
黄砂実態解明調査報告書

(平成 15～24 年度)

平成 26 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 付属国際連携研究センター センター長・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 センター長
委員	三上 正男	気象庁 気象研究所 研究総括官
委員	吉川 賢	岡山大学 大学院環境生命科学研究科 森林生態学 研究科長・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	独立行政法人 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
委員	高菅 卓三	株式会社 島津テクノリサーチ 執行役員 環境事業部長
座長	西川 雅高	東京理科大学 環境安全センター センター長
委員	早崎 将光	筑波大学 生命環境系持続環境学専攻 研究員
委員	森 育子	公益財団法人 東京都環境公社 東京都環境科学研究所 研究員

報告書の要旨

1. 調査目的

環境省では、黄砂の飛来実態を科学的に把握するため、黄砂飛来時に国内の複数地点で一斉にエアロゾルを捕集し化学成分の分析を行うなど黄砂実態解明調査を実施している。本報告書は、平成 24(2012)年度の結果を整理するとともに、平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度の黄砂について、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 15(2003)年度から平成 24(2012)年度の気象台発表の黄砂日について、経年変化、観測地点別の飛来回数などを整理した。また、平成 15(2003)年から平成 24(2012)年の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した。

2.2. 平成 24(2012)年度の成分分析

2.2.1. 調査期間と調査地点

平成 24(2012)年度の黄砂飛来シーズンで日本に黄砂の飛来が予想される日を中心に採取された。調査地点は以下の 5 地点である。

国設新潟巻酸性雨測定所	(新潟県)	富山県環境科学センター	(富山県)
国設松江大気環境測定所	(島根県)	福岡県保健環境研究所	(福岡県)
長崎県環境保健研究センター	(長崎県)		計 5 地点

2.2.2. エアロゾル捕集方法

以下の 2 方法により、基本的に 24 時間単位で 2 日間連続捕集を行った。

- 1) ハイボリウムサンプラー (HV) 浮遊粉じん濃度、金属成分、PAHs の捕集
- 2) 二段型ローボリウムサンプラー (LV) 2.5 μ m 以下のイオン成分の捕集

2.2.3. 分析項目

エアロゾルの重量(浮遊粉じん濃度)及び微小粒子(PM_{2.5})重量濃度を測定したほか、金属成分 8 項目、イオン成分 8 項目、PAHs 成分 11 項目を分析した。

2.3. 黄砂の把握方法

黄砂の特徴を解析するため、各黄砂事例を対象に、黄砂観測地点、気象概況(天気図、大陸での砂塵嵐の発生)、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 比、硫酸イオン濃度などについて整理した。

3. 黄砂の飛来状況

3.1. 気象台発表の黄砂日

平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度までの気象台発表黄砂日数は、平成 15(2003)年度から平成 17(2005)年度まで年々増加していたが、平成 20(2008)、平成 21(2009)年度と減少し、平成 22(2010)年度に再び増加した。しかし、平成 23(2011)、平成 24(2012)年度は再び減少している。観測地点毎の黄砂日数では、上位は九州、中国地方が占めており、九州、中国地方への黄砂の影響の大きさを示している。

3.2. 黄砂日の SPM 濃度

黄砂観測日における都道府県ごとの SPM 平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じたものを地図上に示した。この図から、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ることがわかる。

3.3. 気象台煙霧の観測状況

平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度までの 10 年間について、気象台観測の煙霧日の年間延べ日数を示した。煙霧は平成 17(2005)年度を最高に、それ以降は減少の傾向が続いている。煙霧延べ日数の経月変化は、全国では 4~7 月が多く、12、1 月が少なくなっている。地域別では、関東では 7、8 月に九州と比較して多くなっている。観測地点毎の煙霧日数では、関東・関西の都市が多くなっている。

