
平成 27 年度黄砂飛来状況調査 報告書

平成 29 年 3 月

環 境 省

黄砂問題検討会委員名簿

(50音順)

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

黄砂実態解明調査解析ワーキンググループ委員名簿

	氏名	所属・職名
委員	清水 厚	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター広域大気環境研究室 主任研究員
座長	西川 雅高	東京理科大学環境安全センター 副センター長
委員	早崎 将光	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター大気環境モデリング研究室 特別研究員
委員	原 由香里	九州大学 応用力学研究所 地球環境力学部門 助教
委員	森 育子	地方独立行政法人 大阪府立環境農林水産総合研究所 技師

報告書の要旨

1. 調査目的

環境省では、平成 14 年度から、我が国に飛来してきた黄砂について、その実態を科学的に把握するために黄砂実態解明調査を実施している。本報告書は、平成 27 年度に飛来してきた黄砂についてその状況を取りまとめたものである。

2. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

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

2.2. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴を解析するため、平成 27 (2015) 年度の各黄砂事例を対象に、黄砂観測地点、気象概況 (天気図、大陸における砂塵嵐の発生)、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS (Chemical weather FORecasting System) の予測結果、ライダー観測結果、PM_{2.5} 日平均値分布、PM_{2.5}/SPM の比、硫酸イオン濃度などについて考察する。

3. 黄砂の飛来状況

3.1. 気象台発表の黄砂日

平成 14 (2002) 年度から 27 (2015) 年度までの気象台発表黄砂日数の平均年間延べ日数 264 日である。2003 年度から 2005 年度まで年々増加していたが、2008、2009 年度と減少した。2010 年度に再び増加したが、2013 年度はここ 10 年間で最も少ない日数であり、2015 年度は、2013 年度に続いて少なかった。

3.2. 黄砂日の SPM 濃度

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

4. 煙霧の観測状況

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

5. 黄砂の特徴と分類

5.1 黄砂の分類

黄砂を多角的に把握するため、天気図、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS 予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係、硫酸イオン濃度時間値、PM_{2.5}/SPM の比などのデータを比較して飛来状況を解析した。これらの結果から、各黄砂事例の特徴を明らかにし、単純黄砂、混在黄砂、硫酸エアロゾルに分類した。黄砂飛来の把握には、アジア中央部での黄砂の発生状況、日本南岸に前線が位置する気圧配置、モンゴルからの方向を示す後方流跡線、ライダーでの黄砂消散係数と SPM 濃度の同時上昇、小さな PM_{2.5}/SPM の比などがその判断として有効と思われた。また、汚染物質の混在については、硫酸イオン濃度の上昇、中国沿岸部からの方向を示す後方流跡線、大きな PM_{2.5}/SPM の比などをもとに判断した。

平成 27(2015)年度に気象台が日本国内のいずれかの地点で黄砂を観測した日は、合計で 9 日である。連続した日を 1 つの黄砂現象とすると、5 事例になる。黄砂 5 事例について詳細にその状況を示した。

5.2 黄砂事例の特徴

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

各事例の概要は以下の通りである。

(1)平成 27 (2015) 年 4 月 17 日～18 日

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

(2)平成 27 (2015) 年 4 月 25 日

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

(3)平成 27 (2015) 年 5 月 5 日～7 日

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

(4)平成 27 (2015) 年 5 月 20 日

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

(5)平成 27 (2015) 年 6 月 12 日～13 日

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

5.3 煙霧の観測事例

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

(1)平成 27 (2015) 年 4 月 28 日

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

(2)平成 27 (2015) 年 7 月 30 日～8 月 5 日

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

(3)平成 27 (2015) 年 10 月 10 日

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

(4)平成 27 (2015) 年 10 月 21 日～24 日

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

(5)平成 28 (2016) 年 1 月 4 日～5 日

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

(6)平成 28 (2016) 年 2 月 1 日

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

(7)平成 28 (2016) 年 2 月 28 日

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

(8)平成 28 (2016) 年 3 月 5 日

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

(9)平成 28 (2016) 年 3 月 8 日

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

6. ライダー消散係数と SPM・PM_{2.5}濃度

6.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出

黄砂飛来の判定方法として、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の時間変動から、黄砂を検出する方法について検討した。気象台黄砂日でのライダー消散係数と SPM 濃度の相関係数などを参考に、相関係数 (0.6 以上)、SPM 濃度 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上) などの条件を設定した。それをもとに、2015 年度の黄砂飛来の可能性がある日を抽出したところ、長崎で 6 日、松江で 2 日、富山で 1 日抽出された。

6.2 ライダーによる黄砂検出日の状況

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

6.3 黄砂の検出条件の検討

SPM の条件のみを 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と下げて、黄砂の検出の有無を検証した。その結果、40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ではほぼ全ての事例、30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でも半分以上の事例で、黄砂の様子が観察され、小規模黄砂検出への適用の可能性がみられた。

7. 黄砂・煙霧時のPM_{2.5}濃度

7.1 黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}環境基準超過

2015年度の黄砂日には、PM_{2.5}平均濃度は26.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は21.0%で、煙霧日は、平均濃度26.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は17.7%であり、黄砂・煙霧時のPM_{2.5}濃度上昇を示していた。黄砂では西日本の環境基準超過が多く、煙霧では関東と九州で日数が多いことがわかった。

7.2 黄砂時・煙霧時のPM_{2.5}成分濃度

全国の自治体を実施している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。黄砂時でPM_{2.5}濃度が20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越す検体は、北海道、島根県、福岡県で5件採取された。煙霧でのPM_{2.5}高濃度のケースは、越境汚染によるものが多くみられ、硝酸イオンが高いケースもみられた。

7.3 黄砂時・煙霧時PM_{2.5}のPMF法による発生源推定

黄砂・煙霧時にPM_{2.5}成分濃度調査が実施された期間に、黄砂・煙霧が観測された日、地点を選択してPMF解析を行った。因子数を6としたところ、各因子は、それぞれ黄砂を含む土壌、重油燃焼、二次硫酸塩、鉄鋼・石炭、二次硝酸塩、バイオマス燃焼・自動車排ガスに想定された。黄砂時には土壌の上昇がみられた。煙霧時におけるPM_{2.5}濃度別の寄与は、高濃度で二次硫酸塩の割合が大きくなる傾向がみられた。

8. 黄砂の分類

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

9. 砂塵嵐の発生と黄砂の観測

9.1 砂塵嵐発生状況の経年変化

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

9.2 後方流跡線方位の経年変化

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

9.3 砂塵嵐発生の個別の状況

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

黄砂飛来状況報告書 目次

1. 調査目的	1
2. 調査方法	1
2.1. 黄砂の飛来状況	1
2.2. 黄砂の特徴と分類	1
3. 黄砂の飛来状況.....	3
3.1. 黄砂の観測状況	3
3.2. 黄砂日のSPM濃度	4
4. 煙霧の観測状況.....	8
5. 黄砂の特徴と分類	10
5.1. 黄砂の分類	10
5.2. 黄砂事例の特徴	11
(1)黄砂事例01 平成27(2015)年4月17日～18日	12
(2)黄砂事例02 平成27(2015)年4月25日	15
(3)黄砂事例03 平成27(2015)年5月5日～7日	18
(4)黄砂事例04 平成27(2015)年5月20日.....	22
(5)黄砂事例05 平成27(2015)年6月12日～13日	25
5.3. 煙霧の観測事例.....	29
(1)煙霧事例01 平成27(2015)年4月28日.....	31
(2)煙霧事例02 平成27(2015)年7月30日～8月5日.....	33
(3)煙霧事例03 平成27(2015)年10月10日.....	37
(4)煙霧事例04 平成27(2015)年10月21日～24日.....	39
(5)煙霧事例05 平成28(2016)年1月4日～5日.....	42
(6)煙霧事例06 平成28(2016)年2月1日.....	44
(7)煙霧事例07 平成28(2016)年2月28日.....	47
(8)煙霧事例08 平成28(2016)年3月5日.....	50
(9)煙霧事例09 平成28(2016)年3月8日.....	53
6. ライダー消散係数とSPM濃度	56
6.1. ライダー黄砂消散係数とSPM濃度による黄砂の検出	56
6.2. ライダーによる黄砂検出日の状況	57
6.3. 黄砂の検出条件の検討	59

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

1. 調査目的

近年、北東アジア地域（モンゴル、中国、韓国、日本等）では黄砂現象が頻発しており、その影響等に対する関心が高まっている。黄砂は従来から黄河流域や既存の砂漠等から発生する自然現象としてとらえられてきたが、近年急速に拡大しつつある過放牧や農地転換などによる耕地の拡大も原因とされ、人為的影響により、その規模が拡大している環境問題として再認識されつつある。黄砂は、植物や交通機関に影響を与えるほか、呼吸器疾患等の健康影響の可能性が指摘されているが、飛来した黄砂の物理的、化学的な実態については必ずしも解明されていない。また、黄砂の飛来と同時に、中国大陸における産業活動に伴う人為的発生源からの影響も懸念される。

本報告書は、わが国における黄砂エアロゾルの飛来状況を科学的に把握するとともに、わが国に飛来した黄砂の実態解明^{1~8)}に資することを目的として、平成 27 年度に飛来してきた黄砂についてその状況をまとめたものである。

2. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

平成 14(2002)年度から 27(2015)年度の気象台発表の黄砂日について経年変化、黄砂地点別の飛来回数などを整理した。

また、浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために、平成 13(2001)年から平成 27(2015)年にかけて、気象台が発表している黄砂観測日について都道府県ごとの SPM 平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じて算出し、各都道府県における黄砂現象を被る概略的な量的指標の推移を示した。

2.2. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴を解析するために、平成 27 年度の各黄砂事例を対象に、黄砂観測地点、気象概況 (天気図・大陸における砂塵嵐の発生)、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS (Chemical weather FORecasting System) の予測結果、ライダー観測結果、PM_{2.5} 日平均値全国分布、PM_{2.5}/SPM の比、硫酸イオン濃度などについて考察した。

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測したと発表した地点を示した¹⁰⁾。また、黄砂現象の規模の相対的な比較の目安とするために、黄砂を観測した都道府県の全測定局の SPM 濃度日平均値を平均した値に、観測した都道府県数を乗じた積算値 (以下「黄砂規模」) を算出した。また、気象台から煙霧の観測が記録されている地点はそれを記している。

気象概況 (天気図) は、気象庁のホームページから天気図と天気概況を引用した¹¹⁾。また、世界気象資料¹²⁾を基に、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表示した。有人観測地点における気象コード 33, 34, 35 を Severe duststorm、30, 31, 32 を Slight duststorm、07, 08, 09 を Dust、04 を smoke、05 を Haze として分類した。

SPM 濃度全国分布は、全国で行われている常時監視局の SPM 測定データから地域的に高濃度になっている時間の値を地図上に示した。

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

CFORS は、九州大学応用力学研究所の鶴野らによって開発された化学物質輸送領域数値モデルである。本報告書内の図は、国立環境研究所で定常運用を行っているバージョン¹⁵⁾ (RIAM/NIES-CFORS) による黄砂イベント当時に予測された黄砂等土壌性ダストと硫酸塩の高度 0~1km における平均重量濃度の推定分布を表示している。

ライダー観測結果は、国立環境研究所公開のライダー観測結果でみることができる¹⁴⁾。国立環境研究所ではライダー観測結果から消散係数を算出し、そのデータと画像を公開している。画像は 1 ヶ月毎に非球形粒子（黄砂）と球形粒子（大気汚染性エアロゾル）の消散係数の大きさが高度 6km まで示されている。これは、黄砂モニタリングのため 532nm の偏光解消度を利用して、非球形の黄砂と球形の大気汚染性エアロゾルを分離して、それぞれの散乱への寄与を推定したものである。数値データとして示されている消散係数 (/km) は、光が物質に衝突し物質への吸収や散乱によって単位長さ当たりに消失する割合である。この非球形粒子の消散係数（以下、「黄砂消散係数」）のうち、下層である 150m~270m のデータを 1 時間毎に平均したものを経時変化グラフとして示した。さらに、下層での黄砂消散係数と SPM 時間値を経時変化グラフで表し、その類似性を検討した。

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

PM_{2.5} 日平均値濃度による評価は全国分布図を作成し、微小粒子による汚染の拡がりを見た。PM_{2.5} 濃度は、全国の常時監視局で測定しているものを使用した。また、PM_{2.5} 濃度、SPM 濃度及び PM_{2.5}/SPM の比の経時変化をグラフで表し、粗大粒子と微小粒子の比をみることで、黄砂の影響を観察した。また、中国での PM_{2.5} 濃度は、アメリカ国務省が公表しているデータを使用した¹⁷⁾。

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

3. 黄砂の飛来状況

3.1 黄砂の観測状況

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

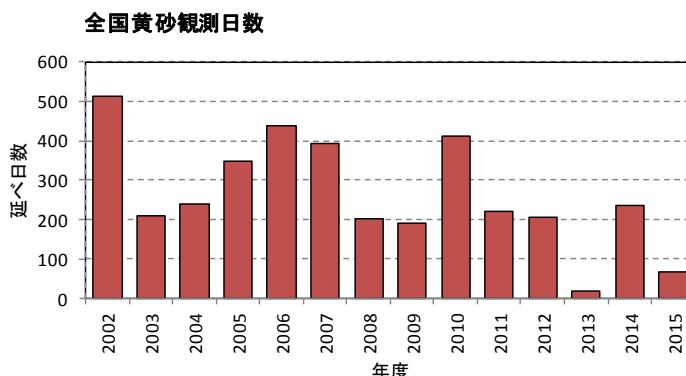


図 3-1-1 黄砂観測日数の経年変化

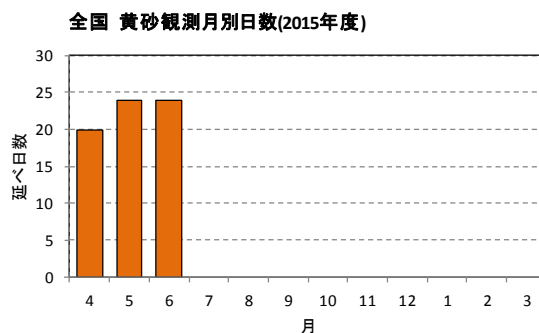


図 3-1-2 黄砂観測日数の経月変化

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

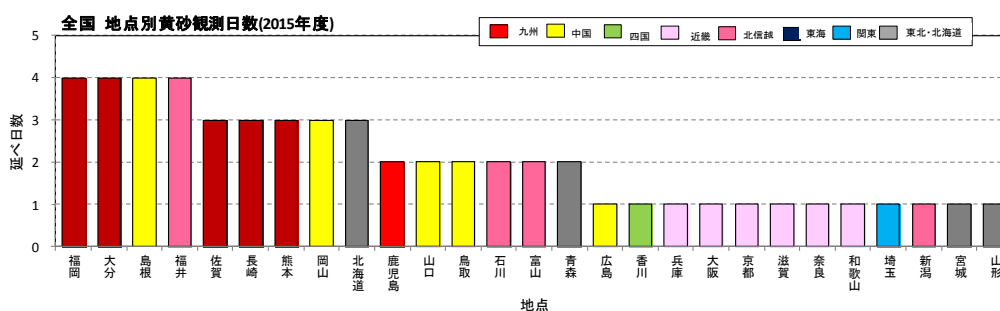


図 3-1-3 黄砂日の地点別日数

3.2 黄砂日のSPM濃度

SPM濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために、平成15(2003)年から平成27(2015)年について、気象台が発表している黄砂観測日における都道府県ごとのSPM平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じたもの(積算値と呼ぶ)を、図3-2-1(1)～(4)に示している。気象台黄砂観測日におけるSPM平均濃度は、各都道府県における黄砂の強度を、また、その値に当該年の黄砂観測日数を乗じたものは、各年の各都道府県における黄砂現象を被る概略的な量的指標を示すと考えられる。

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

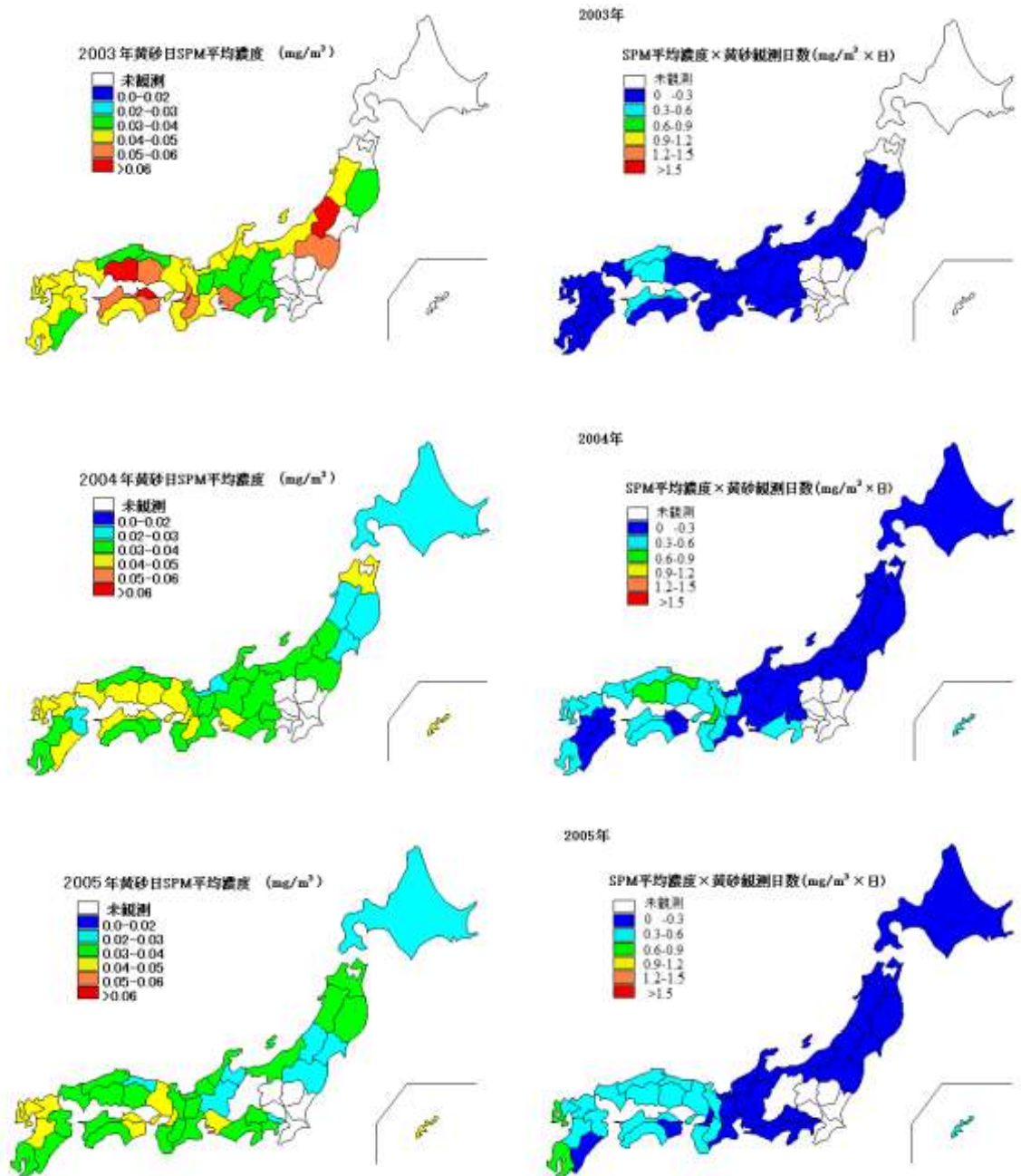


図3-2-1(1) 黄砂日のSPM平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

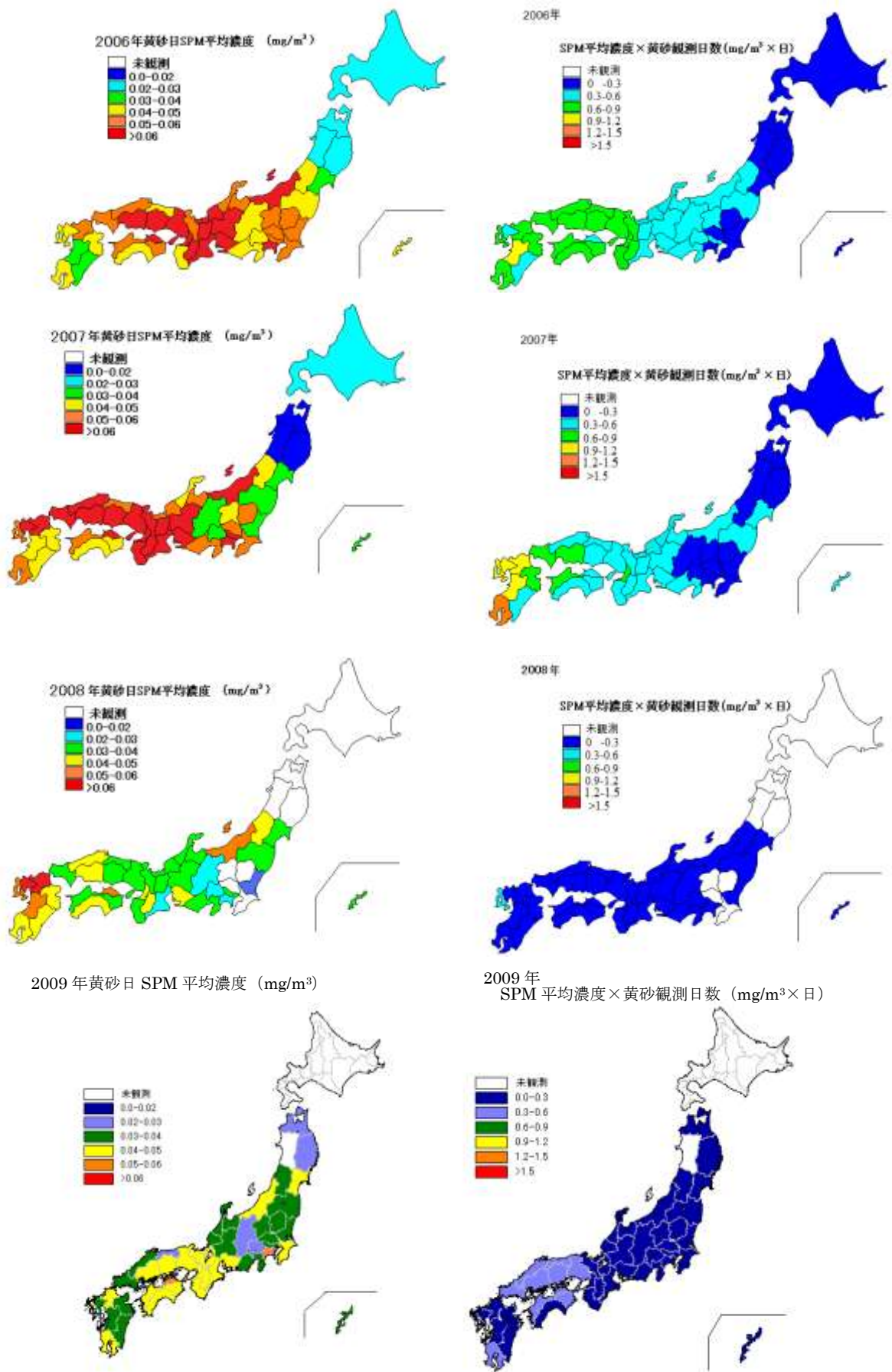
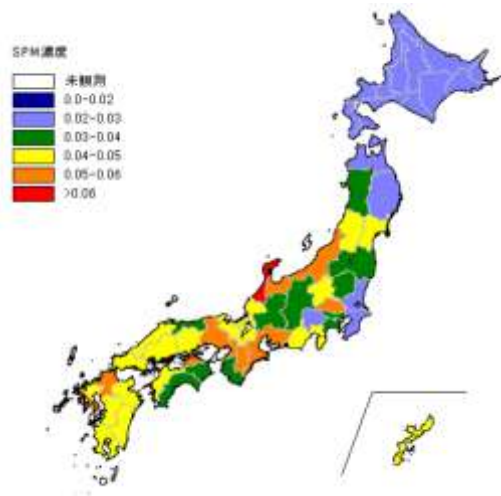


図 3-2-1(2) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

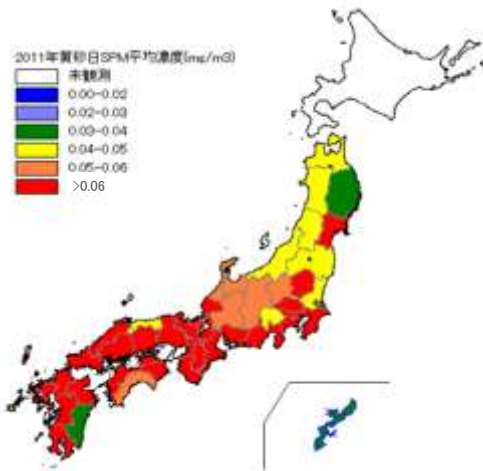
2010年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



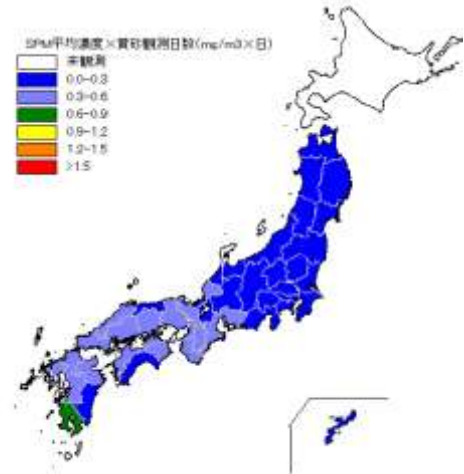
2010年
SPM 平均濃度 × 黄砂観測日数 (mg/m³ × 日)



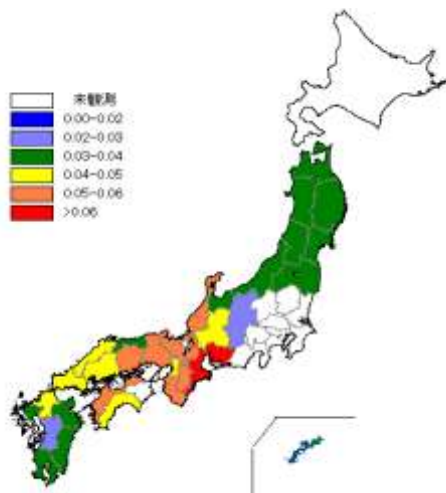
2011年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2011年
SPM 平均濃度 × 黄砂観測日数 (mg/m³ × 日)



2012年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2012年
SPM 平均濃度 × 黄砂観測日数 (mg/m³ × 日)

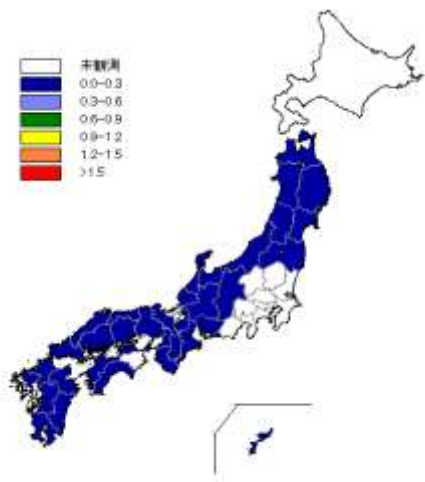
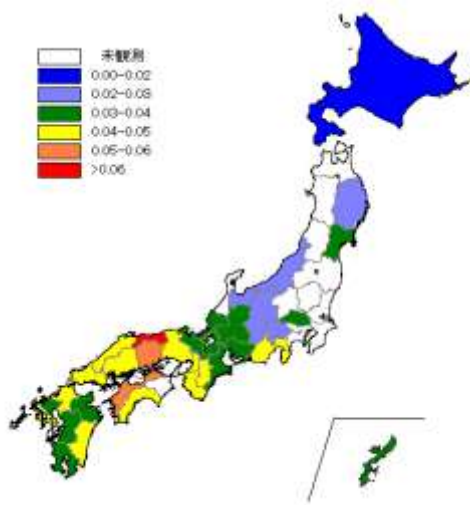


図 3-2-1 (3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

2013年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



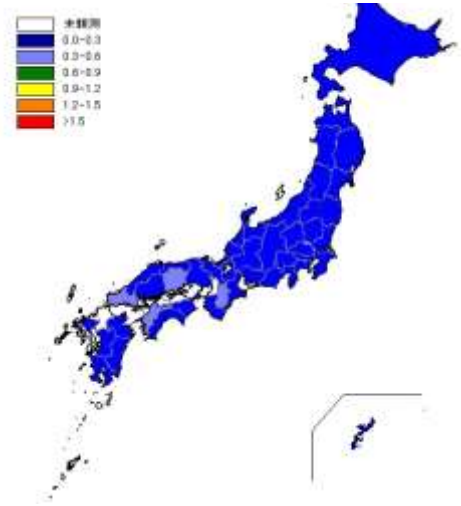
2013年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



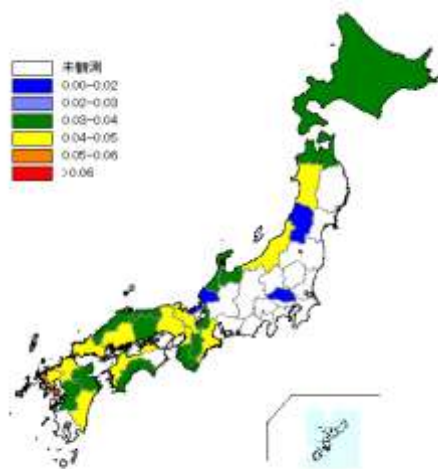
2014年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2014年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



2015年黄砂日 SPM 平均濃度 (mg/m³)



2015年
SPM 平均濃度×黄砂観測日数 (mg/m³×日)



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

4. 煙霧の観測状況

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

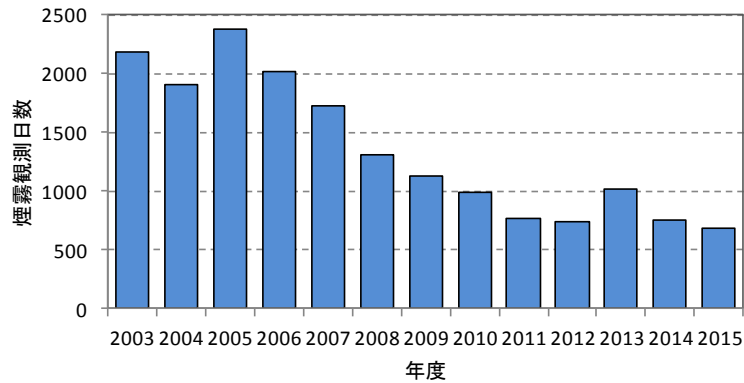


図 4-1 煙霧の経年変化

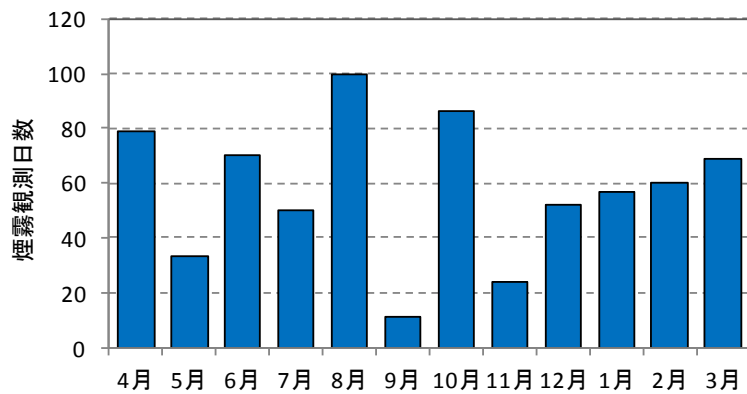


図 4-2 煙霧の経月変化

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

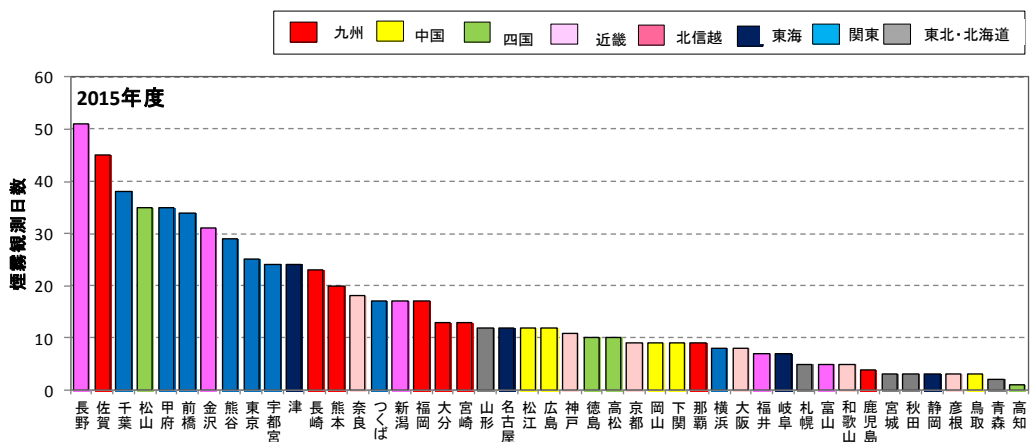


図 4-3 煙霧日の地点別日数

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

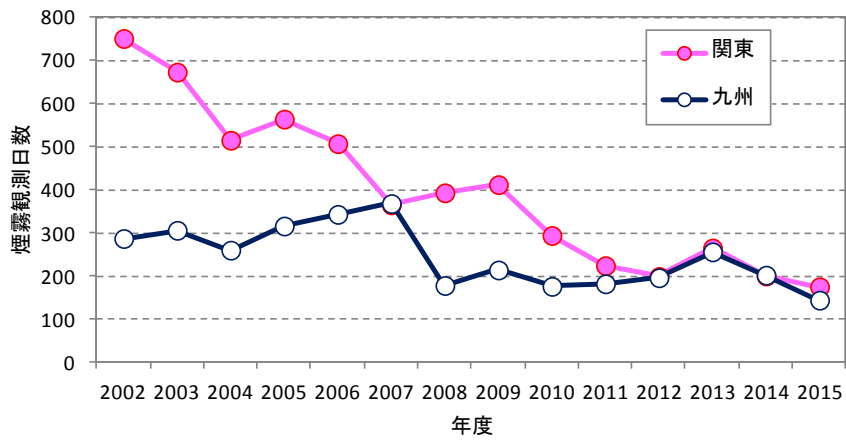


図 4-4 関東と九州での煙霧観測延べ日数の経年変化

5. 黄砂の特徴と分類

黄砂は、個々の事例によって、発生位置、経路、拡がり、濃さ、成分など様々な形態が考えられる。これらはそれぞれ異なった様相を呈しており特徴にも違いがみられることから、それぞれの特徴から共通性を抽出し、分類を試みた¹⁹⁾。

5.1. 黄砂の分類

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

(1) 黄砂

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

これまでの調査から、気象台の黄砂日には概ね次のような特徴がみられている。

- 後方流跡線がモンゴル付近からの大気の流れを示す
- 気圧配置で、日本南岸に前線が延びる
- ライダーの黄砂消散係数とSPM濃度が同時に上昇する
- SPM濃度が多地点で同時に上昇する
- CFORSの「土壌性ダスト(黄砂)(dust)」の予想分布で黄砂の飛来が予測されている
- PM_{2.5}/SPMの比が小さくなる(粗大粒子の割合が大きくなる)

(2) 煙霧

黄砂と同様に、粒子の影響で視程の低下をもたらしているものに煙霧がある。気象庁での煙霧の定義は、「乾いた微粒子によって視程が10km未満となった場合で、乾いたとは湿度75%未満」としている。

長距離移流を原因とした煙霧の特徴としては、概ね次のようなことが考えられる。

- 後方流跡線が中国沿岸部からの大気の流れを示す
- 気圧配置で、移動性高気圧が日本を通過している
- 硫酸イオンの濃度が上昇する
- CFORSの「硫酸塩エアロゾル(大気汚染物質)(sulfate)」の予想分布で、硫酸塩の移流が予測されている
- PM_{2.5}/SPMの比が大きい(粗大粒子の割合が小さい)

これらの要素を集約して次のような分類をおこなった。

①単純黄砂

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

②混在黄砂

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

③硫酸塩エアロゾル

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

5.2. 黄砂事例の特徴

平成 27 年度中に気象台で観測された黄砂は、表 5-2-1 に示した 9 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、分類を行う。

表 5-2-1 平成 27 年度の黄砂日一覧

(SPM 濃度 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

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
1	1	2015	4	17	8	29	8	233	445
	2	2015	4	18	9	27	8	212	
2	3	2015	4	25	3	29	3	86	257
3	4	2015	5	5	10	22	7	153	275
	5	2015	5	6	5	38	1	38	
	6	2015	5	7	8	42	2	84	
4	7	2015	5	20	1	20	1	20	20
5	8	2015	6	12	7	41	6	245	989
	9	2015	6	13	17	47	16	744	

(1) 黄砂事例 01 (2015 年 4 月 17 日～18 日)

黄砂は 17 日には西日本、18 日には東日本までと、次第に東へ広がっていつている。17 日は関東地方で広く煙霧が観測されている。気圧配置では日本東岸に前線がある。3 日前の 14 日に、モンゴル、内モンゴル地域で大きな砂塵嵐が発生し、後方流跡線もこの方向からの大気の流れを示しており、この砂塵嵐が飛来したと思われる。SPM 濃度はあまり高くなっていないが、PM_{2.5} は全国的にやや上昇している。ライダーによると、黄砂は松江 17 日と富山 18 日に飛来と推定されている。

福岡県での硫酸イオン時間値濃度変化は、17 日未明に 2 時間のみ上昇しているだけで、その後は平常値濃度レベルで推移していることから、福岡県周辺に飛来した黄砂は単純黄砂と考えられる。

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
1	2015	4	17	8	富山	福井	松江	鳥取	岡山	福岡	大分	高松	
2	2015	4	18	9	仙台	新潟	金沢	富山	福井	熊谷	松江	鳥取	岡山

	年	月	日	地点数	煙霧観測地点名							
					1	2	3	4	5	6	7	
1	2015	4	17	7	山形	つくば	前橋	熊谷	東京	甲府	佐賀	

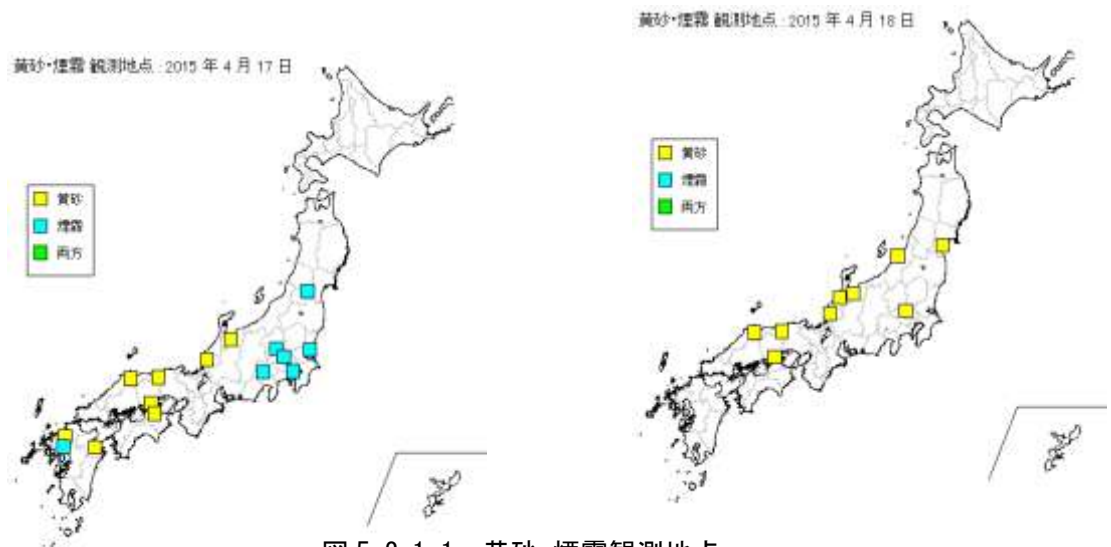
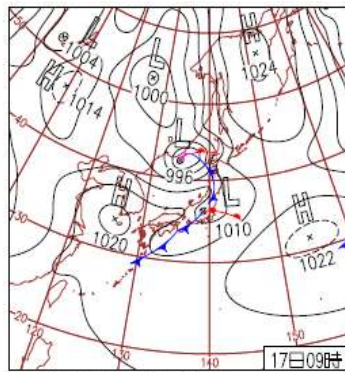
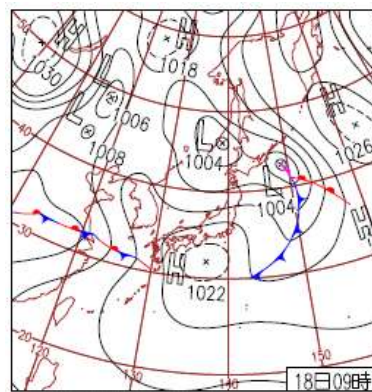


図 5-2-1-1 黄砂・煙霧観測地点



17日(金)西日本等で黄砂
 前線通過に伴い広範囲で雨。関東は日中気温が上昇して大気の状態が不安定となり、各地で局地的な雨や雷。山形県飛鳥で最大瞬間風速30.6m/s。福岡・高松等、西日本や北陸で黄砂。



18日(土)東の間の晴れ
 西～東日本は高気圧に覆われ晴れて早朝は冷え込み日中は気温上昇。九州付近に前線がのび出し夜は九州付近に雨雲広がる。中国、北陸の他熊谷、仙台でも黄砂。

図 5-2-1-2 天気図

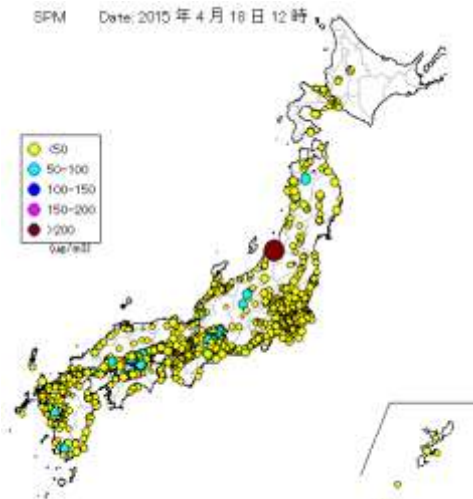


图 5-2-1-3 SPM 濃度全国分布

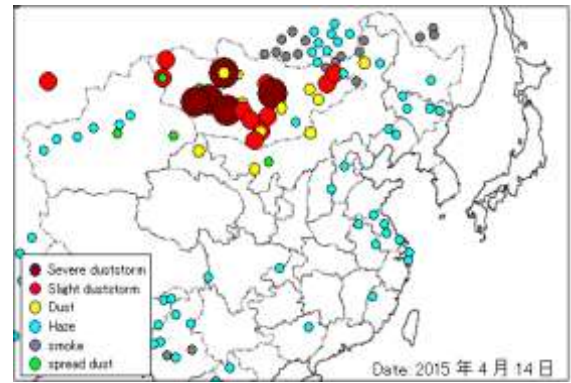


图 5-2-1-4 砂塵嵐発生状況

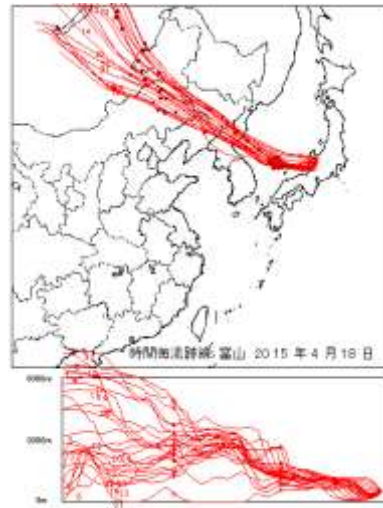
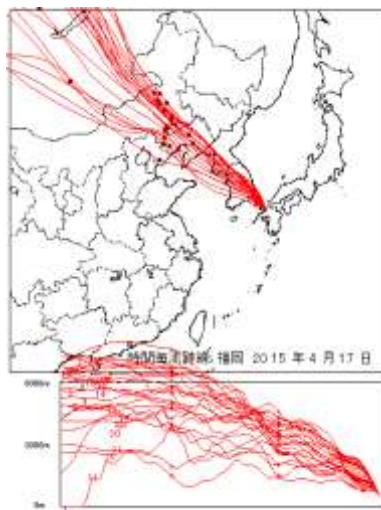


