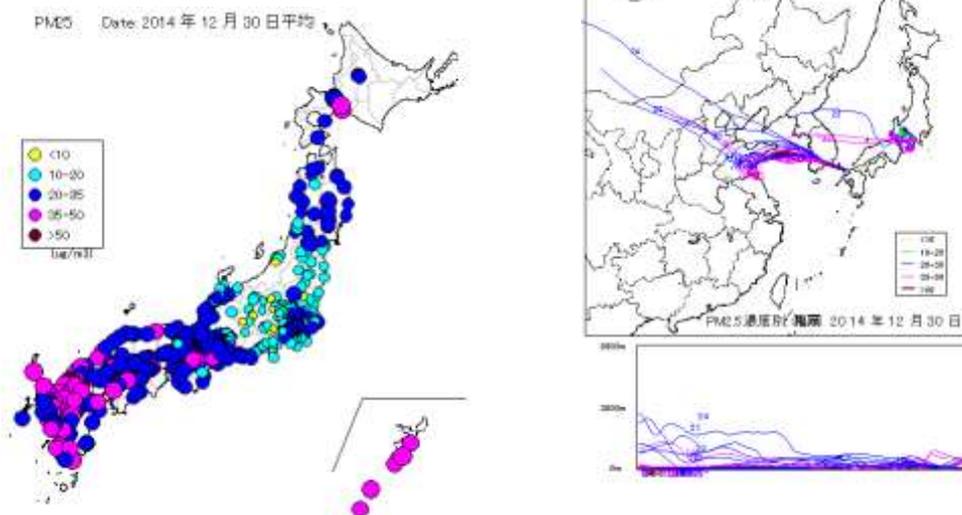


図8-2 煙霧時のPM_{2.5}全国分布と後方流跡線

9. 黄砂の分類

黄砂は、その発生状況や気流によって、日本へ飛来してくる際には様々な様相を呈し、健康へ与える影響も異なってくる事が考えられることから、個々の黄砂の特徴を明らかにすることは重要である。過去の黄砂事例を解析する過程で、黄砂を特徴づける要素について把握することが可能になってきた。ここでは、過去の事例解析をもとに、黄砂を分類する方法について検討を行った。

分類の主要な目的は、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である。解析対象は気象台で観測された黄砂が中心となるが、黄砂と同様に視程の悪化を招き、さらに中国大陸からの越境汚染の影響も懸念される煙霧も加えた。

黄砂の要素として収集するのは次の9項目である。この中で、青字は定性的に分類するもの、赤字は定量的に分類できるものを示している。

- ①気圧配置、 ②砂塵嵐の発生、 ③後方流跡線の軌跡、 ④CFORS (dust) による予測、
- ⑤黄砂観測地点、 ⑥ライダー黄砂消散係数、 ⑦SPM 濃度の地域の上昇
- ⑧SPM 最大濃度、 ⑨PM_{2.5}/SPM 比

大気汚染の要素としては、次の5項目で、これらの項目は大気汚染の強度を判断する指標とする。

- ①煙霧観測地点、 ②硫酸イオン濃度、 ③PM_{2.5}/SPM 比、 ④後方流跡線の軌跡
- ⑤CFORS (sulfate) の予測

これらの要素について、定性的な項目については、◎、○、△、×の4段階に、定量的要素は7段階に分けて点数化する。以下、それぞれの判断基準について項目毎に詳述する。

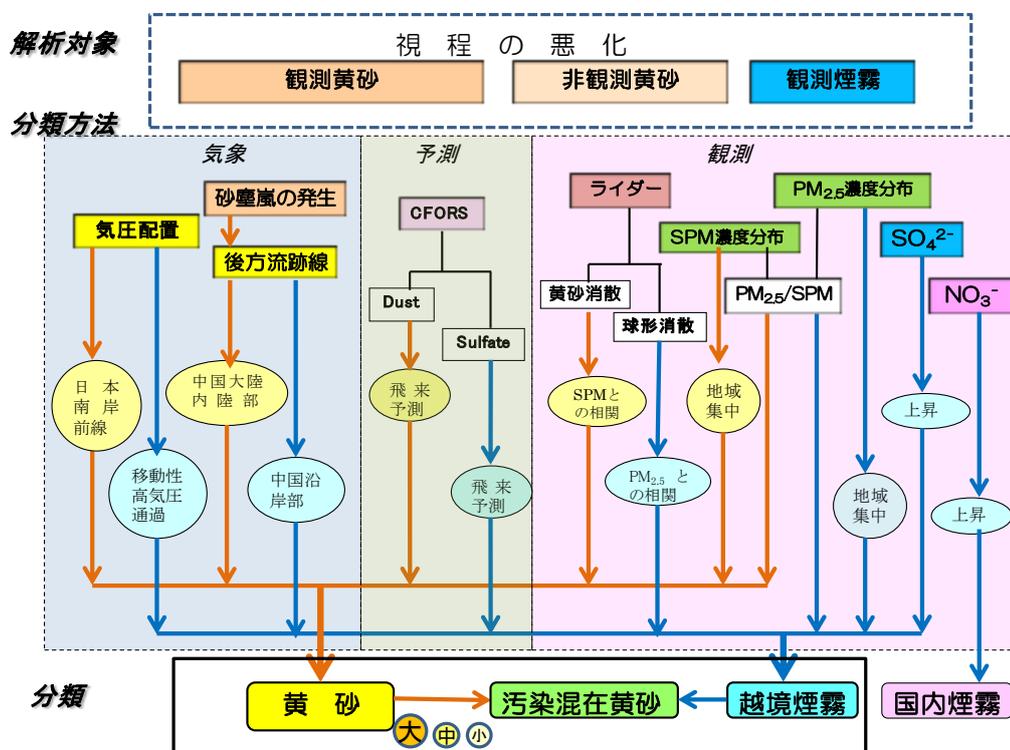


図 9-1 黄砂分類の手順

9.1 黄砂要素項目

① 気圧配置

黄砂が日本に飛来してくる場合の気圧配置は、中国黄土地帯で発生した低気圧が西進し、日本の東岸もしくは南岸付近には前線がある場合が多い。これは、黄土地帯で低気圧によって高くまで巻き上げられた（～3000m）砂塵が、偏西風によって東に進み、日本付近の前線の影響により降下してくることによると思われる。

図 9-1-1 の左は、大きな黄砂が観測された事例（2007/4/2 : 53 地点）を示している。中央の 2009/10/19 の事例は、低気圧、前線ともにみられているが黄砂観測は 6 地点と少ないケースで、逆に 2012/4/23 の事例では、前線はみられていないが黄砂観測は 22 地点と多いケースになる。

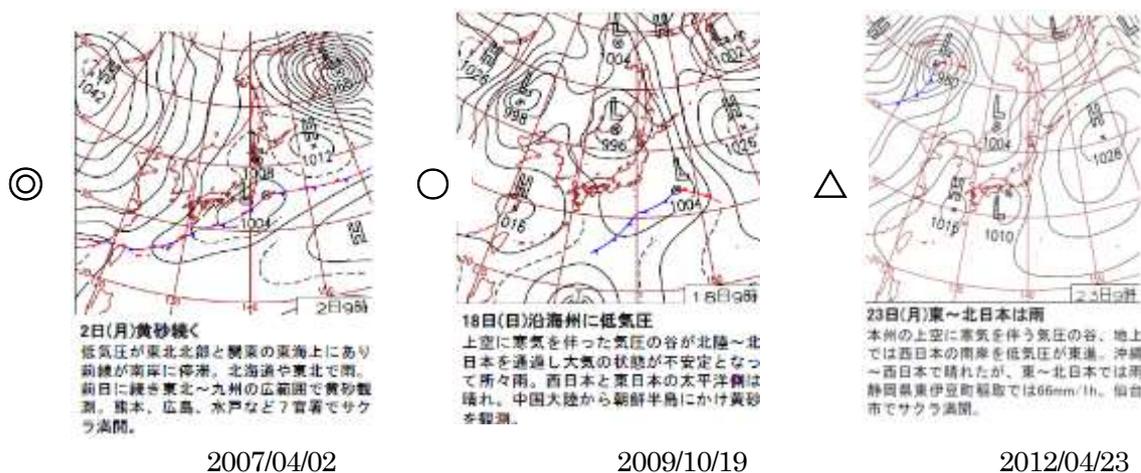


図 9-1-1 気圧配置の分類例

② 砂塵嵐の発生

世界気象資料から砂塵嵐の観測状況を見ると、日本での黄砂観測 1～2 日前に、モンゴル南部から内モンゴルを中心に、その発生がみられるケースが多い。日本へ影響を及ぼしている黄砂は、モンゴル南部から内モンゴルに広がるゴビ砂漠、バダインシャラン砂漠での発生が多いようである。過去 10 年間に日本国内 30 地点以上で黄砂が観測された 17 事例のうち 16 事例では、この地域において砂塵嵐が広い範囲で観測されている。