3. 4. 平成 24(2012) 年度の黄砂飛来状況

平成 24(2012) 年度に気象台が観測した黄砂は 21 日で、連続した日をまとめると 10 事例となった。観測地点が最も多かったのは、平成 24(2013) 年 3 月 9 日で 31 地点、続いて 3 月 20 日の 29 地点である。この 10 事例について、SPM 濃度分布、後方流跡線、CFORS、ライダー黄砂消散係数、硫酸イオン濃度などのデータを整理して分類したところ、単純黄砂 4 事例、混在黄砂 6 事例となった。なお、単純黄砂は硫酸塩エアロゾルの存在が少ない黄砂、混在黄砂は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。

4. 黄砂と成分濃度

4. 1. 平成 24(2012) 年度の成分分析結果

平成 24(2012) 年度の成分分析のための粉じん採取は、平成 24(2012) 年 4 月 23～25 日と、平成 25(2013) 年 3 月 19～21 日に実施した。4 月 23～25 日は 22 地点、3 月 19～20 日は 29 地点と大きな黄砂が観測されていた。浮遊粉じん (TSP) 濃度は、4 月 24～25 日に長崎と太宰府、3 月 19～20 日に長崎、太宰府、松江で、それぞれ $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。アルミニウム (Al) と鉄 (Fe) は、黄砂が観測された 4 月 24～25 日の長崎、3 月 19～20 日の長崎、太宰府で高く、Al の濃度が $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたものもあった。微小粒子 ($\text{PM}_{2.5}$) 中のイオン成分では、煙霧も多地点で観測された 4 月 23～25 日は硫酸イオン濃度が上昇しており、太宰府、松江、富山で $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。PAHs 成分では、その合計量が太宰府、松江で高くなっていた。

4. 2. 成分濃度による黄砂の特徴

平成 15(2003) 年～平成 24(2012) 年度に黄砂実態解明調査で採取・分析された項目について、成分ごとに整理した。

4. 2. 1. TSP 成分

ハイボリウムエアサンプラー (HV) で採取された TSP とその分析項目について、相関行列を算出した。その結果、TSP 濃度とは Al、Fe などの金属類との関係が大きかった。そこで、TSP と Al の関係をみると、黄砂時に Al 濃度が上昇し、さらに成分組成も増加していることが分かった。

4. 2. 2. イオン成分

微小粒子のイオン成分の相関行列では、 SO_4^{2-} と NH_4^+ 、 SO_4^{2-} と K^+ 、 Mg^{2+} と Ca^{2+} などに高い相関関係がみられていた。 SO_4^{2-} 当量濃度と NH_4^+ 当量濃度の関係では、相関係数が高く回帰式の傾きもほぼ 1 であることから、黄砂時は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ として存在していることが推測された。微小粒子中の SO_4^{2-} 濃度が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超しているのは、平成 19(2007) 年 5 月 8～10 日、平成 19(2007) 年 5 月 26～28 日、平成 24(2012) 年 4 月 23～25 日の 3 事例であり、いずれも中国沿岸部からの気塊の流れがみられた。

4. 2. 3. PAHs 成分

PAHs は、ベンゾ[a]ピレンなど 11 種類の分析が行われている。PAHs の成分として最も高いのはベンゾ[b]フルオランテンであった。黄砂観測時で且つ TSP 濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度を示したときと、黄砂非観測時で TSP 濃度が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度のときを比較すると、黄砂時には濃度の上昇が観測されていた。黄砂観測時 (かつ TSP 濃度 $>100\mu\text{g}/\text{m}^3$) について単純黄砂と混在黄砂に分けて、各成分の濃度を比較すると、混在黄砂時がおおむね 1.5 倍程度高くなっていた。PAHs (合計量) が相対的に高い日 ($2000\text{pg}/\text{m}^3$ 超) の後方流跡線を集約すると、黄砂時特有のモンゴル方向からの流れが主なものであるが、北京、遼東半島、韓国を経由してきているものが多く、また中国沿岸部からの流れもみられた。