图 5-2-1-5 後方流跡線

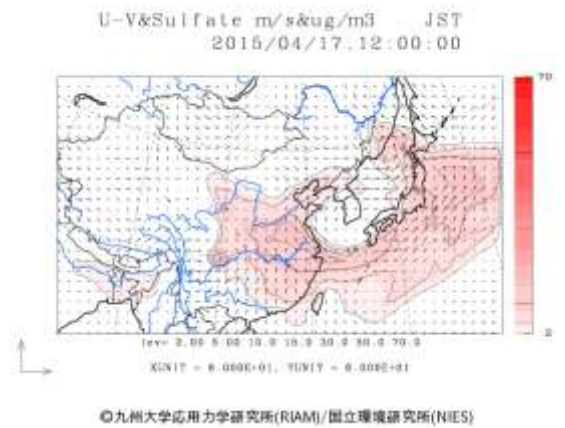
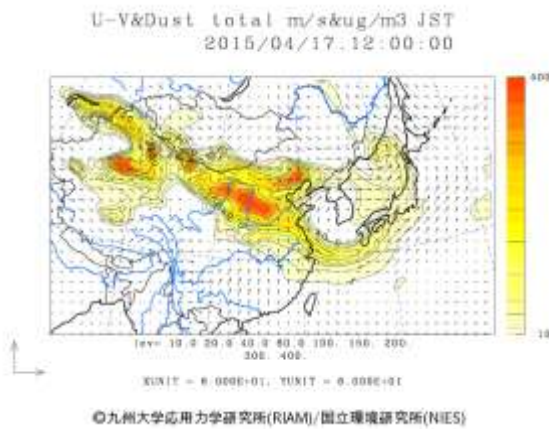


图 5-2-1-6 CFORS(dust · sulfate)

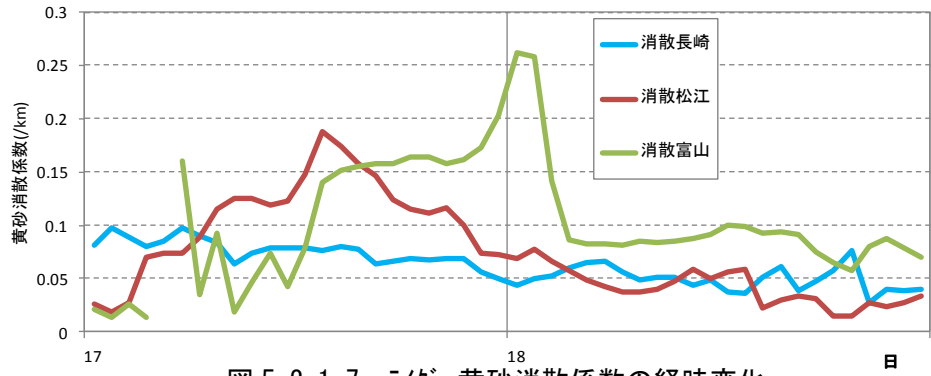


図 5-2-1-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化

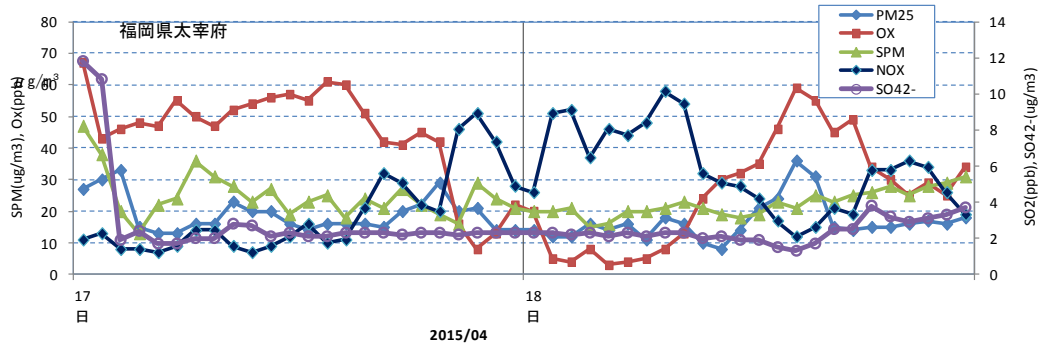


図 5-2-1-8 硫酸イオン濃度(時間値)

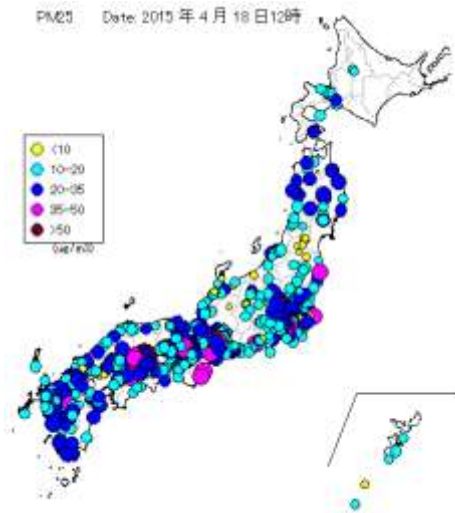


図 5-2-1-9 PM_{2.5} 濃度全国分布

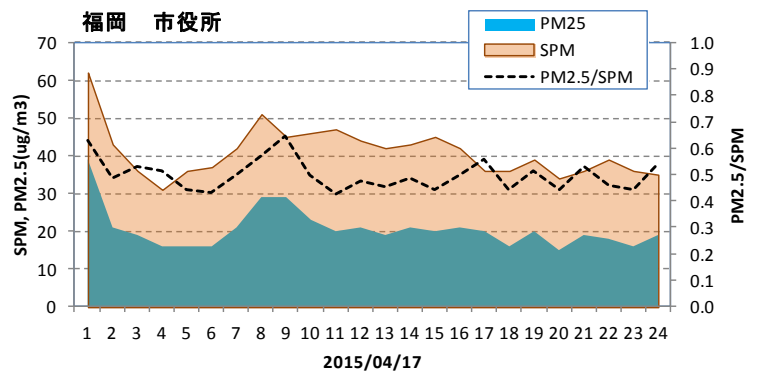


図 5-2-1-10 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

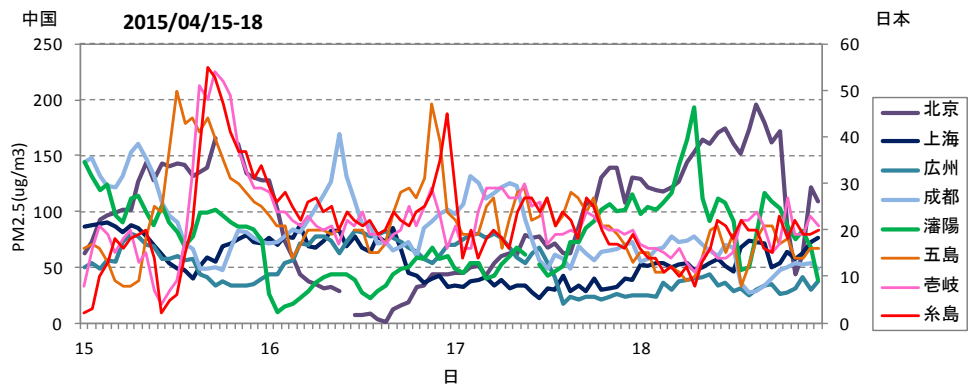


図 5-2-1-11 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

(2) 黄砂事例 02 (2015 年 4 月 25 日)

黄砂は北陸・東北で観測され、煙霧は九州と北陸で観測されている。気圧配置は、北海道の東岸から南に前線が延びており、大陸における砂塵嵐の発生は小規模である。SPM 濃度はあまり高くないが、PM_{2.5} 濃度は西日本で高濃度になっている。西日本での PM_{2.5} の高濃度、福岡での硫酸イオン濃度が最大で 13μg/m³ を超えている。

北陸・東北では黄砂、福岡県周辺では硫酸エアロゾルの飛来があったと思われる。

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
2015	4	25	3	山形	金沢	福井

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名					
				1	2	3	4	5	6
2015	4	25	6	金沢	長野	下関	松山	佐賀	熊本

黄砂・煙霧 観測地点：2015 年 4 月 25 日

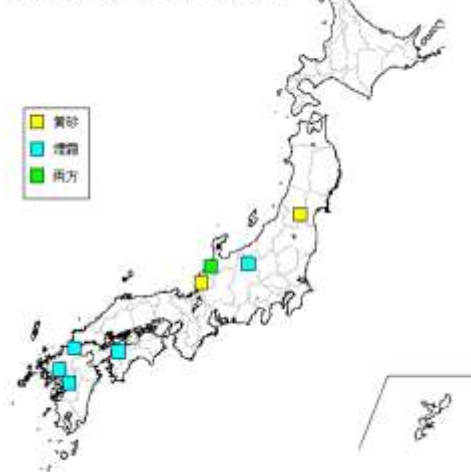
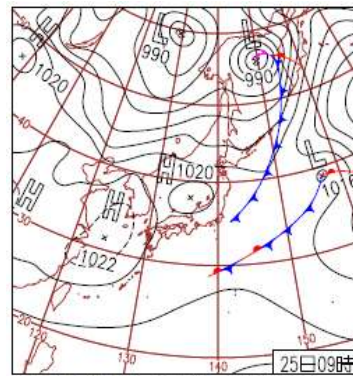


図 5-2-2-1 黄砂・煙霧観測地点



25日(土)ネパールでMw7.9の地震
高気圧に覆われ九州～北海道は概ね晴れ、沖縄は湿った気流の影響、関東は午後所々で上空寒気の影響があり曇りや雨。ネパールでMw7.9の地震。福井・金沢・山形で黄砂。

図 5-2-2-2 天気図

SPM Date: 2015 年 4 月 25 日 12 時

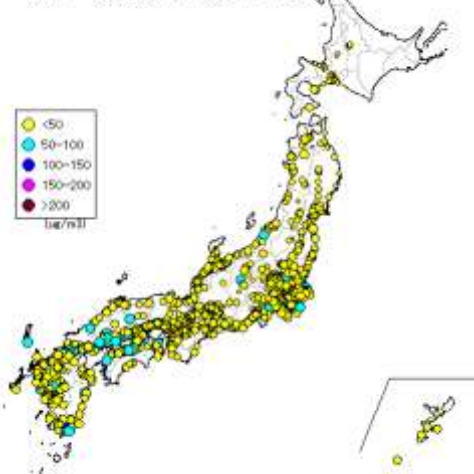


図 5-2-2-3 SPM 濃度全国分布

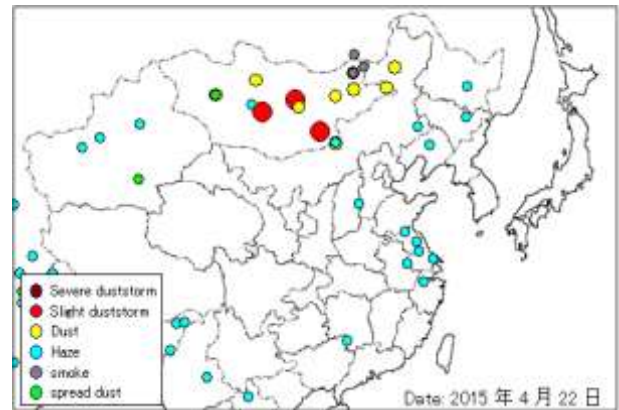


図 5-2-2-4 砂塵嵐発生状況

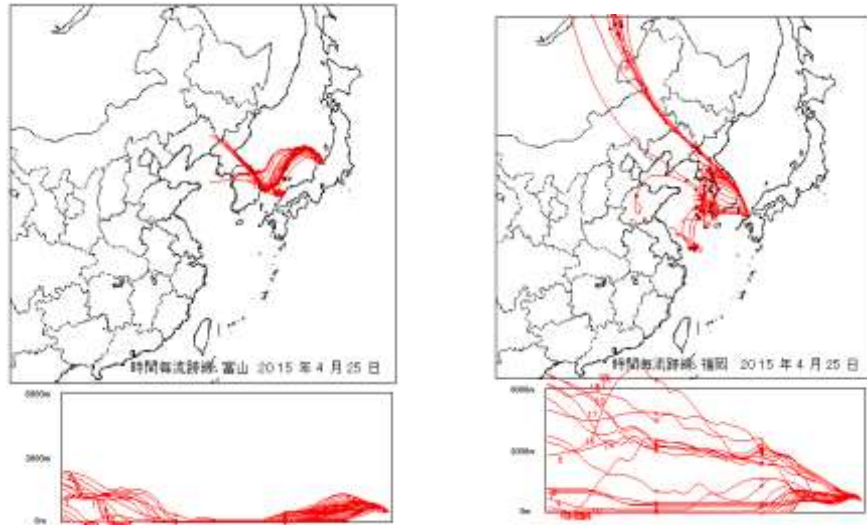


図 5-2-2-5 後方流跡線

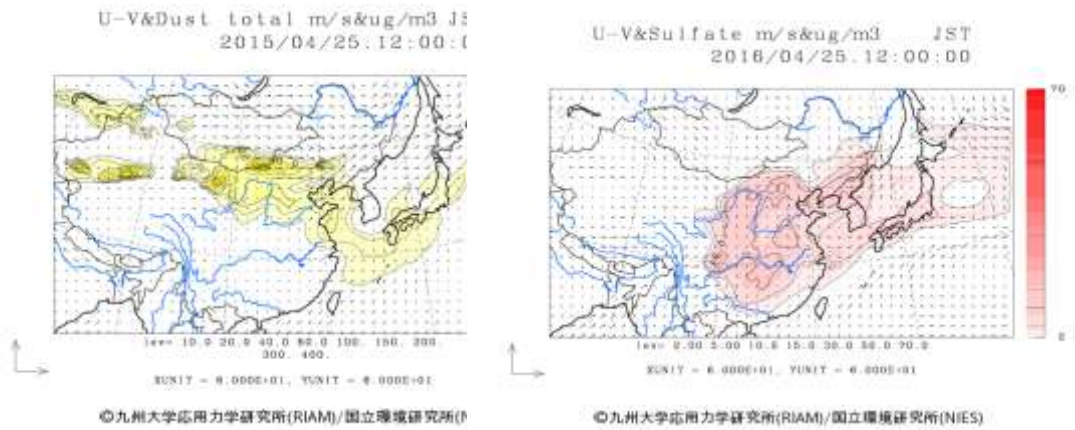


図 5-2-2-6 CFORS 予測結果

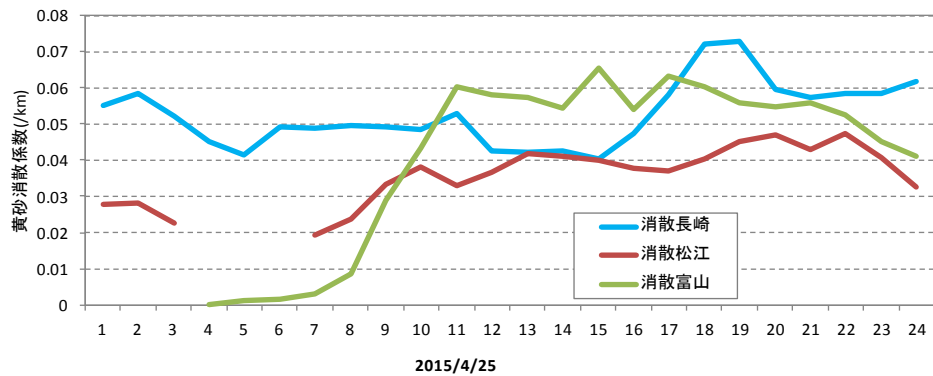


図 5-2-2-7 1日 - 黄砂消散係数の経時変化

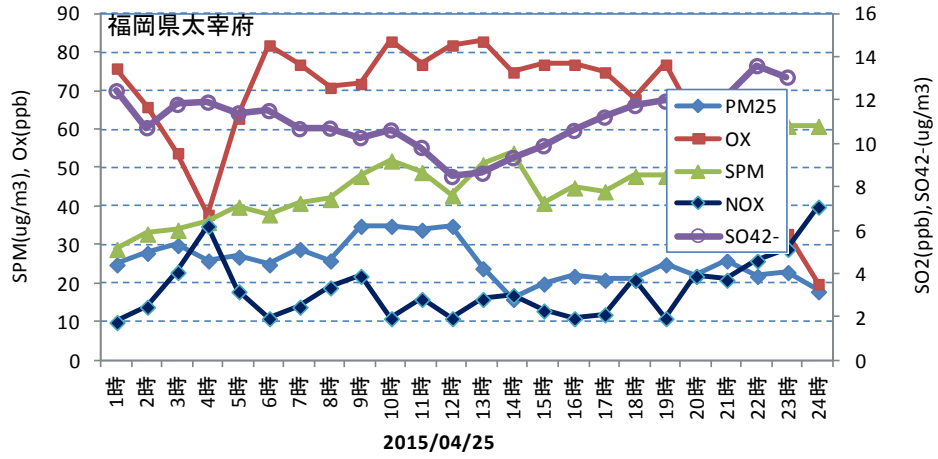


図 5-2-2-8 硫酸イオン濃度(時間値)

[注]福岡県 SPA 計故障のため九大 ACSA のデータを使用

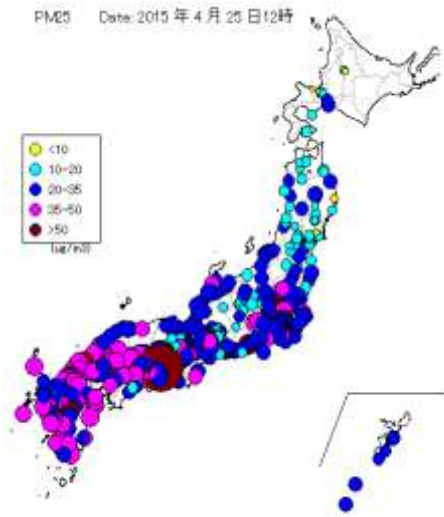


図 5-2-2-9 PM_{2.5} 濃度全国分布

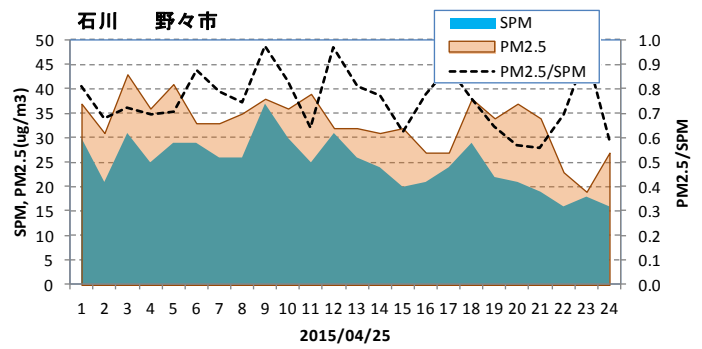


図 5-2-2-10 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

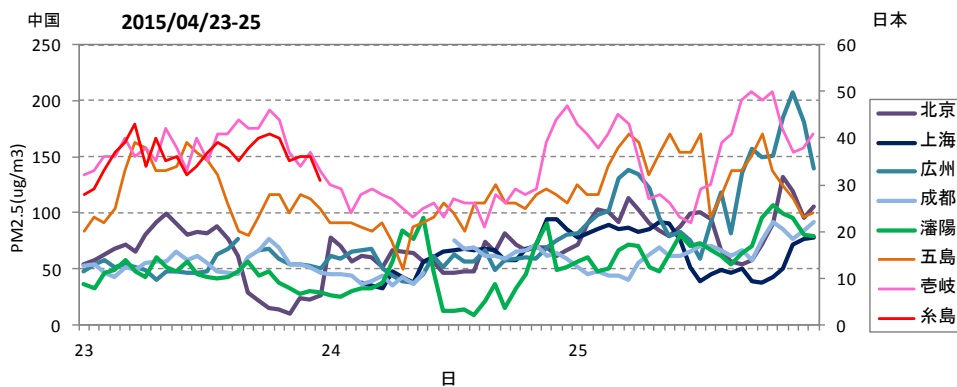


図 5-2-2-11 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

(3) 黄砂事例 03 (2015年5月5日~7日)

九州と北海道・東北と離れた地域で同時に観測された黄砂である。天気図では、北海道東岸から南西へ前線が延びる様子がみられている、2日に砂塵嵐の発生があり、九州及び北海道の後方跡線からも、その方向からの大気の流れを示していることが分かる。5月6日のSPMとPM_{2.5}は北海道で上昇がみられる。5月5日の福岡でのSPM濃度は50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で硫酸イオン濃度は平常時より有意に高いとはいえない値であった。また、北海道・青森でのPM_{2.5}成分濃度結果での硫酸イオンの濃度は1~4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度である。

日本の南北端で分かれて飛来してきた珍しい黄砂事例である。

表 5-2-3-1 黄砂観測地点

年	月	日	地点数	観測地点名									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2015	5	5	10	札幌	帯広	室蘭	函館	青森	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本
2015	5	6	5	稚内	旭川	札幌	室蘭	函館					
2015	5	7	8	旭川	網走	札幌	帯広	釧路	室蘭	函館	青森		

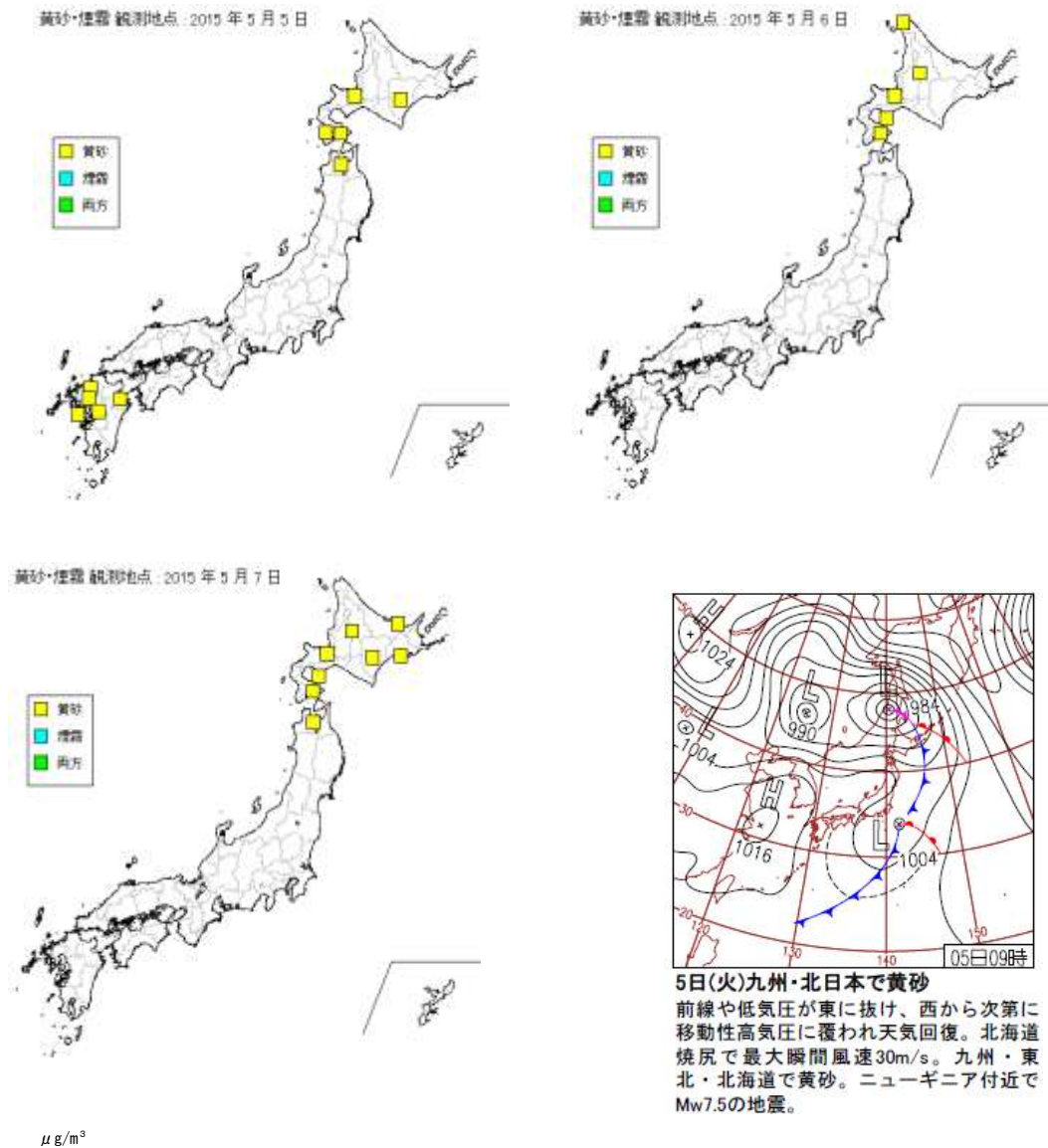


図 5-2-3-1 黄砂・煙霧観測地点

図 5-2-3-2 天気図

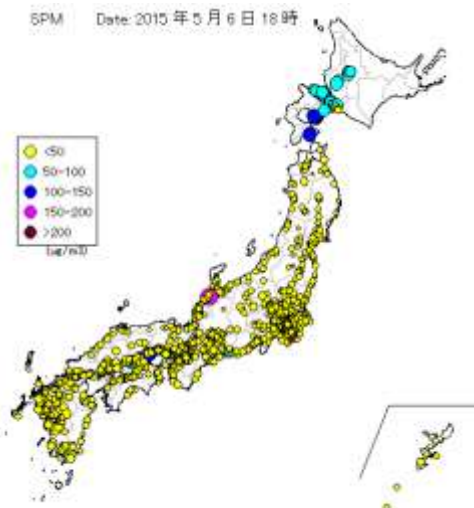


图 5-2-3-3 SPM 濃度全国分布

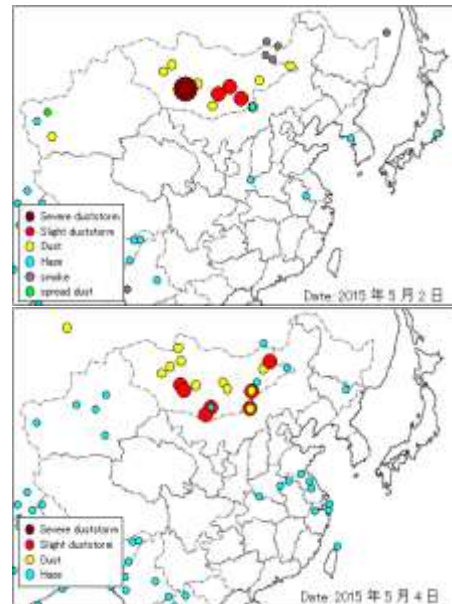


图 5-2-3-4 砂塵嵐発生状況

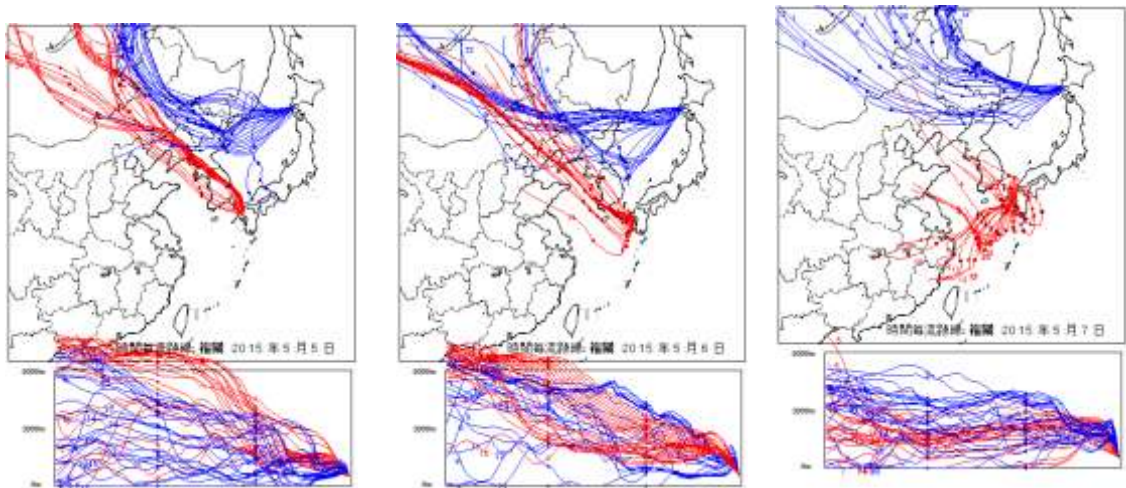


图 5-2-3-5 後方流跡線

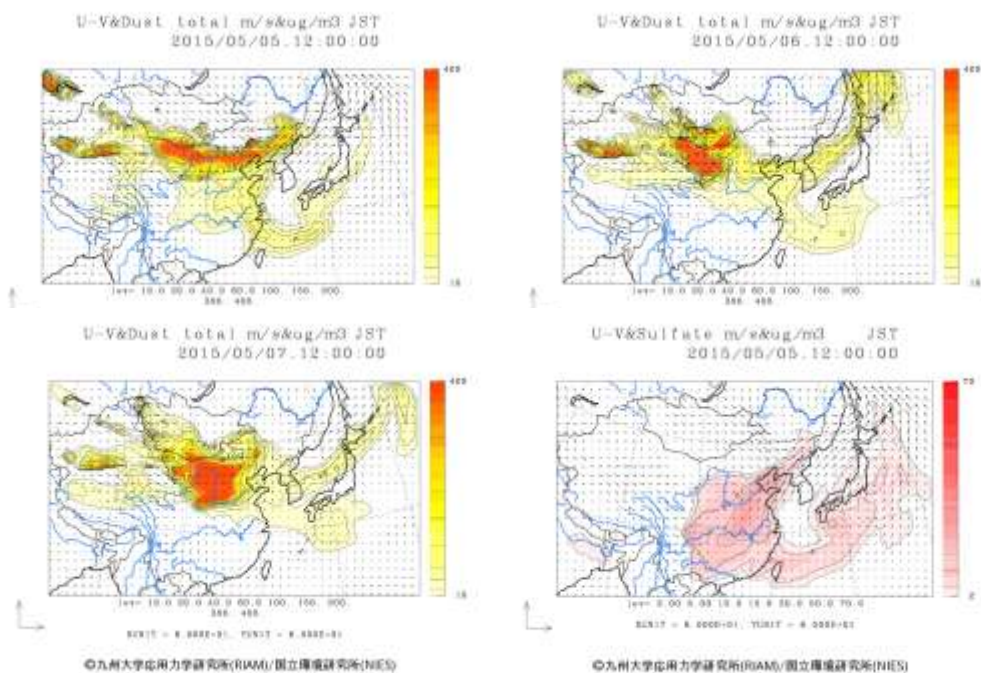


图 5-2-3-6 CFORS 予測結果

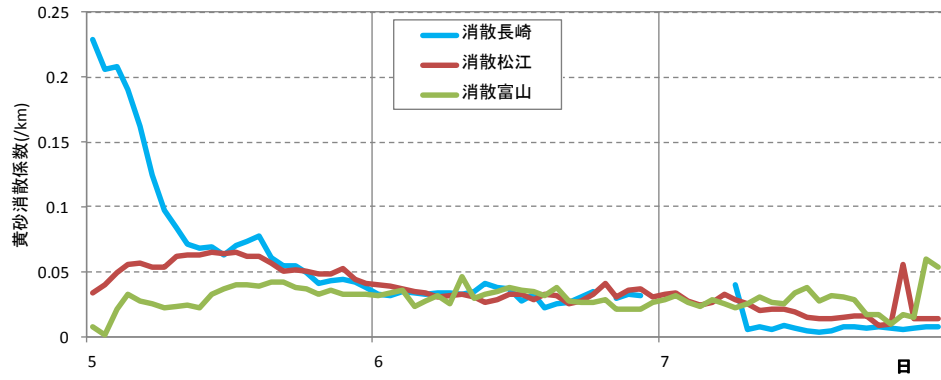


図 5-2-3-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化

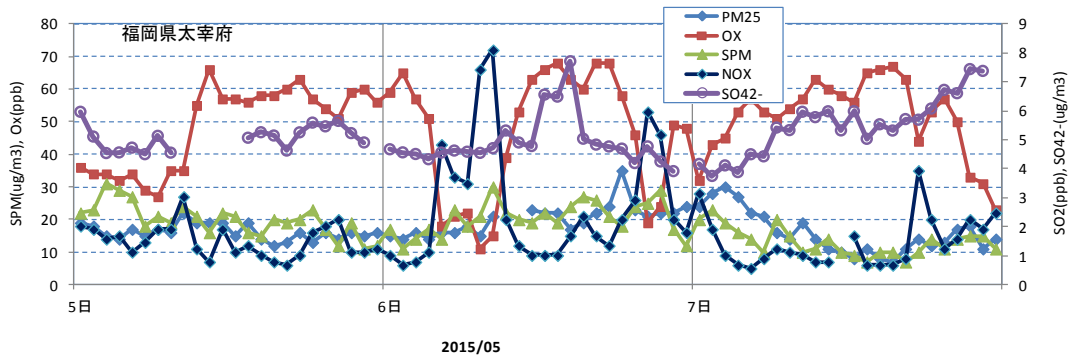


図 5-2-3-8 硫酸イオン濃度(時間値)

[注]福岡県 SPA 計故障のため九大 ACSA のデータを使用

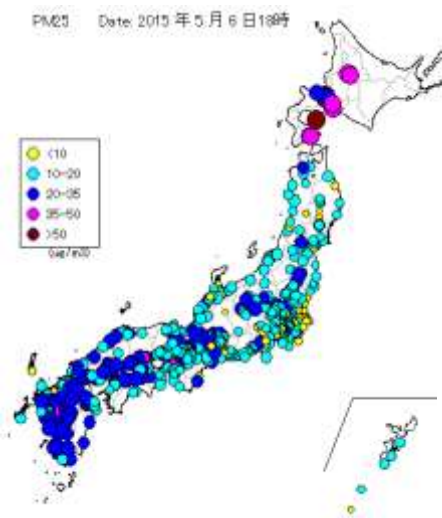


図 5-2-3-9 PM_{2.5} 濃度全国分布

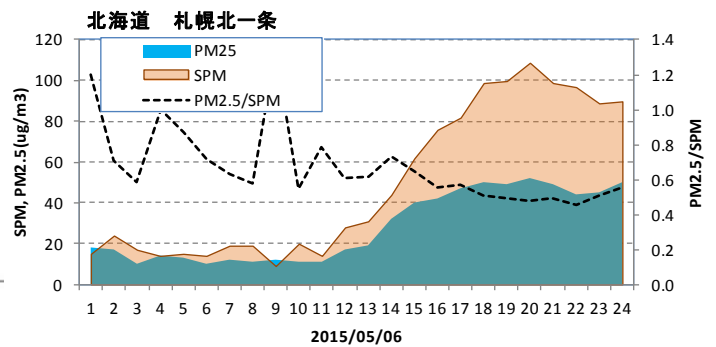


図 5-2-3-10 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

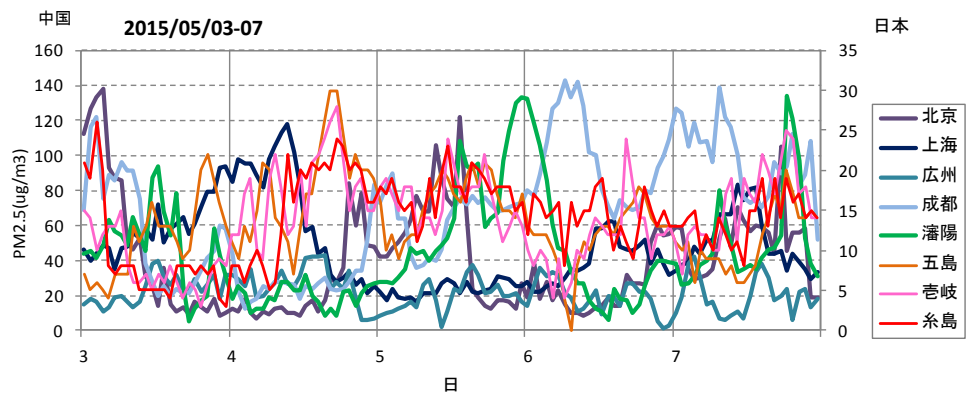


図 5-2-3-11 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

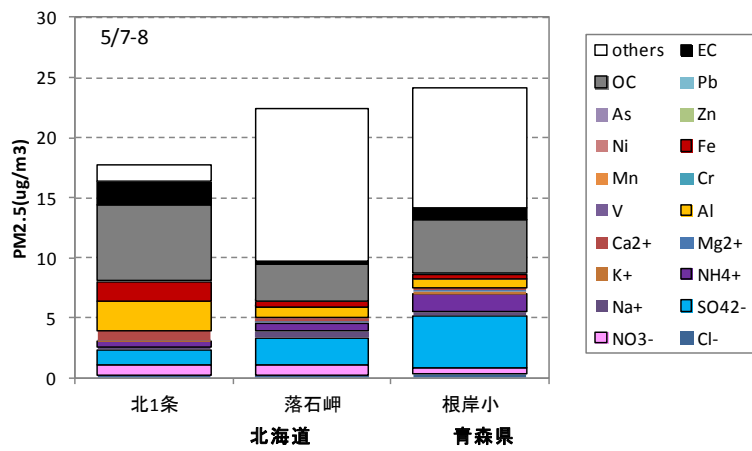


図 5-2-3-12 黄砂観測地点での PM_{2.5} 成分濃度

(4) 黄砂事例 04 (2015年5月20日)

日本では松江のみ黄砂が観測され、煙霧は九州と北陸の多地点で観測されている。日本南岸に前線が位置し、大陸では16日に小規模な砂塵嵐が観測されている。後方流跡線は大陸中央部からの大気の流れを示している。SPMは九州でやや上昇し、PM_{2.5}濃度も九州で高くなっている。松江・富山で黄砂消散係数が0.1近くまで上昇し、黄砂が飛来していた可能性が高い。一方、CFORSの sulfate は大陸からの影響を予測しており、福岡での硫酸イオン濃度も最大14μg/m³と高い。

空間規模、濃度とともに小規模な黄砂が山陰、北陸に飛来し、福岡県周辺には硫酸エアロゾルが飛来したと思われる。

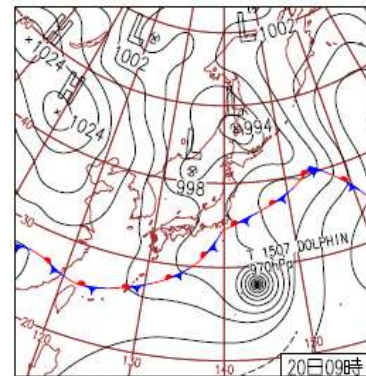
表 5-2-4-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	観測地点
2015	5	20	1	松江

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名							
				1	2	3	4	5	6	7	8
2015	5	20	8	金沢	岐阜	福岡	佐賀	長崎	熊本	宮崎	鹿児島



図 5-2-4-1 黄砂・煙霧観測地点



20日(水)沖縄梅雨入り発表
 沖縄・奄美は前線の影響で曇りや雨。九州～東北は高気圧に覆われて晴れ、北海道は寒気の影響で一部で雨。台風第7号は小笠原付近を通過。東京都父島で最大瞬間風速36.6m/s。