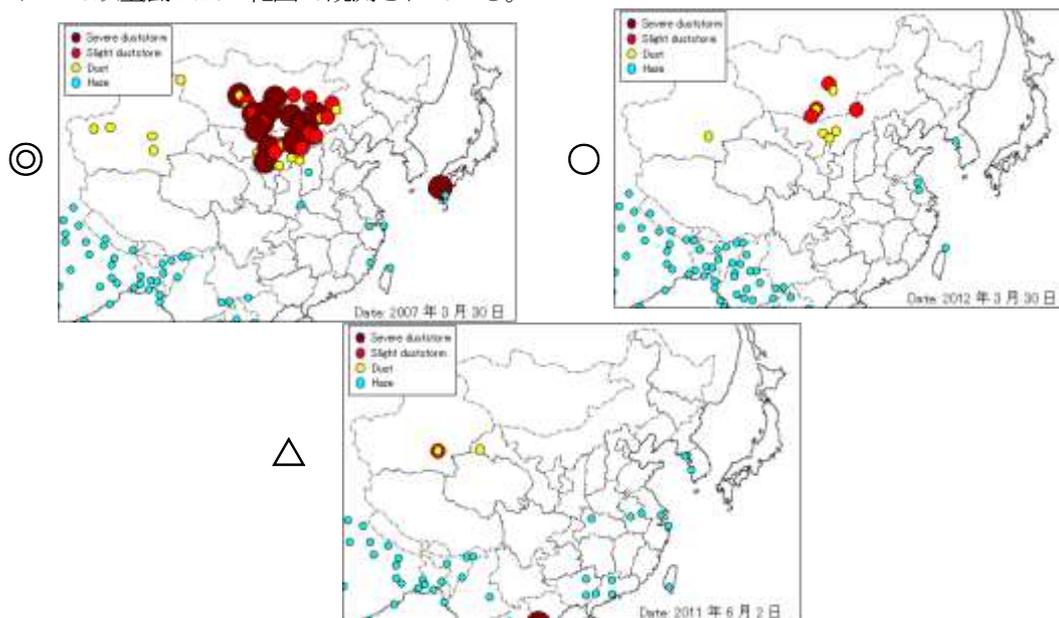


図 9-1-2 砂塵嵐発生状況の分類例

③後方流跡線の軌跡

主に砂塵嵐が観測されているモンゴル南部から内モンゴルにかけての地域から後方流跡線が延びている場合に、日本への影響が強く出ている。過去 10 年間に日本国内 30 地点以上で黄砂が観測された 17 事例のうち、14 事例ではこの地域からの後方流跡線の軌跡となっている。

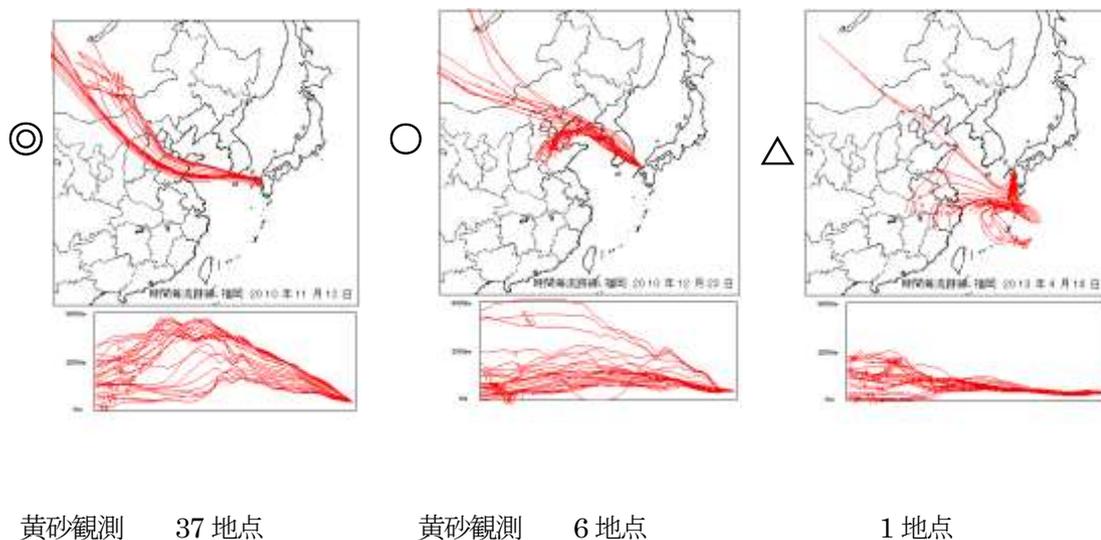


図 9-1-3 後方流跡線軌跡の分類例

④黄砂観測地点

黄砂を観測した气象台の数を、7 段階に分類する。

30 以上=6、20~30=5、15~20=4、10~15=3、5~10=2、1~5=1、なし=0

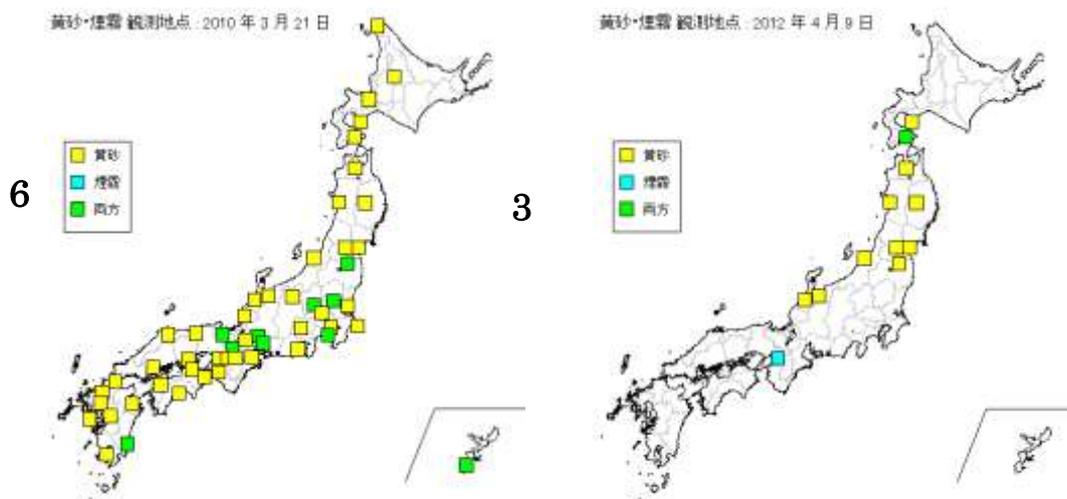


図 9-1-4 黄砂観測地点の表示例

⑤CFORS (dust)による予測

黄砂の予測システムであるCFORS (dust)での予測図を4段階に分ける。

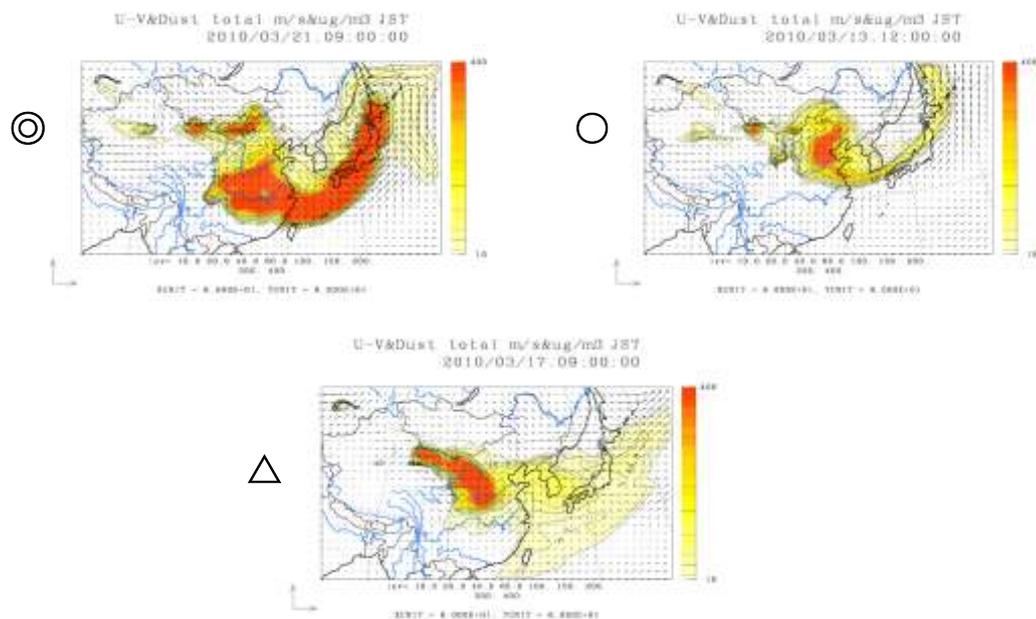


図 9-1-5 CFORS (dust) 予測の分類例

⑥SPM 濃度の地域の上昇

黄砂が飛来してきた地域では、SPM 濃度が集中的に上昇する。その広さ、濃度の高さは事例によって異なり、黄砂の大きさを示す指標となる。全国地図での SPM 高濃度の分布の様子から、4 段階に分類する