4. 2. 4. 農薬成分

農薬類はガス類も含めて採取されており、ジクロロボスなど 17 種が分析された。濃度が高いの

は、ジクロロボス、フェニトロチオン、ダイアジノンであるが、黄砂による顕著な濃度上昇はみられず、国内での平均的な濃度との差も明確ではなかった。

4.3. 成分濃度による黄砂の分類〔試算〕

過去に TSP 中の成分として分析した金属類、イオン類を用い、PMF 法によって発生源の寄与を推定する方法について検討した。因子数を 5 として計算した時の因子プロファイルは、 NO_3^- で高い硝酸塩系の二次粒子、Al、Fe、Mg、Ca、Sr の金属類で土壌系（主に黄砂）、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} で高い硫酸塩系の二次粒子、 Na^+ 、 Cl^- の海塩粒子、 K^+ のバイオ燃焼と想定された。最も大きな割合を示しているのは、土壌系（黄砂）で、続いて硫酸塩系二次粒子、硝酸塩系二次粒子となっていた。

5. 大規模な黄砂・煙霧の事例解析

5.1. 平成 15(2003)～平成 24(2010) 年度の黄砂観測日

平成 15(2003)年度から 24(2012)年度の 10 年間に気象台が観測した全ての黄砂は 254 日で、連続した日を 1 事例とすると 85 事例となる。この中から大規模な黄砂を抽出し詳細に解析した。大規模の基準としては黄砂を観測した地点が 31 地点以上とした。併せて、この 10 年間に観測された煙霧についても、31 地点以上で観測された日を選び解析した。

5.2. 大規模黄砂の事例

大規模な黄砂としては 17 事例が抽出された。大規模黄砂の時期は、3 月 5 事例、4 月 7 事例、5 月 4 事例と春がほとんどで、秋は 1 事例のみであった。

大規模黄砂は、多くの場合西日本から関東までの広がりであることが多いが、一部、北海道、東北まで及ぶケースもみられた。大規模な黄砂の場合も、硫酸イオン濃度が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるような高濃度になることは多く、人為起源の大気汚染物質を多く含む混在黄砂か否かは、日本への気流の経路に大きく関係していると思われた。黄砂の分類では、単純黄砂が 8 事例、混在黄砂が 9 事例とほぼ同数となった。

5.3. 大規模煙霧の事例

大規模煙霧は 9 事例であり、黄砂に比べ、多地点で同時に観測される煙霧の事例は少なかった。時期も黄砂とは異なり、年間を通して出現していた。

5.4. 黄砂・煙霧の特徴

大規模黄砂・大規模煙霧時の後方流跡線の経路について整理したところ、黄砂が主にモンゴル及び中国内陸部を通過するものが中心であり、大規模煙霧は中国沿岸部及び韓国を通過するケースが多くみられた。さらに、通過位置を緯度 $5^\circ \times$ 経度 10° のメッシュに分けて算出すると、黄砂が主に内陸部から沿岸部を経由していること、一方、煙霧は中国沿岸部と韓国経由がほとんどであることが分かった。黄砂を単純と混在に分類したときの通過割合では、主な経由地域は似たようなものであるが、混在においては中国沿岸部の工業地帯である地域が加わっていた。

大規模黄砂が日本で観測された時に、それ以前、どの地域で砂塵嵐が発生したかをまとめたところ、砂塵嵐の発生地帯は、モンゴル全域、ゴビ砂漠を含めた内モンゴル高原地域など中国大陸の内陸部を広く占めていた。大規模煙霧が日本で観測された時の東アジア地域で観測された Haze（煙霧）は、韓国、中国沿岸部で同時期に Haze（煙霧）が観測された事例が多くみられた。

大規模黄砂時と大規模煙霧時の $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ 比をみると黄砂時は平均で 0.50 であるが、規模が大きいものでは 0.3 近くまで下がっていた。また、単純黄砂は混在黄砂と比べて低い傾向がみられた。なお、煙霧は平均で 0.79 あり、黄砂時とは大きな差がみられた。

ライダーの黄砂消散係数と SPM 濃度の相関関係を集計した。相関係数はいずれも高く、傾きは平均 307 で比較的似通った値となっていた。これは、大規模黄砂の場合、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係がおおむね均一で、ライダー消散係数によって SPM 濃度の予測がある程度可能であることを示している。