図 5-2-4-2 天気図

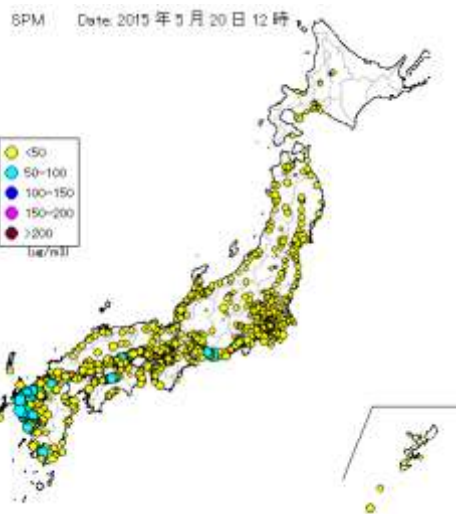


図 5-2-4-3 SPM 濃度全国分布

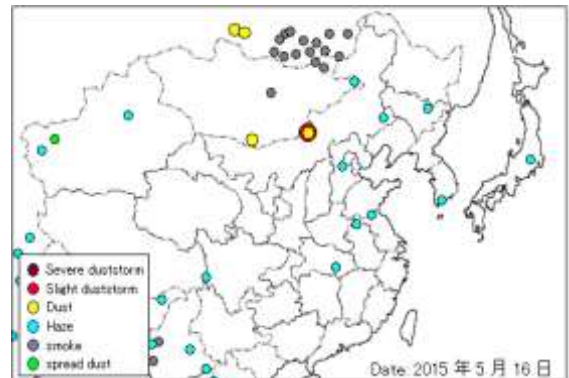


図 5-2-4-4 砂塵嵐発生状況

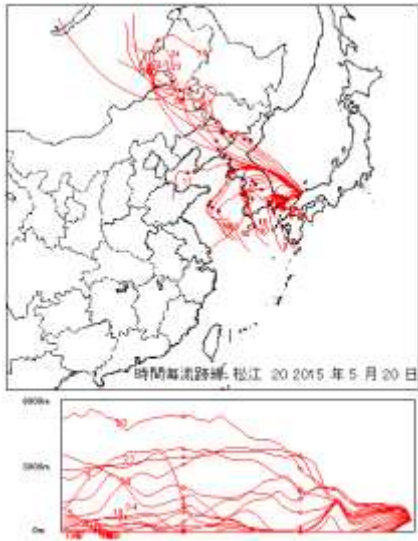


図 5-2-4-5 後方流跡線

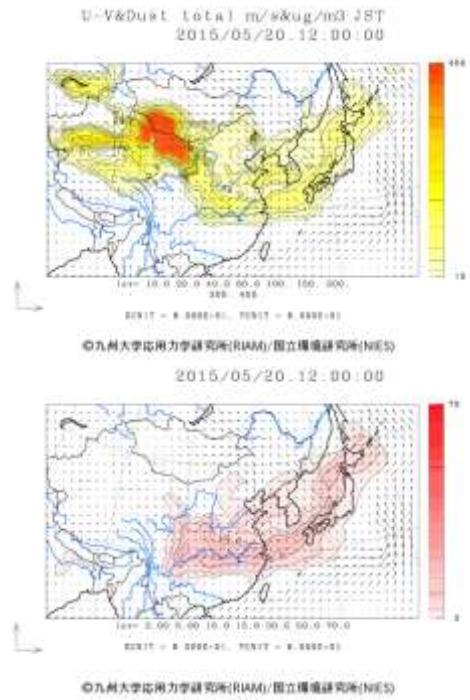


図 5-2-4-6 CFORS 予測結果

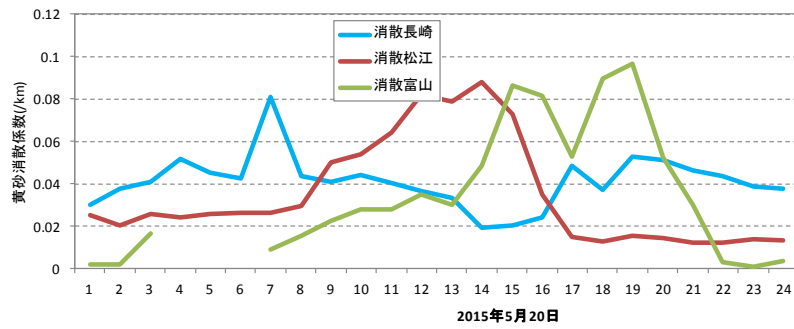


図 5-2-4-7 ライト-黄砂消滅係数の経時変化

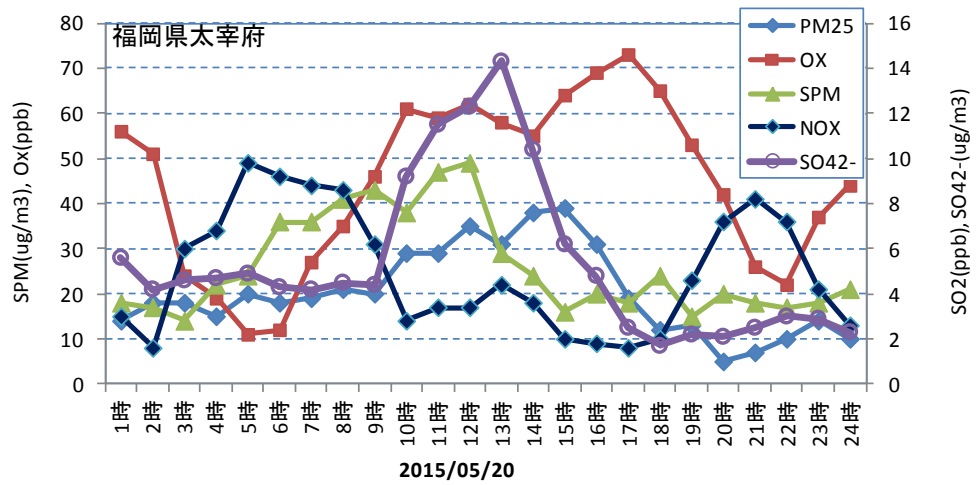


図 5-2-4-8 硫酸イオン濃度(時間値)

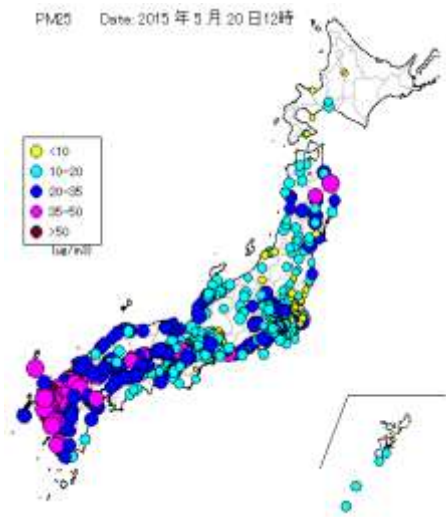


図 5-2-4-9 PM_{2.5} 濃度全国分布

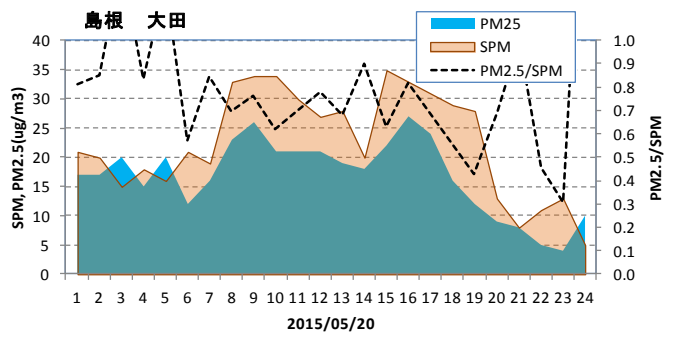


図 5-2-4-10 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

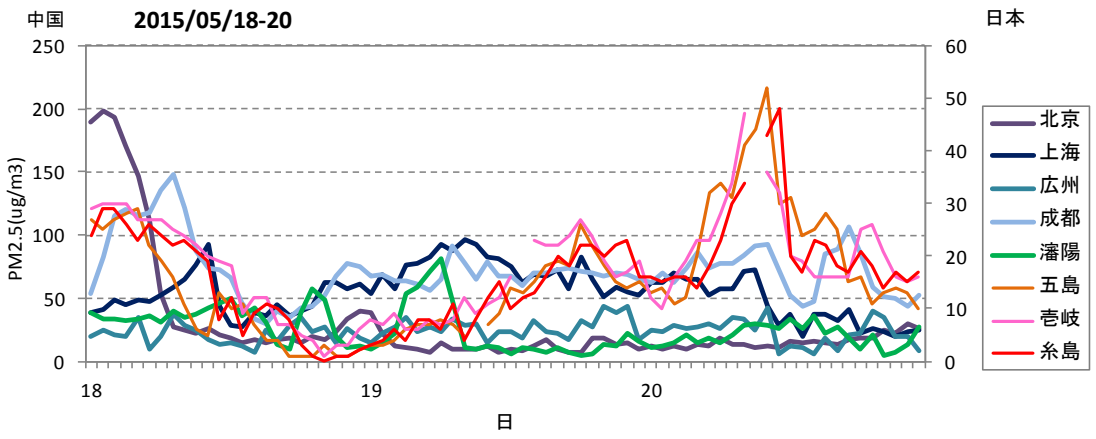


図 5-2-4-11 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

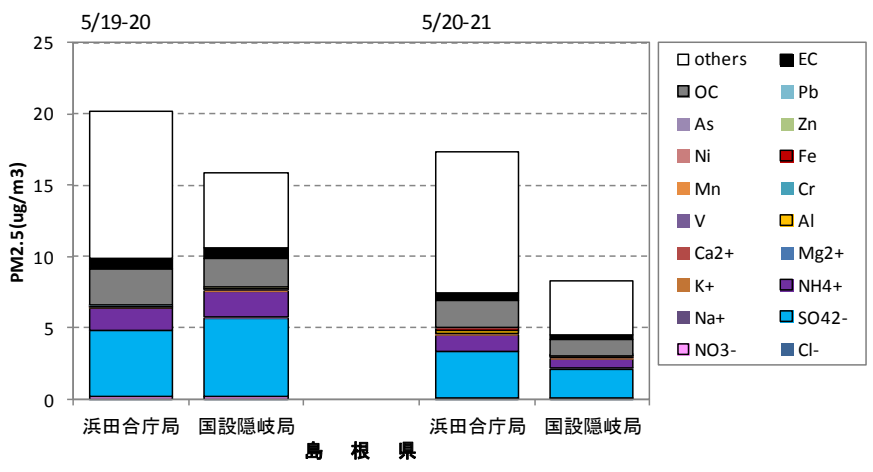


図 5-2-4-12 黄砂観測地点での PM_{2.5} 成分濃度

(5) 黄砂事例 05 (2015年6月12日~13日)

西日本で観測された黄砂で、煙霧も広く観測されている。気圧配置では、日本の南岸に前線が位置していた。9日に、砂塵嵐の発生がみられ、福岡での後方流跡線はこの方向からの流れを示唆している。SPM濃度の日本海側から九州にかけて上昇がみられている。PM_{2.5}濃度も高くなっており、13日は日平均値で35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた地点が15あり、日最高時間値は88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。この時の福岡での後方流跡線は河北省、山東半島から上海付近を通過していた。東京では黄砂が飛来していた可能性はほとんどなく、煙霧が発生している。

福岡では硫酸塩イオンは最大で14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、福岡県周辺に飛来した黄砂は混在黄砂と判断される。

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	3	4	5	6	7	8	9	10	
2015	6	12	7	下関	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島				
2015	6	13	17	福井	松江	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				

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名							
				1	2	3	4	5	6	7	
2015	6	12	6	金沢	津	松江	広島	福岡	佐賀		
2015	6	13	7	前橋	熊谷	東京	横浜	津	神戸	佐賀	

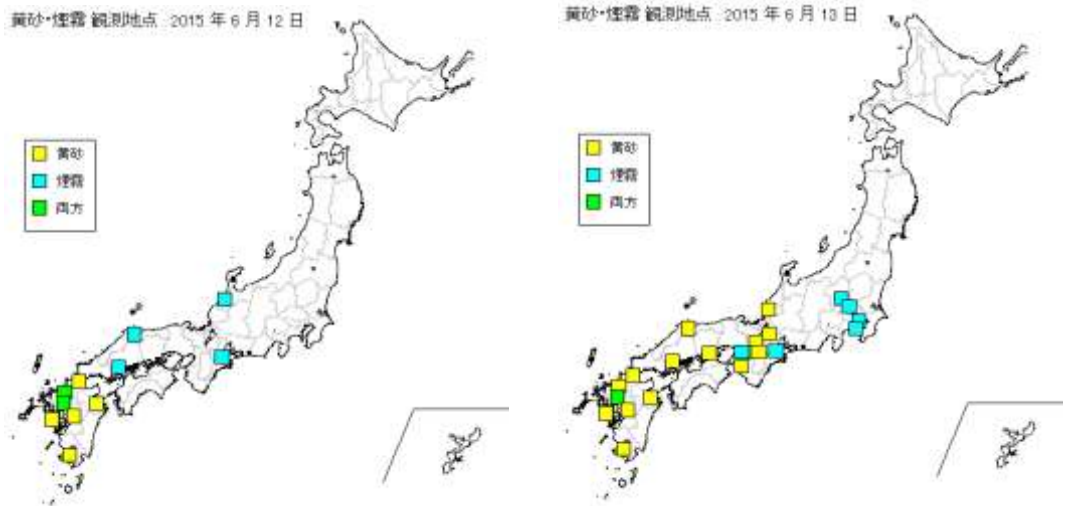
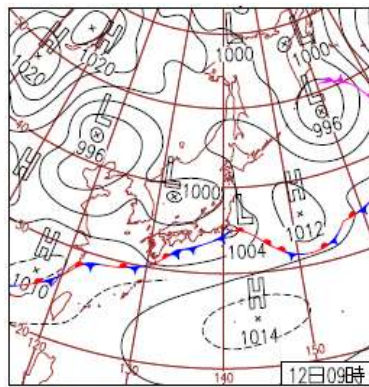
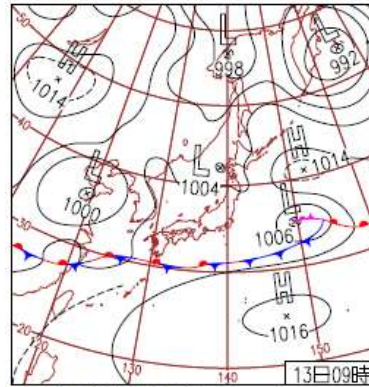


図 5-2-5-1 黄砂・煙霧観測地点



12日(金)九州で黄砂
 低気圧に伴う雨雲が東進し九州～東北で雨。低気圧通過後、梅雨前線南下し、西日本中心に晴れて暑さ戻り真夏日158地点。福岡、鹿児島、大分など九州各地で黄砂。



13日(土)黄砂広がる
 梅雨前線が活発化し北上、雨雲が西日本に広がる。鹿児島県中之島で67.5mm/1hの非常に激しい雨。北海道も低気圧の接近により雨。西日本中心に黄砂。

図 5-2-5-2 天気図

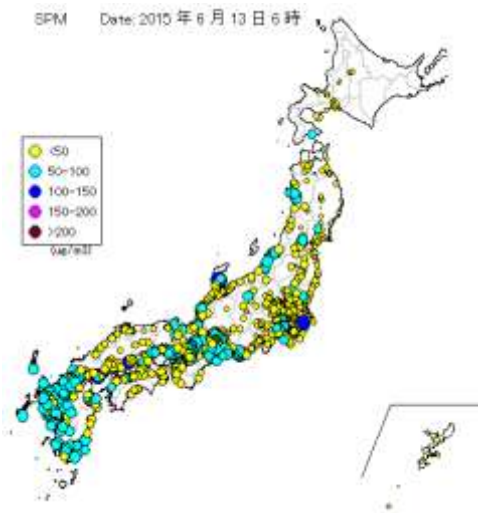


図 5-2-5-3 SPM 濃度全国分布

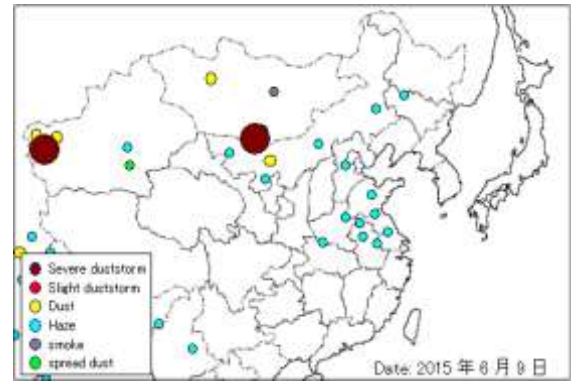


図 5-2-5-4 砂塵嵐発生状況

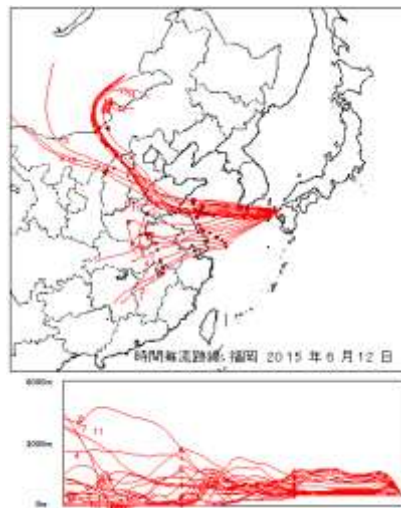


図 5-2-5-5 後方流跡線

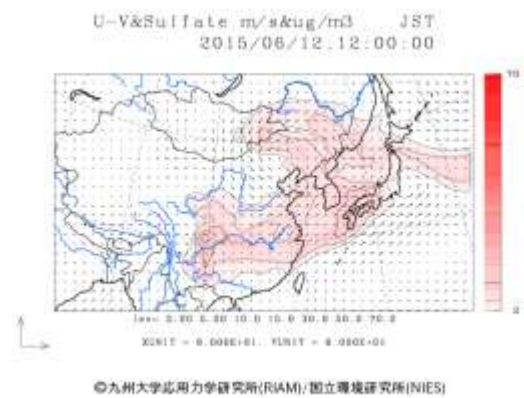
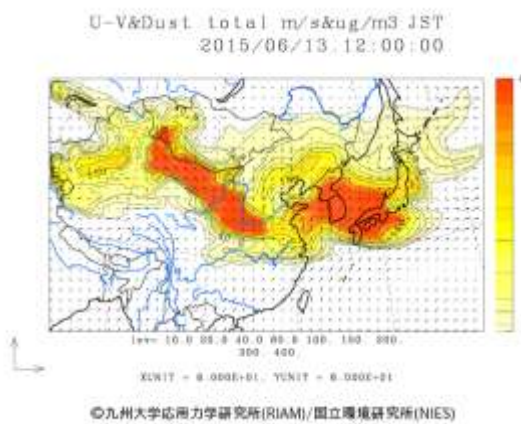


図 5-2-5-6 CFORS(dust・sulfate) 予測結果

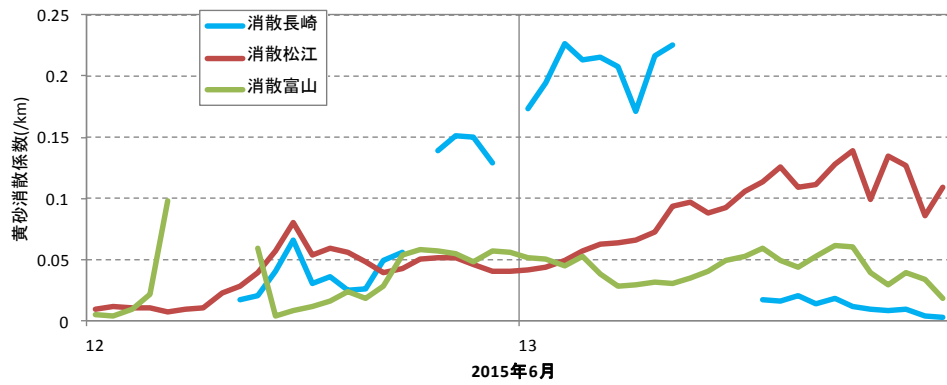


図 5-2-5-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化

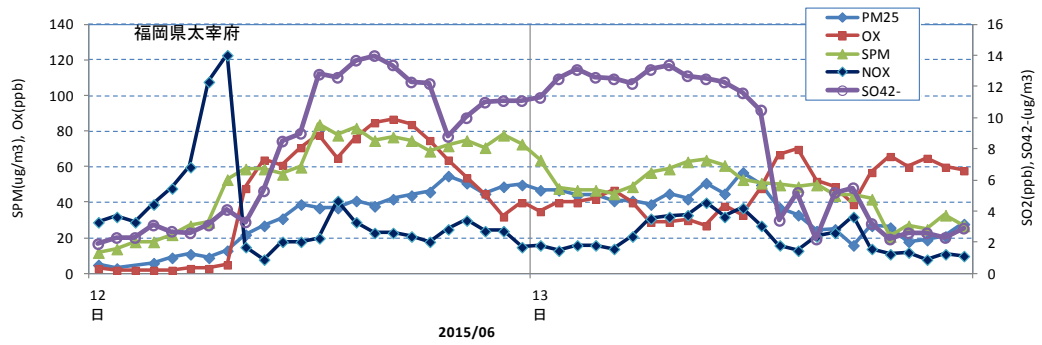


図 5-2-5-8 硫酸イオン濃度(時間値)

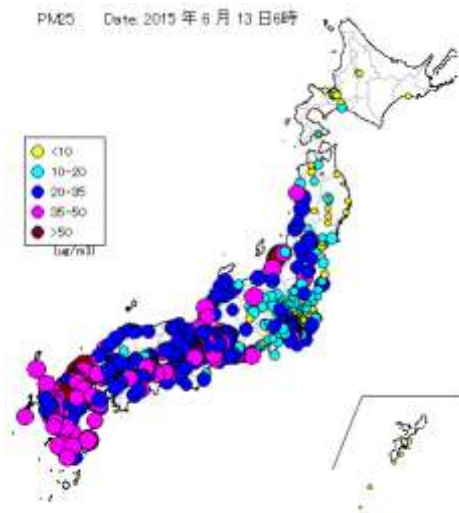


図 5-2-5-9 PM_{2.5} 濃度全国分布

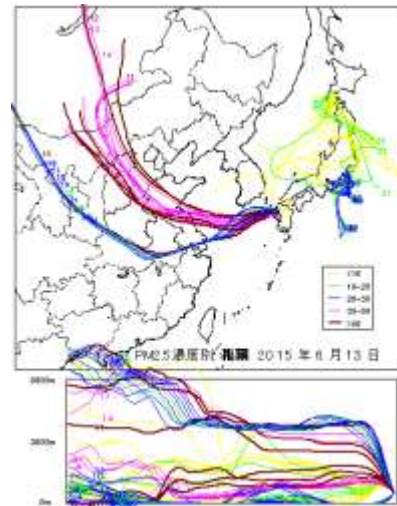


図 5-2-5-10 PM_{2.5} 濃度上昇と後方流跡線

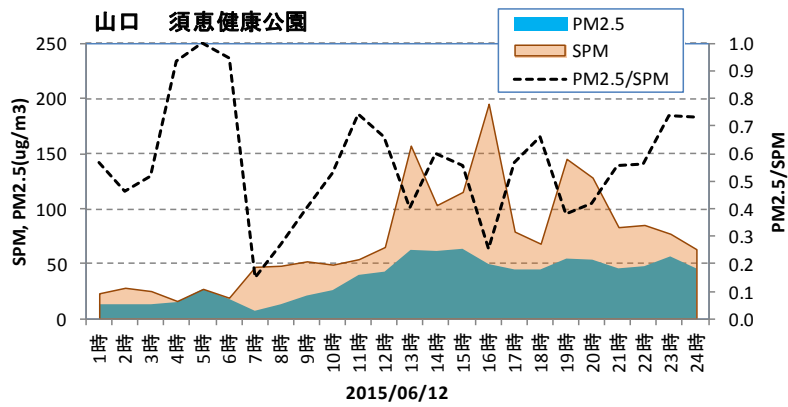


図 5-2-5-11 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

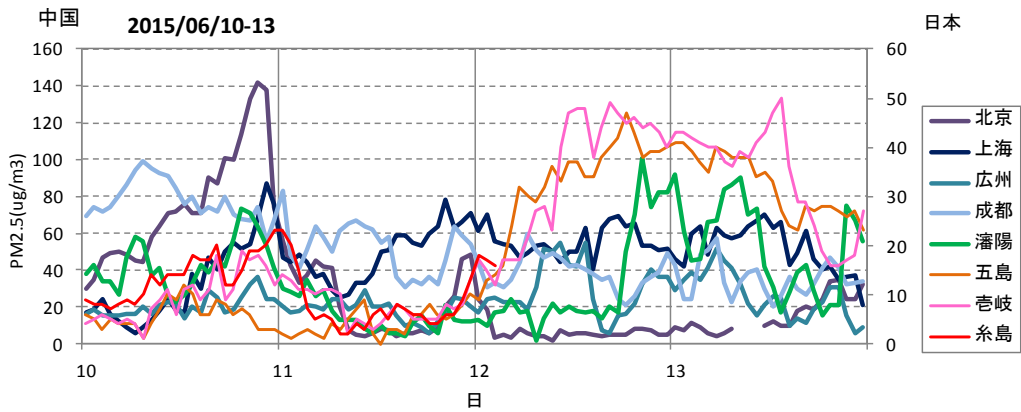


図 5-2-5-12 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

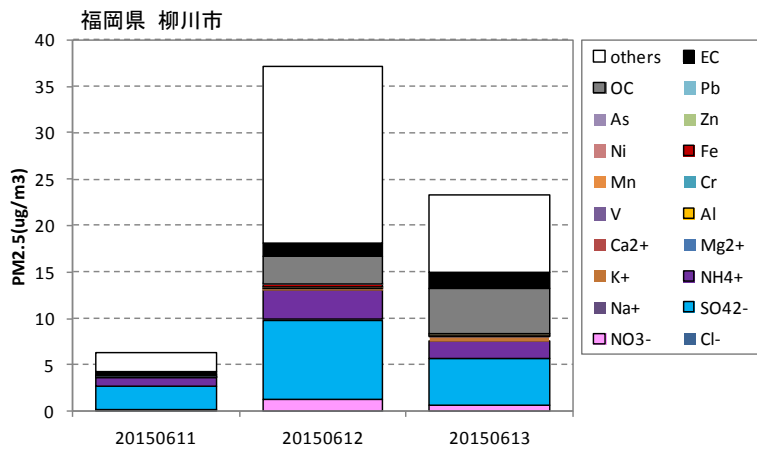


図 5-2-5-13 黄砂観測地点での PM_{2.5} 成分濃度

5.3. 煙霧の観測事例

表 5-3-1 に、平成 27(2015)年度に観測された煙霧を一覧表で示している。このうち、10 地点以上で同時に観測された日を抽出したものが表 5-3-2 である。

表 5-3-1 平成 27 年度に観測された煙霧

年	月	日	煙霧観測地点	年	月	日	煙霧観測地点	年	月	日	煙霧観測地点
2015	4	1	7	2015	7	26	1	2015	12	9	1
2015	4	2	4	2015	7	27	2	2015	12	10	5
2015	4	3	1	2015	7	28	1	2015	12	11	1
2015	4	5	1	2015	7	29	6	2015	12	13	1
2015	4	6	3	2015	7	30	10	2015	12	14	4
2015	4	9	3	2015	7	31	13	2015	12	15	2
2015	4	10	3	2015	8	1	16	2015	12	16	6
2015	4	12	1	2015	8	2	18	2015	12	21	1
2015	4	15	7	2015	8	3	12	2015	12	23	3
2015	4	16	9	2015	8	4	18	2015	12	24	1
2015	4	17	7	2015	8	5	11	2015	12	25	2
2015	4	20	1	2015	8	6	9	2015	12	26	3
2015	4	23	3	2015	8	7	2	2015	12	27	9
2015	4	24	5	2015	8	8	5	2015	12	28	1
2015	4	25	6	2015	8	9	2	2015	12	31	1
2015	4	26	1	2015	8	10	3	2016	1	1	2
2015	4	27	4	2015	8	11	2	2016	1	3	4
2015	4	28	10	2015	8	15	1	2016	1	4	15
2015	4	29	3	2015	8	22	1	2016	1	5	17
2015	5	1	2	2015	9	4	1	2016	1	6	2
2015	5	2	2	2015	9	5	4	2016	1	7	3
2015	5	8	2	2015	9	16	1	2016	1	11	3
2015	5	9	2	2015	9	22	1	2016	1	14	1
2015	5	14	1	2015	9	23	1	2016	1	15	2
2015	5	15	2	2015	9	24	2	2016	1	17	1
2015	5	16	1	2015	9	25	1	2016	1	22	1
2015	5	17	1	2015	10	2	1	2016	1	23	2
2015	5	20	8	2015	10	7	1	2016	1	31	4
2015	5	21	1	2015	10	9	1	2016	2	1	13
2015	5	24	1	2015	10	10	11	2016	2	4	3
2015	5	28	4	2015	10	11	4	2016	2	6	1
2015	5	29	3	2015	10	12	1	2016	2	9	4
2015	5	30	2	2015	10	14	1	2016	2	12	4
2015	5	31	1	2015	10	15	1	2016	2	13	3
2015	6	1	2	2015	10	16	1	2016	2	20	1
2015	6	2	5	2015	10	17	1	2016	2	23	2
2015	6	3	1	2015	10	20	7	2016	2	24	3
2015	6	11	1	2015	10	21	14	2016	2	25	2
2015	6	12	6	2015	10	22	11	2016	2	27	6
2015	6	13	7	2015	10	23	5	2016	2	28	10
2015	6	14	8	2015	10	24	19	2016	2	29	8
2015	6	15	8	2015	10	25	4	2016	3	3	2
2015	6	16	9	2015	10	28	2	2016	3	4	5
2015	6	17	3	2015	10	29	1	2016	3	5	10
2015	6	18	1	2015	11	1	1	2016	3	6	4
2015	6	20	1	2015	11	5	1	2016	3	7	1
2015	6	23	4	2015	11	6	4	2016	3	8	13
2015	6	24	5	2015	11	7	4	2016	3	9	3
2015	6	25	6	2015	11	10	1	2016	3	10	1
2015	6	26	1	2015	11	13	1	2016	3	13	1
2015	6	29	1	2015	11	17	2	2016	3	14	1
2015	6	30	1	2015	11	18	1	2016	3	15	1
2015	7	3	2	2015	11	21	1	2016	3	17	1
2015	7	8	1	2015	11	22	2	2016	3	18	2
2015	7	10	2	2015	11	23	2	2016	3	19	3
2015	7	11	2	2015	11	24	3	2016	3	20	2
2015	7	12	4	2015	11	30	1	2016	3	22	1
2015	7	13	1	2015	12	1	2	2016	3	27	3
2015	7	14	1	2015	12	2	2	2016	3	28	3
2015	7	15	1	2015	12	3	5	2016	3	29	3
2015	7	21	1	2015	12	7	1	2016	3	30	3
2015	7	25	2	2015	12	8	1	2016	3	31	6

表 5-3-2 平成 27 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		PM _{2.5} 平均濃度	県数	PM _{2.5} 積算
1	1	2015	4	28	10	31.5	10	315
2	2	2015	7	30	10	28.9	10	289
	3	2015	7	31	13	32.1	11	353
	4	2015	8	1	16	35.2	15	528
	5	2015	8	2	18	34.9	17	593
	6	2015	8	3	12	33.4	11	367
	7	2015	8	4	18	32.5	17	553
	8	2015	8	5	11	34.0	10	340
	3	9	2015	10	10	11	35.1	10
4	10	2015	10	21	14	32.5	14	455
	11	2015	10	22	11	26.9	9	242
	12	2015	10	23	5	28.1	5	141
	13	2015	10	24	19	31.2	18	562
5	14	2016	1	4	15	32.5	13	423
	15	2016	1	5	17	33.5	14	469
6	16	2016	2	1	13	31.1	12	373
7	17	2016	2	28	10	31.9	9	287
8	18	2016	3	5	10	24.6	10	246
9	19	2016	3	8	13	24.6	12	295

多地点での同時に観測された大きな煙霧の 9 事例(表 5-3-2) について、その状況を以下に詳細に示す。

(1) 煙霧事例 01 (2015 年 4 月 28 日)

西日本と関東で煙霧が観測されている。図 5-3-1-1 と 5-3-1-5 を照らすと煙霧地点の $PM_{2.5}$ 濃度は $35\sim 50\mu g/m^3$ にある。CFORS による硫酸塩エアロゾルの予測分布図では、上海地域から中国東北部および朝鮮半島、日本全体を広く範囲に覆っている。東京を起点とする後方流跡線は、気流が中国東北部から流れてきていたことを示している。 $PM_{2.5}$ 濃度は煙霧地点だけでなく全国的に高い。西山ら²⁰⁾は、関東以西の 9 地点での $PM_{2.5}$ 成分濃度結果で、 SO_4^{2-} 濃度が高い地点と NO_3^- が高い地点 (三重県) があつたとしている。九州域では、壱岐や糸島、福岡でも $PM_{2.5}$ 濃度が $35\mu g/m^3$ を超えており、福岡での硫酸イオン濃度は最高 $14\mu g/m^3$ を超えている。

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
2015	4	28	10	つくば	東京	甲府	名古屋	津	京都	大阪	岡山	高松	佐賀

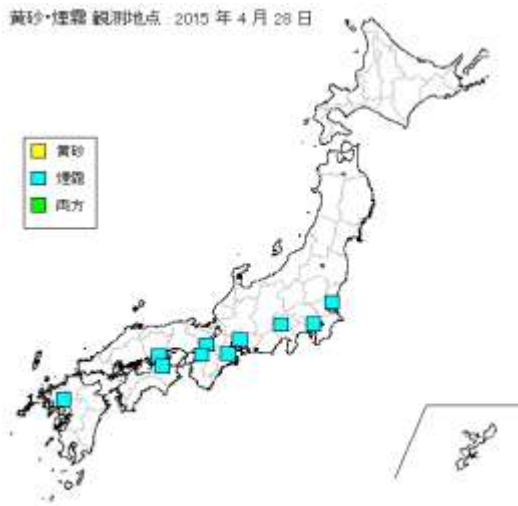
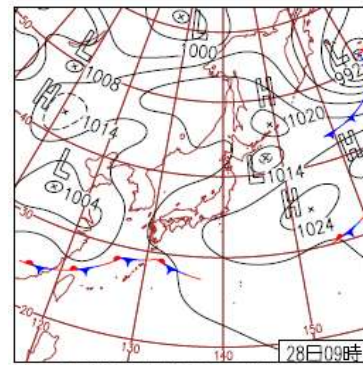


図 5-3-1-1 黄砂・煙霧観測地点



28日(火)関東など連日の真夏日
東～北日本は晴れて気温上昇し27地点で最高気温が4月の1位。前線近傍の沖縄県川平で90mm/1hの猛烈な雨。室蘭市でサクラ開花。帯広市、旭川市でエゾヤマザクラ満開。

図 5-3-1-2 天気図

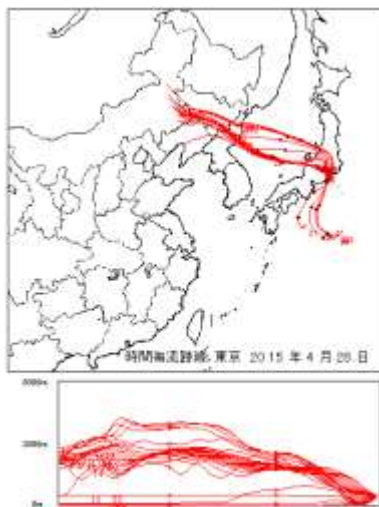


図 5-3-1-3 後方流跡線

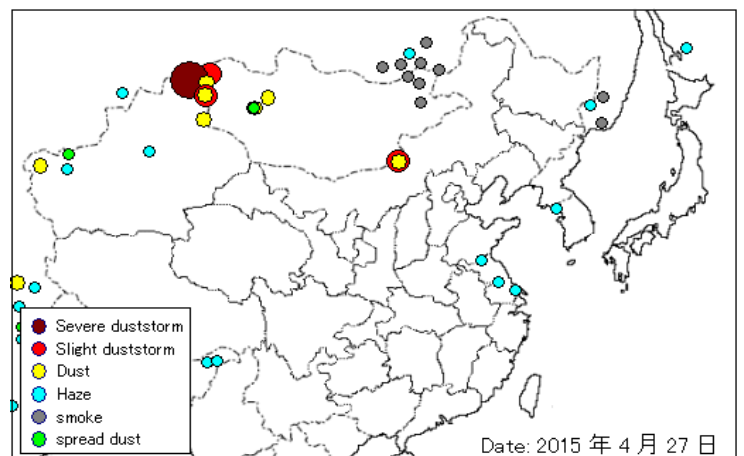


図 5-3-1-4 Haze の観測状況

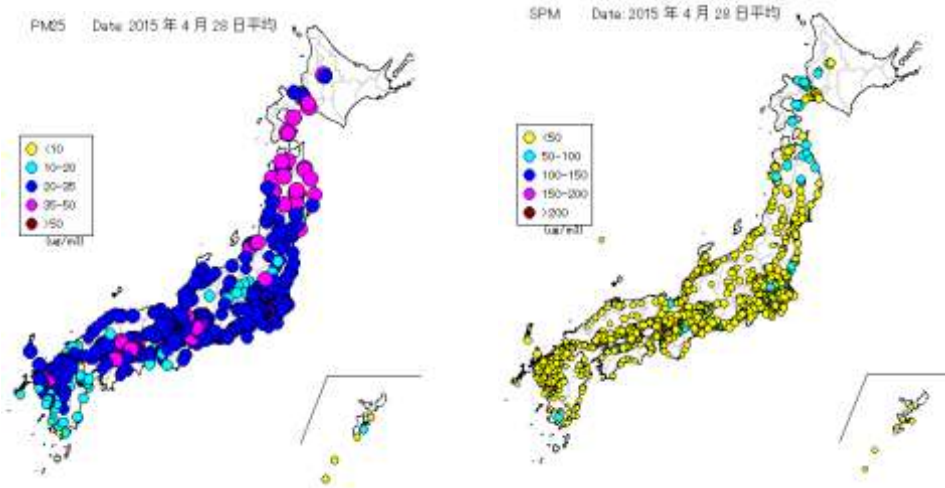


図 5-3-1-5 PM_{2.5}・SPM の日平均値全国分布

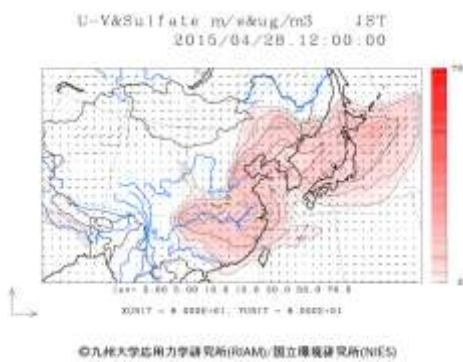


図 5-3-1-6 CFORS 予測結果

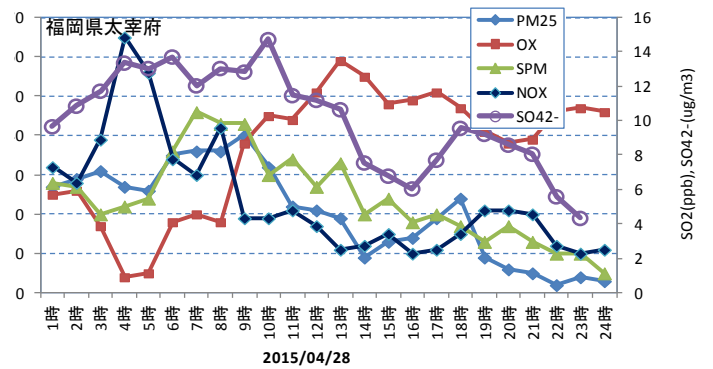


図 5-3-1-7 硫酸イオン濃度

[注]福岡県 SPA 計故障のため九大 ACSA のデータを使用

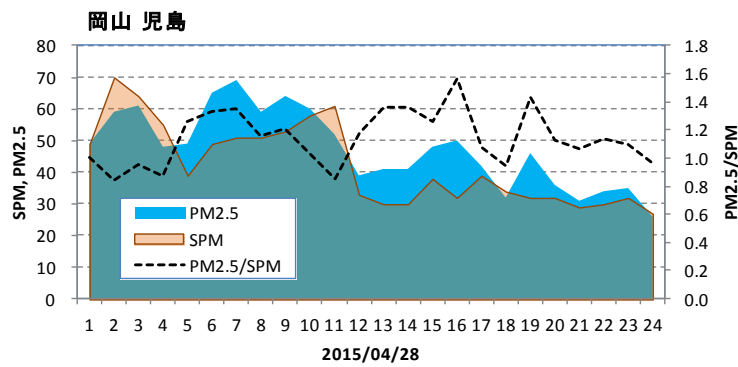


図 5-3-1-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

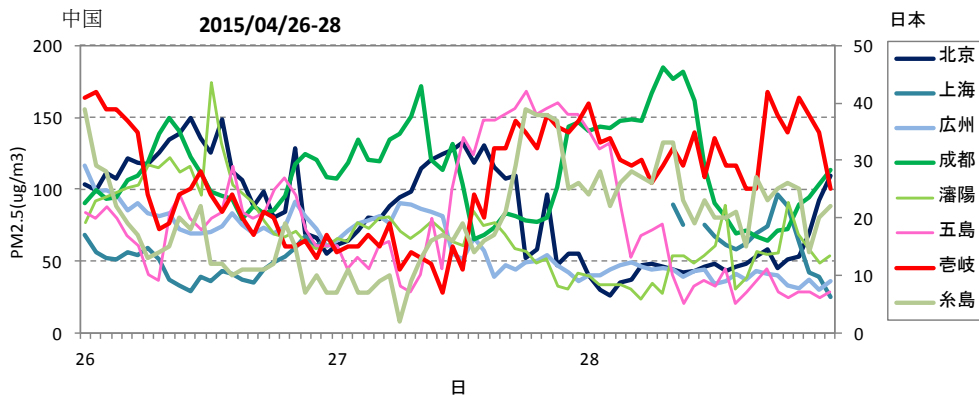


図 5-3-1-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

(2) 煙霧事例 02 (2015 年 7 月 30 日～8 月 5 日)

本州中部地域を中心に 1 週間近い継続した煙霧である。図 5-3-2-4 は、継続期間中の煙霧地点数の多かった 8 月 2 日を例示したものだが、PM_{2.5} は瀬戸内海沿岸部から関東地方にかけて 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている地点が 41 地点あり、日最高時間値濃度が 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (愛知県名古屋市) を記録した。その日の九州および東京を起点とする PM_{2.5} 濃度上昇と後方流跡線(図 5-3-2-5) は中国からの移流を示していない。7 月 31 日の富山を起点とする後方流跡線(図 5-3-2-5) は中国からの移流を示していない。7 月 31 日の富山を起点とする後方流跡線は中国・江蘇省から朝鮮半島を経て気流が流れてきたことを示している。煙霧期間の始まりとそれ以降では気流の流れが違ってくる。図 5-3-2-10 に示す中国および九州域の PM_{2.5} 濃度の変化を見ると 7 月 28 日～8 月 1 日に PM_{2.5} 時間値濃度が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた中国大都市はなく、大陸からの移流による寄与はあまり大きくないと思われる。

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
2015	7	30	10	前橋	東京	金沢	甲府	大阪	神戸	奈良	鳥取	広島	松山
2015	7	31	13	山形 徳島	つくば 松山	熊谷 宮崎	千葉	横浜	甲府	長野	神戸	奈良	広島
2015	8	1	16	山形 長野	つくば 神戸	宇都宮 奈良	熊谷 広島	千葉 松山	東京 宮崎	新潟	富山	金沢	甲府
2015	8	2	18	山形 京都	つくば 大阪	宇都宮 神戸	前橋 奈良	東京 和歌山	新潟 徳島	甲府	長野	佐賀	岐阜 津
2015	8	3	12	千葉 松山	東京 大分	横浜	福井	甲府	津	彦根	京都	奈良	広島
2015	8	4	18	山形 京都	つくば 神戸	宇都宮 奈良	前橋 岡山	東京 広島	金沢 徳島	甲府	長野	高松	大分 彦根
2015	8	5	11	金沢 宮崎	甲府	長野	奈良	広島	徳島	高松	松山	佐賀	長崎

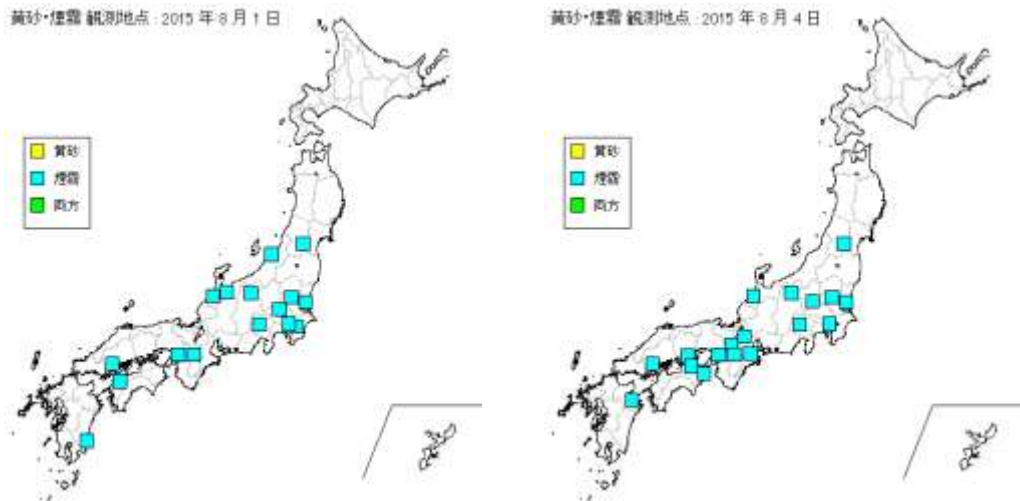
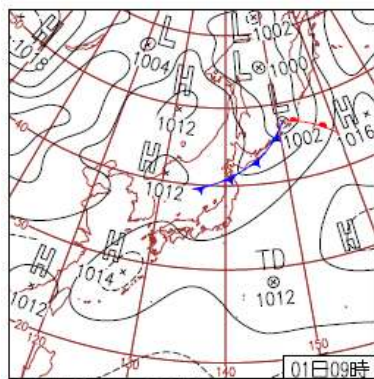
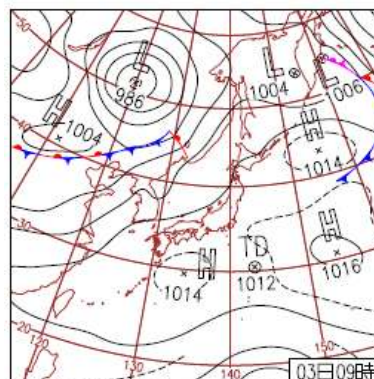