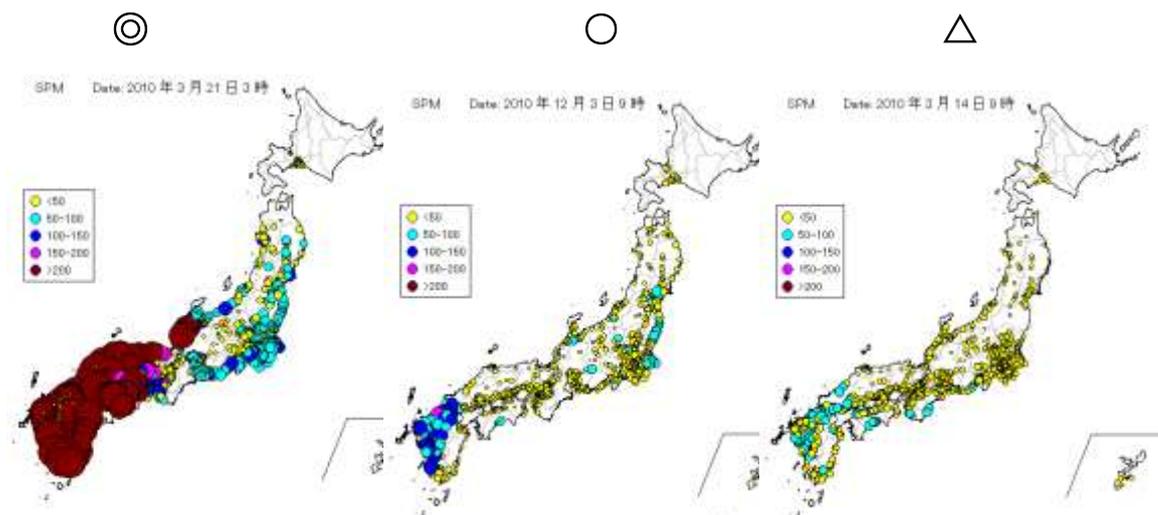


図 9-1-6 SPM 濃度全国分布の分類例

⑦SPM 最大濃度

SPM 濃度は高濃度の集中的な分布とともに、濃度の大きさは黄砂の強度を示す指標となる。図 9-1-7 は、黄砂日とそれ以外の日の 2009 年度の SPM 濃度の頻度分布である。黄砂の場合は $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超すような高濃度を示すケースもしばしば観測される。SPM 最大濃度については、7 段階に分類する。

300 以上=6、200~300=5、150~200=4、100~150=3、75~100=2、50~75=1、50 以下=0

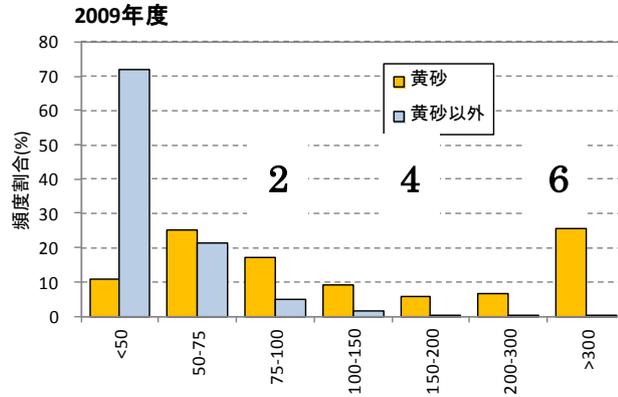


図 9-1-7 SPM 最大濃度の頻度分布

⑧PM_{2.5}/SPM 比

黄砂は砂塵の飛来が中心となるため、一般的には PM_{2.5}/SPM 比は低くなる傾向にある (図 9-1-8)。黄砂時で SPM 濃度が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の日・測定局を抽出して、PM_{2.5}/SPM の平均値の頻度分布を示すと 9-1-9 になる。図 9-1-10 は、地域的に広く比が低い状況であることを示している。PM_{2.5}/SPM 比を 7 段階に分類する。

0.9 以上=0、0.8~0.9=1、0.7~0.8=2、0.6~0.7=3、0.5~0.6=4、0.4~0.5=5、0.4 以下=6

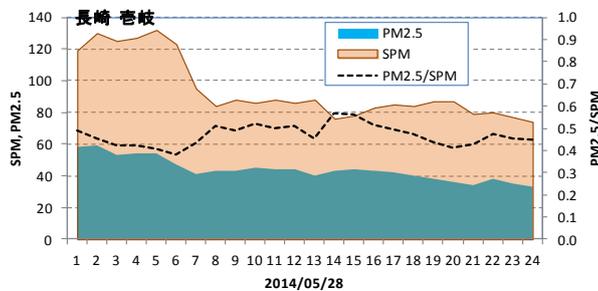


図 9-1-8 黄砂時の PM_{2.5}/SPM の経時変化

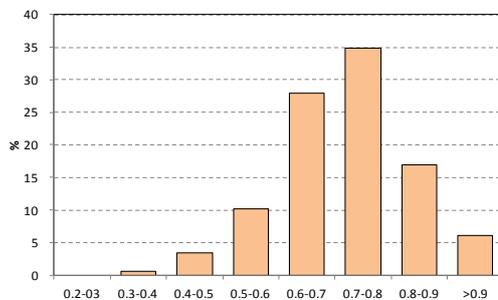


図 9-1-9 黄砂時の PM_{2.5}/SPM 比の頻度分布

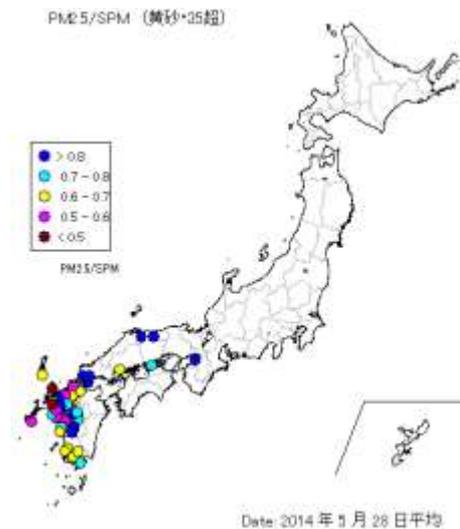


図 9-1-10 黄砂・高濃度日の PM_{2.5}/SPM の地域分布

⑨ライダー黄砂消散係数

ライダー黄砂消散係数は非球形粒子の存在を示し、SPM 濃度との関連も大きい(図 9-1-11、図 9-1-12)。黄砂消散係数は、気象の影響を受けて高い数値を示すことがあるため、その数値のみで判断することは難しい。ここでは、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係が、相関係数 0.6 以上、SPM 濃度 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上(日最大値)、黄砂消散係数 0.05/km 以上(日最大値)などの値を目安に、4 段階に分類する。