6. 黄砂・煙霧時の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度

黄砂は、 $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準達成に大きな影響を与えており、また、越境による煙霧も、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と考えられる。そこで、平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度までの黄砂、煙霧の観測から、黄砂・煙霧と $\text{PM}_{2.5}$ 濃度との関係を検討した。

6. 1. 黄砂・煙霧時における PM_{2.5} 日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過

平成 15(2003)～平成 21(2009)年度までは環境省による 13 地点、平成 22(2010)年度から平成 24(2012)年度は自治体による測定局から各県 1 局を選び集計した。全体での PM_{2.5} の日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は 4.1%であったが、黄砂時は 40.1%、煙霧時は 28.1%と高くなっていた。また、日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数の経年変化をみると、黄砂時の超過日数は大きく変わっていないが、煙霧時の超過日数の減少とともに、日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた全体の日数も減っていた。地点別では、黄砂は西日本で多いこと、黄砂日のうち PM_{2.5} 日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過日が 50%を超える地点も多いことが分かる。煙霧については、多くの県で観測日数が減っており、西日本では東日本に比べて煙霧時に日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える頻度が高いことが特徴となっていた。

6. 2. 黄砂・煙霧時の PM_{2.5} 成分濃度による発生要因の検討

(1) 使用データ

環境省が実施してきた PM_{2.5} 成分濃度全国調査の結果をもとに、黄砂・煙霧時の PM_{2.5} 環境基準超過の要因を検討した。対象としたデータは、全国 14 地点で平成 15(2003)年から平成 22(2010)年までの 8 年間、四季に採取したもので、このうち黄砂・煙霧日を抽出したものである。

(2) 成分濃度について

平均成分組成は黄砂・煙霧で違いがみられ、黄砂時は主に金属類で構成されていると思われる成分の割合が増えていた。また、関東と九州の煙霧時においては、九州では SO_4^{2-} が多くなっているのに比べ、関東では NO_3^- 、OC、EC が多いというように組成の違いが出ていた。

(3) PMF 法による計算結果 [試算]

PMF 法で発生源数を 4 とした時の因子の結果は、OC、EC で高い炭素系粒子、金属類や Ca^{2+} で高い土壌系（黄砂）、 NO_3^- 、 Cl^- で高い硝酸塩系二次粒子、 SO_4^{2-} 、 NH_3^+ で高い硫酸塩系二次粒子とそれぞれみなすことができた。全体での発生源寄与は、最も寄与が大きいのが硫酸塩系二次粒子で 37%、続いて炭素系粒子と土壌系（黄砂）が同程度で 23%と 22%、硝酸系二次粒子が 18%となっていた。黄砂・煙霧時で PM_{2.5} 濃度が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日について各因子平均濃度の経年変化をみると、炭素系粒子、は年々減少傾向にあること、硫酸塩系二次粒子は平成 19(2007)年以降上昇していること、土壌系（黄砂）は年によって濃度が大きく変わることなどが表われていた。また、複数地点もしくは複数日に黄砂・煙霧時で PM_{2.5} の重量濃度が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた 29 事例について、PMF 法による寄与推定を加えて分類を行ったところ、単純黄砂 2 事例、混在黄砂 6 事例、硫酸塩系二次粒子 7 事例、硝酸塩系二次粒子 10 事例、地点によって硫酸塩系二次粒子と硝酸塩系二次粒子が混じっているもの 4 事例と推定された。

7. ライダー黄砂・球形消散係数と SPM・PM_{2.5} 濃度の関係

7. 1. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度

ライダーによる観測では、気象台が観測した黄砂日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、ライダー観測での黄砂消散係数と SPM 時間値との関係を使って黄砂の飛来を検出する方法について検討した。黄砂の飛来によって、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ことから、毎日の黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値との相関係数、SPM 最高濃度、黄砂消散係数最高値などの条件を設定し、抽出した。その結果、平成 20(2008)～平成 22(2010)年度の 3 年間で長崎 61 日、松江 29 日、富山 26 日が抽出され、このうち、当該地域も含めて、全国のどの地点でも黄砂は観測されていない日に抽出されたのは、長崎で 33 日、松江で 15 日、富山で 13 日とおおよそ 5 割を占めていた。