図 5-3-2-1 黄砂・煙霧観測地点



1日(土)猛暑日223地点

西～東日本は内陸中心に気温上昇し、午後は雷雨。岐阜県多治見39.9℃、群馬県館林39.4℃。長野県野辺山52.5mm/1h。北海道は前線により上川地方で大雨。台風第13号発生。



3日(月)猛暑続く

高気圧に覆われ沖縄・奄美、西～東日本は晴れて気温上昇、大気の状態が不安定となり山沿い中心に雷雨。北日本は弱い気圧の谷の影響で曇りや雨の所も。猛暑日132地点。

図 5-3-2-2 天気図

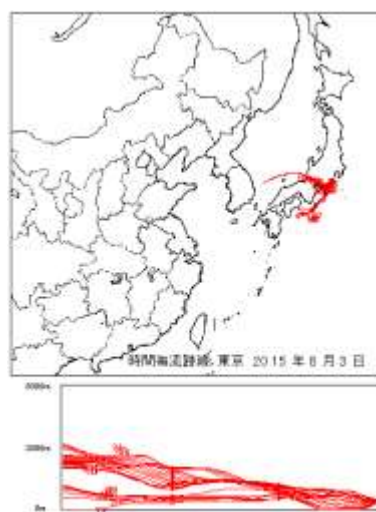
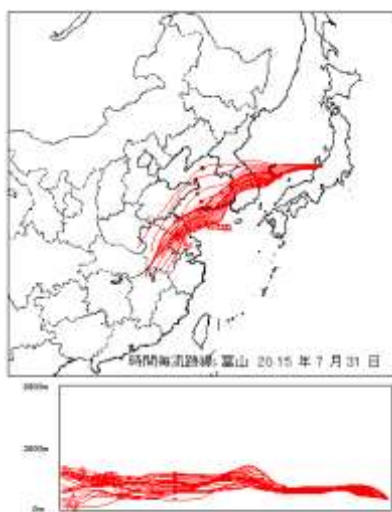


図 5-3-2-3 後方流跡線

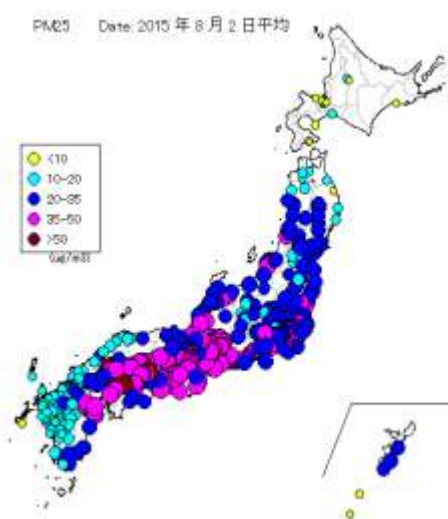


図 5-3-2-4 PM_{2.5} 日平均値全国分布

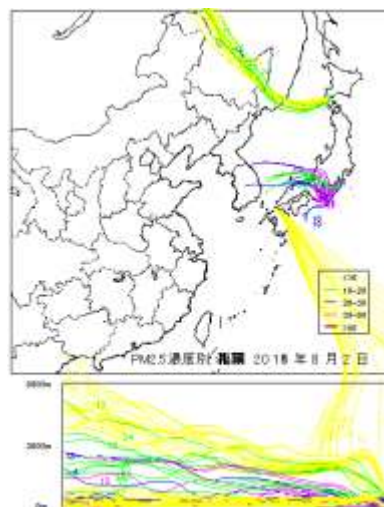


図 5-3-2-5 PM_{2.5} 濃度上昇と後方流跡線

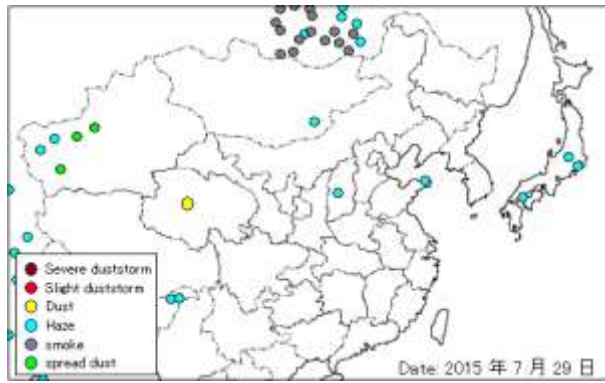


図 5-3-2-6 Haze の観測状況

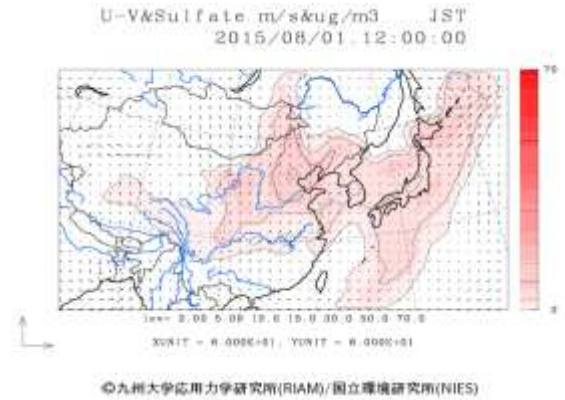


図 5-3-2-7 CFORS 予測結果

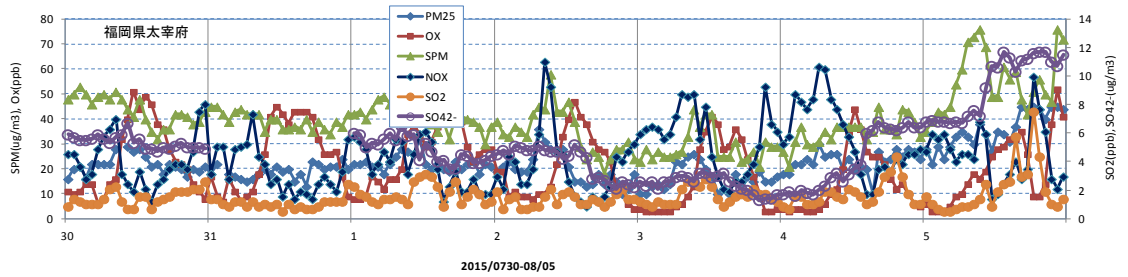


図 5-3-2-8 硫酸イオン濃度

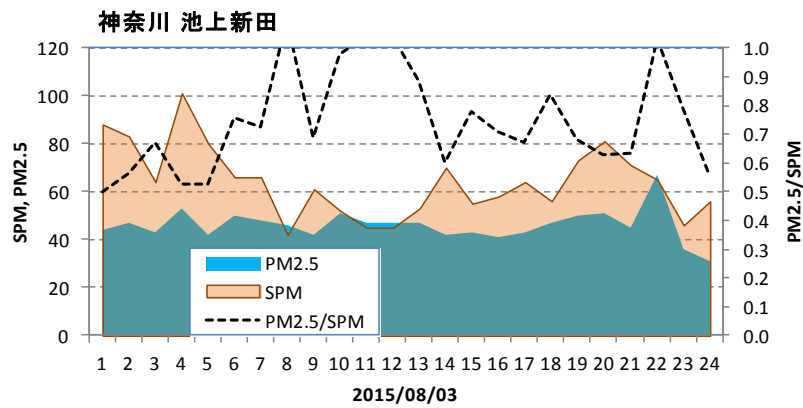


図 5-3-2-9 $PM_{2.5}/SPM$ の分布

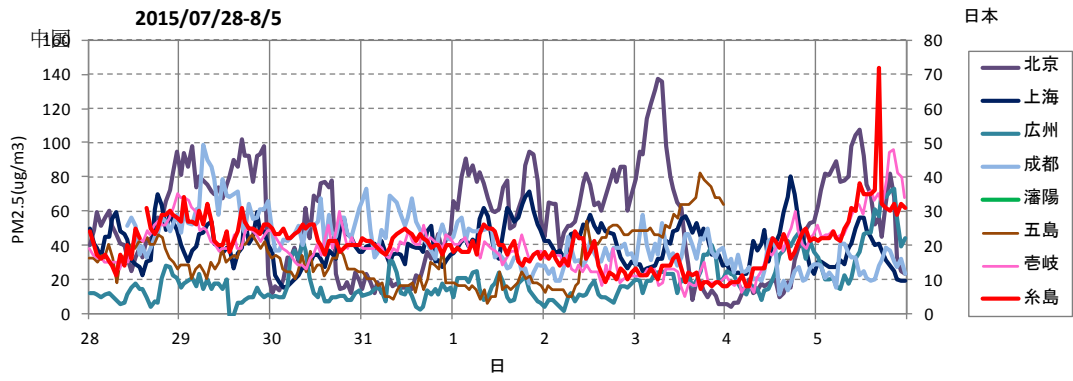


図 5-3-2-10 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

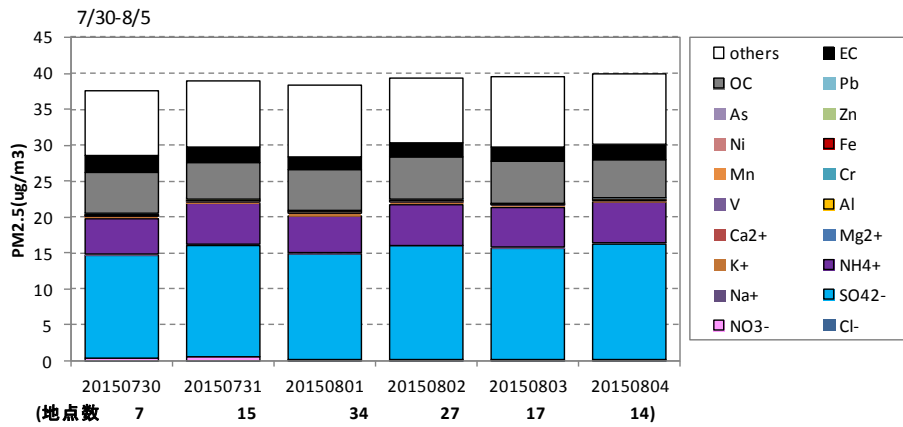


図 5-3-2-11 煙霧観測地点での PM_{2.5} 高濃度 (>35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 地点の平均成分濃度
(図下は日毎の地点数)

平均した地域

7月30日：関西・中国

7月31日：関東・関西・四国・九州

8月1日：関東・北陸・関西・中国

8月2日：関西・中国・九州

8月3日：関東・北陸・関西・中国・四国・九州

8月4日：関西・中国・四国・九州

(3) 煙霧事例 03 (2015 年 10 月 10 日)

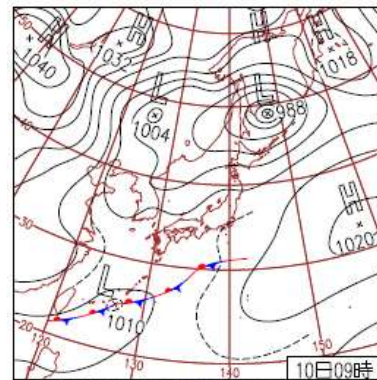
煙霧の観測は、本州中央部で、この地域を中心に $PM_{2.5}$ 濃度が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が目立っている。東京の後方流跡線で見ると、関東は近隣からの影響と思われる。中島ら²²⁾は、 $PM_{2.5}$ 高濃度地点 (全国 13 地点) での成分濃度結果から、地点により $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ の濃度が異なっているとされている。また、この事例を含む期間中は、秋の収穫後の野焼きが、茨城県・富山県など日本中央部を中心に行われたとの推定^{23, 24, 25)}もあり、その影響も考えられる。

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
2015	10	10	11	つくば 津	宇都宮	前橋	熊谷	千葉	金沢	甲府	長野	岐阜	名古屋



図 5-3-3-1 黄砂・煙霧観測地点



10日(土)列島の南北に低気圧
日本の南を東西にのびる前線が北上。沖縄・奄美は雨。西～東日本で曇りや雨。低気圧の影響で、北海道、東北部で風が強く、北海道えりも岬で最大瞬間風速 $27.1\text{m}/\text{s}$ 。

図 5-3-3-2 天気図

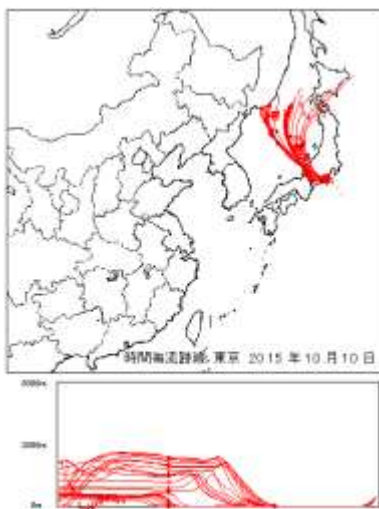


図 5-3-3-3 後方流跡線

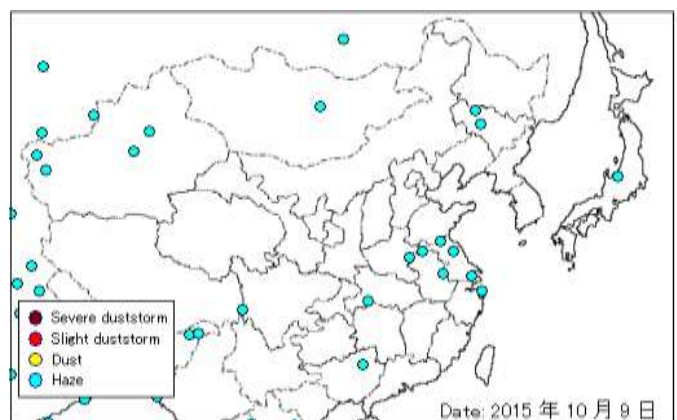


図 5-3-3-4 Haze の観測状況

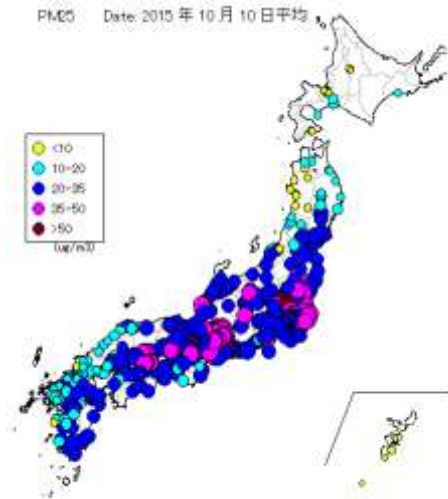


図 5-3-3-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

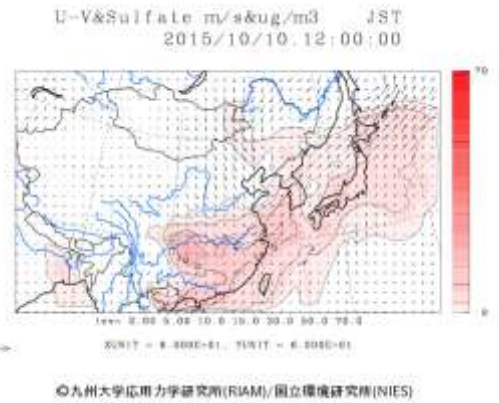


図 5-3-3-6 CFORS 予測結果

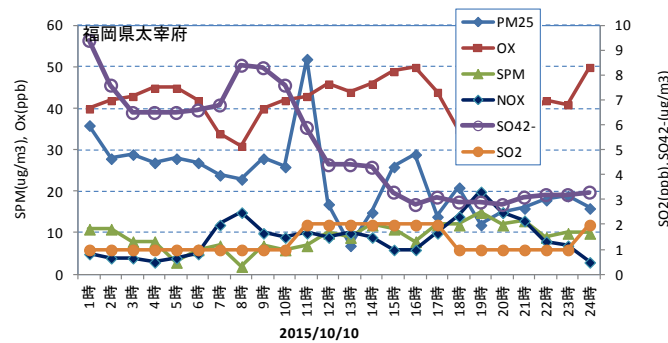


図 5-3-3-7 硫酸イオン濃度

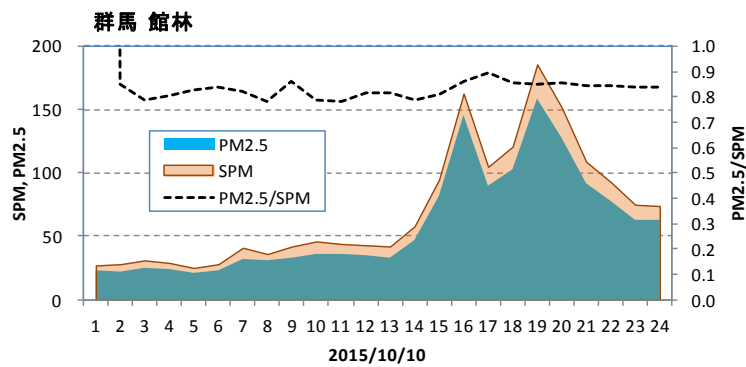


図 5-3-3-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

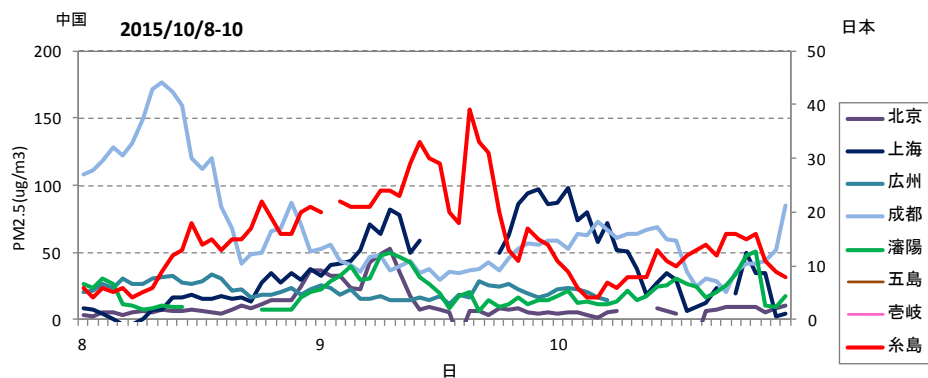


図 5-3-3-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

(4) 煙霧事例 04 (2015年10月21日~24日)

煙霧は西日本を中心に、北は新潟まで観測されている。PM_{2.5}高濃度域は西日本が中心である。福岡での後方流跡線は、中国沿岸部からの気流の流れを示しており、CFORSでもsulfateの飛来を予測している。PM_{2.5}濃度も高くなっており、21日は日平均値で35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた地点が12あり、日最高時間値は100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。この時の福岡・東京での後方流跡線をPM_{2.5}濃度時間値と対応させて示すと(図5-3-4-7)、江蘇省及び河北省からの軌跡と対応していた。福岡での硫酸イオン濃度は15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、図5-3-4-10の化学成分濃度図からPM_{2.5}の主成分が硫酸イオンであることが判る。また、硫酸イオンとアンモニウムイオンの濃度比はアンモニウム硫酸塩と推定されるような比を示している。

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
2015	10	21	14	前橋 長崎	熊谷 熊本	福井 大分	甲府 宮崎	長野	奈良	和歌山	松山	福岡	佐賀
2015	10	22	11	前橋 鹿児島	千葉	金沢	福井	甲府	長野	奈良	松山	佐賀	熊本
2015	10	23	5	前橋	甲府	松山	高知	佐賀					
2015	10	24	19	前橋 津	千葉 和歌山	東京 松江	新潟 岡山	福井 松山	甲府 福岡	長野 佐賀	岐阜 長崎	静岡 熊本	名古屋

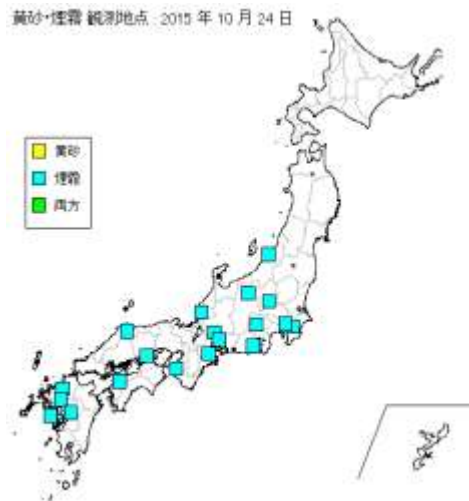
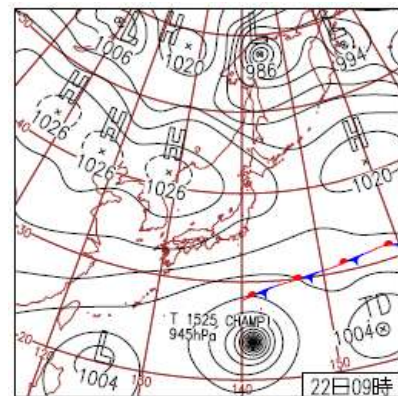


図 5-3-4-1 黄砂・煙霧観測地点



22日(木)台風第25号、父島接近
沖縄・奄美は低圧部の影響で曇りや雨、九州～北海道は高気圧に覆われ、山陰や北陸で雲が多かった以外は晴れ。北海道天塩の最低気温-5.2℃で10月の1位更新。

図 5-3-4-2 天気図

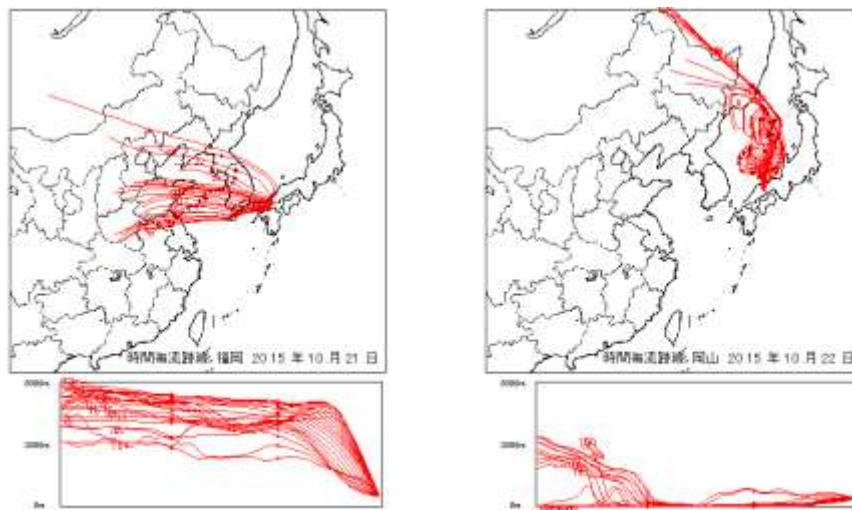


図 5-3-4-3 後方流跡線

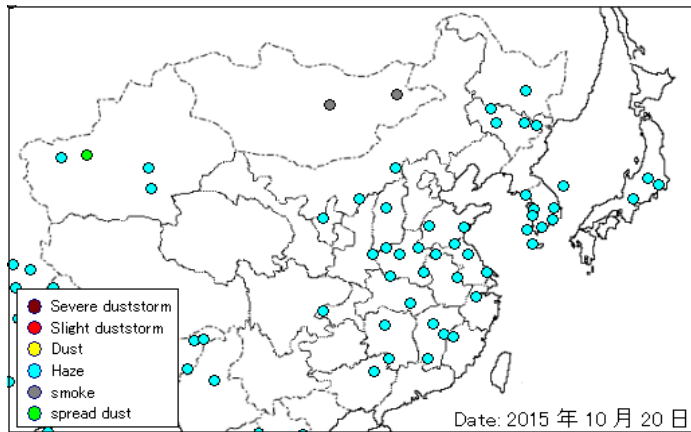


図 5-3-4-4 Haze の観測状況

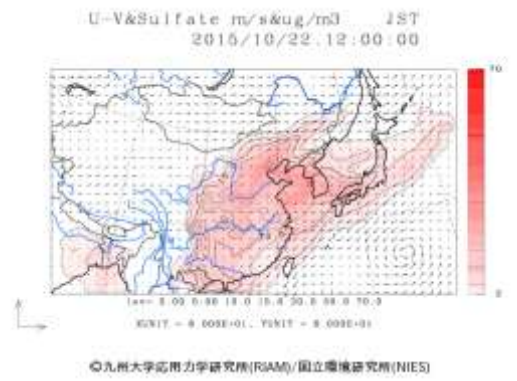


図 5-3-4-5 CFORS 予測結果

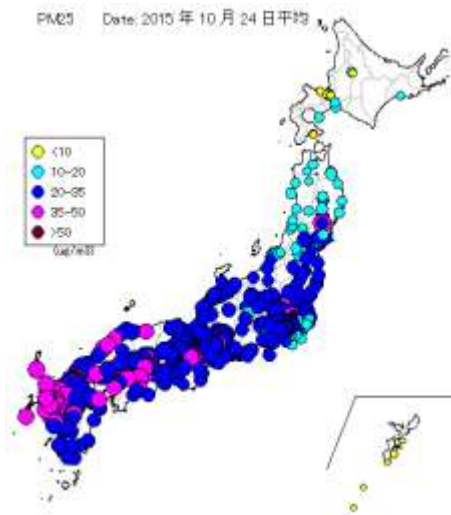


図 5-3-4-6 PM_{2.5} 日平均値全国分布

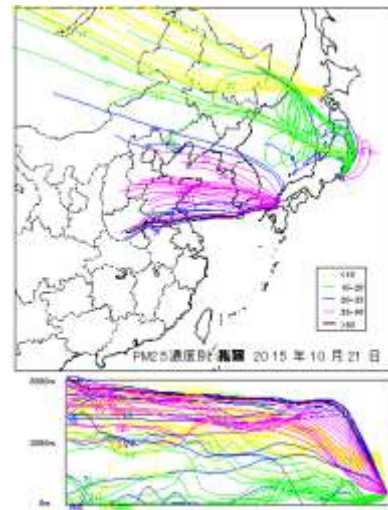


図 5-3-4-7 PM_{2.5} 濃度上昇と後方流跡線

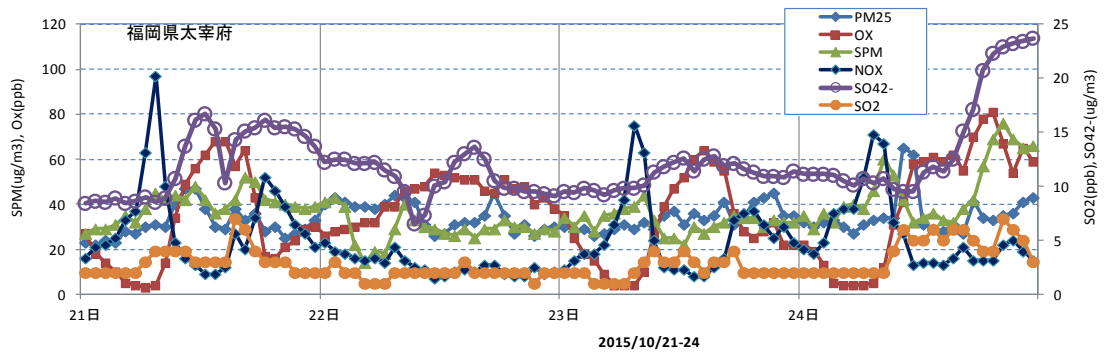


図 5-3-4-8 硫酸イオン濃度

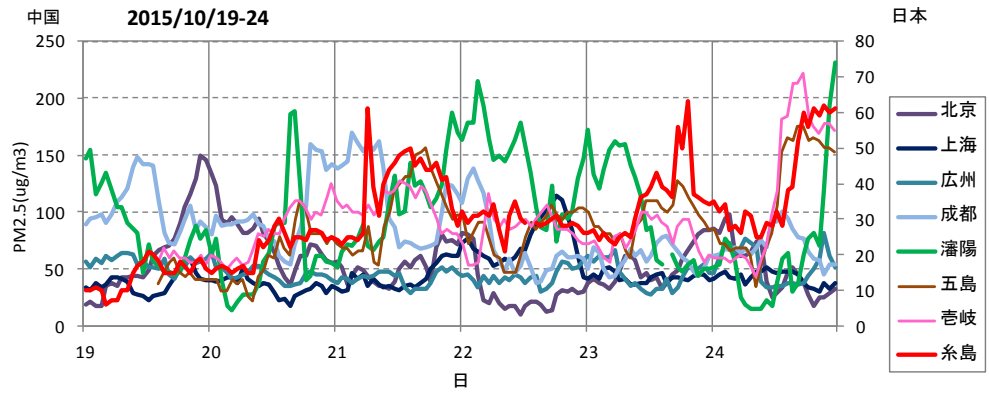


図 5-3-4-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

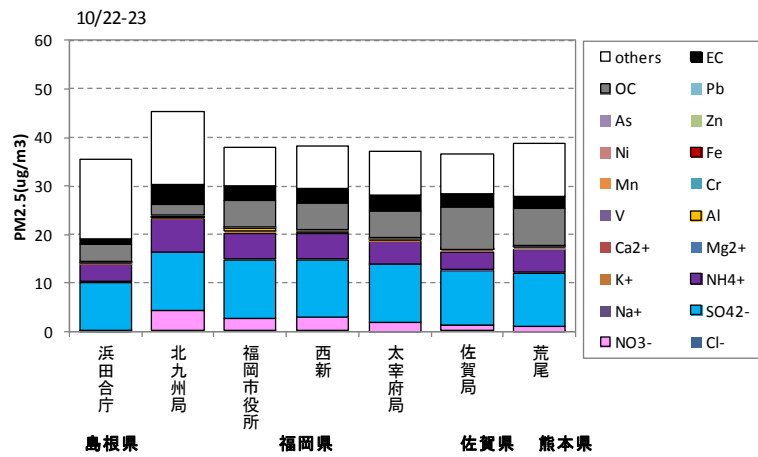
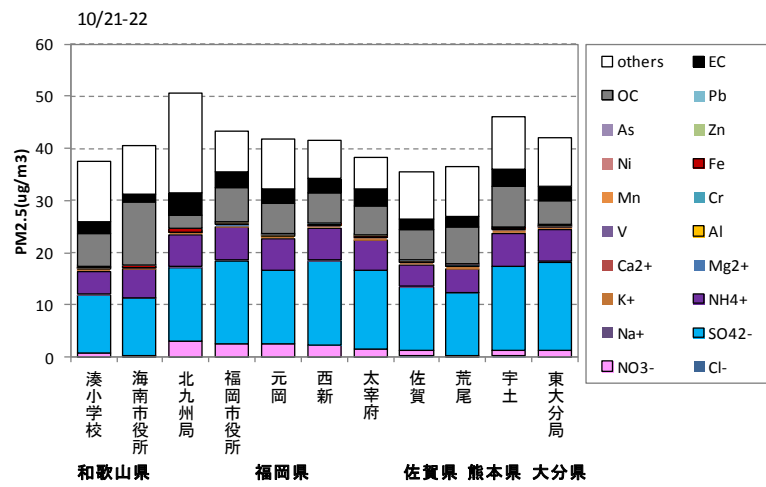


図 5-3-4-10 煙霧観測地点での PM_{2.5} 高濃度日 (>35ug/m³) の成分濃度

(5) 煙霧事例 05 (2016年1月4日～5日)

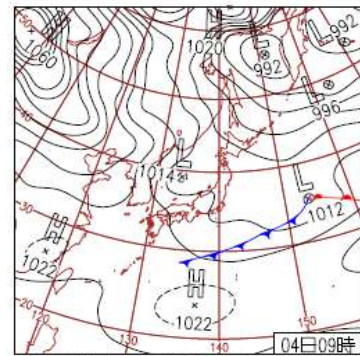
煙霧は、九州、中国、四国を中心に観測されている。東アジア全体でHazeの観測が非常に多い。福岡での後方流跡線は中国沿岸部からの流れを示している。日本に煙霧が発生する2日前の1月2日～3日にかけて、中国北京のPM_{2.5}濃度は600μg/m³を記録した。日本では1月4日に日平均値で35μg/m³を超えた地点が73あり、日最高時間値は112μg/m³と70μg/m³を超えていた。この時の福岡・東京・札幌での後方流跡線をPM_{2.5}濃度時間値と対応させて示すと(図5-3-5-7)、山東省、北京付近からの軌跡と一致していた。福岡での硫酸イオン濃度は15μg/m³近辺の値である。これらのことから、中国沿岸部のPM_{2.5}の移流の越境の影響が示される。

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
2016	1	4	15	千葉	金沢	福井	京都	大阪	奈良	鳥取	松江	下関	徳島
				高松	松山	福岡	長崎	大分					
2016	1	5	17	千葉	福井	長野	名古屋	津	京都	大阪	神戸	奈良	岡山
				徳島	高松	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島			



図 5-3-5-1 黄砂・煙霧観測地点



4日(月)またまた春の陽気
 沖縄は気圧の谷となり雨。沖縄県城辺55.5mm/1h。奄美～東日本は概ね晴れたが、北日本は低気圧が通過し雨や雪の降った所多い。全国43地点で最高気温が1月の1位に。

図 5-3-5-2 天気図

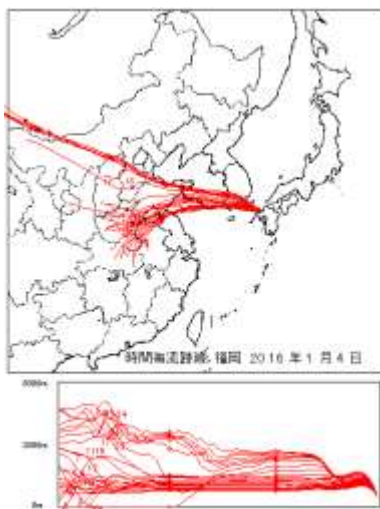


図 5-3-5-3 後方流跡線

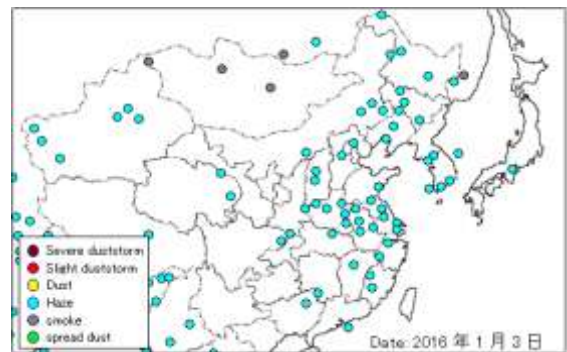
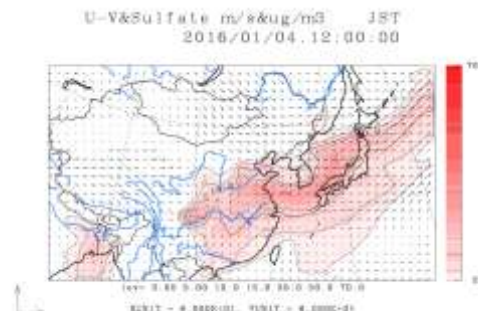


図 5-3-5-4 Hazeの観測状況



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図 5-3-5-5 CFORS 予測結果

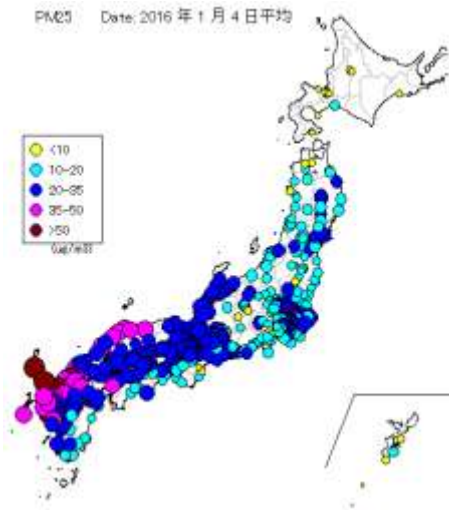


図 5-3-5-6 PM_{2.5} 日平均値全国分布

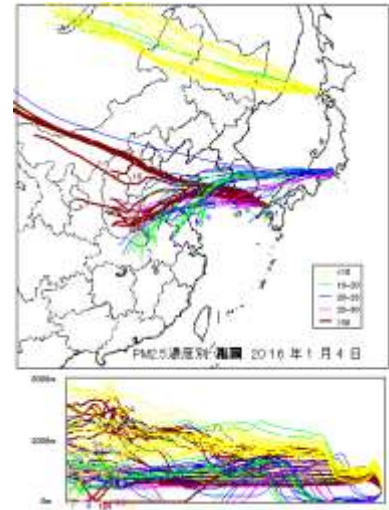


図 5-3-5-7 PM_{2.5} 濃度上昇と後方流跡線

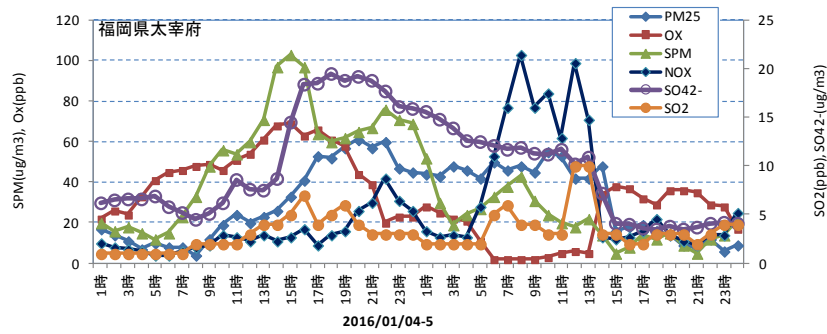


図 5-3-5-8 硫酸イオン濃度

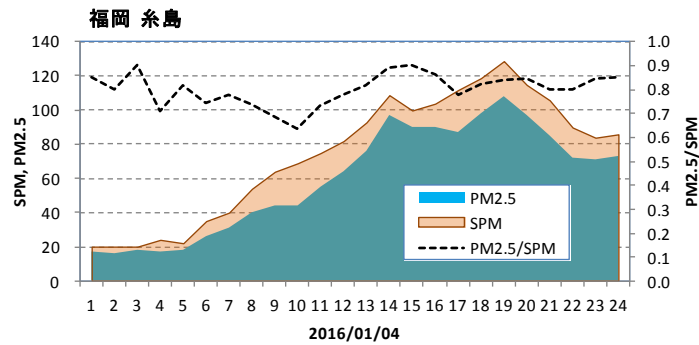


図 5-3-5-9 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

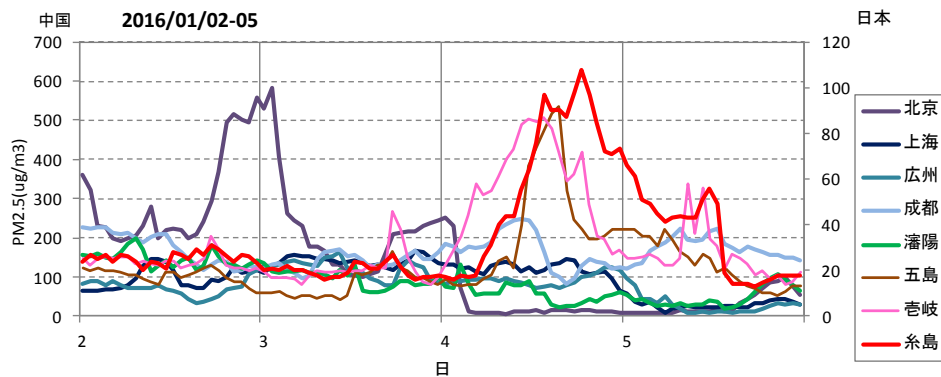


図 5-3-5-10 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

(6) 煙霧事例 06 (2016年2月1日)

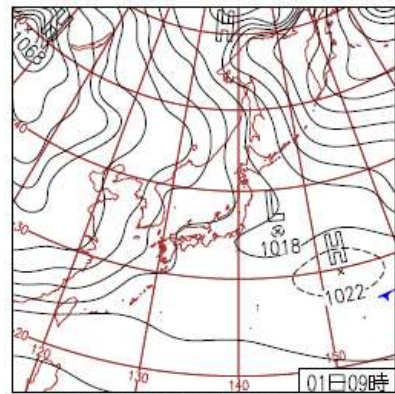
煙霧は、九州、中国、四国を中心に観測されている。福岡での後方流跡線は、中国沿岸部からの流れを示している。1月31日には、中国各地でHazeが観測されている。この2月1日の福岡では、硫酸イオン濃度が高い状況であった。PM_{2.5}濃度は、日平均値で35μg/m³を超えた地点が28あり、日最高時間時間値は95μg/m³と70μg/m³を超えていた。この時の福岡の後方流跡線をPM_{2.5}濃度時間値と対応させて示すと(図5-3-6-7)、北京・山東省付近を通過していたが、図5-3-6-9のPN_{2.5}時間値データでは北京のPM_{2.5}濃度の日最高時間値が100μg/m³に達していない。福岡県内各地のPM_{2.5}成分濃度では、硝酸イオンが高濃度(硫酸イオンと同程度)を示しており、煙霧事例02とは成分的特徴が異なる。

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
2016	2	1	13	津	神戸	和歌山	岡山	広島	徳島	高松	松山	福岡	佐賀
				熊本	大分	宮崎							



図 5-3-6-1 黄砂・煙霧観測地点



1日(月)冬型の気圧配置続く
 沖縄～東日本は気圧の谷の影響を受け広く曇りや雨。北日本は冬型の気圧配置が続く、太平洋側は晴れ、日本海側は雪。北海道は全観測地点で真冬日。