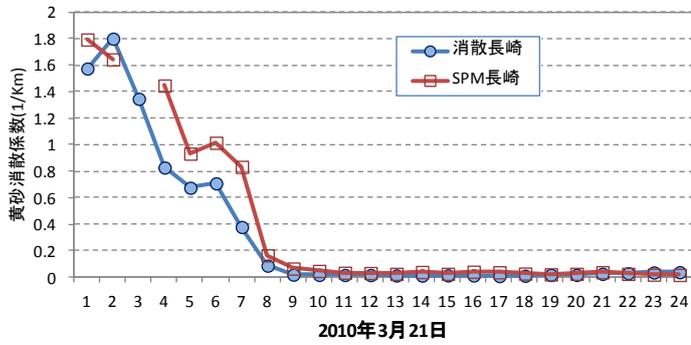


図 9-1-11 黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

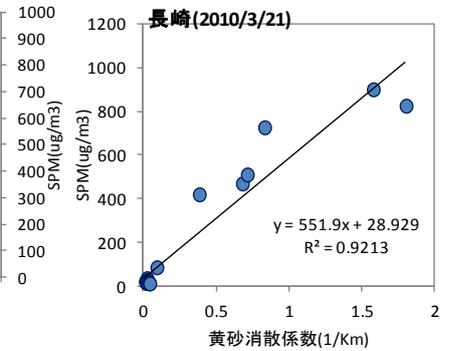


図 9-1-12 黄砂消散係数と SPM の相関

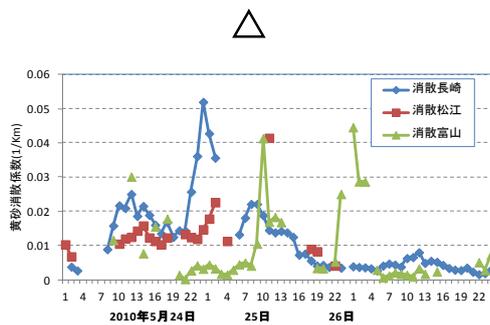
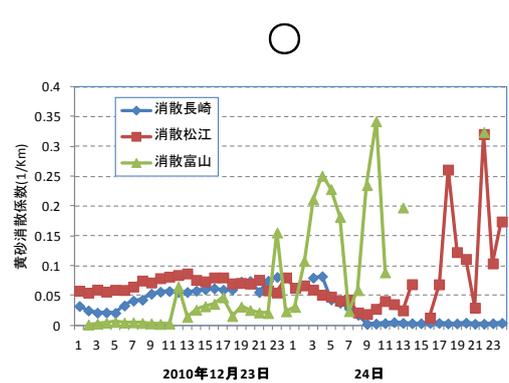
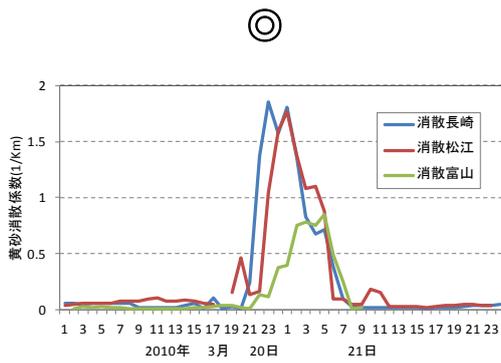


図 9-1-13 黄砂消散係数の分類例

(2) 大気汚染要素項目

PM_{2.5}を含む大気汚染物質の大陸からの飛来は、煙霧の形で観測される場合が多い。また、視程の低下という現象は黄砂と類似しており、黄砂における大気汚染物質の混在を考える場合、煙霧についても把握しておく必要がある。ここでは、黄砂観測時に、硫酸エアロゾルを中心とした汚染物質が同時飛来しているか否かを中心に検討した。

① 煙霧観測地点

煙霧を観測した気象台の数を、7段階に分類する。

30以上=6、20~30=5、15~20=4、10~15=3、5~10=2、1~5=1、なし=0

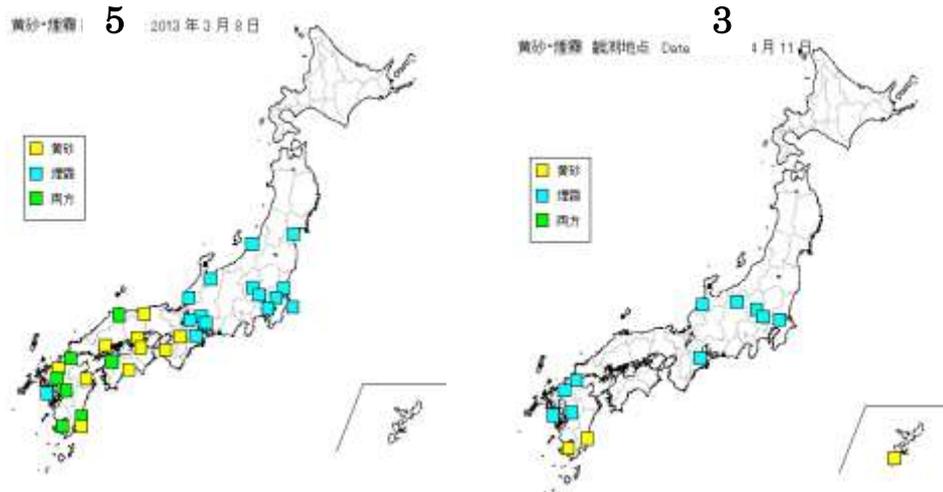


図9-2-1 煙霧観測地点の表示例

② 後方流跡線の軌跡

煙霧観測時には、後方流跡線は中国沿岸部からの軌跡が多い。この地域の集中する工業地帯の影響と思われ、黄砂の場合の軌跡とは異なっている。後方流跡線の軌跡を4段階に分ける。

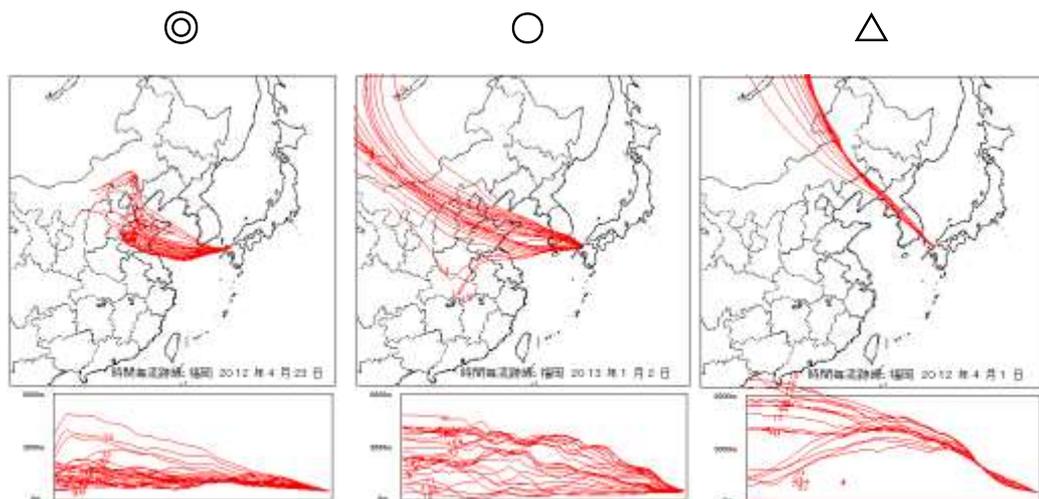


図9-2-2 後方流跡線の分類例

③硫酸イオン濃度

硫酸イオン濃度の上昇は、大陸からの汚染物質の越境の重要な指標となる。これは、中国が日本より二酸化硫黄濃度が高く、二次生成粒子として寿命の長い硫酸イオンを高濃度で生成していると考えられるからである。

図 9-2-3 に、硫酸イオン濃度の日平均、黄砂日、煙霧日に分けた頻度分布を示している。この図から、煙霧日に濃度が高いこと、また、黄砂日にも高い濃度がみられることが分かる。硫酸イオン濃度を7段階に分ける。

30以上=6、25～30=5、20～25=4、15～20=3、10～15=2、5～10=1、5以下=0

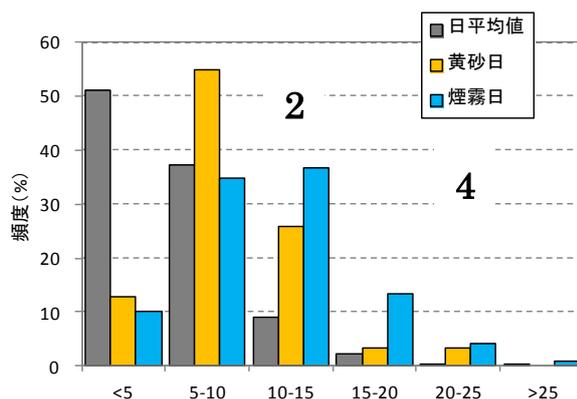


図 9-2-3 硫酸イオン濃度の日平均、黄砂日、煙霧日の頻度分

④PM_{2.5}/SPM 比

煙霧は微粒子である PM_{2.5} の値が高くなり、SPM との比でもその割合が高くなると思われる。図 9-2-4 に、煙霧時の PM_{2.5}/SPM 比を示している。煙霧時で PM_{2.5} 濃度が 20μg/m³ 以上の日・測定局を抽出して、PM_{2.5}/SPM の平均値の頻度分布を示すと図 9-2-5 になる。ここでは、PM_{2.5}/SPM 比を7段階に分類する。

0.9以上=6、0.8～0.9=5、0.7～0.8=4、0.6～0.7=3、0.5～0.6=2、0.4～0.5=1、0.4以下=0

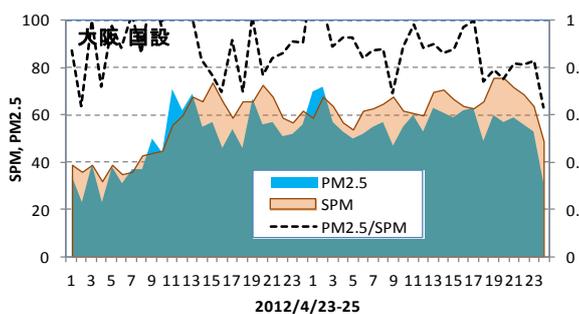


図 9-2-4 煙霧時の PM_{2.5}/SPM の経時変化

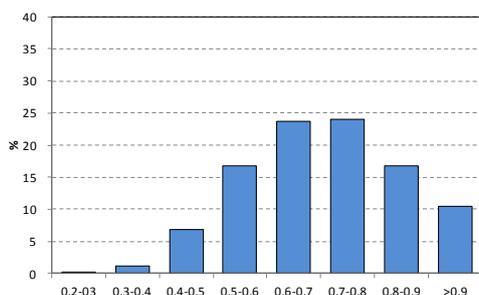


図 9-2-5 煙霧時の PM_{2.5}/SPM 比の頻度分布

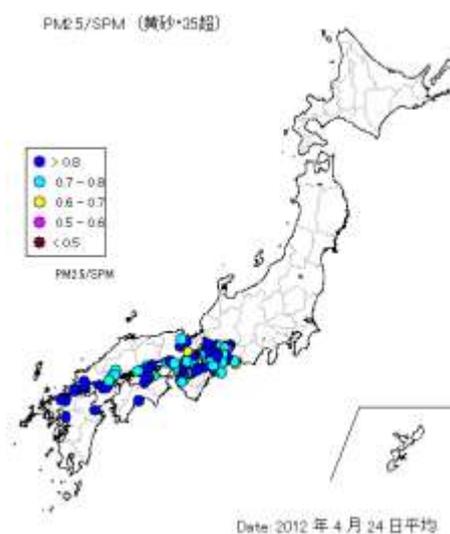


図 9-2-6 煙霧・高濃度日の PM_{2.5}/SPM の地域分布

⑤CFORS(sulfate)の予測

硫酸エアロゾルの予測システムである CFORS(sulfate)での予測図を4段階に分ける。

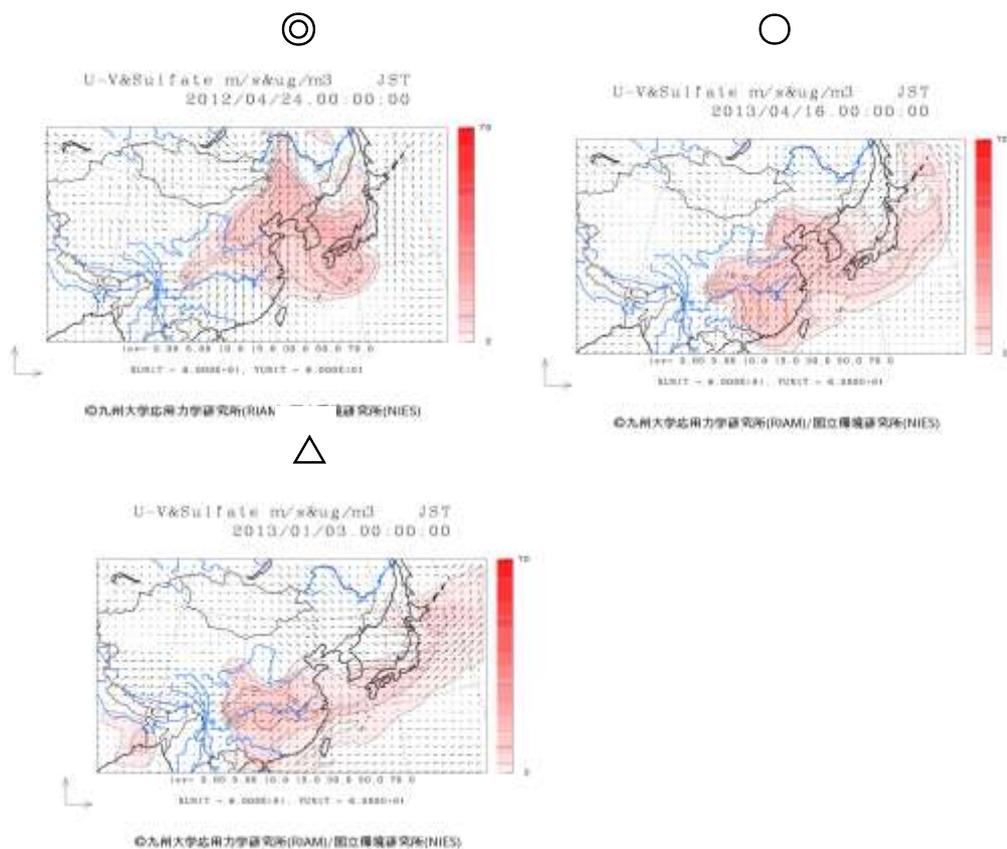


図 9-2-7 CFORS(sulfate) 予測の分類例

(3) 分類項目の点数化とその表示

表9-3-1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7項目について、それぞれ満点を6として点数化する。2009～2014年度の38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。これらの結果を表9-3-2に示す。併せて、過去に各事例を分類した判断を右端に示している。黄砂関連項目の合計値と混在関連項目の合計値を、事例毎に図9-3-1に示している。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る。また、各事例を過去の分類での単純黄砂・混在黄砂に分けて、横軸を黄砂点数、縦軸を混在点数として図9-3-2に分布を示している。

黄砂の判定は、非黄砂時が黄砂指数16.7%であることから、少なくとも20%以上が適当であり、最低は2013/3/16の24.1%である。

混在であることの判定は、単純黄砂での混在指数平均値は34.8%、混在黄砂は55.6%となる。基準を45%とすると、過去の判断から外れるのは単純黄砂で15事例中2事例、混在では22事例中5事例となり、概ね基準の目安となると思われる。

さらに、個々の事例での特徴を明らかにするために、事例毎にチャートを作成した。この図から、黄砂の明確さとその特徴がわかり、また混在の程度も比較・対照できる。

表9-3-1 各項目の点数化一覧表

項目名	6	5	4	3	2	1	0
P_地点数	>30	20-30	15-20	10-15	5-10	0-5	0
P_SPM濃度	>300	200-300	150-200	100-150	50-100	0-50	0
P_PM2.5/SPM	<0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	>0.9
P_煙霧地点数	>30	20-30	15-20	10-15	5-10	0-5	0
P_PM2.5/SPM混	>0.9	0.8-0.9	0.7-0.8	0.6-0.7	0.5-0.6	0.4-0.5	<0.4
P_硫酸イオン	>30	25-30	20-25	15-20	10-15	5-10	0
	6		4		2		0
P_気圧配置	◎		○		△		×
P_砂塵嵐	◎		○		△		×
P_後方流跡線	◎		○		△		×
P_SPM分布	◎		○		△		×
P_CFORS(d)	◎		○		△		×
P_ライター係数	◎		○		△		×
P_CFORS(s)	◎		○		△		×