図 5-3-6-2 天気図

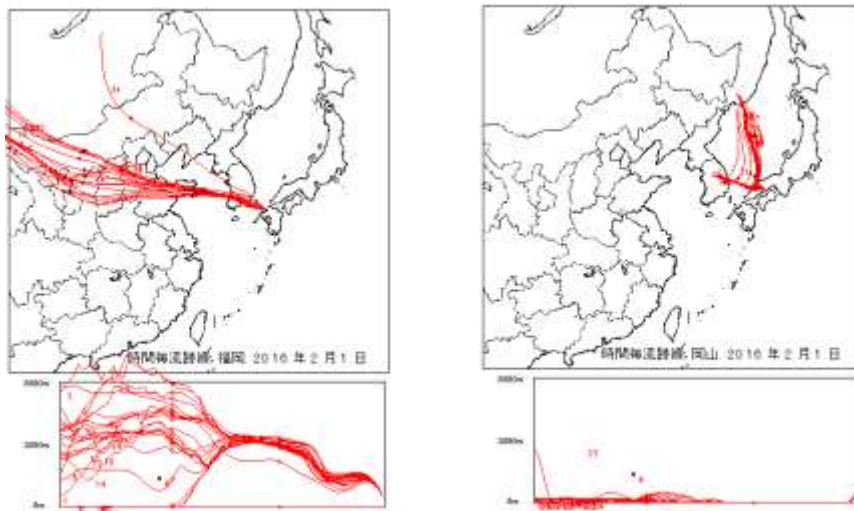


図 5-3-6-3 後方流跡線

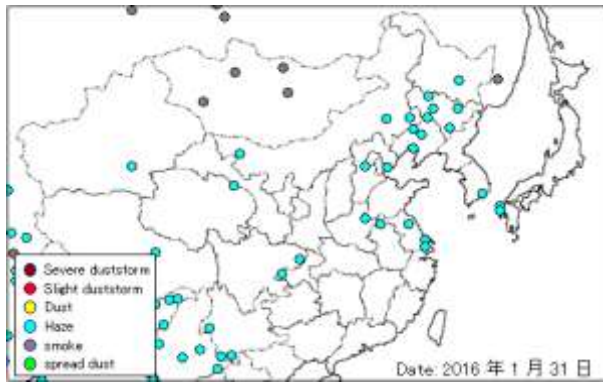


図 5-3-6-4 Haze の観測状況

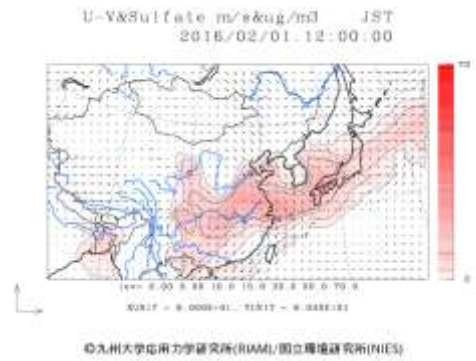


図 5-3-6-5 CFORS 予測結果

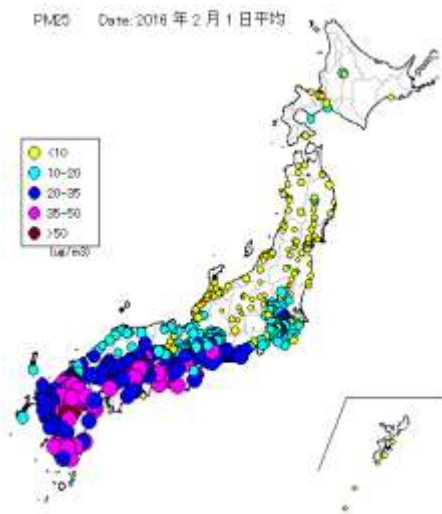


図 5-3-6-6 PM_{2.5} 日平均値全国分布

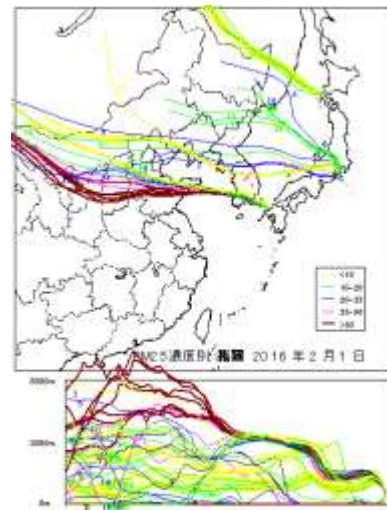


図 5-3-6-7 PM_{2.5} 濃度上昇と後方流跡線

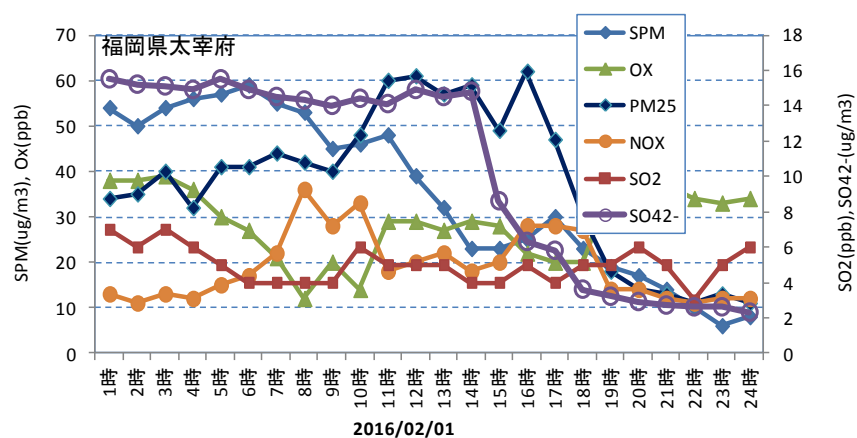


図 5-3-6-8 硫酸イオン濃度

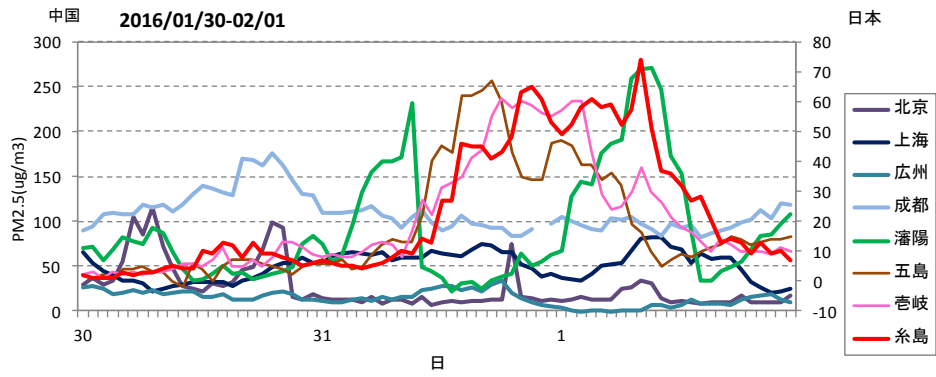


図 5-3-6-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

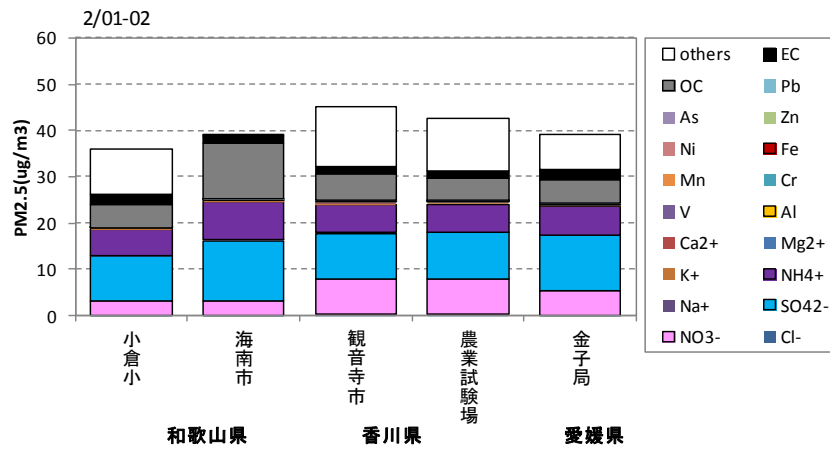
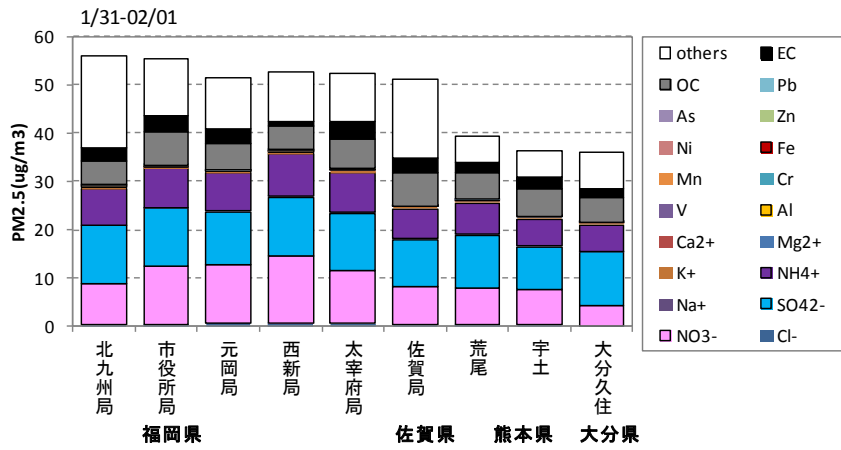


図 5-3-6-10 煙霧観測地点での PM_{2.5} 高濃度日 (>35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の成分濃度

(7) 煙霧事例 07 (2016年2月28日)

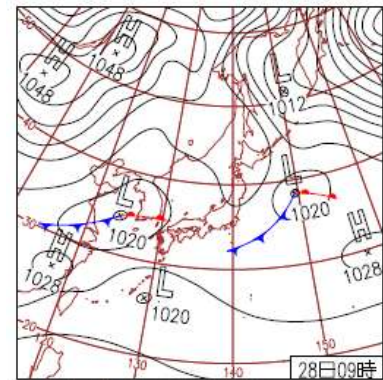
煙霧は関西を中心に観測されており、その前日(2月27日)には、中国全体で Haze が観測されている。木戸らは²⁶⁾、この時のPM_{2.5}濃度上昇をCa²⁺濃度の上昇とライダーから、越境汚染の影響とともに黄砂の飛来もあるとしている。黄砂飛来の状況を探るために、図5-3-7-10、-11、-12、-13に、ライダーによる黄砂消散係数、SPM濃度全国分布、富山での後方流跡線図、CFORS(dust)予測結果をそれぞれ示している。富山だけでなく長崎の黄砂消散係数の最大値が0.07を超えており、日本海側に広く黄砂が飛来したことを示している。日本海側のSPM濃度は高くないことから弱い黄砂現象であったこと、それに比して瀬戸内海沿岸域のSPM濃度が高いことから、瀬戸内海沿岸域のPM_{2.5}高濃度現象は黄砂に因らないと思われる。

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
2016	2	28	10	甲府	長野	津	神戸	奈良	鳥取	松江	徳島	高松	大分



図 5-3-7-1 黄砂・煙霧観測地点



28日(日)東京マラソン日和
気圧の尾根となり全国的に概ね晴れ。沖縄～東日本の各地で最高気温が4月上旬並に。低気圧が次第に発達しながら日本海へ東進し、島根県浜田で最大瞬間風速26.3m/s。

図 5-3-7-2 天気図

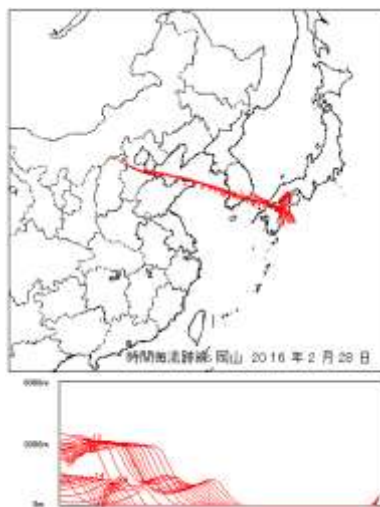


図 5-3-7-3 後方流跡線

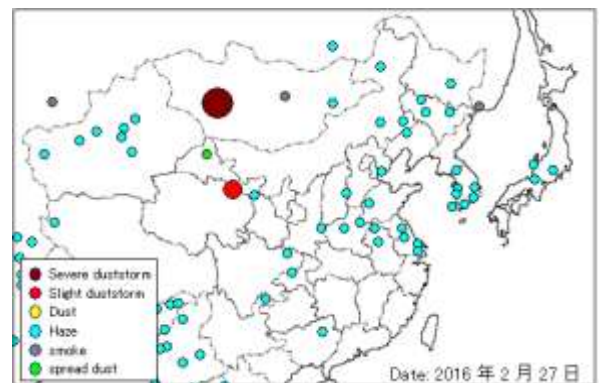


図 5-3-7-4 Haze の観測状況

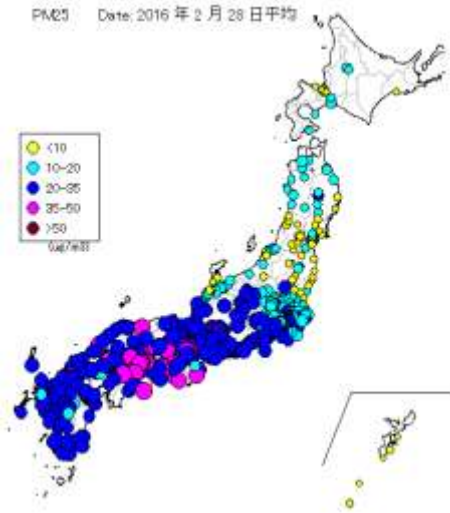
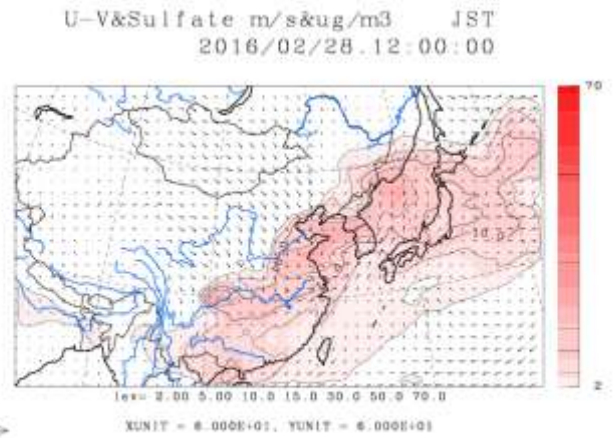


図 5-3-7-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図 5-3-7-6 CFORS 予測結果

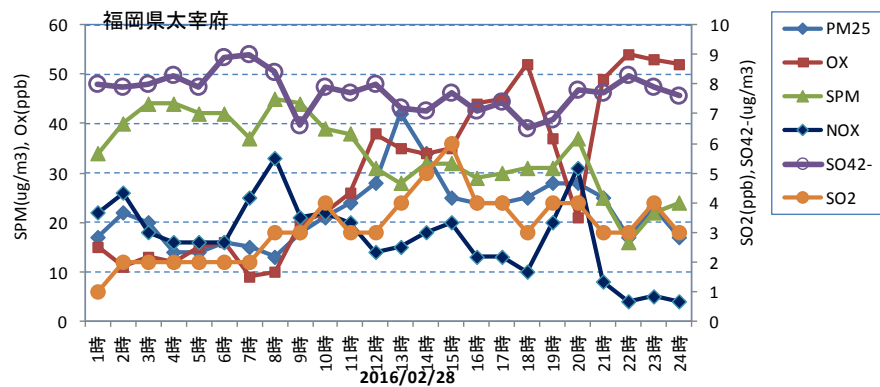


図 5-3-7-7 硫酸イオン濃度

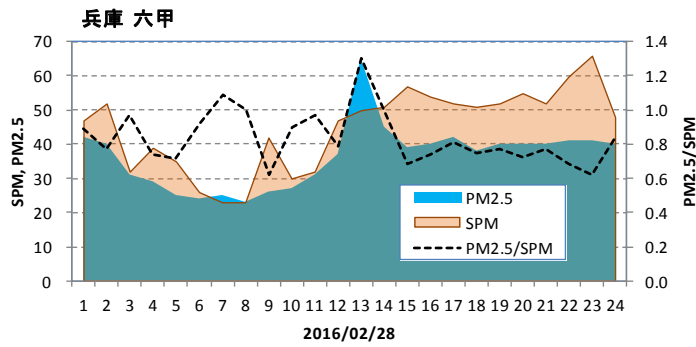


図 5-3-7-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

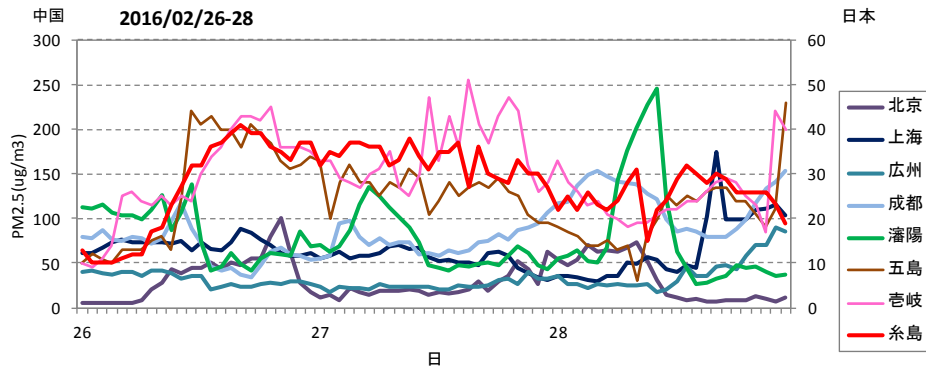


図 5-3-7-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

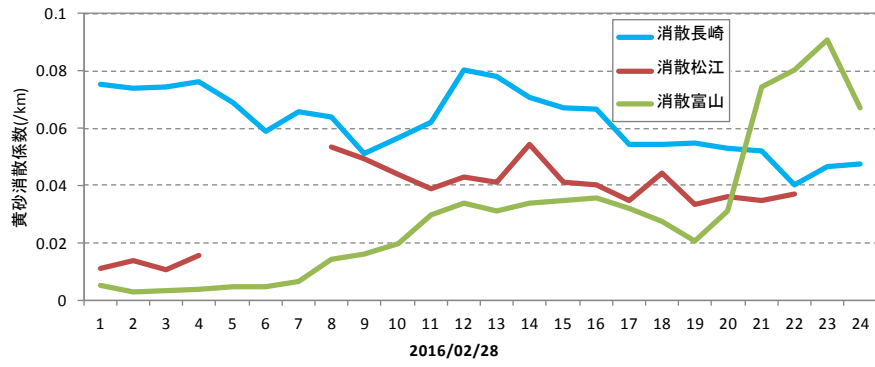


図 5-3-7-10 ライダー黄砂消散係数の経時変化

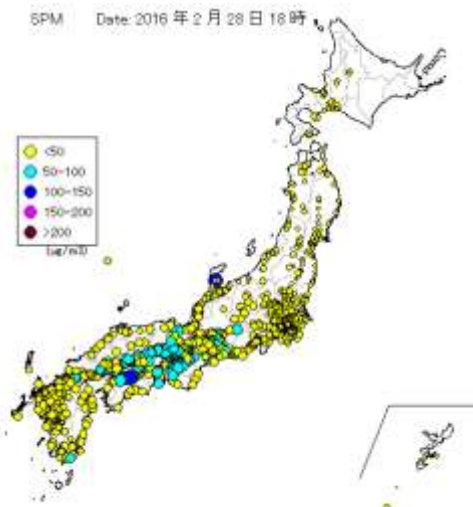


図 5-3-7-11 SPM 濃度全国分布

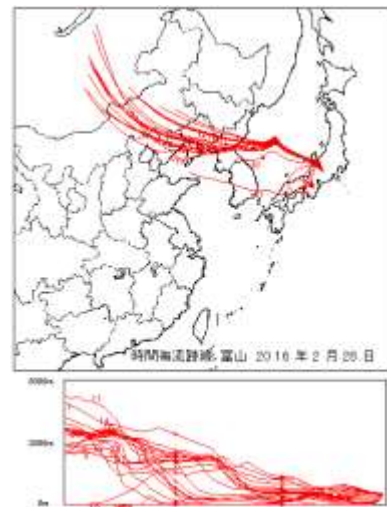


図 5-3-7-12 富山での後方流跡線

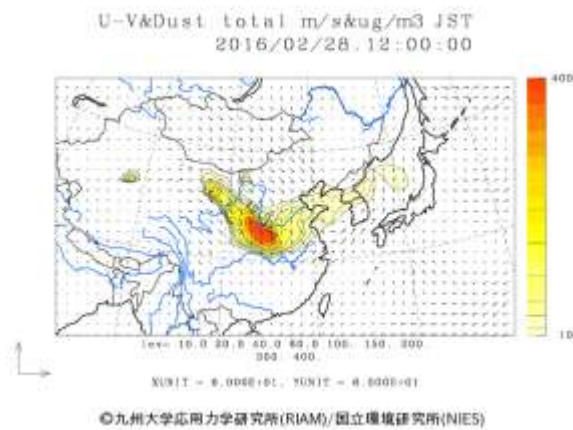


図 5-3-7-13 CFORS (dust) 予測結果

(8) 煙霧事例 08 (2016年3月5日)

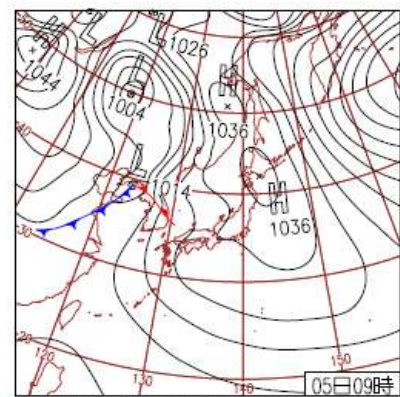
煙霧観測は九州と本州中央部が主であり、前日には中国全域で Haze が観測されている。PM_{2.5}は煙霧観測地点付近で高く、CFORS も sulfate の飛来を予測している。後方流跡線は、九州では4日に中国沿岸部からの流れを示している。福岡の硫酸イオン濃度は最大 14μg/m³ を超す値である。木戸らは²⁶⁾、この時の PM_{2.5}濃度上昇を Ca²⁺濃度の上昇とライダーから、越境汚染の影響とともに黄砂の飛来もあったとしている。大陸では、3月4日に、大きな砂塵嵐の発生は観測されており、松江、富山のライダーの黄砂消散係数の最大値は 0.07~0.09 にあり、黄砂飛来を示している。日本海側の煙霧は黄砂の寄与があり、関東北部の煙霧とは異なると考えられる。

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
2016	3	5	10	宇都宮	前橋	熊谷	新潟	富山	金沢	長野	津	下関	佐賀



図 5-3-8-1 黄砂・煙霧観測地点



5日(土)九州は5月並の気温も

北日本は高気圧に覆われて概ね晴れ。沖縄～東日本は南から暖かく湿った空気が入った影響で沖縄・奄美や山陰を中心に曇りや雨。下関市でタンポポ開花。

図 5-3-8-2 天気図

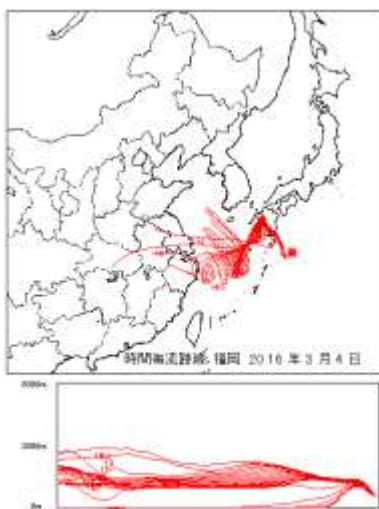


図 5-3-8-3 後方流跡線

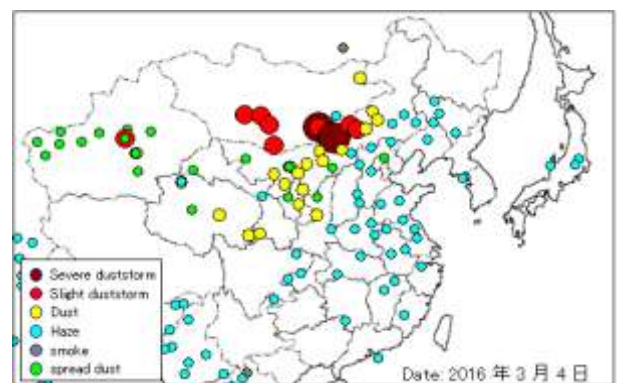


図 5-3-8-4 Haze の観測状況

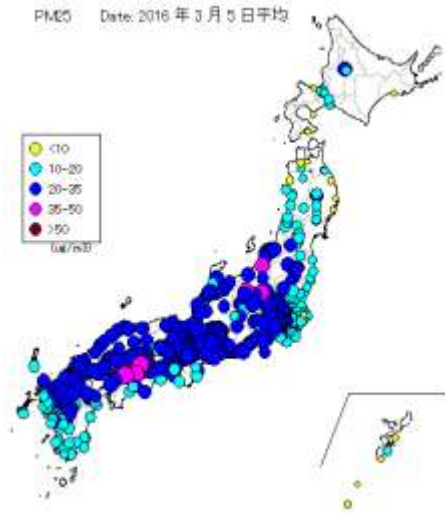


図 5-3-8-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

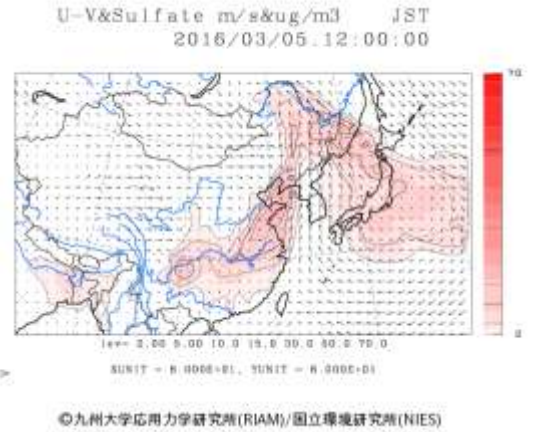


図 5-3-8-6 CFORS 予測結果

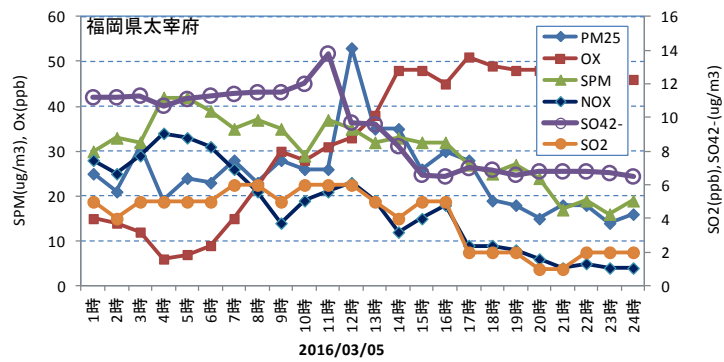


図 5-3-8-7 硫酸イオン濃度

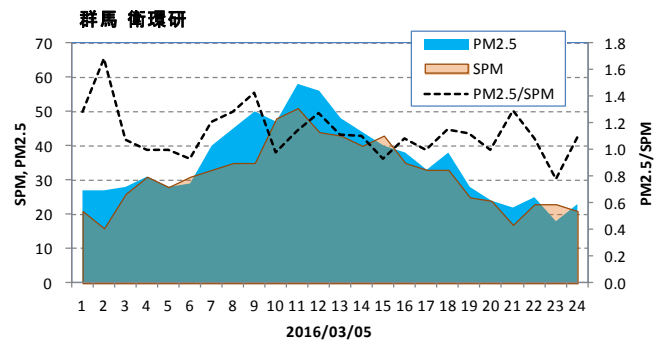


図 5-3-8-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

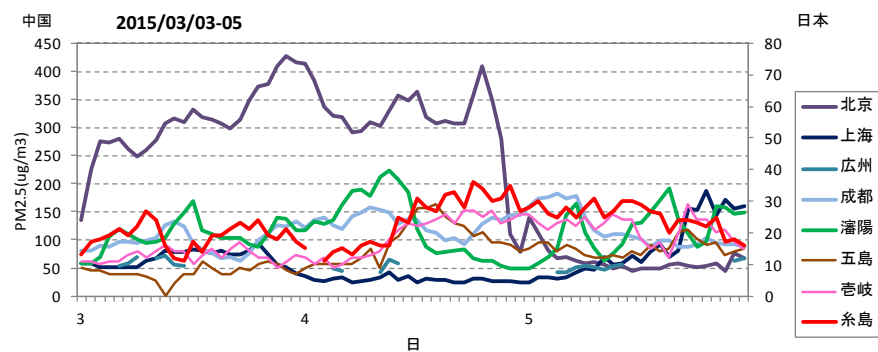


図 5-3-8-9 中国・糸島・福岡での PM_{2.5} 濃度

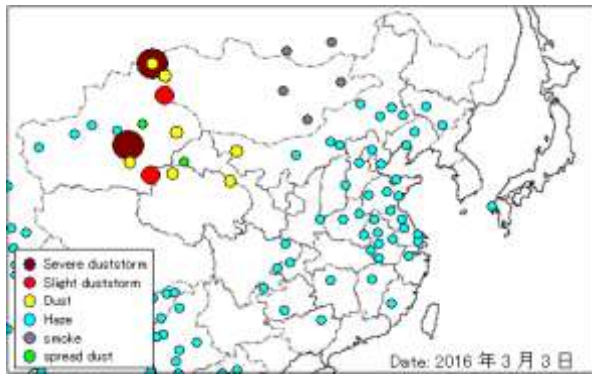


図 5-3-8-10 砂塵嵐発生状況

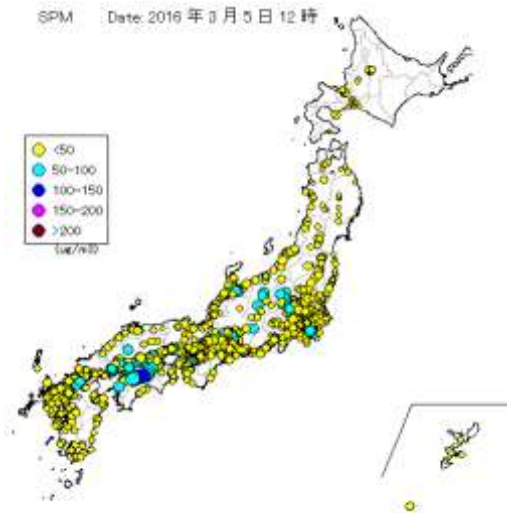


図 5-3-8-11 SPM 濃度全国分布

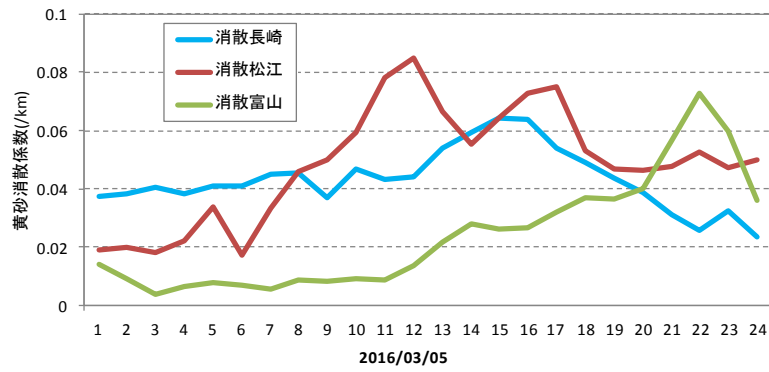


図 5-3-8-12 ライダー黄砂消散係数の経時変化

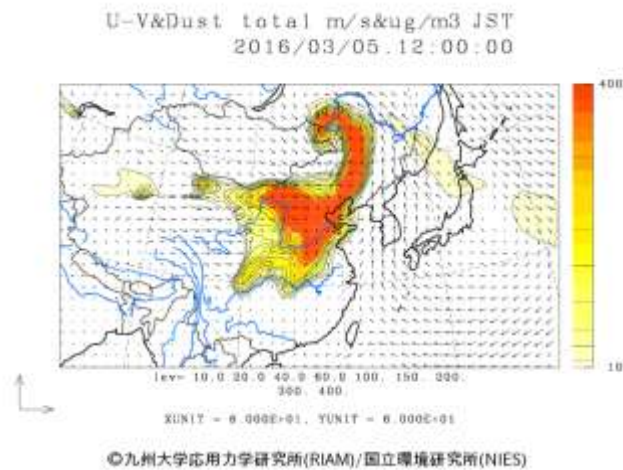


図 5-3-8-13 CFORS (dust) の予測結果

(9) 煙霧事例 09 (2016年3月8日)

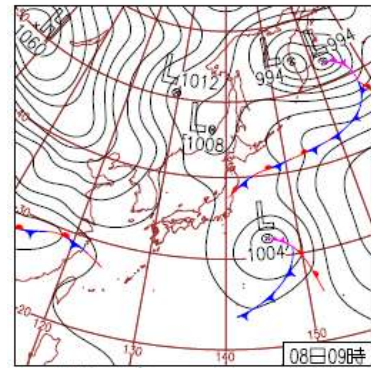
煙霧観測は西日本が主であり、7日には中国全域でHazeが観測されている。PM_{2.5}高濃度は九州・四国であり、CFORSはsulfateの飛来を予測している。後方流跡線は全国で中国沿岸部からの流れを示している。煙霧の観測された福岡での硫酸イオン濃度は12~14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度と高い。長崎、松江、富山のライダー黄砂消散係数が0.07以上であり黄砂の飛来を示した。特に長崎の黄砂消散係数値が高く、北陸・山陰よりも九州域の黄砂濃度が高い傾向が見られる。また、この日北海道では黄砂が来たのではないかとの報告がある²⁷⁾。黄砂飛来の状況を探るために、図5-3-9-10、-11、-12、-13に、ライダー消散係数、SPM濃度全国分布、札幌での後方流跡線図、CFORS(dust)予測結果をまとめた。これらのデータから、九州から北海道まで日本海側には黄砂の飛来があったことと、瀬戸内海沿岸部および関東の煙霧現象とは異なるものと思われる。

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
2016	3	8	13	熊谷 長崎	東京 熊本	金沢 大分	大阪	岡山	徳島	高松	松山	福岡	佐賀



図 5-3-9-1 黄砂・煙霧観測地点



8日(火)気温高い
サハリン付近で低気圧が発達し、北海道で暴風雪。広尾で最大瞬間風速25.4m/s。全国的に気温高く4~5月並。太平洋側の広い範囲で濃霧となり交通に影響。長野市でウメ開花。

図 5-3-9-2 天気図

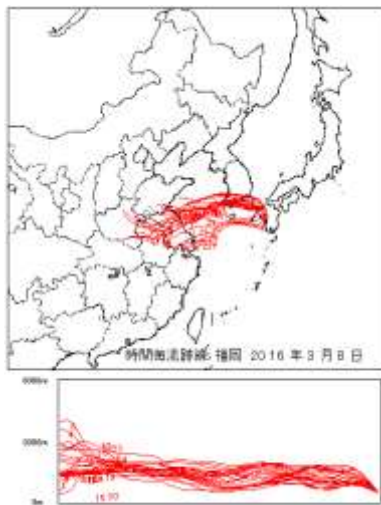


図 5-3-9-3 後方流跡線

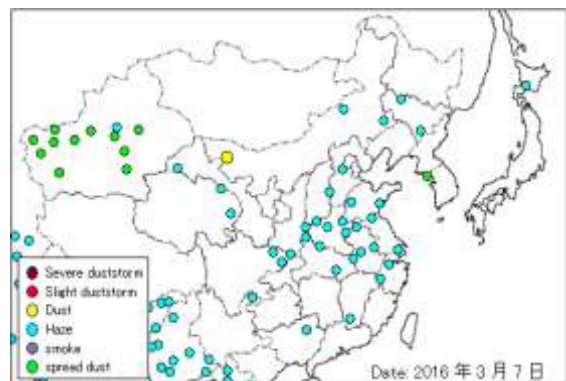


図 5-3-9-4 Hazeの観測状況

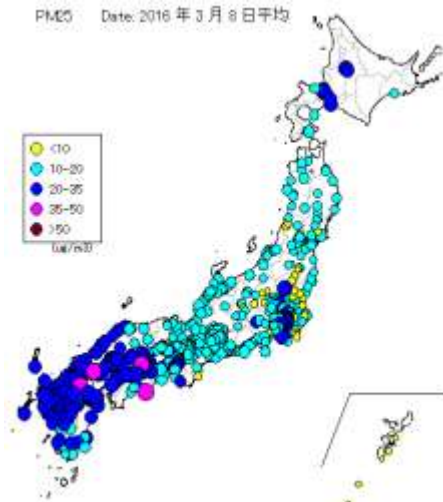


図 5-3-9-5 PM_{2.5} 日平均値全国分布

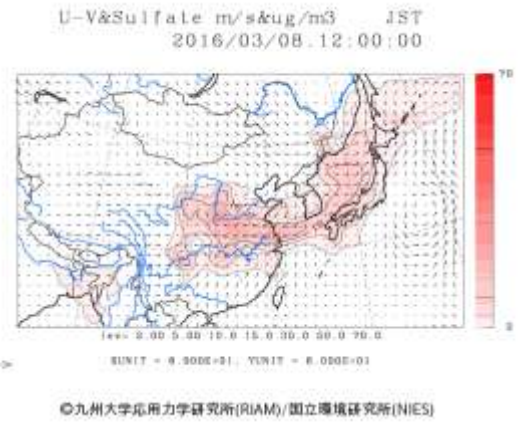


図 5-3-9-6 CFORS 予測結果

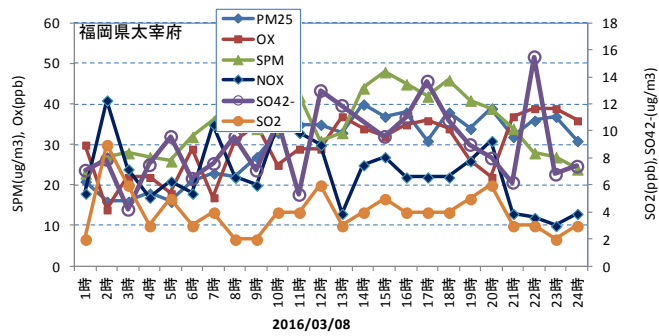


図 5-3-9-7 硫酸イオン濃度

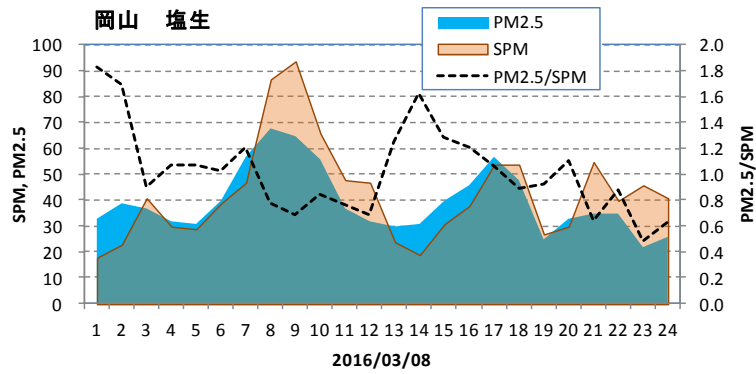


図 5-3-9-8 SPM、PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

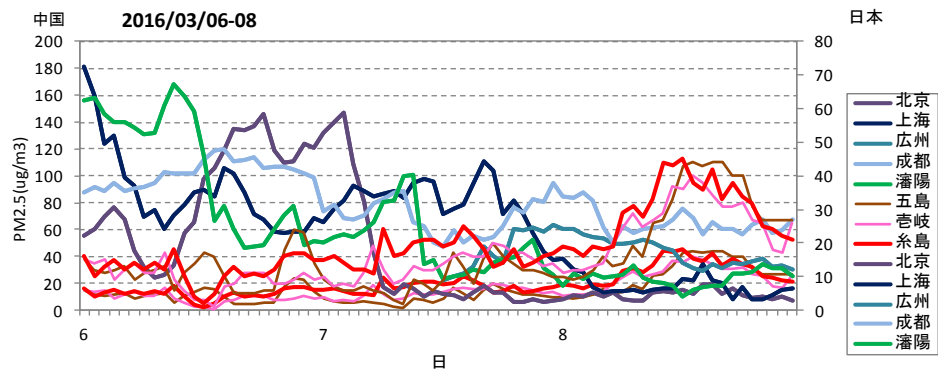


図 5-3-9-9 中国・離島・福岡での PM_{2.5} 濃度

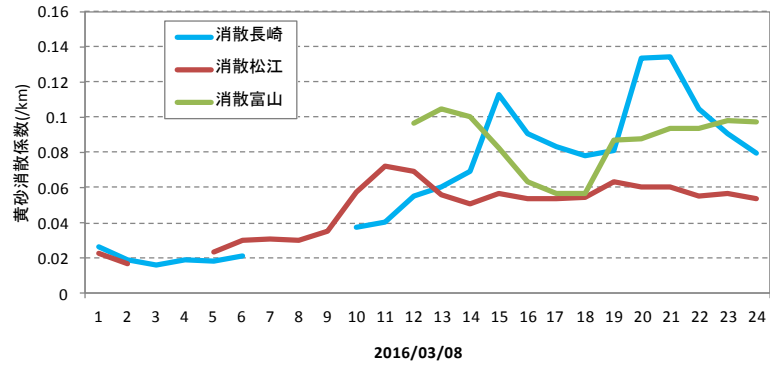


図 5-3-9-10 ライダー黄砂消散係数の経時変化

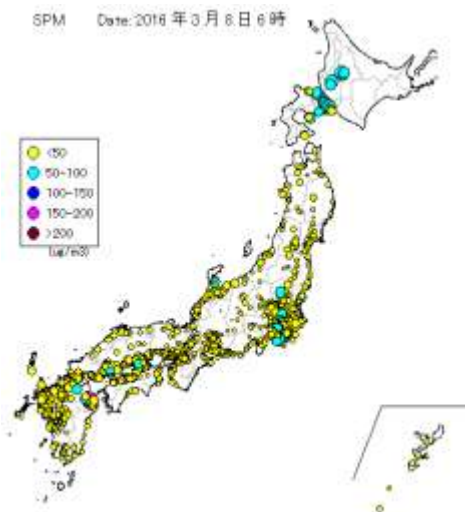


図 5-3-9-11 SPM 濃度の全国分布

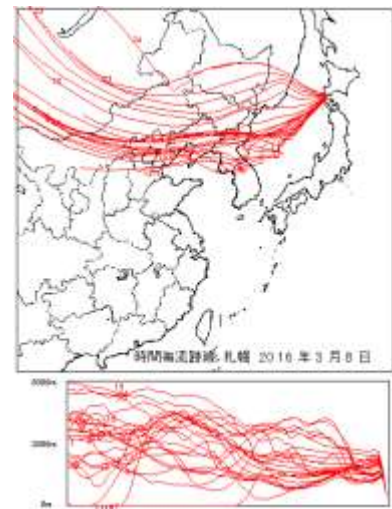


図 5-3-9-12 札幌での後方流跡線

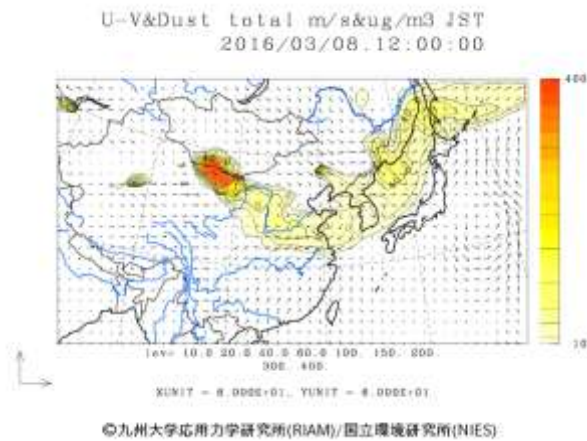


図 5-3-9-13 CFORS (dust) の予測結果

6. ライダー消散係数と SPM 濃度

6.1 ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出

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^{28,29,30)}について、平成 27（2015）年度データを検討した。

使用データ

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 27（2015）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 6-1-1 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 $0.05/\text{km}$ 以上であること