表 9-3-2 各黄砂事例の評価点

No.	事例		評価																	評価点										総合評価					
			黄砂関連							煙霧関連				黄砂関連						煙霧関連				黄砂点数	混在点数	黄砂指数(%)	黄砂/混在	過去報告書評価							
			気圧配置	砂塵嵐	後方流跡線	CFORS(d)	黄砂地点数	ライダー係数	SPM濃度	SPM分布	PM2.5/SPM	煙霧地点数	後方流跡線混	CFORS(s)	硫酸イオン	気圧配置	砂塵嵐	後方流跡線	CFORS(S(d))	黄砂地点数	ライダー係数	SPM分布	SPM濃度						PM2.5/SPM	煙霧地点数	硫酸イオン	PM2.5/SPM混	後方流跡線混	CFORS(S(g))	
1	20090425-26	◎	◎	◎	◎	9	◎	400	◎	0.4	0	○	△	8	6	6	6	6	6	6	6	5	0	1	1	4	2	49	8	90.7	26.7	3.40	単純黄砂		
2	20090508	△	○	△	○	2	△	80	◎	0.8	0	△	○	25	2	4	2	4	1	2	6	2	1	0	5	4	2	4	23	11	42.6	36.7	1.16	混在黄砂	
3	20090604-05	◎	×	×	△	0	×	50	×	0.8	4	×	△	9.4	6	0	0	2	0	0	0	1	1	1	1	4	0	2	9	10	16.7	33.3	0.50	なし	
4	20091019-22	○	○	○	◎	6	◎	90	◎	0.4	3	○	△	15	4	4	6	6	2	6	6	2	5	1	3	1	4	2	41	11	75.9	36.7	2.07	混在黄砂	
5	20091226-27	◎	◎	◎	◎	29	◎	70	◎	0.3	16	◎	◎	22	6	6	4	0	5	6	6	1	6	4	4	0	6	6	40	20	74.1	66.7	1.11	混在黄砂	
6	20100313-14	◎	◎	◎	◎	14	○	67	△	0.5	3	◎	○	13	6	6	6	4	3	4	2	1	4	1	2	2	6	4	36	15	66.7	50.0	1.33	混在黄砂	
7	20100316-17	◎	◎	◎	◎	27	◎	120	◎	0.37	3	◎	△	9	6	4	6	6	5	6	6	3	6	1	1	0	4	2	48	8	88.9	26.7	3.33	単純黄砂	
8	20100320-24	◎	◎	◎	◎	63	◎	900	◎	0.26	13	◎	◎	19.6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	0	6	4	54	16	100	53.3	1.88	混在黄砂	
9	20100402-03	◎	◎	◎	◎	9	◎	75	◎	0.61	1	○	△	7.3	6	6	6	4	2	6	4	2	3	1	1	3	4	2	39	11	72.2	36.7	1.97	単純黄砂	
10	20100427-0501	◎	◎	◎	◎	23	◎	108	○	0.51	3	○	△	13	6	6	6	6	5	6	6	4	3	4	1	2	2	4	2	46	11	85.2	36.7	2.32	混在黄砂
11	20100503-06	△	○	△	○	32	◎	70	◎	0.52	5	△	○	10.7	2	4	2	4	6	6	6	1	4	2	2	2	2	4	35	10	64.8	33.3	1.94	単純黄砂	
12	20100509	△	○	△	◎	3	◎	66	○	0.74	0	○	○	6.8	4	4	4	6	1	6	4	1	2	0	1	4	4	4	32	13	59.3	43.3	1.37	単純黄砂	
13	20100511-12	○	○	△	◎	3	◎	50	△	0.53	1	△	△	6.4	4	4	2	6	1	6	2	1	4	1	1	2	2	2	30	8	55.6	26.7	2.08	単純黄砂	
14	20100520-22	◎	◎	△	◎	24	◎	100	◎	0.71	15	◎	◎	22	6	6	2	6	5	6	6	3	2	4	4	4	6	4	42	22	77.8	73.3	1.06	混在黄砂	
15	20100524-26	◎	◎	△	◎	21	◎	100	◎	0.61	11	◎	◎	22	6	6	2	4	5	6	6	3	3	3	4	3	6	4	41	20	75.9	66.7	1.14	混在黄砂	
16	20101112-15	◎	◎	◎	◎	37	◎	220	◎	0.35	10	◎	◎	22	6	6	6	6	6	6	6	5	6	3	2	0	6	4	53	15	98.1	50.0	1.96	混在黄砂	
17	20101203-05	◎	◎	◎	◎	30	◎	160	◎	0.4	1	○	○	18	6	4	6	4	6	4	6	4	5	1	3	1	4	4	45	13	83.3	43.3	1.92	混在黄砂	
18	20101211-12	◎	◎	◎	◎	13	◎	120	◎	0.44	1	○	△	6.1	6	4	6	4	3	6	4	3	5	1	1	1	4	2	41	9	75.9	30.0	2.53	単純黄砂	
19	20101223-24	○	○	○	△	6	◎	100	◎	0.46	4	◎	◎	11.2	4	4	4	2	2	6	6	3	5	1	2	1	6	4	36	14	66.7	46.7	1.43	混在黄砂	
20	20110410-12	◎	◎	◎	◎	7	◎	80	◎	0.7	11	◎	◎	12	6	6	4	4	2	4	4	2	2	3	2	4	6	4	34	19	63.0	63.3	0.99	混在黄砂	
21	20110501-05	◎	◎	◎	◎	43	◎	300	◎	0.45	10	◎	△	10	6	6	6	6	6	6	6	6	5	3	2	1	6	2	53	14	98.1	46.7	2.10	単純黄砂	
22	20110513-14	◎	◎	◎	◎	39	◎	180	◎	0.48	2	○	△	10	6	6	6	6	6	6	6	4	5	1	2	1	4	2	51	10	94.4	33.3	2.83	単純黄砂	
23	20110516	△	○	○	○	1	○	70	◎	0.6	3	◎	◎	19	2	4	4	4	1	4	4	1	3	1	3	3	6	4	27	17	50.0	56.7	0.88	混在黄砂	
24	20110604	△	△	×	○	2	◎	55	◎	0.8	14	×	○	15	2	2	0	4	1	4	4	1	1	3	3	5	0	4	19	15	35.2	50.0	0.70	混在黄砂	
25	20120401-03	◎	◎	◎	◎	7	◎	50	◎	0.5	3	△	△	9	6	4	6	4	2	4	4	1	4	1	1	2	2	2	35	8	64.8	26.7	2.43	単純黄砂	
26	20120409-10	△	◎	◎	◎	11	◎	60	◎	0.7	11	◎	△	13	2	6	6	2	3	6	4	1	2	3	2	4	6	2	32	17	59.3	56.7	1.05	混在黄砂	
27	20120423-25	△	△	◎	◎	22	◎	100	◎	0.7	17	◎	◎	26	2	6	6	4	5	4	6	3	2	4	5	4	6	6	38	25	70.4	83.3	0.84	混在黄砂	
28	20120516-17	◎	△	◎	◎	3	◎	70	◎	0.8	4	◎	◎	16	6	2	6	6	1	6	4	1	1	1	3	5	6	4	33	19	61.1	63.3	0.96	混在黄砂	
29	20121204	◎	◎	◎	◎	1	◎	70	◎	0.6	1	○	△	13.5	6	4	6	4	1	4	4	1	3	1	2	3	4	2	33	12	61.1	40.0	1.53	単純黄砂	
30	20130102-03	◎	◎	△	◎	2	◎	75	△	0.58	2	◎	△	7.8	4	2	6	2	1	4	2	2	4	1	1	2	4	2	27	10	50.0	33.3	1.50	単純黄砂	
31	20130301	◎	◎	×	×	1	△	70	×	0.88	6	○	△	8.7	6	6	0	0	1	2	0	1	1	2	1	5	4	2	17	14	31.5	46.7	0.67	単純黄砂	
32	20130308-11	◎	◎	◎	◎	31	◎	110	◎	0.88	22	◎	◎	16.8	6	6	6	4	6	6	6	3	1	5	3	5	4	4	44	21	81.5	70.0	1.16	混在黄砂	
33	20130316	△	△	△	×	1	◎	45	△	0.9	5	△	△	4.7	2	2	2	0	1	4	2	0	0	2	0	6	2	2	13	12	24.1	40.0	0.60	混在黄砂	
34	20140526-0601	◎	◎	◎	◎	36	◎	120	◎	0.7	8	◎	△	15	6	4	4	6	6	6	4	3	2	2	3	4	4	4	41	17	75.9	56.7	1.34	混在黄砂	
35	20150222-25	◎	◎	◎	×	20	◎	100	◎	0.55	8	◎	△	9	6	6	6	0	5	6	4	3	4	2	1	2	4	2	40	11	74.1	36.7	2.02	単純黄砂	
36	20150302	◎	△	◎	◎	1	◎	50	◎	0.6	1	△	△	9.8	4	2	4	4	1	4	4	1	3	1	1	3	2	4	27	11	50.0	36.0	1.36	単純黄砂	
37	20150322-23	△	◎	◎	△	23	◎	100	◎	0.6	6	◎	◎	35	2	4	4	4	5	6	6	3	3	2	6	3	6	6	37	23	68.5	76.7	0.89	混在黄砂	
38	20150328-30	○	○	○	○	2	○	80	○	0.5	5	△	△	14	4	4	4	4	1	4	4	2	4	2	2	2	2	6	31	14	57.4	46.7	1.23	混在黄砂	

65

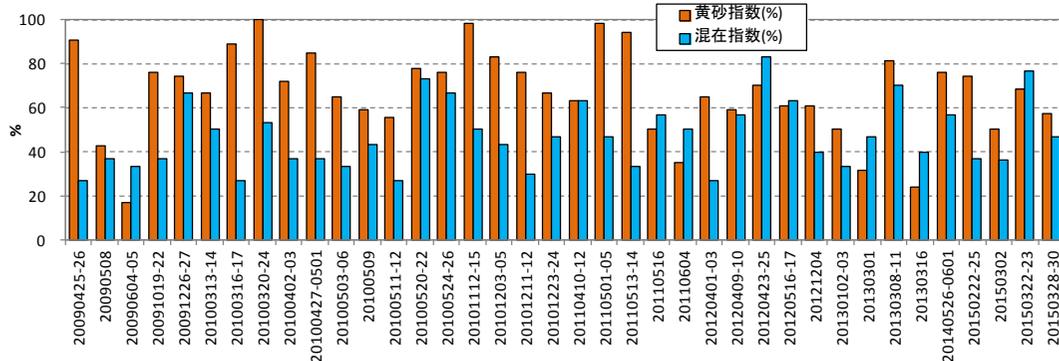


図 9-3-1 各事例毎の黄砂・混在の評価指数

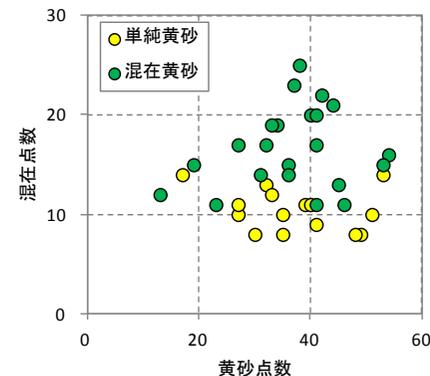


図 9-3-2 事例毎の黄砂点数と混在点数の分布

事例の中で、特徴が明確なチャートのうち、単純黄砂の事例を図 9-3-3 に、混在黄砂の事例を図 9-3-4 に示す。単純黄砂事例では、黄砂の評価点は満点に近く、混在の要素は低い。混在黄砂とみられるものは、混在要素の点数が高く、黄砂要素は高くなっている。煙霧単独の事例を図 9-3-5 に示している。一方、黄砂飛来と予想されたが、全くその兆候がなかった事例が図 9-3-6 であり、その点数は非常に低い。また、気象台の黄砂観測はなかったが、ライダー黄砂消散係数をもとに黄砂として検出された事例が図 9-3-7 である。黄砂地点数以外は高い評価になっている。

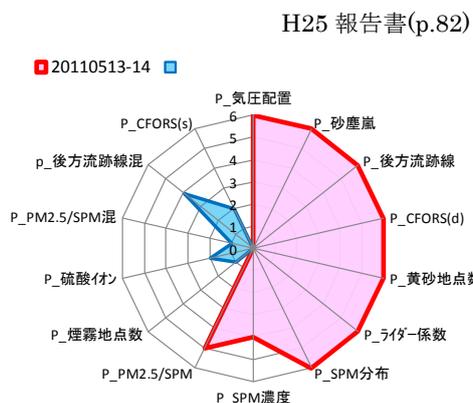


図 9-3-3 単独黄砂と評価される事例

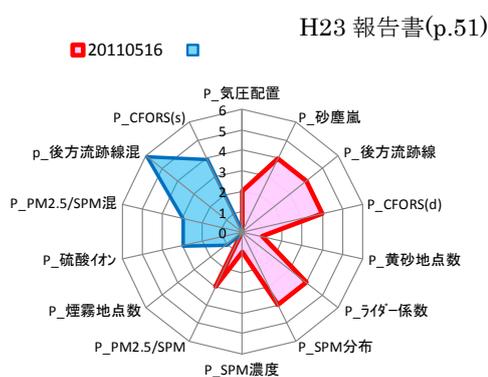


図 9-3-4 混在黄砂と評価される事例

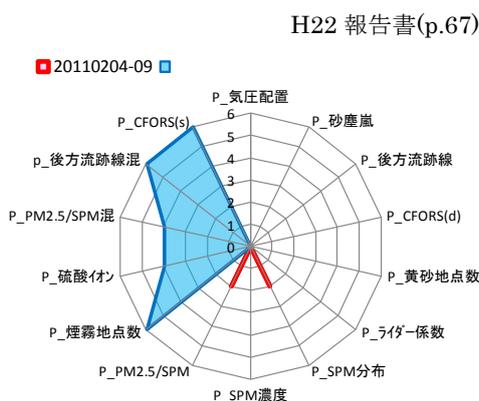


図 9-3-5 大規模煙霧の事例

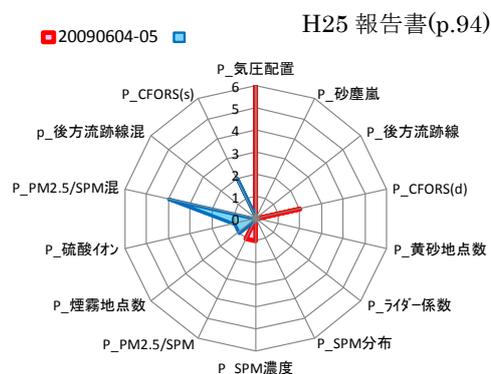


図 9-3-6 非黄砂・非混在の事例

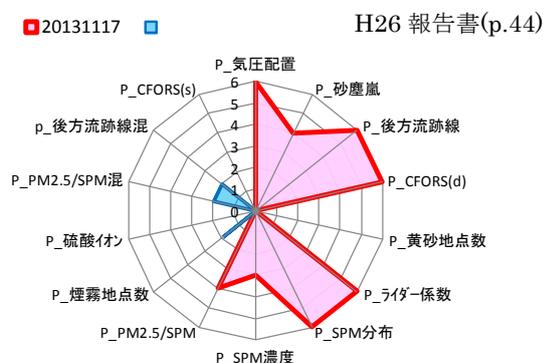


図 9-3-7 ライダー検出黄砂(長崎) の事例

2014年度の黄砂について、同様の方法で各事例の評価指数（図 9-3-8）とチャート（図 9-3-9）を作成した。

黄砂の指数が高かったのは、5月26～6月1日、2月22～25日、3月22～23日の事例である。混在の影響が大きいのは3月22～23日や5月26～6月1日と推察された。