1 年間で抽出されたのは、表 6-1-1 に示す長崎 6 日、松江 2 日、富山 1 日である。

表 6-1-1 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

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

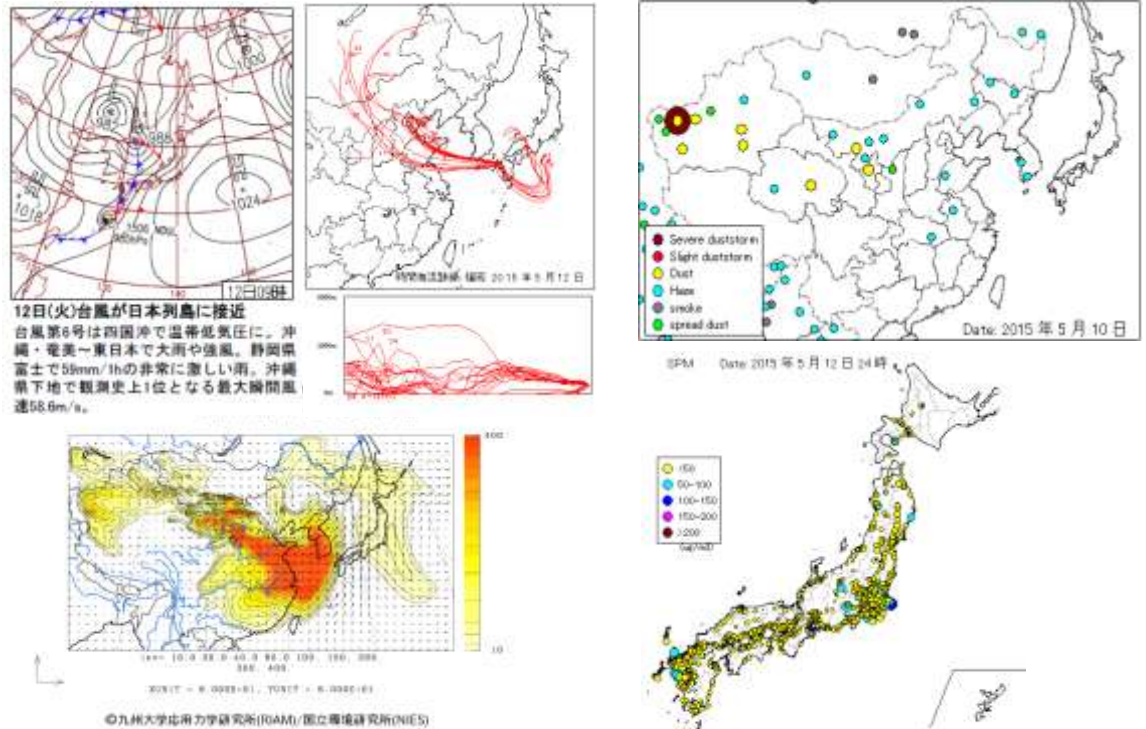
年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	5	12	長崎	18	0.082	0.034	56	25.1	0.626	394.1	11.5	●		
2015	2015	5	16	長崎	17	0.054	0.028	57	35.6	0.767	670.5	16.9	●		
2015	2015	6	13	長崎	20	0.227	0.099	77	48.9	0.917	171.5	31.9	●	○	◎
2015	2016	1	4	長崎	21	0.055	0.024	102	51.3	0.819	1728.8	9.8	●		
2015	2016	2	21	長崎	24	0.088	0.047	54	27.3	0.630	299.4	13.1	●		
2015	2016	3	8	長崎	21	0.135	0.065	78	51.0	0.894	470.0	20.3	●		
年度	年	月	日	地点	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
2015	2015	6	13	松江	24	0.139	0.093	63	45.6	0.712	258.6	21.7	●	○	◎
2015	2015	6	14	松江	24	0.078	0.034	55	29.8	0.682	470.2	14.0	●		
年度	年	月	日	地点	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
2015	2015	6	14	富山	24	0.115	0.073	65	48.7	0.621	189.0	34.9	●		

(注) 消散黄砂日：ライダーによる黄砂日 全体黄砂日：日本のいずれかの地点で気象台により観測された黄砂
地点黄砂日：当該地点で気象台により観測された黄砂

6.2 ライダーによる黄砂検出日の状況

気象台の黄砂観測日以外での黄砂の検出は、長崎でのライダーによる黄砂日 5 事例が主であることから、これらの日の状況を日毎に図 6-2-1 に示している。いずれのケースも、天気図、後方流跡線の軌跡、CFORS (dust)、砂塵嵐の発生状況などをみると、黄砂の飛来が予測される状況である。

2015年5月12日



2015年5月16日

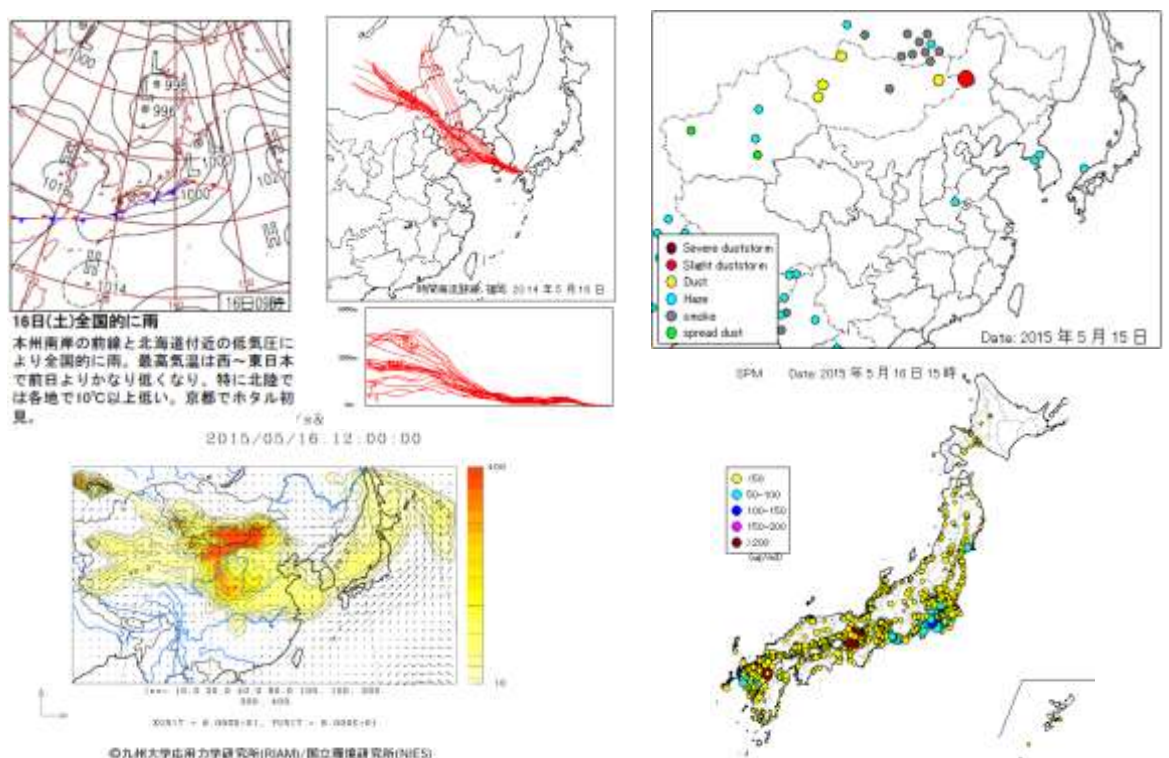
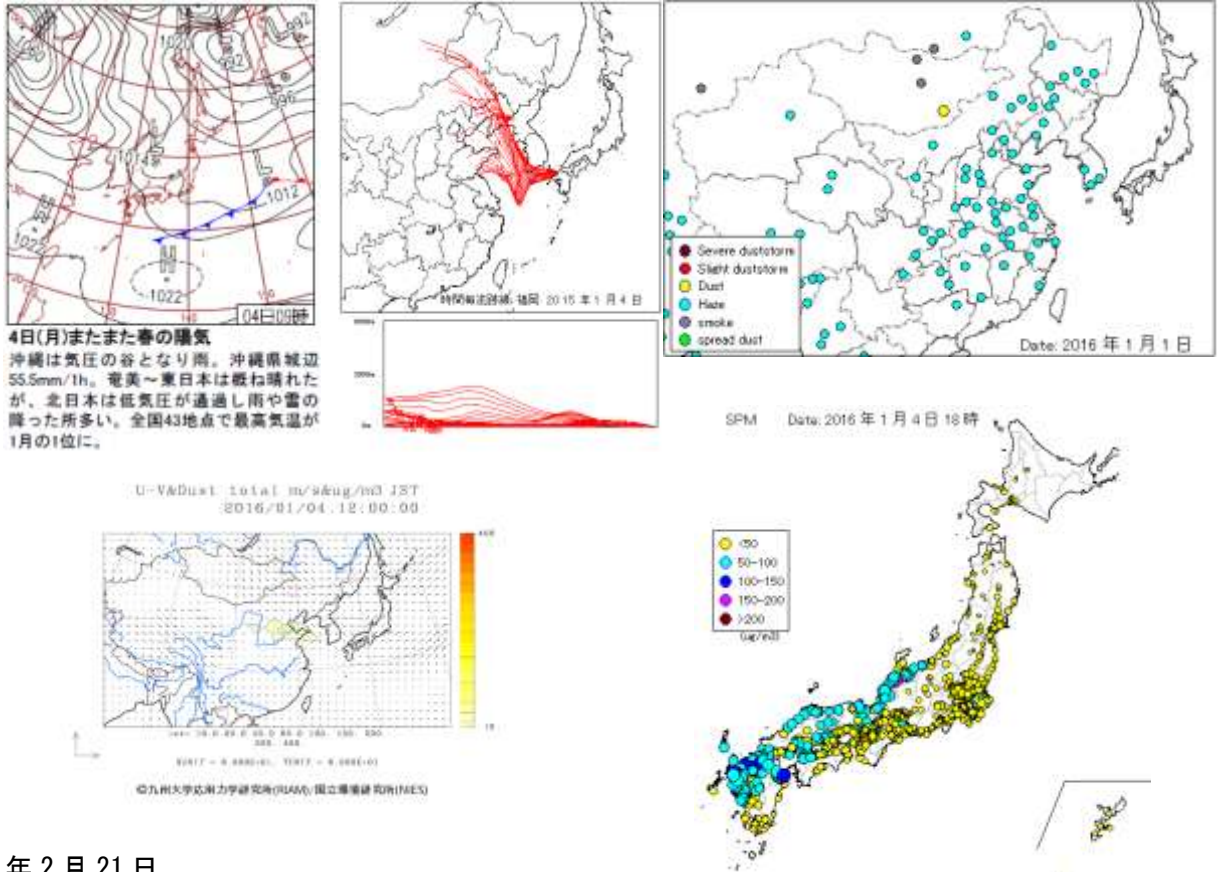


図 6-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の状況(1)

2016年1月4日



2016年2月21日

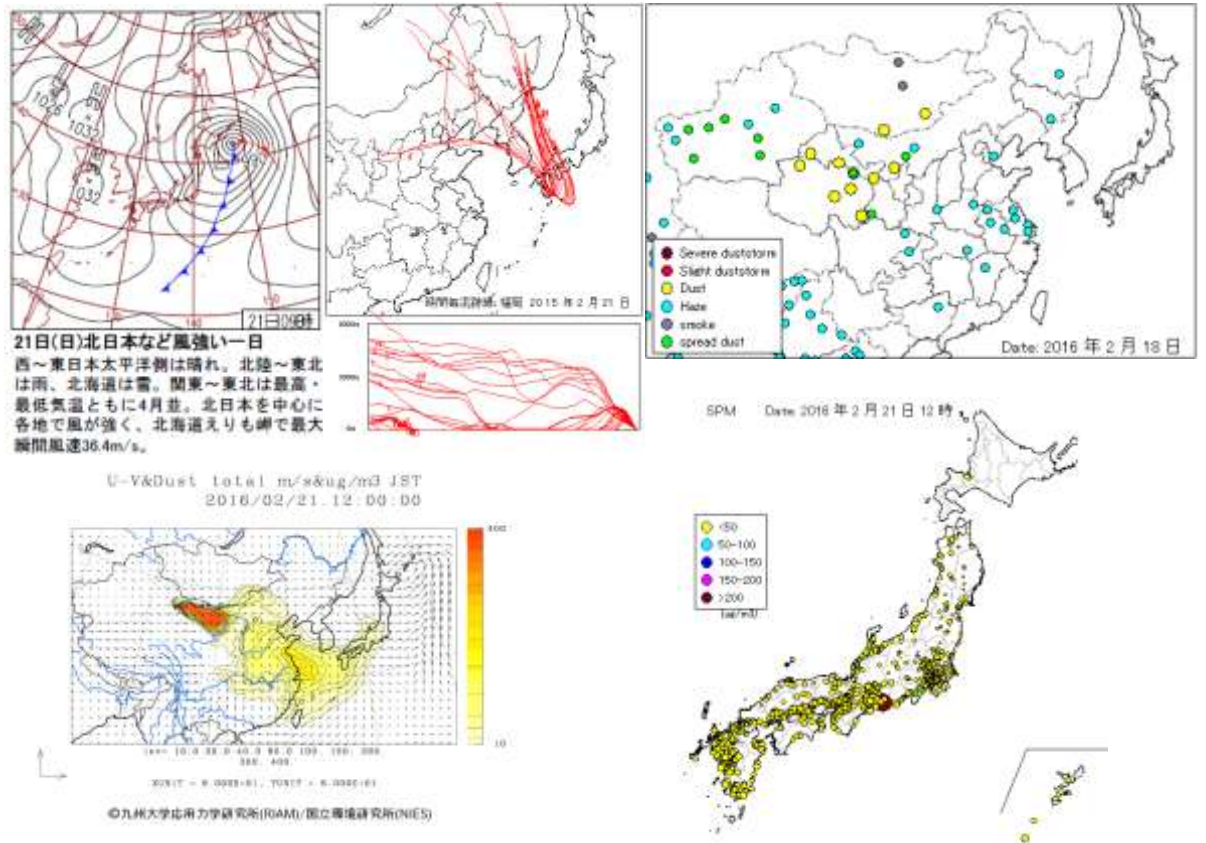


図 6-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の状況(2)

2016年3月8日

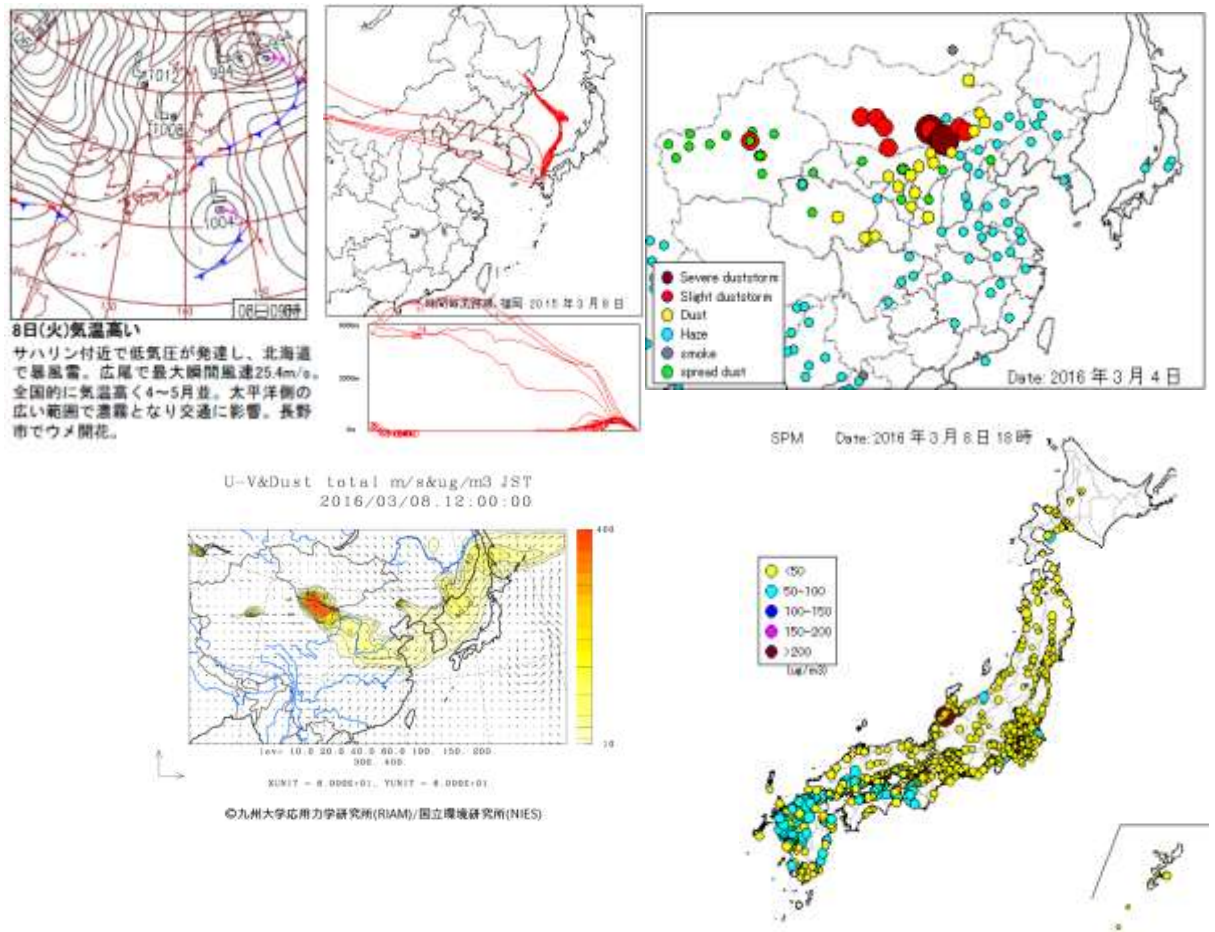


図 6-2-1 長崎でのライダーによる黄砂検出時の状況 (3)

6.3 黄砂の検出条件の検討

気象台で黄砂が観測されていない状況でも、6.1 に設定した条件で、黄砂の確認が可能であることが分かってきた。一方、黄砂については低濃度でも健康に影響を及ぼすとの報告も出てきていることから、検出条件の SPM 濃度をさらに下げることが検討した。表 6-3-1 は SPM 日最大値を $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上としたときの抽出日である。

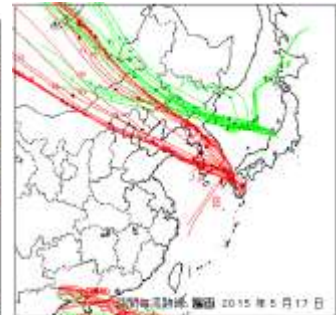
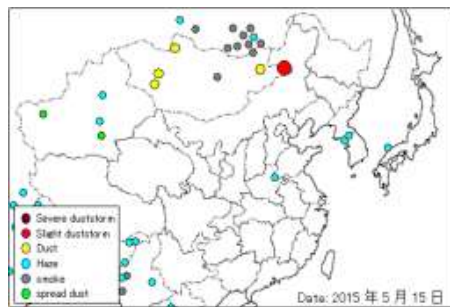
表 6-3-1 黄砂消散係数と SPM 時間値による黄砂の検出 (SPM 濃度 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)

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

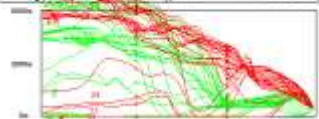
年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	5	17	長崎	24	0.0522	0.03695	43	33.917	0.6523	467.2	16.7			
2015	2016	2	24	長崎	24	0.0845	0.02783	48	21.125	0.6270	282.6	13.3			
2015	2016	2	26	長崎	19	0.062	0.03331	46	24.895	0.8201	606.6	4.7			
2015	2015	4	27	松江	24	0.077	0.04036	42	24.125	0.6171	403.3	7.8			
2015	2015	5	20	富山	21	0.0968	0.03504	40	22.286	0.6211	216.2	14.7		○	
2015	2015	10	9	富山	24	0.0711	0.04862	47	30.792	0.6846	347.2	13.9			
2015	2016	3	29	富山	24	0.1068	0.02603	45	26.083	0.7717	350.1	17.0			

検出された7日の中で、富山の5月20日は黄砂事例04で示しているように松江のみで観測された日である。それ以外も、以下に示すように、おおむね黄砂の存在が推定できる。

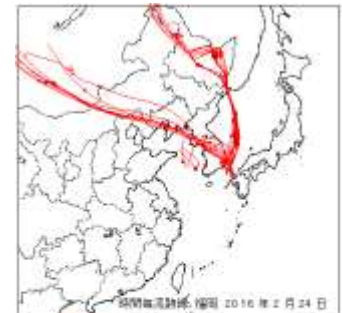
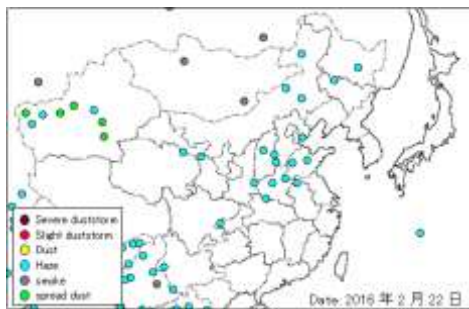
2015年5月17日長崎



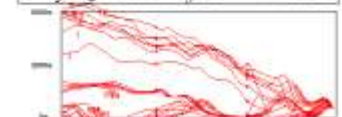
17日(日)南と北で雨
 高気圧に覆われて広く晴れ。前線の影響を受けた奄美は終日雨となったが最高気温は6月並と高め。北海道は寒気を伴った低気圧の通過時に雨となり最高気温は4月並と低め。



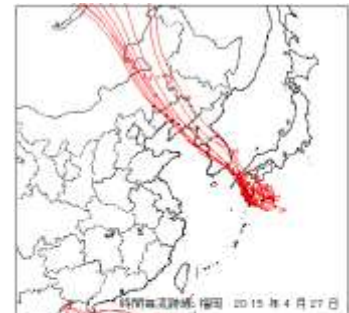
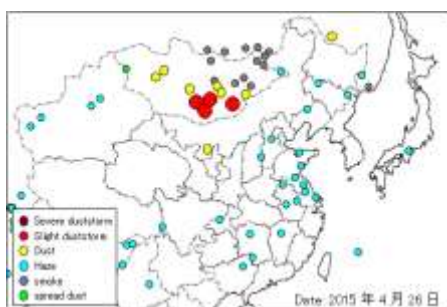
2016年2月24日長崎



24日(水)最高気温上がらず
 寒気入り山陰～北日本日本海側で雷や雨。湿った気流の影響した沖縄・奄美や北東気流の入った関東付近は曇りや雨。最高気温は全国的に平年より低く北海道は5～8℃低い。



2015年4月27日松江



27日(月)本州・北海道で真夏日
 暖かい南風の流入に日射も加わり気温上昇。全国の6割、563地点で夏日。沖縄・九州以外では今年初となる本州11地点と北海道8地点で真夏日。37地点で最高気温が4月の1位。

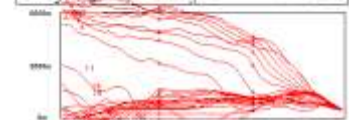
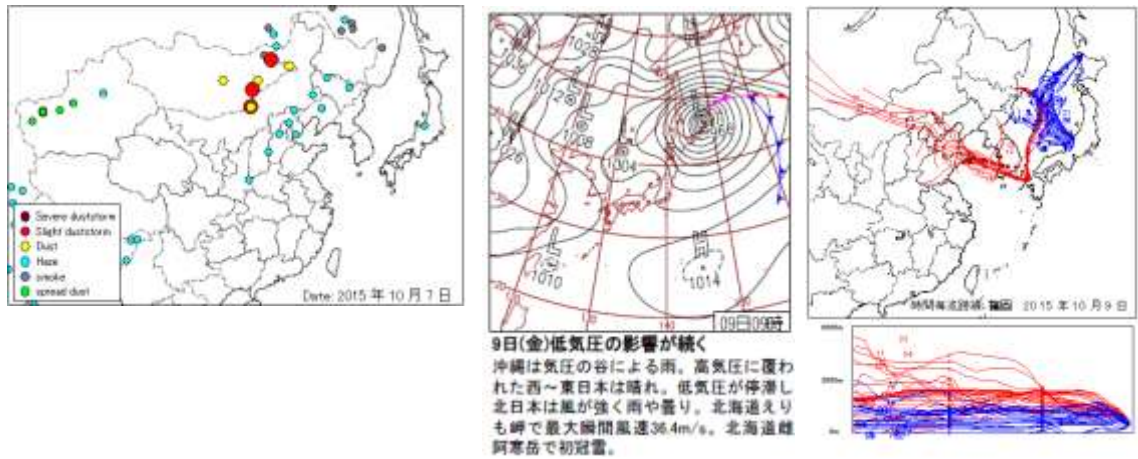


図 6-3-1 長崎と松江でのライダーによる黄砂検出時の状況

2015年10月9日富山



2016年3月29日富山

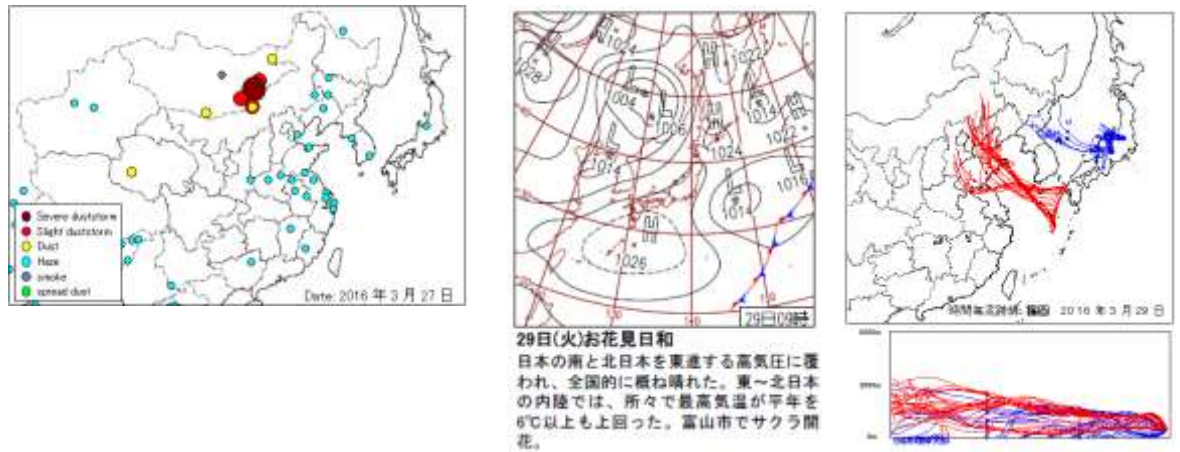


図 6-3-2 富山でのライダーによる黄砂検出時の状況

SPM濃度を $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした場合も黄砂の様子が観察できることから、さらに、その濃度を $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ と下げ抽出したものを表 6-3-2 に示した。9月16日、12月23日には黄砂との関係がみられないようであるが、それ以外は、図 6-3-3 のように黄砂の存在をうかがわせている。

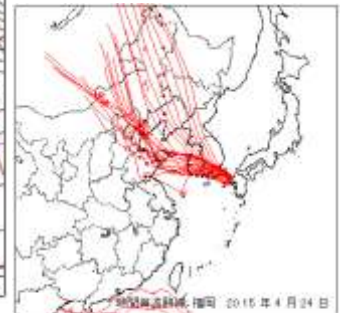
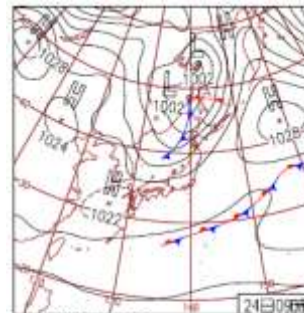
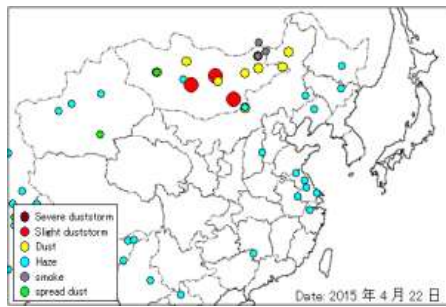
表 6-3-2 黄砂消散係数と SPM 時間値による黄砂の検出 (SPM 濃度 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)

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

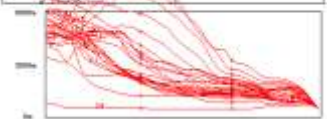
年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片	消散黄砂日	全体黄砂日	地点黄砂日
2015	2015	4	24	長崎	24	0.0645	0.04304	39	28.417	0.8996	508.3	6.5			
2015	2015	9	16	長崎	12	0.2128	0.01928	30	18.833	0.7332	57.5	17.7			
2015	2015	10	28	長崎	24	0.0859	0.04302	39	23.708	0.7356	315.4	10.1			
2015	2015	12	23	長崎	16	0.3135	0.0526	33	21.375	0.6199	39.7	19.3			
2015	2016	2	9	松江	24	0.074	0.0276	36	17.542	0.7433	464.0	4.7			

SPM濃度が低い場合でも、最大値を $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした場合は、ほとんど黄砂の様子がうかがえ、低濃度の黄砂の検出には有効と思われる。

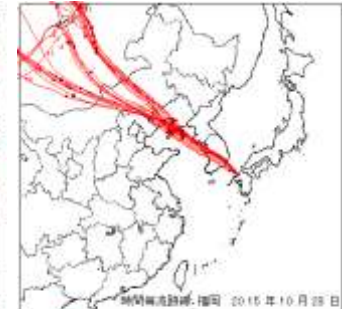
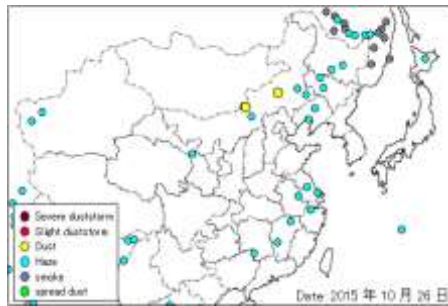
2015年4月24日長崎



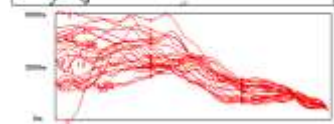
24日(金)晴天続く
 高気圧に覆われ広い範囲で晴れ。沖縄・奄美は湿った気流により所々で雨。北日本では寒冷前線に伴う雨雲が通過。全国的に気温が高く東北でも夏日。函館市でサクラ満開。



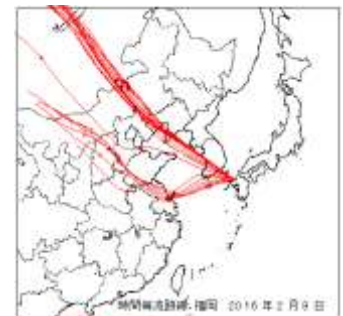
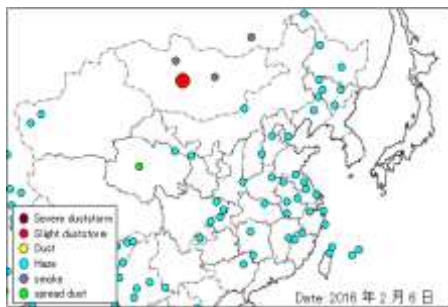
2015年10月28日長崎



28日(水)関東で夏日
 冬型の気圧配置となり、北陸～北日本の日本海側で雨。太平洋側では晴れ。関東では気温上昇し9月中旬並となり、夏日の地点多い。青森市でイチョウ黄葉。



2016年2月9日松江



9日(火)北海道付近に低気圧
 寒気を伴う気圧の谷の通過で大気不安定となり山陰～北日本で雨や雪。北日本では一部でふぶきに。沖縄・奄美や九州、関東は晴れ。山形県浜中で最大瞬間風速36 km/h。

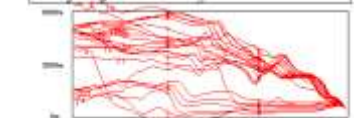


図 6-3-3 長崎・松江でのライダーによる黄砂検出時の状況

7. 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27(2015)年度の黄砂、煙霧時のPM_{2.5}濃度との関係を検討した。

7.1 黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}環境基準超過³³⁾

評価対象測定局は、全国の979局である。

平成27(2015)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5074で、全体334693(日×局)の1.5%である。図7-1-1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910(日×局)、黄砂時の平均濃度は26.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は191(日×局)(21.0%)である。平成27(2015)年度は、前年に比べ黄砂の飛来は減っており、半分以下の割合になっている。測定局における煙霧観測日は11993(日×局)、煙霧時の平均濃度は26.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、環境基準値を超えた日数は2091(日×局)(17.7%)である。

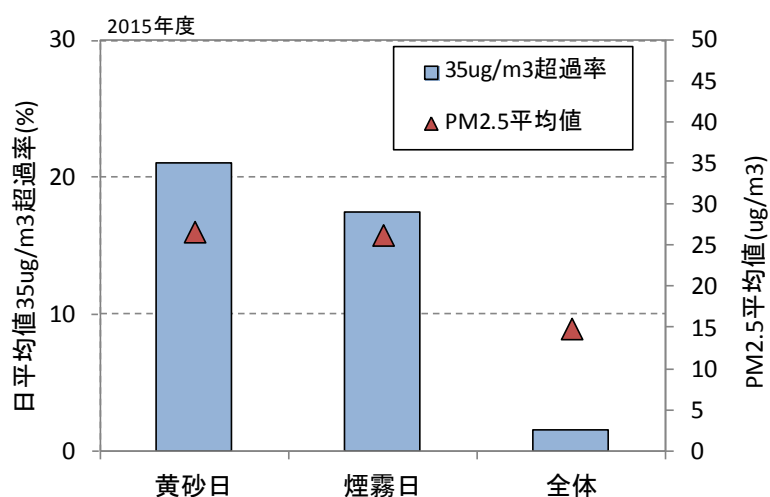


図7-1-1 黄砂日、煙霧日のPM_{2.5}平均濃度と環境基準超過率(2015年度)

平成27(2015)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7-1-2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7-1-3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。2015年度は、北海道でも黄砂によりPM_{2.5}濃度上昇しているのが特徴である。煙霧では、環境基準超過は東北・北海道で低くなっているのが顕著である。

図7-1-4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。関東以西で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。

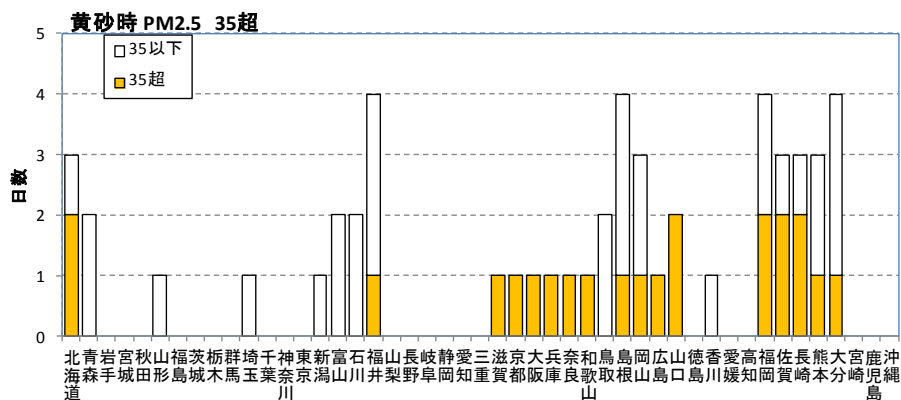


図 7-1-2 都道府県別の黄砂日数と PM_{2.5} 環境基準超過超日数 (2015 年度)

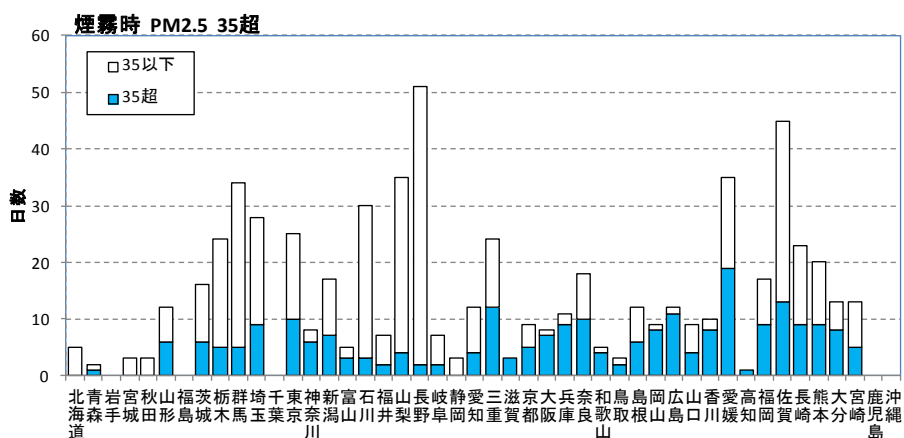


図 7-1-3 都道府県別の煙霧日数と PM_{2.5} 環境基準超過超日数 (2015 年度)

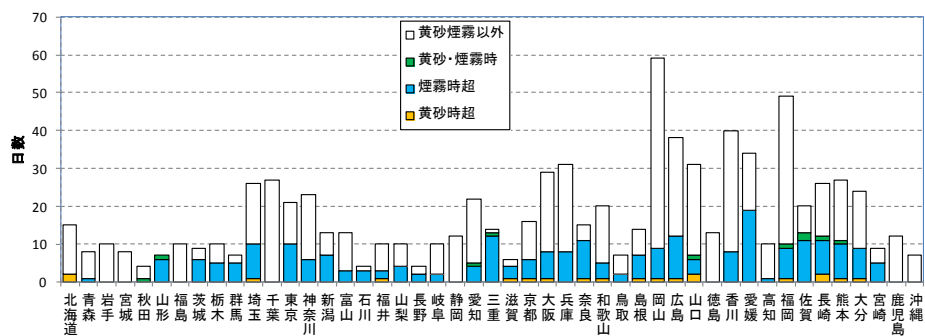


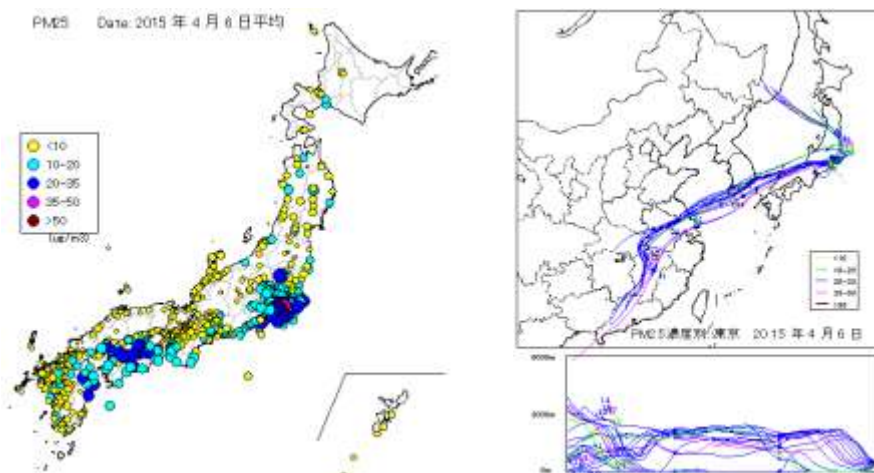
図 7-1-4 地点別の PM_{2.5} 環境基準超過日に占める黄砂・煙霧の割合 (2015 年度)

PM_{2.5} 高濃度として、「PM_{2.5} 日平均値が 10 地点以上で 35µg/m³ を超え、且ついずれかの地点で日最高時間値が 70µg/m³ を超えたもの」を選択すると、表 7-1-1 のように、18 日が抽出された。この抽出された日は、黄砂 1、煙霧 16、その他 2 と、圧倒的に煙霧のケースが多かった。抽出された日の PM_{2.5} 全国分布図と PM_{2.5} 時間値と対応させた後方流跡線については、多くは前章の事例で示されている。事例に含まれていない 4 月 6 日、7 月 8 日、12 月 10 日、12 月 21 の 4 日について、図 7-1-5 に示している。いずれの日も関東地域での上昇であり、後方流跡線の軌跡では、4 月 6 日に大陸からの影響が推測される以外は、近辺からの影響を受けたと思われる。全体では、越境影響の日と国内影響の日が同程度と思われた。

表 7-1-1 PM_{2.5} 高濃度日における黄砂・煙霧の状況

No.	年	月	日	PM _{2.5} >35 地点数	日平均 値最大	日最高値 最大	黄砂 観測	煙霧 観測	事例解析
1	2015	4	6	16	53.6	135		○	
2	2015	4	28	12	54.5	126		○	煙霧事例01
3	2015	6	13	15	48.8	88	○	○	黄砂事例05
4	2015	7	8	13	46.9	106			
5	2015	7	31	18	54.9	97		○	
6	2015	8	1	49	64.7	132		○	
7	2015	8	2	41	62.1	90		○	煙霧事例02
8	2015	8	3	20	53.4	110		○	
9	2015	8	4	16	59.5	97		○	
10	2015	8	5	21	61.0	95		○	
11	2015	10	10	69	67.3	194		○	煙霧事例03
12	2015	10	21	12	51.9	100		○	煙霧事例04
13	2015	10	24	23	53.3	103		○	
14	2015	12	10	108	66.6	132		○	
15	2015	12	21	17	51.4	136			
16	2016	1	4	73	61.0	112		○	煙霧事例05
17	2016	1	5	38	54.5	105		○	
18	2016	2	1	28	59.9	95		○	煙霧事例06

2015年4月6日



2015年7月8日

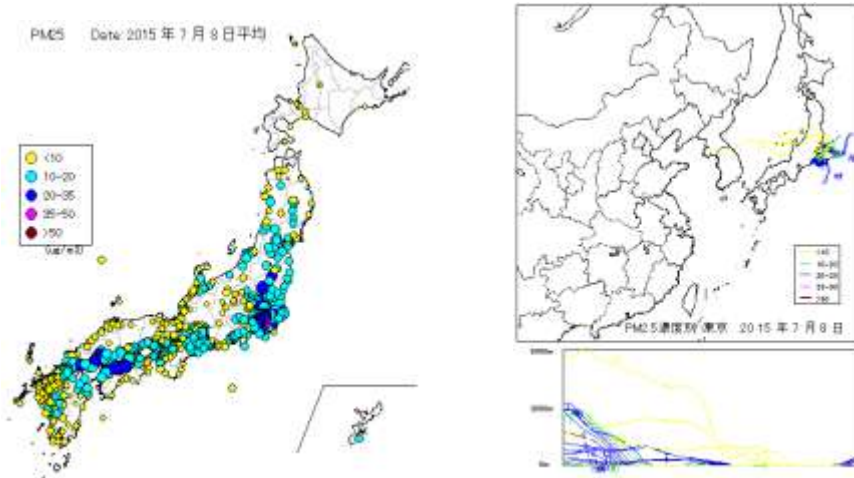
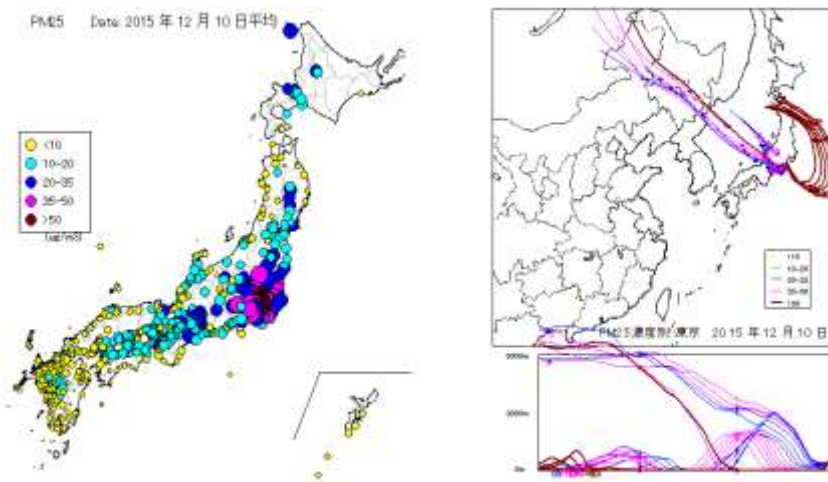


図 7-1-5 PM_{2.5} 高濃度日の日平均値分布とその日の後方流跡線(1)

2015年12月10日



2015年12月21日

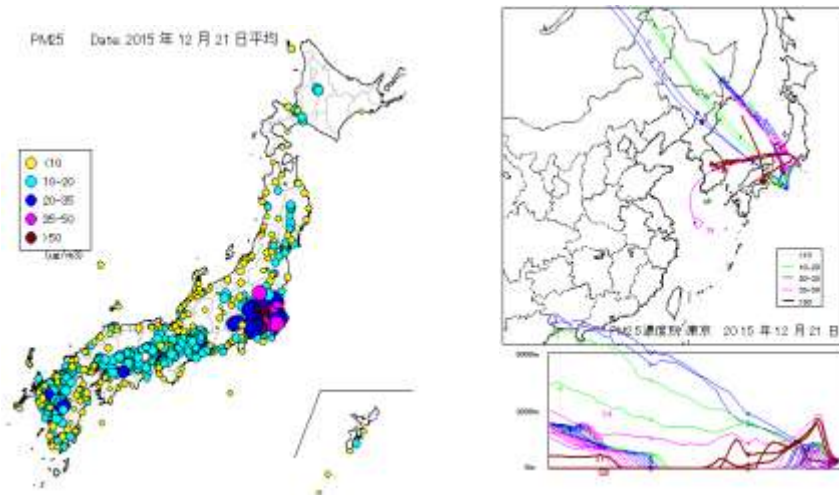


図 7-1-5 PM_{2.5} 高濃度日の日平均値分布とその日の後方流跡線(2)

7.2 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27(2015)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。

黄砂が観測されサンプルの成分濃度を、図7-2-1に示す。2015年5月7～8日での北海道落石岬、青森県根岸小、5月19～21日の島根県浜田、6月11～14日の福岡県柳川である。

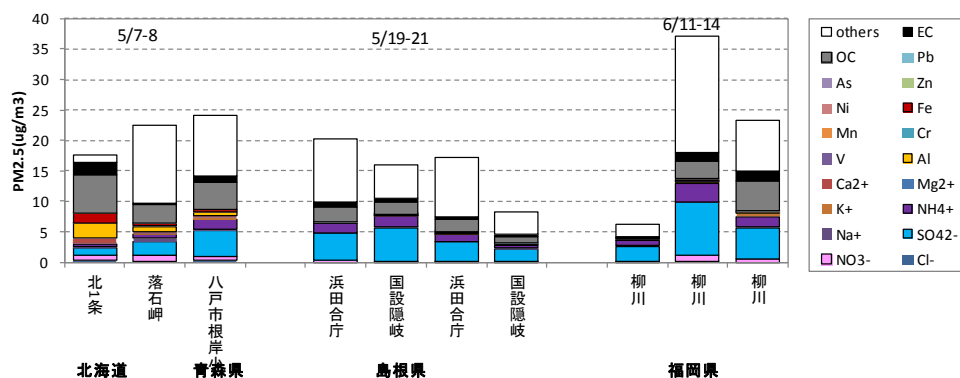


図 7-2-1 黄砂時のPM_{2.5}成分濃度

成分分析が実施された期間が煙霧と重なり、かつPM_{2.5}重量濃度が35μg/m³を超過した日の季節別の構成の違いを図8-2-2に示す。冬に硝酸イオンの濃度が高くなっている様子がみられる。

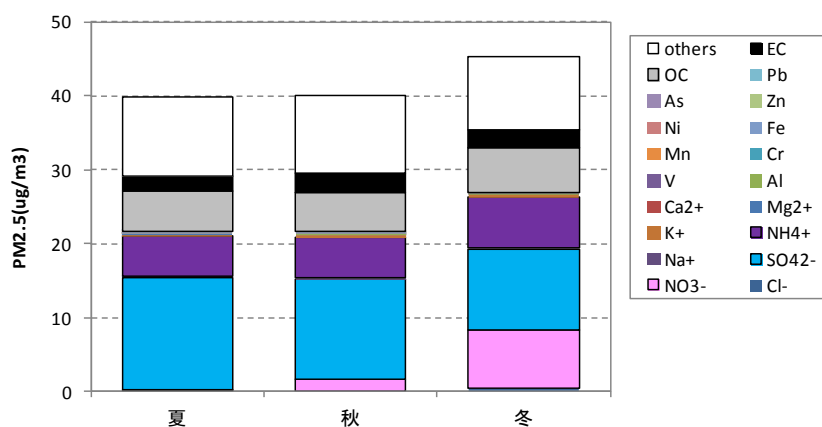


図 7-2-2 煙霧時のPM_{2.5}>35μg/m³時の季節別PM_{2.5}成分平均濃度

同時期に採取された PM_{2.5} 成分濃度について、その分布が特徴的なものをピックアップした。

①2015年5月13～14日

PM_{2.5} の上昇は顕著ではないが、AI 濃度が全国的に上昇している。ライダー黄砂消散係数による黄砂検出 (p. 56) で、前日の長崎での黄砂飛来が推測されており、その影響による AI の上昇と考えられる。

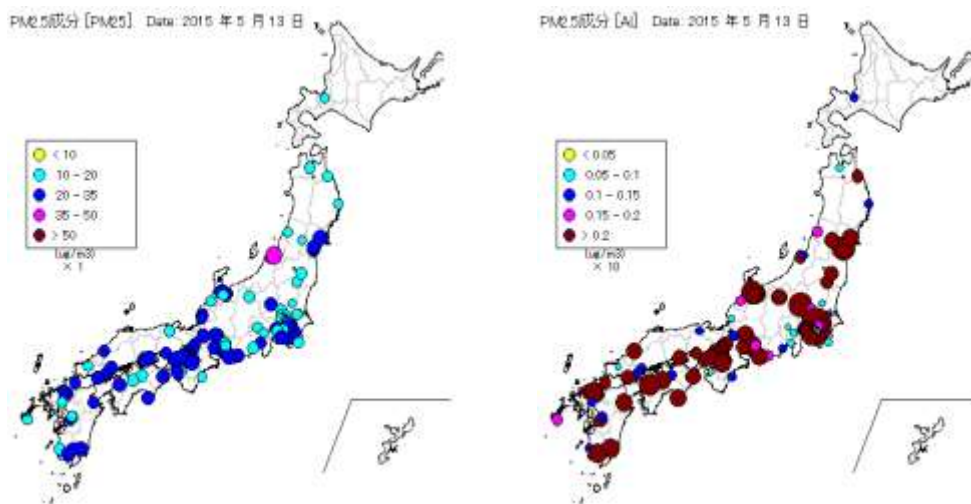


図 7-2-3 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分 (AI) の分布

②2015年8月2～3日

煙霧事例 02 (p. 33) での大規模な煙霧で、この時の SO₄²⁻ の 10µg/m³ を超す濃度分布が全国的なものであることが分かる。また、同じ期間に都市部を中心に V の高濃度が観測されている。

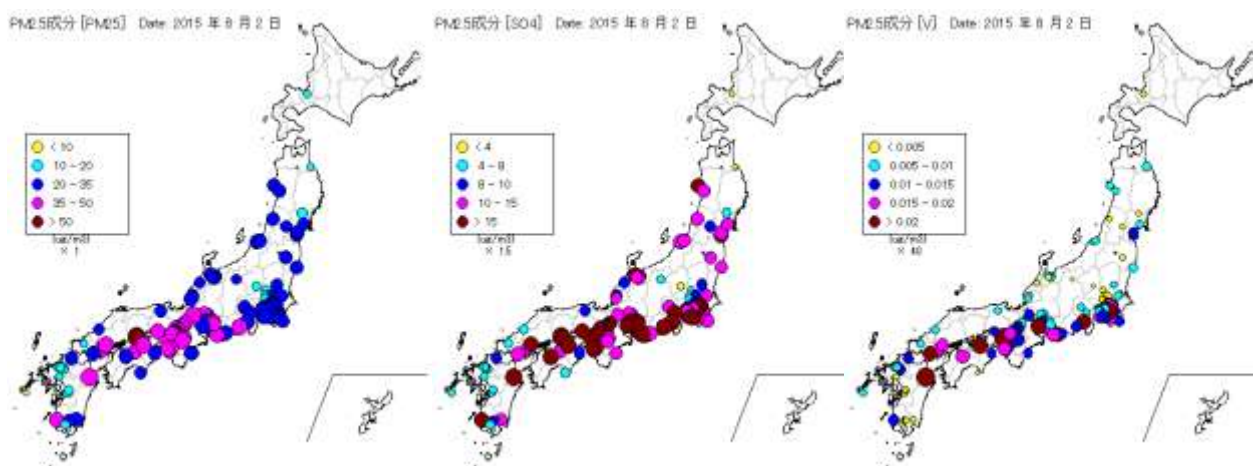


図 7-2-4 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分 (SO₄²⁻、V) の分布

③2015年10月21～22日

煙霧事例04 (p. 39) に示したもので、九州を中心にPM_{2.5}が上昇し、SO₄²⁻濃度の上昇が西日本に限定されている。

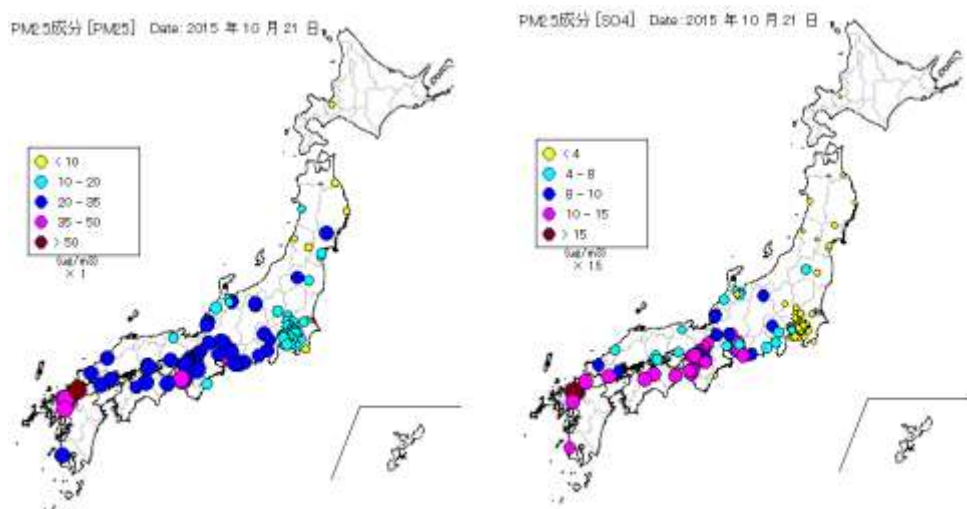


図 7-2-5 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分(SO₄²⁻)の分布

④2016年1月31日～2月1日

煙霧事例06 (p. 44) で示したもので、NO₃濃度が九州地域で高くなっている。

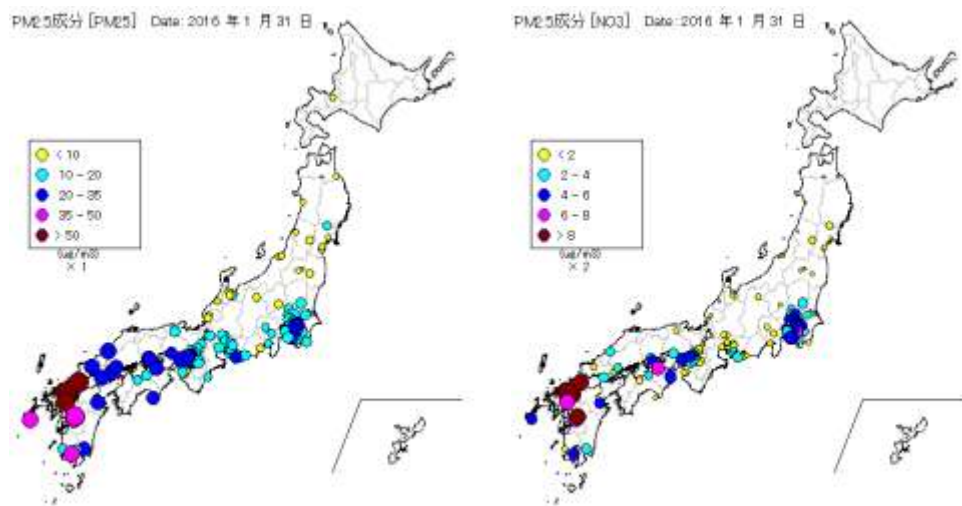


図 7-2-6 PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5} 成分(NO₃)の分布

7.3 黄砂・煙霧時 PM_{2.5} の PMF 法による発生源寄与推定

黄砂・煙霧時で 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。ソフトは、EPA-PMFv5.0 を使用した。

PMF の計算の条件

件数 : 黄砂・煙霧時 1057 件

成分数 : OC, EC, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Pb (19 項目)

図 7-3-1 に因子数 6 での発生源プロファイルを示す。それぞれの因子については次のように想定した。

Factor1 は Zn, Sb, Fe, Pb, Mn, Cr などの金属類が卓越しており、一般的には鉄鋼・石炭とみなされる³⁵⁾。

Factor2 は V, Ni が高く、重油燃焼と思われる。V/Ni 比が 3.2 で、重油燃焼の一般的な値 2.1~3.1³⁷⁾ と近い。

Factor3 は SO₄²⁻, NH₄⁺, As, Pb で高く、二次生成された (NH₄)₂SO₄²⁻ と考えられる。(NH₄)₂SO₄²⁻ の SO₄²⁻/NH₄⁺ 重量比は 2.7 となるが、ここでは 2.58 とほぼ同程度である。

Factor4 は OC, EC, K⁺ で高く、バイオマスの燃焼によるものと想定される。バイオマスでの OC/EC 比は 2~4 とされている³⁴⁾ おり、ここでは 4.3 とほぼ近い。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。

Factor5 は Al, Fe, Mn, Ca²⁺ の割合が高く、黄砂を含む土壌を表す因子と思われる。Al/Fe は 1.77 で、黄砂の場合³⁹⁾ と近い。

Factor6 は NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺ で高く、二次生成された NH₄NO₃ と考えられる。NH₄NO₃ の NO₃⁻/NH₄⁺ 重量比は 3.4 であり、ここでは 3.5 とほぼ同じである。

- Factor1
(金属関連)
- Factor2
(重油燃焼)
- Factor3
(二次硫酸塩)
- Factor4 (バイオ・自動車)
- Factor5
(土壌)
- Factor6
(二次硝酸塩)

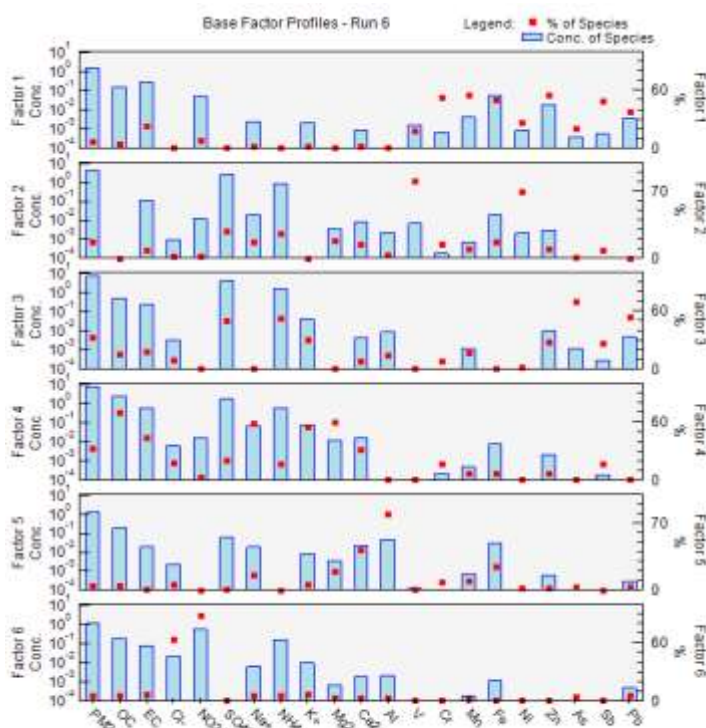


図 7-3-1 PMF 法による発生源プロファイル

図 7-3-2 に PMF で出力される各寄与濃度の平均組成を、図 7-3-3 にサンプル毎の寄与濃度を示している。平均では、二次硫酸塩、バイオ・自動車の寄与割合が高いこと、サンプルによって寄与の程度が異なっていることが分かる。

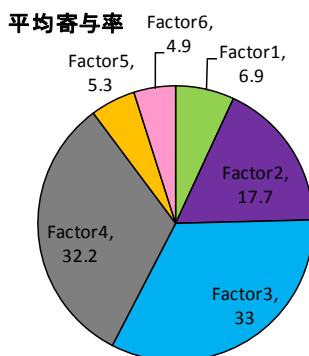


図 7-3-2 PMF 法による各因子の発生源寄与

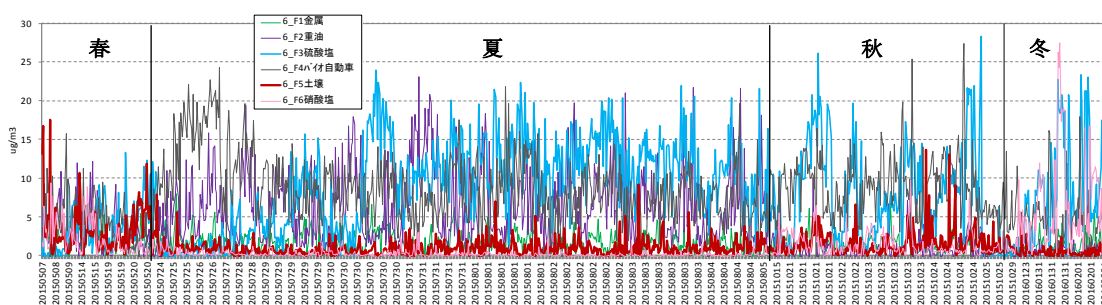


図 7-3-3 PMF 法による各因子の発生源寄与

図 7-3-4 に、黄砂日である 5 月 7～9 日の北海道と青森、5 月 19～20 日の島根、6 月 11～14 日の福岡での発生源寄与をそれぞれ示した。特に、5 月 7～9 日の北海道・青森で土壌の割合が高くなっているのが顕著である。

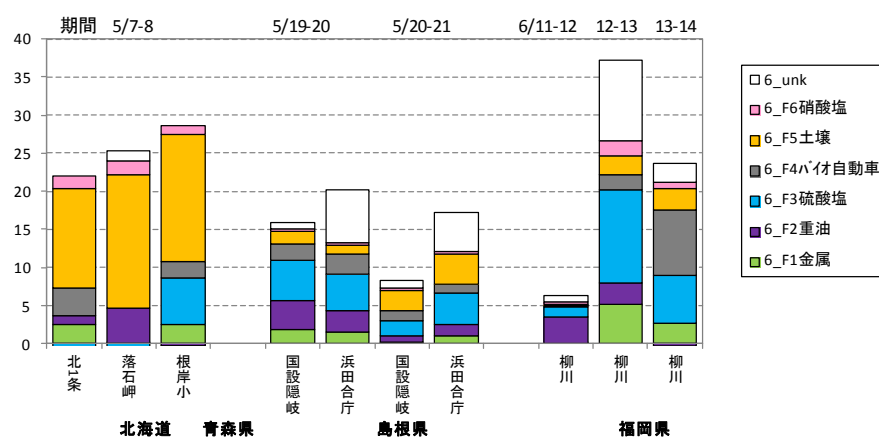


図 7-3-4 黄砂時の日毎・地点毎の発生源寄与濃度

煙霧時の寄与濃度については、PM_{2.5}を濃度ランクに分けて、その平均寄与濃度を図7-3-5に示している。PM_{2.5}濃度範囲別の件体数は、0~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 54件、10~20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 243件、20~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 596件、>35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超 164件である。濃度が上昇する毎に、二次硫酸塩の割合が高くなっている様子がみられる。

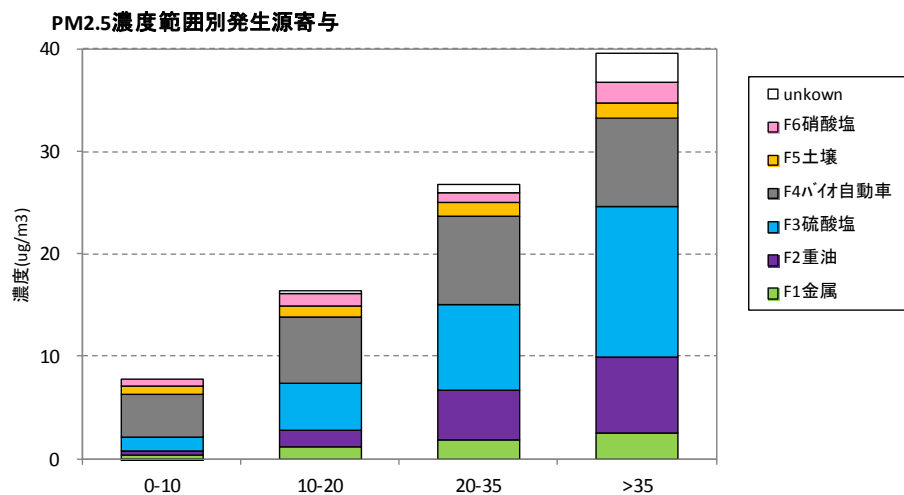


図7-3-5 煙霧時・PM_{2.5}濃度範囲別の発生源寄与濃度

8. 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³⁸⁾。

分類の主要な目的は、黄砂であることの確認、大きさ、汚染質の混在とその程度である。解析対象は气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

大気汚染質の要素としては、次の5項目である。

- 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。

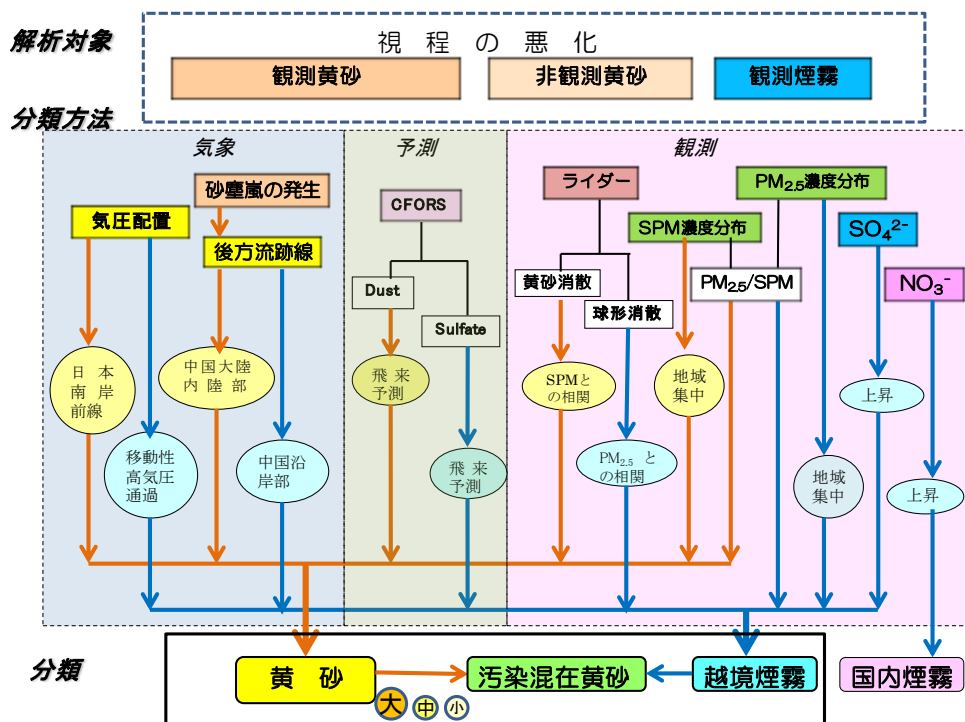


図 8-1 黄砂分類の手順

表 8-1 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。項目名には、黄砂に関連するものは黄、大気汚染に関連するものは青、両方に関連するものは緑で色分けしている。

平成 27(2015)年度の黄砂事例を項目毎に点数化し、黄砂項目と大気汚染項目に分けて合計点数を算出する。さらに合計点数を満点で除し、それぞれの指数とする。この指数が典型的な黄砂の状況との差、及び汚染質混在の影響の大きさの程度を測る目安になる。

これらの結果を表 8-2 に示す。黄砂関連項目の合計値と大気汚染関連項目の指数を、事例毎に図 8-2 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。

さらに、図 8-3 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 8-1 各項目の点数化一覧表

項目名	点 数						
	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

項目名	点 数						
	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 ライダー係数	◎		○		△		×
P CFORS(s)	◎		○		△		×

表 8-2 2015 年度黄砂の点数評価

評価	期 間	気圧配置	砂塵嵐	後方流跡線	CFORS(d)	黄砂地点数	SPM濃度	SPM分布	ライダー係数	PM2.5/SPM	煙霧地点数	後方流跡線混	CFORS(s)	硫酸イオン
	20150417-18	◎	◎	◎	○	9	90	△	◎	0.59	7	○	○	4
20150425	◎	△	◎	△	2	54	△	○	0.75	6	○	○	14	
20150505-07	◎	○	◎	△	10	105	○	○	0.5	0	△	○	9	
20150520	◎	△	◎	○	1	38	△	○	0.8	8	○	○	14	
20150612-13	◎	○	◎	◎	17	190	○	○	0.5	7	◎	◎	14	

点数化	期 間	P_気圧配置	P_砂塵嵐	P_後方流跡線	P_CFORRS(d)	P_黄砂地点数	P_ライダー係数	P_SPM分布	P_SPM濃度	P_PM2.5/SPM	P_煙霧地点数	P_硫酸イオン	P_PM2.5/SPM混	p_後方流跡線混	P_CFORRS(s)
	20150417-18	6	6	6	4	2	6	2	2	4	2	3	2	4	4
20150425	6	2	6	2	1	4	2	1	2	2	3	4	4	4	
20150505-07	6	4	6	2	3	4	4	3	4	0	2	2	2	4	
20150520	6	2	6	4	1	4	2	0	1	2	3	5	4	4	
20150612-13	6	4	6	6	4	4	4	4	4	2	3	2	6	6	

集計	期 間	黄砂指数	混在指数	黄砂指数%	混在指数%	黄砂/混在
	20150417-18	38	13	70.4	43.3	1.62
20150425	26	17	48.1	56.7	0.85	
20150505-07	36	10	66.7	33.3	2.00	
20150520	26	18	48.1	60.0	0.80	
20150612-13	42	19	77.8	63.3	1.23	

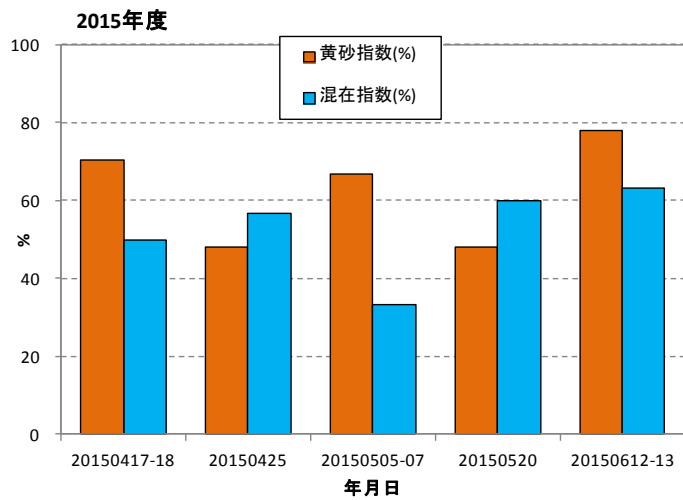


図 8-2 2015 年度黄砂の事例毎の評価指数

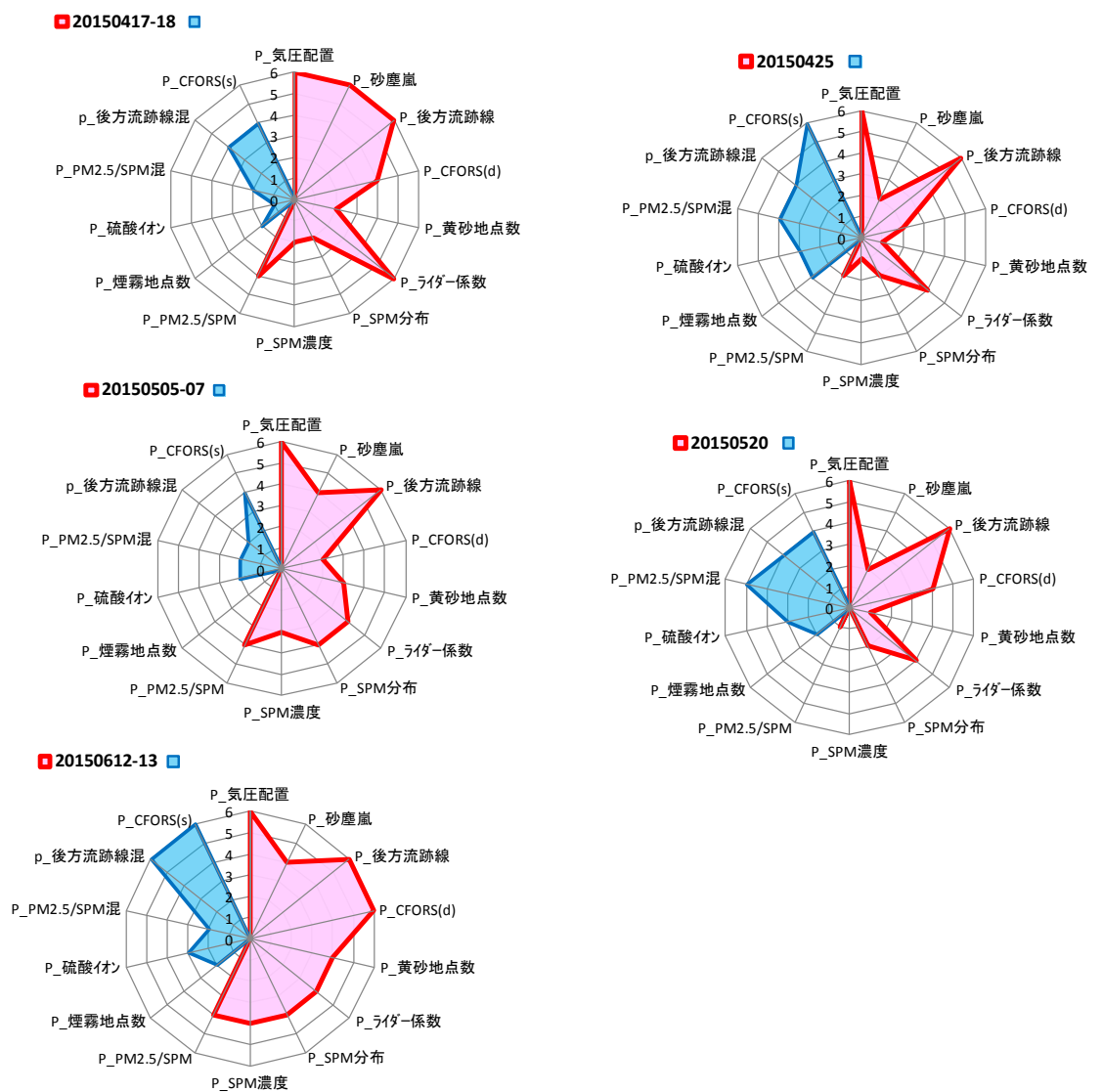


図 8-3 2015 年度黄砂のチャート

9. 砂塵嵐の発生と黄砂の観測

9.1 砂塵嵐発生状況の経年変化

日本での黄砂の観測は年によって増減がみられ、図 9-1-1 に示すように、近年は比較的少ない傾向にある。日本への黄砂の飛来は、中国大陸砂漠地帯での砂塵嵐の発生と、その粉じんを日本へ運ぶ気流に影響される^{31,32)}。そこで、砂塵嵐の発生と日本への大気の流れを経年的に検討した。

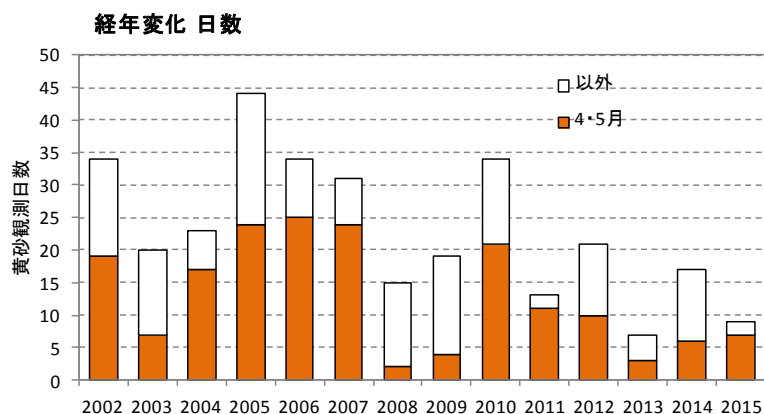


図 9-1-1 日本における黄砂観測日数の経年変化 (2002～2015 年度)

図 9-1-1 に示すように、日本における黄砂観測は、4・5月に多い。図 9-1-2 には、この期間の月別の観測日数を示しているが、この2ヶ月で全体の約6割(182日)を占めている。

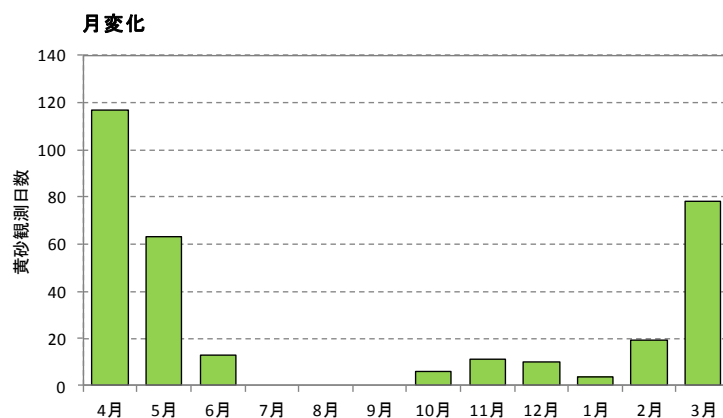


図 9-1-2 日本における黄砂観測日数の経月変化 (2002～2015 年度)

砂塵嵐の発生状況は、表 9-1-1 に示す世界気象資料での「Severe duststorm or sandstorm」(code:33~35)と「Slight or moderate duststorm or sandstorm」(code:30~32)が対象となる。

表 9-1-1 世界気象資料での砂塵嵐等の表示

●	Severe duststorm or sandstorm
	33 - has decreased during the preceding hour
	34 - no appreciable change during the preceding hour
	35 - has begun or has increased during the preceding hour
●	Slight or moderate duststorm or sandstorm hour
	30 - has decreased during the preceding hour
	31 - no appreciable change during the preceding hour
	32 - has begun or has increased during the preceding hour
●	Haze, dust, sand or smoke
	07 Dust or sand raised by wind at or near the station at the time of observation, but no well-developed dust the case of ships, blowing spray at the station whirl(s) or sand whirl(s), and no duststorm or sandstorm seen; or, in
	08 Well-developed dust whirl(s) or sand whirl(s) seen at or near the station during the preceding hour or at the time of observation, but no duststorm or sandstorm
	09 Duststorm or sandstorm within sight at the time of observation, or at the station during the preceding hour
●	04 Visibility reduced by smoke, e.g. veldt or forest fires, industrial smoke or volcanic ashes
●	05 Haze
●	06 Widespread dust in suspension in the air, not raised by wind at or near the station at the time of observation

図 9-1-3 に、アジア中央域（北緯 25° ~55° ,東経 75° ~150° の範囲）での砂塵嵐観測の経月変化を 2010 年度のデータで示している。日本への黄砂飛来の時期と重なり、4~5 月が圧倒的に多い。

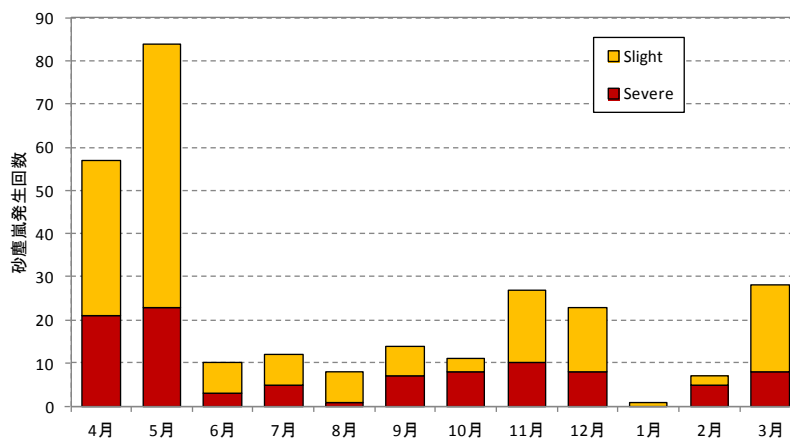


図 9-1-3 アジア中央部における砂塵嵐発生回数 (2010 年度)

図 9-1-4 には、2010 年度の年間の砂塵嵐 (Severe & Slight) の(観測の回数/地点数)を地図上 (北緯 35° ~55° 、東経 80° ~120°)で示している。タクラマカン砂漠、ゴビ砂漠、内モンゴルでの発生頻度が高いことが分かる。

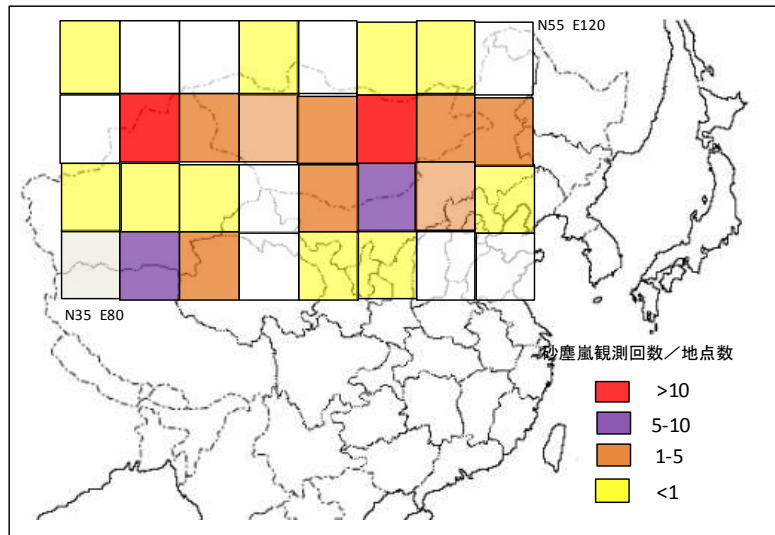


図 9-1-4 アジア中央部における砂塵嵐発生地域（2010 年度）

以上のように、砂塵嵐発生、日本への黄砂飛来ともに4～5月が多いことから、2002～2015年度の4、5月を対象として集計し、経年的な変化をみた。

図 9-1-5 は、2002 年から 2015 年の 4・5 月について、砂塵嵐の観測日数を地点別に多い順に示したグラフである。モンゴルでの発生が上位になっている。

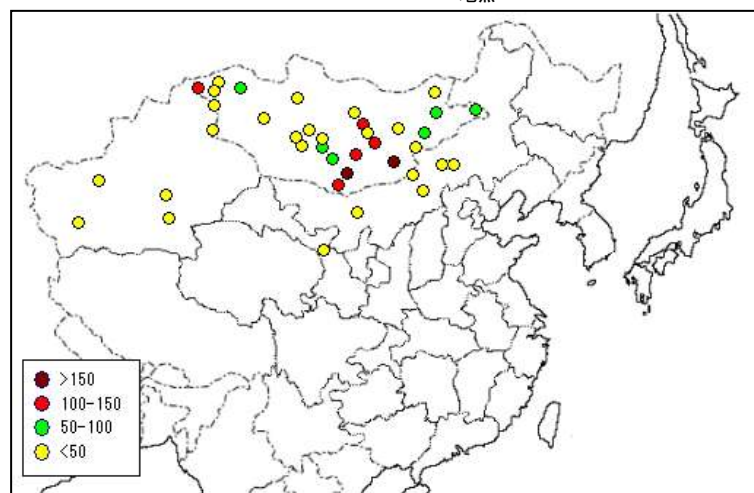
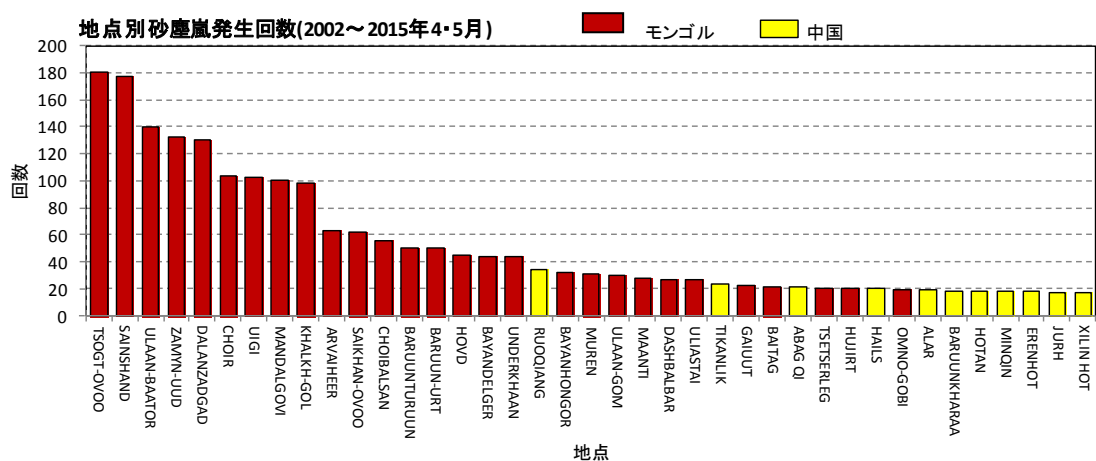


図 9-1-5 観測地点別の砂塵嵐発生日数（2002～2010 年度）

図 9-1-6 に、2002～2015 年の 14 年間の 4・5 月の 1 日毎の砂塵嵐発生状況を重ねて示している。2013 年、2015 年にやや少ない印象であるが、全体としては大きな違いはみられない。