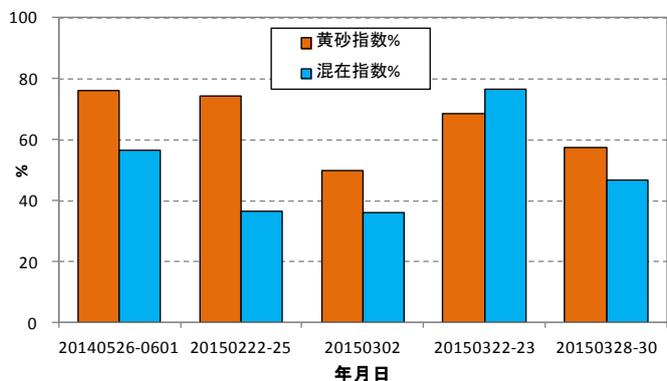


図 9-3-8 2014年度黄砂の事例毎の評価指数

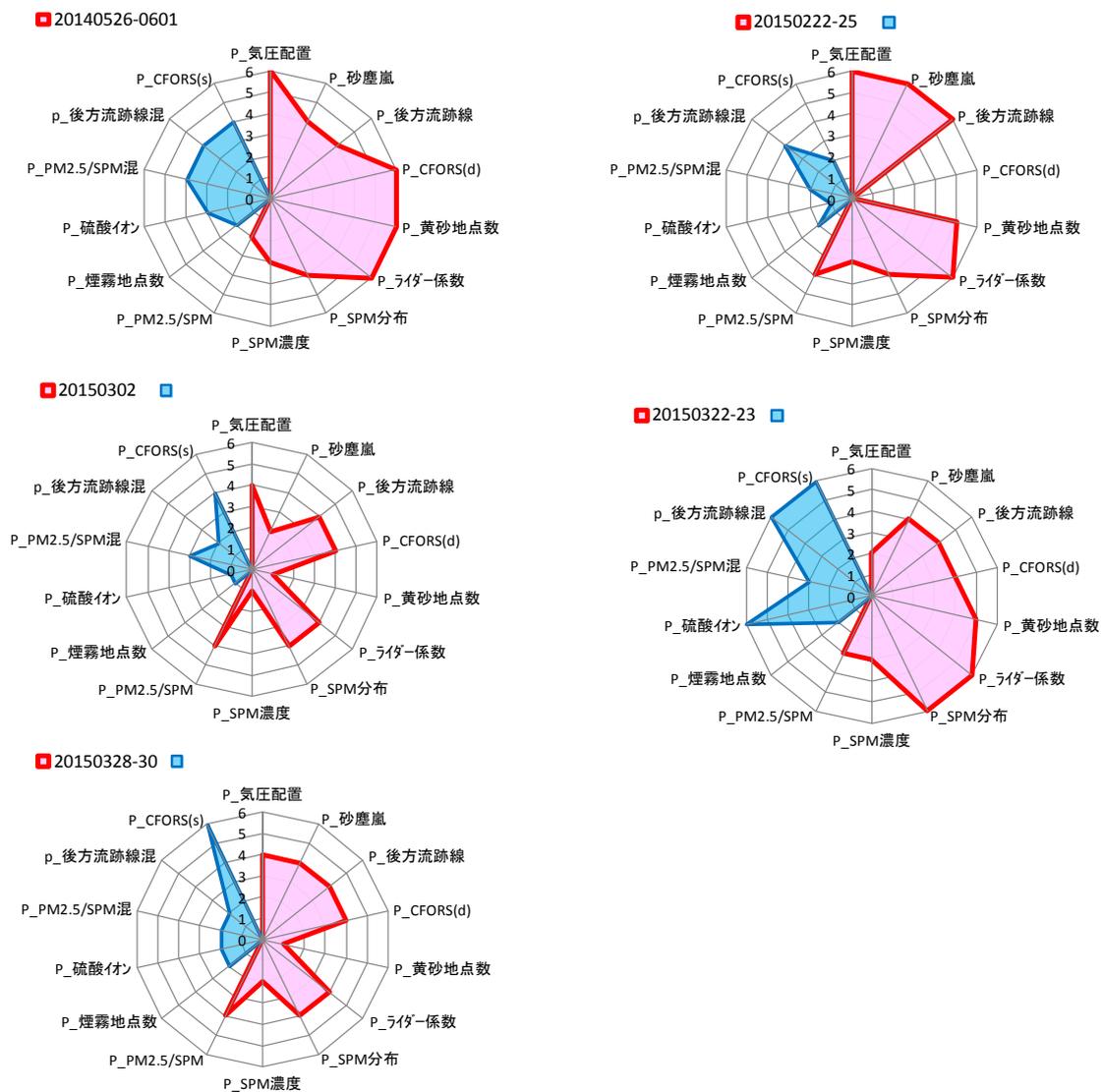


図 9-3-9 2014年度黄砂のチャート

10. 今後の課題

環境省による黄砂実態解明調査は、およそ10年間継続して実施されてきた。この間の調査で分かったことと、まだ十分に分かっていないことを整理した。

日本での黄砂の観測（气象台）は、2001年度以降では年平均25日程度で、最大47日、最小7日と年度毎のばらつきが大きい。近年は、20日以下と少ない日数で推移している。月変化では、4月が最も多く、3～5月の春期で80%を占めている。地域的には、九州・中国地方での観測が多い。

環境省では、これらの観測結果も踏まえつつ、黄砂の飛来状況や成分など、その実態をより科学的に解明するため、黄砂実態解明調査を実施している。これまでの環境省の調査でわかったことを以下に列挙する。

○黄砂の日本への飛来は、黄砂の観測、天気図、中国大陸での砂塵嵐の発生状況などの气象台での観測に加え、ライダー黄砂消散係数の上昇、 $PM_{2.5}/SPM$ 比、後方流跡線、SPM濃度の全国分布、CFORS(Dust)による予測などが有効である。

その内容は、

- ・ライダーの黄砂消散係数の上昇により、非球形粒子（黄砂）の存在を確認できる。従って、气象台で黄砂と観測されていないケースについても、黄砂の検出を行える。
- ・黄砂単独の場合、 $PM_{2.5}/SPM$ 比が低く0.5位まで減少し、汚染物質が混在した黄砂の場合、 $PM_{2.5}/SPM$ 比が比較的高く $PM_{2.5}$ 濃度が上昇する。
- ・大気汚染物質が黄砂と同時に飛来してきている（混在黄砂）か否かは、硫酸イオン濃度によって、ある程度把握が可能である。
- ・天気図では、日本の南東岸に前線があるような気圧配置で多くみられる。
- ・日本での黄砂観測の1～3日前には、モンゴルから中国内モンゴルの砂漠・乾燥地帯で砂塵嵐が発生していることが多い。
- ・後方流跡線が、この地域からの直線的な流れを示すことが多い。
- ・SPM濃度が、かなり広い範囲で同時に上昇する様子がみられる。
- ・CFORS(Dust)により黄砂の飛来を、ある程度予測できる。

○以上のようなことを、総合的に検証することによって、黄砂か否か、黄砂単独であるか汚染物質を混在しているかなどを判断できる。

○黄砂での大気汚染物質の混在について、農薬の調査を行った結果、検出限界以下であるケースが多かった^{5),6)}。

○黄砂と同じように視程の悪化を招く煙霧についても解析したところ、煙霧の観測は年平均280日で黄砂よりも圧倒的に多いが、経年変化では、年々減少傾向がみられている。煙霧時において、 $PM_{2.5}$ 濃度が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上になる割合は高い。地域的には九州と関東での観測が多く、九州では中国大陸からの越境による影響、関東では国内発生源による影響と思われるケースが多い。

まだ十分に分かっていないこととしては、

- ・ $PM_{2.5}$ 濃度上昇における黄砂の寄与
 - ・混在黄砂における汚染物質の成分とリスク
 - ・小さな黄砂の検出及びその判定の精度向上
- などがあげられる。

- 今後、黄砂飛来を示す要素について、カテゴライズの更なる検討を図り、要素のプライオリティについて検証する必要がある。また、混在黄砂が含まれる空気塊についても、その成分、PM_{2.5}への影響など、さらに多くの事例を解析し、空間的な把握や汚染経路などの詳細を明らかにしていくとともに、黄砂と汚染物質の混在状態変化や黄砂粒子表面に付着する成分にも着目し検討を進めていく必要がある。
- 黄砂現象や煙霧現象時に PM_{2.5}濃度が上昇し、環境基準値である日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する事例が多いことが明らかになってきている。また、煙霧現象と黄砂現象をリアルタイムに区別するために、PM_{2.5}/SPM の比の変化を調べていくことも有効なことと思われる。全国において PM_{2.5}の常時監視局の拡大、成分分析データの蓄積を進めることにより、PM_{2.5}濃度の上昇に対する黄砂の寄与、長距離輸送された気塊による煙霧の寄与を解明していく必要がある。
- 黄砂による人への健康リスクを検討する観点から、黄砂に付着する細菌に関するデータの収集や、その分析方法等について検討していく必要がある。
- 汚染混在型黄砂やPM_{2.5}に関する地域レベルでの地上濃度を予測することが社会的に期待されている。そのような予測に役立つ指標成分や常時監視手法の検討を進める必要がある。
- 現在、日本・中国・韓国でのモニタリング・予測などの黄砂共同研究が進行している。黄砂問題検討会と日中韓黄砂共同研究(DSS-WG1)との連携を深め、海外情報の取り込みや、日本の状況の反映など情報共有を進める必要がある。このような研究が、アジア地域全体の黄砂発生源対策、さらには黄砂の汚れ度を低減化できるような技術協力へと進展することが望まれる。

参考文献リスト

1. 「環境省」2007：黄砂実態解明調査中間報告書
2. 「環境省」2009：黄砂実態解明調査報告書
3. 「環境省」2010：黄砂飛来状況報告書
4. 「環境省」2011：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」2012：黄砂実態解明調査中間報告書－平成20～22年度－
6. 「環境省」2013：平成23年度黄砂飛来状況調査報告書
7. 「環境省」2014：黄砂実態解明調査報告書（平成15～24年度）
8. 「環境省」2015：平成25年度黄砂飛来状況調査報告書
9. 「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/>
10. 「環境省」HP（POPsモニタリング結果）：<http://www.env.go.jp/chemi/pops/index.html>
11. 「気象庁」HP（地球環境のデータバンク黄砂）
http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/kosa_data_index.html
12. 「気象庁」HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
13. 「気象業務支援センター」：世界気象資料、気象庁月報
14. 「気象庁」HP（過去の気象データ）：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
15. 「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーライダー））：<http://www.lidar.nies.go.jp/>
16. 「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>
17. 「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HP ARL HYSPLIT（後方流跡線）
<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajsrc.pl>
18. 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
19. 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）
20. 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）
21. 日下部正和、岩本真二：黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}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）
22. 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）
23. 島山史郎他：中国から東シナ海を経て沖縄まで輸送されるエアロゾル中の主要イオンの関係、エアロゾル研究、21、2、147-152（2006）
24. 兼保直樹、杉本伸夫、清水厚、山本重一、河本和明：ライダー観測によるダストの推定と地上観測によるエアロゾル質量濃度の比較、大気環境学会誌、47、6、285-291（2012）
25. 鶴野ら：九州北部で2014年5月下旬から1週間継続した黄砂と高濃度大気汚染現象のオーバービュー、大気環境学会誌、51（1）44-57（2016）
26. Bressi, M., Sciare, J., Gherzi, 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 aerosols in Paris (France), Atmos. Chem. Phys., 14, 8813–8839. (2014)
27. 「アメリカ国務省 Mission China」 <http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html>