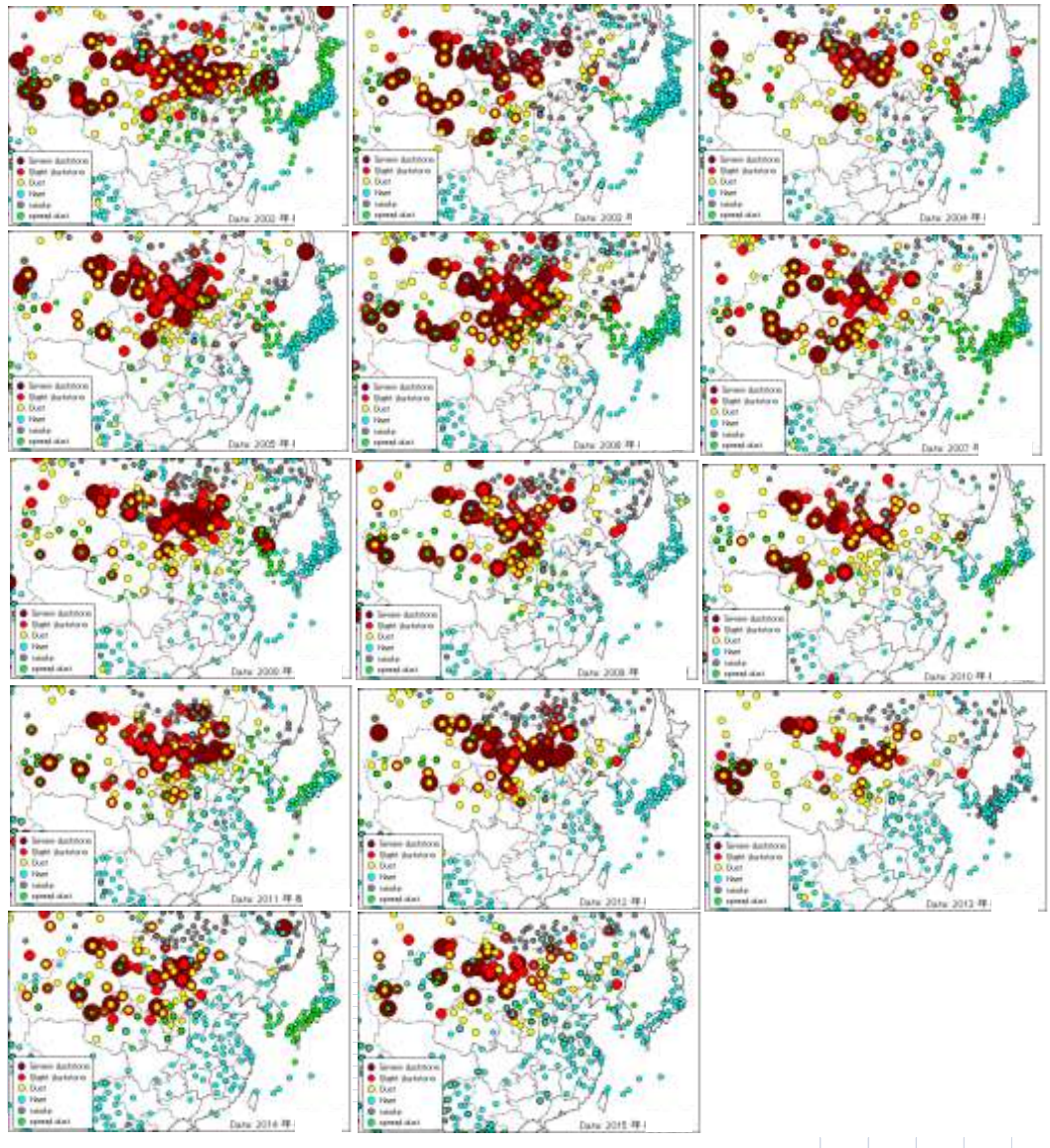


図 9-1-6 中国大陸での年毎の砂塵嵐発生集計（4 月、5 月）

図 9-1-7 は、年毎の Severe duststorm と Slight duststorm がいずれかの地点で発生した日数をまとめたものである。併せて日本のいずれかの地点で黄砂が観測された日数を折れ線で示している。全体的には比較的対応しているように見えるが、2008 年、2009 年のように砂塵嵐発生日数が例年と大きく変わらないにもかかわらず、日本での黄砂観測日数は極端に減少しているケースもみられる。2011 年以降は、砂塵嵐の発生日数は大きな変化はないが、日本での黄砂の観測日数には違いがみられる。

図 9-1-8 には、両者の散布図を示している。砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測には概ね良好な相関関係 ($r=0.687$) がみられ、特に Severe duststorm との関連が大きいようである。

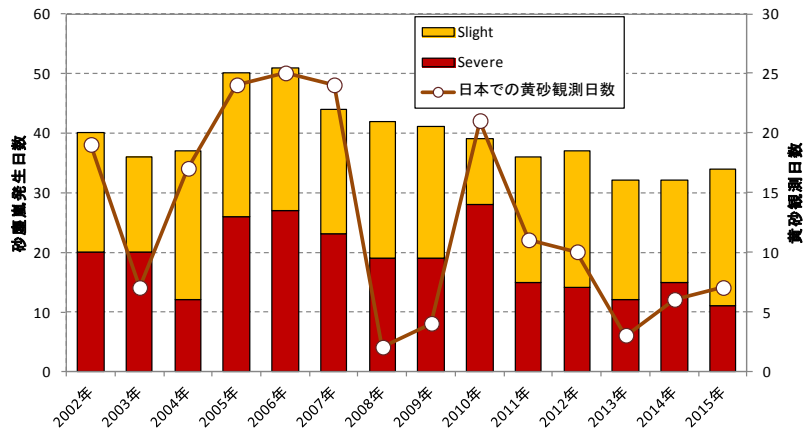


図 9-1-7 砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測日数の推移

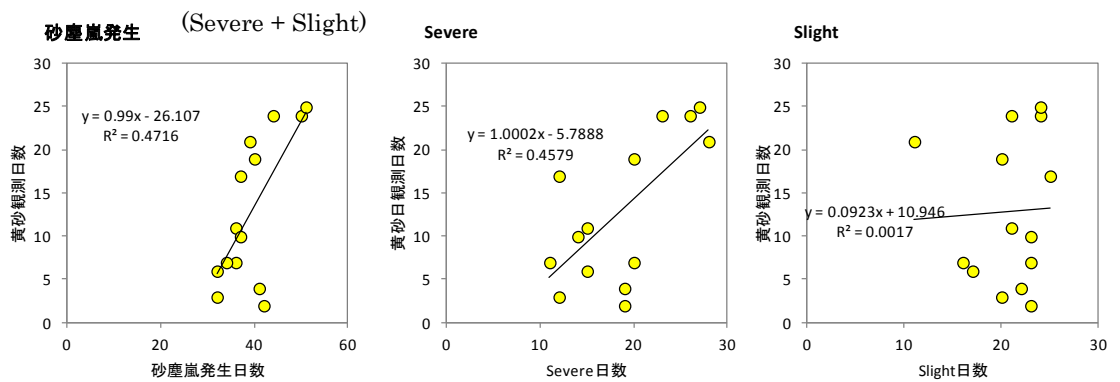


図 9-1-8 砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測日数の散布図

図 9-1-9 には、日本で 2002～2015 年 4・5 月に黄砂が観測された日（182 日）の 2 日前の砂塵嵐観測をメッシュ別に色分けしている。日本での黄砂に大きく影響を及ぼす地域が絞られてくる。

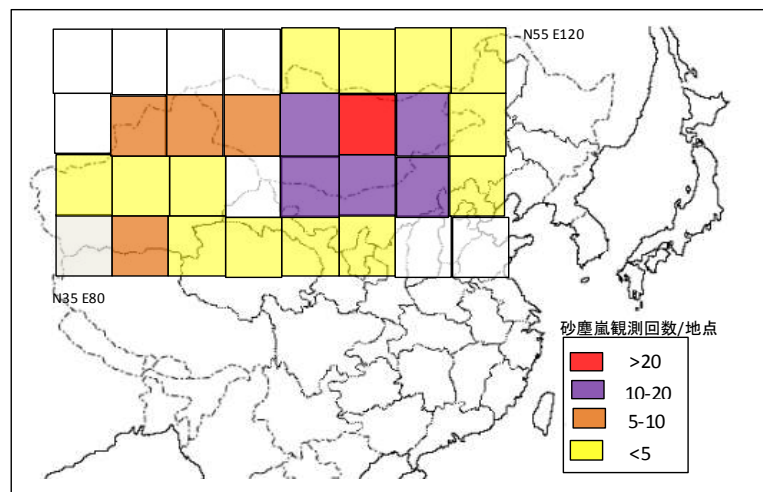


図 9-1-9 日本で黄砂観測日の 2 日前のメッシュ別 砂塵嵐地点当たり観測回数

9.2 後方流跡線方位の経年変化

黄砂の発生状況は同じようでも、日本での黄砂観測日数には違いがみられることから、日本への大気の流れを集約した。日本の大気の流れを全体としては把握するのは難しいことから、ここでは、黄砂の観測が日本の中でも多い福岡での後方流跡線の軌跡を、一例として示した。

図 9-2-1 は、福岡で黄砂が観測された日（66 日）の後方流跡線（3 時間毎）を年毎に重ねたものである。なお、2008 年、2009 年、2011 年、2012 年は 4・5 月には福岡で黄砂は観測されていない。全体を通して、ほぼ砂塵嵐発生地域からのもので占められていることが分かる。

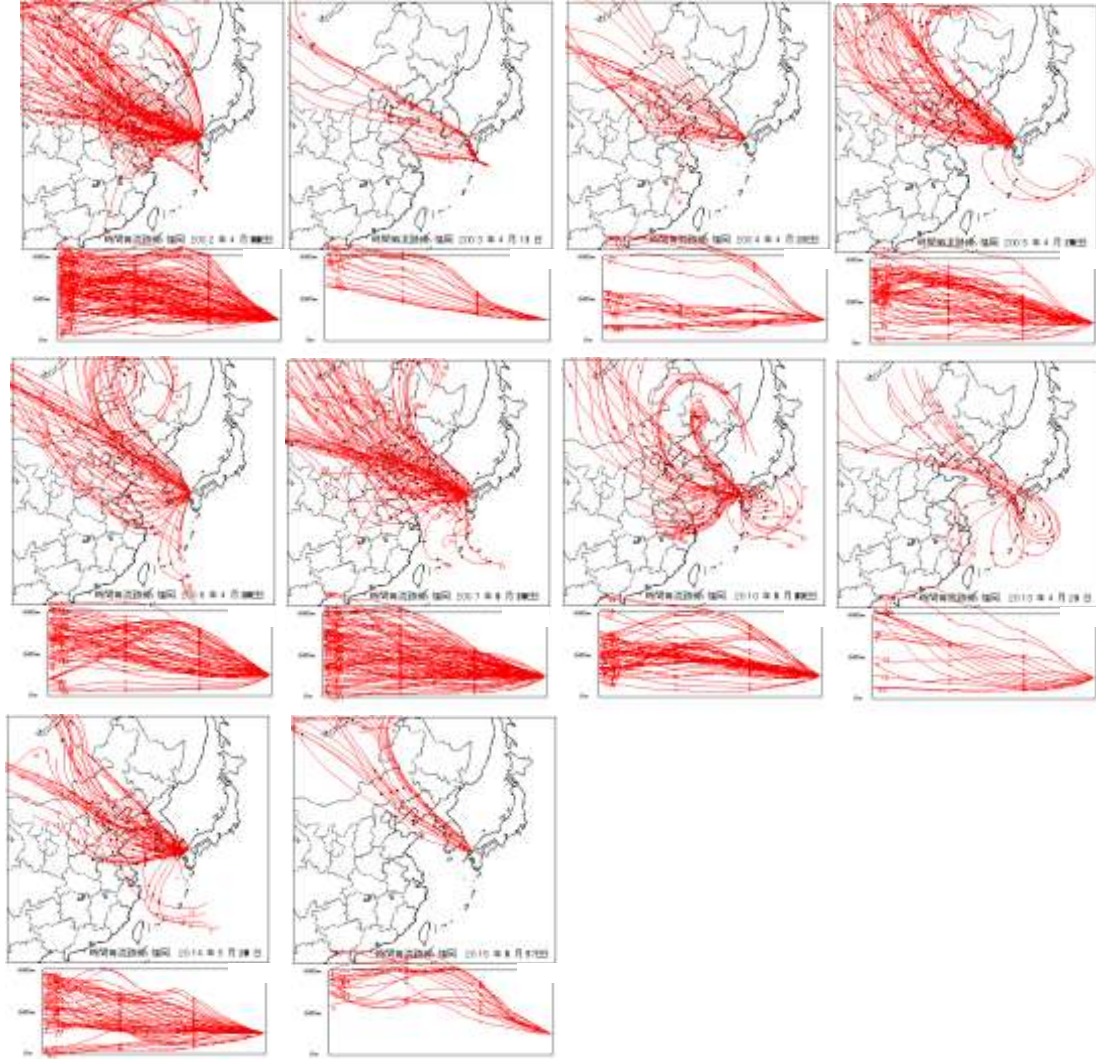


図 9-2-1 福岡での黄砂観測時の後方流跡線の集計（4 月、5 月）

図 9-2-2 には、4 月～5 月に後方流跡線が福岡を起点として、72 時間で北緯 35° ～50°、東経 75° ～120° の範囲を通過した日を黄砂の観測日数とともに、経年で示している。日本全体での黄砂観測日数とは対応している様子がみえる。

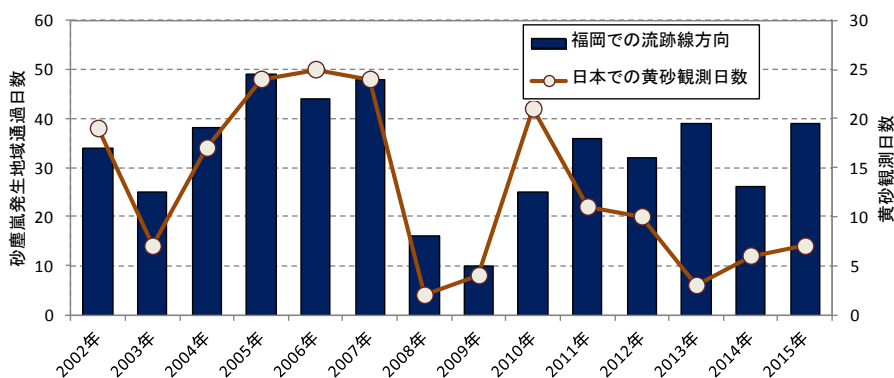


図 9-2-2 日本での黄砂観測日数と後方流跡線大陸方向日数（福岡）の推移

福岡で観測された黄砂が主にどの地域からの影響によるかを推定するために、2002～2015 年 4・5 月に黄砂が観測された日の後方流跡線の 48～72 時間前の通過日数をメッシュ毎に集計した。図 9-2-3 に、観測地点別の砂塵嵐観測回数を表示した地図上にメッシュを重ね表示している。モンゴル西部、南部、内モンゴル付近からの通過日数が多く砂塵嵐の発生が多い地点とほぼ重なっている。

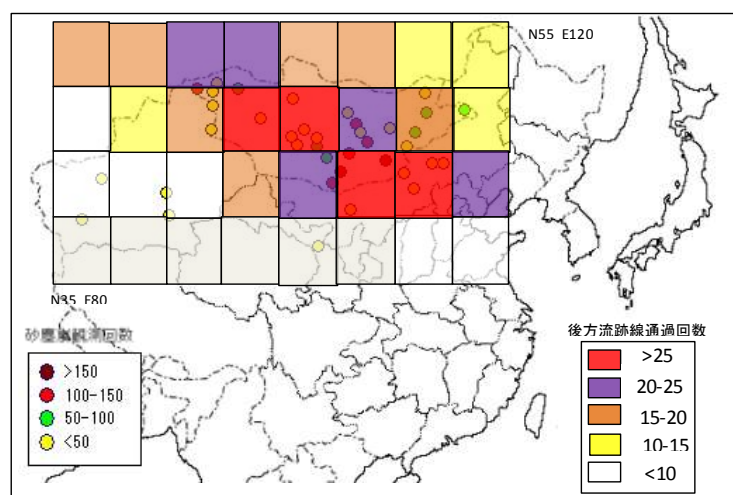


図 9-2-3 福岡での黄砂観測日 48～72 時間前のメッシュ別後方流跡線通過日数

9.3 砂塵嵐発生時の個別の状況

砂塵嵐の発生日数及び気流の頻度と黄砂観測日数には、長期間では関連がみられるようであるが、砂塵嵐発生と日本での黄砂観測の関係は大きく異なる年も多い。そこで、日毎の状況を表 9-3-1 にまとめた。

表は、日毎に、砂塵嵐は大規模の Severe duststorm●、小さな規模の Severe◎、Slight○、流跡線は福岡での後方流跡線が発生地域を通過した日を○、日本での黄砂観測は観測地点数、さらに SPM の上昇をみるために 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた局数をそれぞれ示している。

表 9-3-1 日毎の砂塵嵐発生、流跡線方向、日本での黄砂観測

月	日	2002				2003				2004				2005				2006				2007				2008				2009				2010				2011				2012				2013				2014				2015			
		砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数												
4月	1	●	○	27	588			1	248	○	○	5	15	◎	○	4	69	○	○	1	21	○	○	43	1058	○	○	3			22	○	○	28	○	○	3	2	○	○	1	○	○	9	○	○	0	○	○	109							
	2	○	○	36	1232				83	○	○	2	14	●	○	1	206	◎	○	1	320	○	○	53	1467	◎	○	5			3	○	○	9	5	○	○	1	○	○	9	○	○	4	○	○	8										
	3	◎	○	39	1246				7			23	222	●	○	6	158	◎	○	14	20	○	○	29	29	○	○	18			7	◎	○	5	2	●	○	○	○	○	2	○	○	2	○	○	4										
	4	◎	○	14	3				164	○	○	5		●	○	2	1	○	○	14	304	○	○			○	○	15			72	○	○	2	○	○	○	○	○	1	○	○	1	○	○	2											
	5	●	○		2				2					●	○	1	9	○	○	1	12					○	○	59			18			41			4	○	○	○	○	○	11	◎	○	1	○	○	12								
	6	●	○		6				5					◎	○	7	296	●	○	1	3					○	○	26			55	◎	○	17	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	83										
	7	○	○	6	75				102	○	○			◎	○	1	120	●	○	1	4					○	○	33			153	●	○	0	○	○	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○									
	8	○	○	15	931				60					○	○	4	198	◎	○	1	1026	○				○	○	72	●		368	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○								
	9	○	○	36	1432				13	○	○			○	○	7	228	◎	○	29	476	○	○	2		○	○	6			158	◎	○	5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	10	○	○	47	1654				6					◎	○	9	184	◎	○	9	78					○	○	0			71	◎	○	3	○	○	1	1	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	11	○	○	40	1463				68					◎	○	1	5	○	○	1	425	○	○			○	○	3			56	◎	○	4	○	○	7	5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	12	○	○	13	284				588	◎	○	1	5				63				137					○	○	78	●		○	○	○	○	○	4	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	13	○	○	27	653				31	637				162	●	○	3	19	○	○	339					○	○	13			61	◎	○	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	14	○	○	28	725				18	588				565	●	○	13	44	○	○	6					○	○	20			61	◎	○	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	15	○	○	19	1247				10	419				58	◎	○	28	254	○	○	7					○	○	12			3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	16	○	○	5	854				2	347				36	◎	○	21	595	●	○	2					○	○	103			12	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	17	○	○	16	510				2	336				19	428	◎	○	8	258	○	1					○	○	19			15	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	18	○	○	22	229				523	○	○	16	301	●	○	1	70			43	784					○	○	1			8	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	19	○	○	40					406	○	○	16	441	◎	○	235	○	○	32	921					○	○	1	◎		2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	20	○	○	1	66				268	○	○	2	52			9	95	○	○	2	10					○	○	3			9	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	21	○	○		61				2	161				23	61	○	○	38	75	●	○	1				○	○	18			6	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	22	○	○		19				3	○	○	34	1071			25	10	●	○	1	4					○	○	49			3	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	23	○	○		31				51	○	○	17	489			4	8	○	○	43						○	○	114			2	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	24	○	○		158				416	○	○	1		○	○	42	1146			5						○	○	24			24	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	25	○	○		68				291	○	○			○	○	49	919	◎	○	24						○	○	34			9	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	26	○	○		3				8	○	○			○	○	82	○	○	3	13						○	○	2			2	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	27	○	○		2				55	○	○			23		16			4	89						○	○	4			4	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	28	○	○		27				306	○	○			1	○	153	●	○	13		◎	○				○	○	2			58	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	29	○	○		48				146	○	○			4	○	2	366	●	○	9	88	●	○			○	○	2			2	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	30	○	○		124				2	◎	○			75	○	○	3	230	○	○	21					○	○	2			2	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	5月	1	●	○	198	○			61	●	○			84	○	○	24	909			19					○	○	6			6	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
2		○	○	6	○			91	●	○			50	◎	○		5	○	○	31	○				○	○	58			8	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
3		○	○		4			164	○	○			148	○	○	1	○	○	2	8					○	○	16			5	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
4		○	○		12			395	●	○			65	◎	○	40	</																																								

砂塵嵐発生、後方流跡線の方向、黄砂の観測、SPM濃度上昇の日々の集約から、砂塵嵐が発生し気流によって運ばれ日本で黄砂が観測される場合や、砂塵嵐は発生しているが黄砂の観測はみられない場合など、厳密な分類はできないが概ねいくつかのケースに分けられる。分類した5つのケースを表9-3-2に示し、表9-3-1でケース毎に色分けしている。また、ケース毎の例を、図9-3-1～図9-3-6に示す。

事例として多いのは、小規模の砂塵嵐と小さな黄砂であるCase2で、14年間で26事例である。大きな砂塵嵐の発生と日本での広い範囲で黄砂が観測されているCase1は19事例であるが黄砂としての影響は大きい。

表 9-3-2 事例の分類

	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50 局数	内 容	
Case1	●	○	◎	◎	大きな砂塵嵐が発生し、日本への大気の流れにより、多くの地点で黄砂が観測され、SPMも高くなっている	Case1
Case2	○	○	○	○	小規模の砂塵嵐が発生し、日本への大気の流れにより、少数の地点で黄砂が観測され、SPMも比較的高くなっている。	Case2
Case3	△	○	○	×	大陸で明らかな砂塵嵐はみられないが、日本への大気の流れがあり、黄砂の観測も観測されている。SPMは高くない	Case3
Case4	○	○	×	○	大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はない。しかし、SPMは高くなっている	Case4
Case5	○	○	×	×	大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はなく、SPMも高くなっていない	Case5
Case6	○	×	×	×	大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生したが、日本への大気も流れがなく、黄砂の観測も観測されず、SPMも高くない	Case6

(注) 黄砂観測での ◎は10地点超を、○は10地点以下を示す

SPM>50局数での◎は概ね300局超、○はそれより少なく、×は地域的な上昇がないものを示す

砂塵嵐の大規模な発生と、後方流跡線からみた大気の流れは、いずれも日本での黄砂の観測と関連していることが示され、日本への黄砂飛来の大きな要素であることが分かる。一方、これらの要素は必ずしも直接的に結びついているものでもなく、砂塵嵐の発生、日本への大気の流れの組み合わせが合致したときに、黄砂は観測されている。2008年、2009年の黄砂観測の大幅な減少や、2011年以降の砂塵嵐発生の状況に大きな変化はみられないにもかかわらず日本での黄砂観測の頻度が異なっているのは、これら二つの組み合わせの状況に依っているとされる。

近年の黄砂観測日数の減少の要因については、ライダー等のデータを加味して、更なる検討を進める必要がある。

Case1 : 2011年4月29日～5月2日

大きな砂塵嵐の発生があり、流跡線もその地域からの気流の流れを示し、日本で広域に黄砂が観測され、多くの地点でSPM濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超した事例である。日本への影響が大きいケースで、14年間で19事例程度みられた。

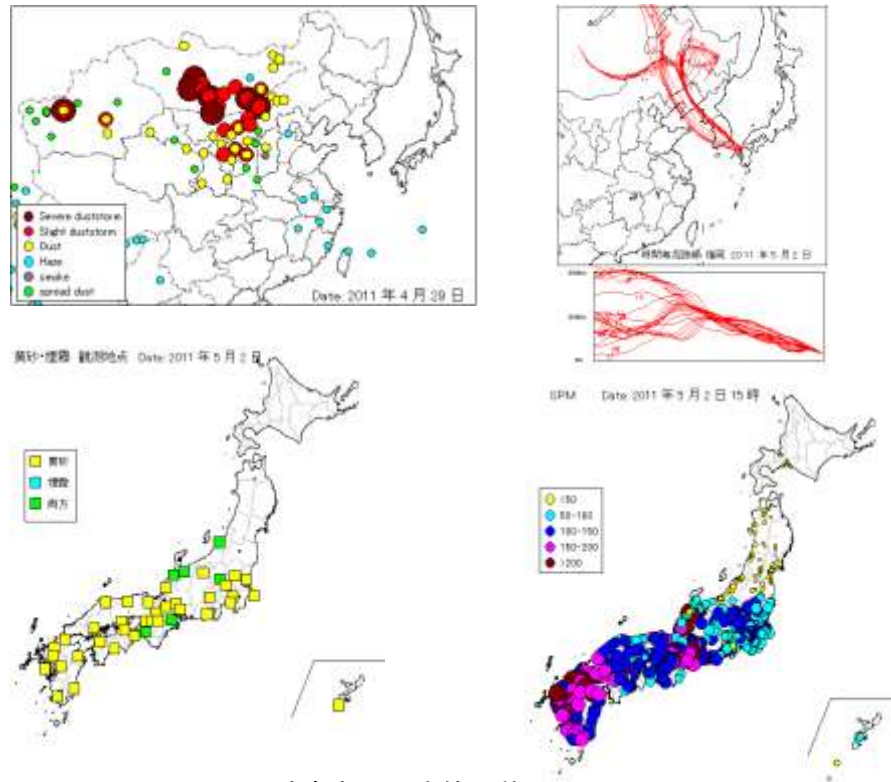


図 9-3-1 Case1 での砂塵嵐の発生等の状況

Case2 : 2005年5月12日

大陸で小規模の砂塵嵐が発生し、日本への大気の流れにより、少数の地点で黄砂が観測され、SPMも多地点で $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えているケースで、通常の黄砂と思われるもので26事例ほどあった。

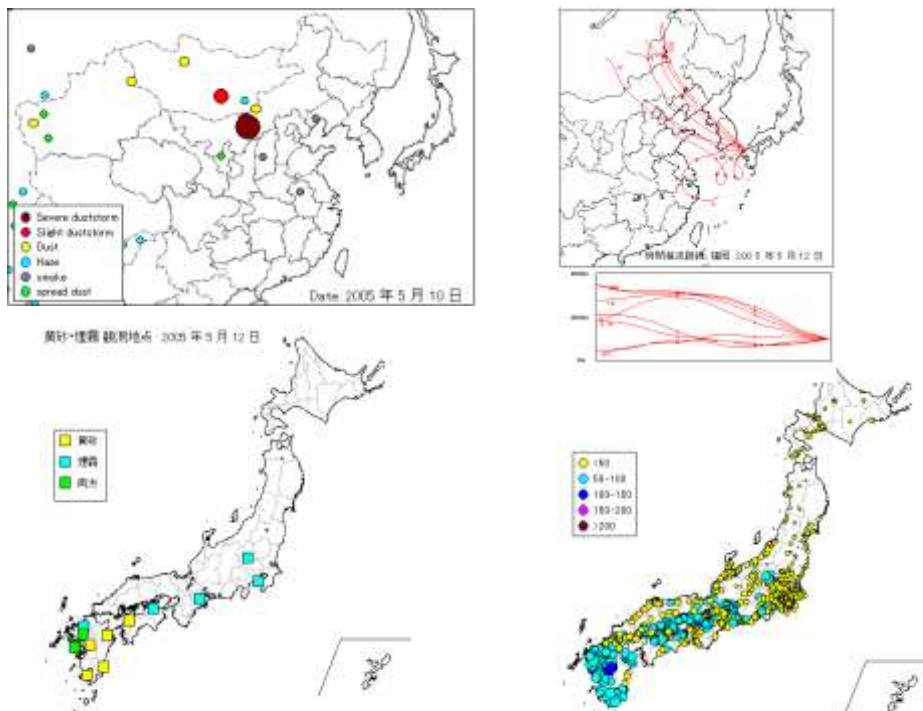


図 9-3-2 Case2 での砂塵嵐の発生等の状況

Case3 : 2015年5月20日

大陸で明らかな砂塵嵐はみられないが、日本への大気の流れがあり、黄砂も観測されている。SPMは高くないケースで、小規模の黄砂の場合にありうる（2事例）。

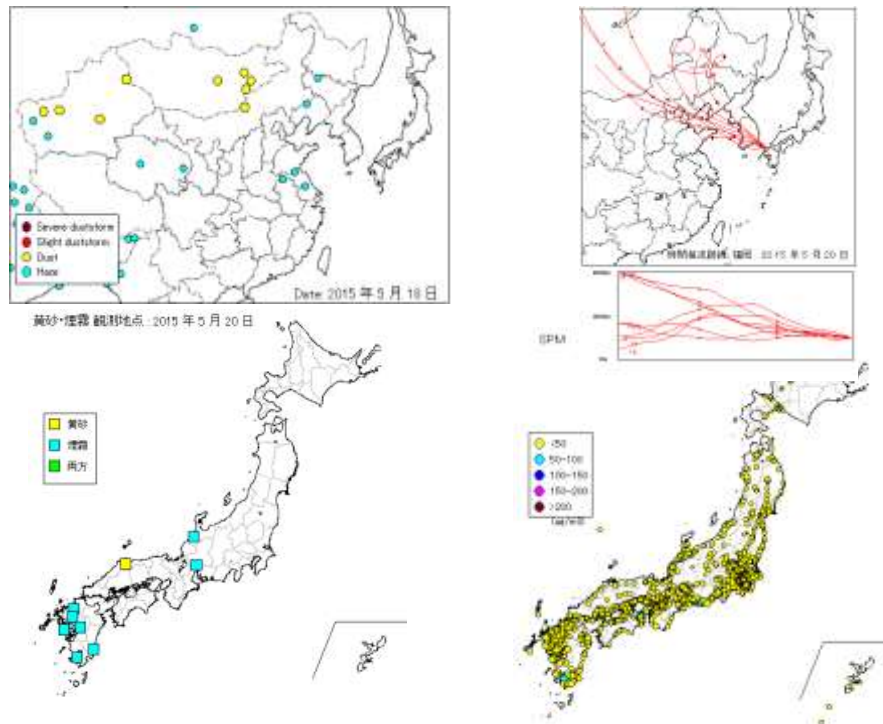


図 9-3-3 Case3 での砂塵嵐の発生等の状況

Case4 : 2013年5月11～13日

大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はない。しかし、日本海側でSPMが $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えているケースで、黄砂は実際には到来しているが観測がなされなかった事例になる（6事例）。

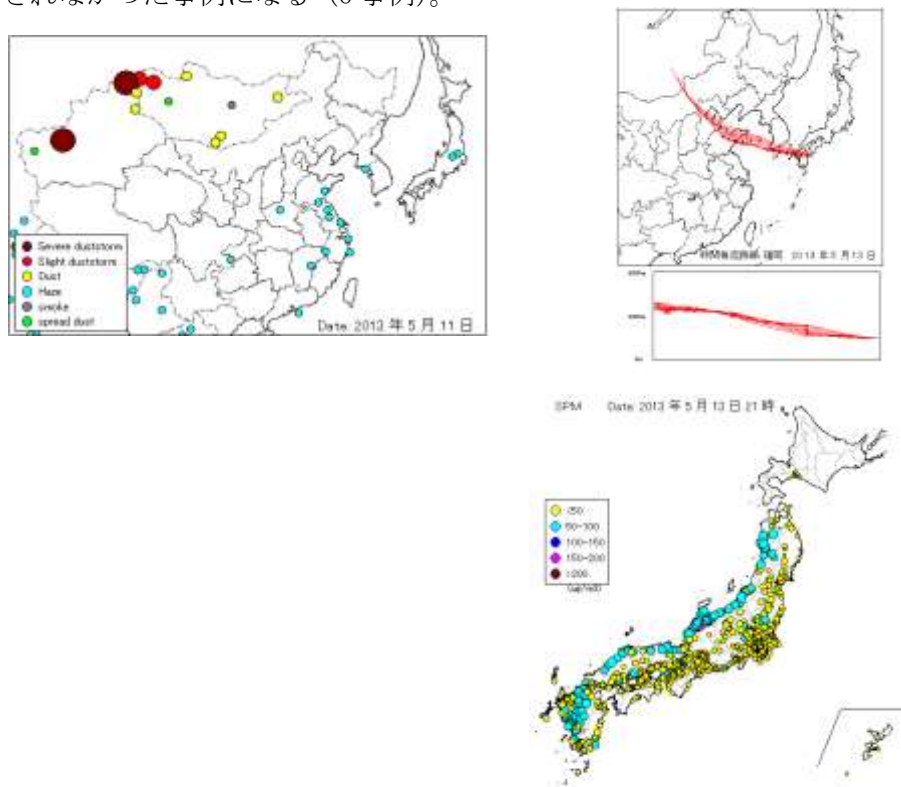


図 9-3-4 Case4 での砂塵嵐の発生等の状況

Case5 : 2008 年 5 月 20 日

大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はなく、SPM も高くなっていないケースで、高層を通過した場合などが想定される。同じようなものが 14 年間で 8 事例ほどみられた。

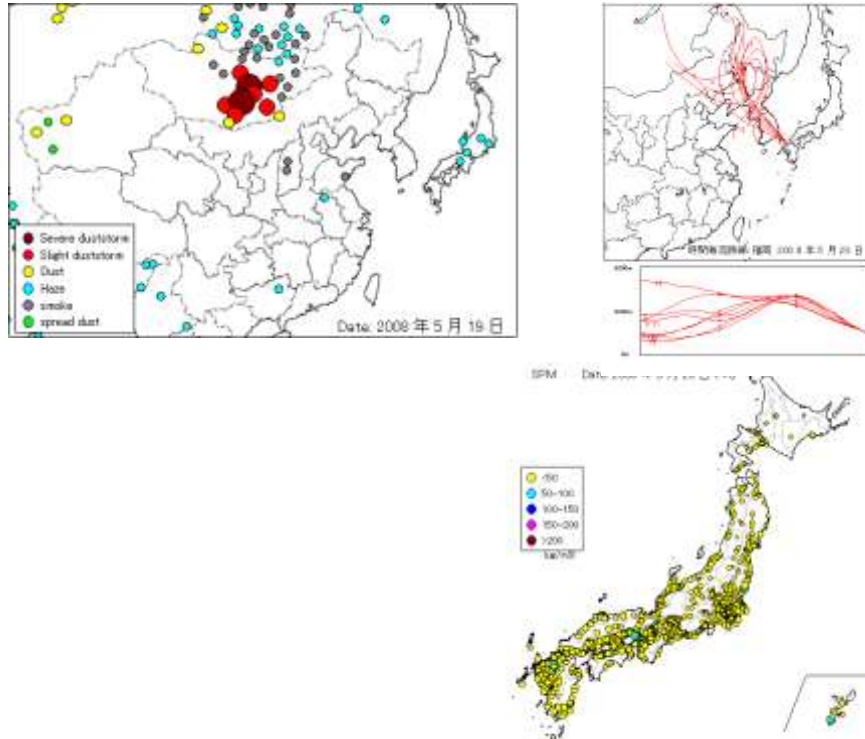


図 9-3-5 Case5 での砂塵嵐の発生等の状況

Case6 : 2008 年 4 月 8 日

大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生したが、日本への大気も流れがなく、黄砂の観測も観測されず、SPM も高くないケースで、黄砂は日本以外の地域へ向かったと思われる (8 事例)。

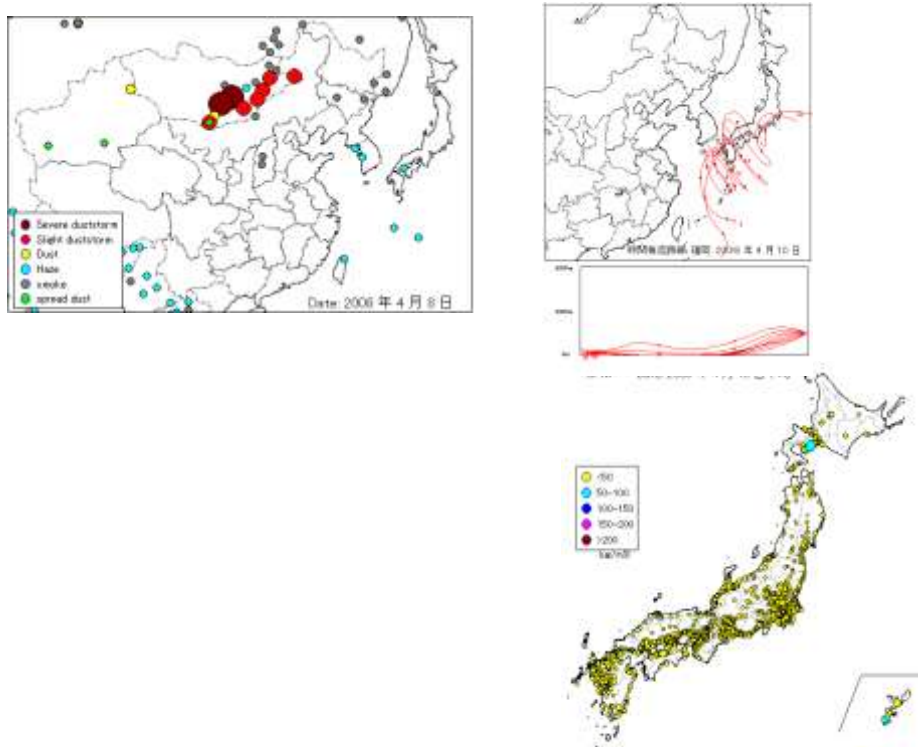


図 9-3-6 Case6 での砂塵嵐の発生等の状況

10. 今後の課題

本年度の報告書では、前年度の黄砂及び煙霧の実態について観測情報や数値モデルを組み合わせ総合的な解析をした。その中で煙霧の中に紛れている弱い黄砂を検出することもできた。さらに、大陸での砂塵嵐の発生と日本に飛来した黄砂の長期の関係性についても検討を加えた。

今後の課題として、次のような事項があげられる

- ・黄砂事例が集積してきたが、多地点の化学的情報が足りず、黄砂と硫酸塩エアロゾルなどの人為起源系汚染物質との混在の実態を明らかにすることが十分にできていない。全国のPM_{2.5}成分濃度調査や環境省のPM_{2.5}モニタリング強化により、日本各地の成分濃度が明らかになっていくことが期待されるため、それらを従来の解析データに加えることにより、単純黄砂だけでなく混在黄砂の空間分布や時間分布を把握できるような実態解明を目指す。
- ・黄砂の日本への飛来回数には変動があり、飛来回数が数回程度の年がときどき見られる。このような変動が何に起因しているのか明らかにすることによって、長期予測手法の向上や発生源対策の評価に繋がることを期待される。
- ・弱黄砂現象やPM_{2.5}に分類される微小な黄砂による健康影響が注目されている。そのような黄砂の分類だけでなく空間的、時間的分解能を把握できるような手法の確立が必要である。
- ・黄砂飛来を示す要素について、カテゴリ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。健康影響が懸念される混在黄砂について、さらに多くの事例を蓄積し、空間的な把握や汚染経路などを詳細に解析し寄与を明らかにしていく。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SPMとPM_{2.5}の同時観測を行う常時監視局の拡充、化学成分分析データの蓄積を進めることにより、PM_{2.5}濃度の上昇やその組成成分に対する黄砂や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、黄砂とともに飛来するバイオエアロゾルのデータ収集や、その同定解析法等について検討していく必要がある。
- ・汚染物質と混在する黄砂や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も進める必要がある。
- ・現在、日本・中国・韓国でのモニタリング・予測、発生源対策に関する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、さらには混在型黄砂の飛来率を低減化できるような公害防止型の技術協力に寄与することも期待される。

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. 「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
11. 「気象庁」HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
12. 「気象業務支援センター」：世界気象資料、気象庁月報
13. 「気象庁」HP（過去の気象データ）：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
14. 「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーレーダー））：<http://www.lidar.nies.go.jp/>
15. 「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>
16. 「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/trajasrc.pl>
17. 「アメリカ国務省 Mission China」<http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html>
18. 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）
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. 西山亨 他（三重県保健環境研究所）：2015年4、5月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例、第57回大気環境学会年会 P090（2016）
21. 梶田奈穂子 他（愛知県環境調査センター）：第57回大気環境学会年会 「2015年7、8月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例」、1D1130（2016）
22. 中島亜矢子 他（福岡市保健環境研究所）：「2015年10月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例」、第57回大気環境学会年会 P092、（2016）
23. 富山一 他：つくば市における野焼き発生の時間分布調査、第57回大気環境学会年会 2B1000（2016）
24. 富山一 他：稲作残査野焼きによる大気汚染物質排出量の地域別時間分布推計、第57回大気環境学会年会 2B1015（2016）
25. 茶谷聡：野焼き起因排出量推計の改良によるPM_{2.5}濃度予測への影響評価、第57回大気環境学会年会 2B1030（2016）
26. 木戸瑞佳 他（富山県）：2016年2、3月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例、第57回大気環境学会年会 P094（2016）
27. Yasunari(Hokkaido Univ.) et al:An identified Asian dust transport to Hokkaido in the spring of 2016 第57回大気環境学会年会 P067（2016）
28. 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
29. 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）

30. 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)
31. 鳥取大学乾燥地研究センター：黄砂－健康・生活環境への影響と対策－、丸善出版、pp1-150 (2016)
32. 原由香里、佐竹晋輔、鶴野伊津志、竹村俊彦：領域ダスト輸送モデルを用いた黄砂現象の年々変動シミュレーション、天気、51 (10) 719-728 (2004)
33. 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)
34. Cohen, D., David., Crawford, Jagoda., Stelcer, Eduard., Atanacio, J., Armand. (2012) Application of positive matrix factorization, multi-linear engine and back trajectory techniques to the quantification of coal-fired power station pollution in metropolitan Sydney, Atmospheric Environment 61, 204-211.
35. 辻昭博：大気エアロゾル中のイオン成分および無機元素成分の粒径別高時間分解能観測による黄砂と人為起源物質の越境汚染輸送の詳細解析、大気環境学会誌、48 (2) 82-91 (2013)
36. 斉藤勝美他：2013 年夏季関東における微小粒子の広域観測、エアロゾル研究、30(1)42-52 (2015)
37. Bressi, M., Sciare, J., Ghersi, 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)
38. 岩本真二他：日本に飛来する黄砂の分類方法、第 57 回大気環境学会年会講演要旨集、2B0930 (2016)
39. 西川雅高他：日本で捕集した典型的な黄砂エアロゾルの化学組成、大気環境学会誌、51(5)218-229 (2016)
40. 鶴野伊津志他：九州北部で 2014 年 5 月下旬から 1 週間継続した黄砂期間の硝酸塩の越境輸送のモデル解析、大気環境学会誌、51(4) 181-189 (2016)