7. 2. ライダー球形消散係数と PM_{2.5} 濃度

ライダーによって算出される球形消散係数は、大気汚染性のエアロゾルとの関連が深いと思われるため、PM_{2.5} 濃度との関係について検討した。使用したのは、大阪に設置されているライダーデータと国設大阪局の PM_{2.5}、SPM データである。平成 22(2010)年 11 月 11～15 日は、西日本全体を黄砂が覆っていたが、黄砂による SPM の上昇と、PM_{2.5} の挙動が異なることが球形消散係数との対応でみることができた。また、大阪で黄砂が観測された平成 24(2012)年 4 月 22～25 日は、煙霧も多くの地点で観測されており、大阪では黄砂のみの観測にもかかわらず黄砂による SPM の上昇は少なく、球形消散係数と PM_{2.5} の上昇が顕著であり、むしろ大気汚染によるエアロゾルの影響が大きいと思われた。

目 次

1. 調査目的	1
2. 調査方法	1
2. 1. 黄砂の飛来状況把握	1
2. 2. 平成 24(2012)年度の成分分析	1
2. 2. 1. 調査期間と調査地点	1
2. 2. 2. エアロゾル捕集方法	3
2. 2. 3. 分析項目	4
2. 3. 黄砂の把握方法	5
3. 黄砂の観測状況	6
3. 1. 気象台黄砂の観測状況	6
3. 2. 黄砂日の SPM 濃度	7
3. 3. 気象台煙霧の観測状況	10
3. 4. 平成 24(2012)年度の黄砂飛来状況	11
4. 黄砂と成分濃度	33
4. 1. 平成 24(2012)年度の成分分析結果	33
4. 1. 1. 調査時の状況	33
4. 1. 2. 調査結果	36
4. 2. 成分濃度による黄砂の特徴	41
4. 2. 1. TSP 成分	41
4. 2. 2. イオン成分	44
4. 2. 3. PAHs 成分	47
4. 2. 4. 農薬成分	51
4. 3. 成分濃度による黄砂の分類〔試算〕	52
5. 大規模な黄砂・煙霧の事例解析	55
5. 1. 平成 15(2003)～平成 24(2012)年度の黄砂観測日	55
5. 2. 大規模黄砂の事例	57
5. 3. 大規模煙霧の事例	91
5. 4. 黄砂・煙霧の特徴	110
6. 黄砂・煙霧時の PM _{2.5}	115
6. 1. 黄砂・煙霧時における PM _{2.5} 日平均値 35 μ g/m ³ の超過	115
6. 2. 黄砂・煙霧時の PM _{2.5} 成分濃度による発生要因の検討	119
7. ライダー黄砂・球形消散係数と SPM・PM _{2.5} 濃度の関係	130
7. 1. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度	130
7. 2. ライダー球形消散係数と PM _{2.5} 濃度	133
8. 今後の課題	134
参考文献リスト	135
資料編	137

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。わが国でも黄砂が観測されることが多くなっているが、年々変動が大きく長期的な傾向は明確でない。

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、中国大陆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。

環境省では、平成 14(2002)年度から、黄砂の飛来実態を科学的に把握するために、黄砂飛来時に国内の複数地点で一斉にエアロゾルを捕集し化学成分の分析を行うなど黄砂実態解明調査を実施してきた。

本報告書は、わが国における黄砂エアロゾルの飛来状況を科学的に把握するとともに、わが国に飛来した黄砂の実態解明に資することを目的として、昨年度の黄砂の状況を整理するとともに、平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度に飛来してきた黄砂を中心に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 15(2003)年度から平成 24(2012)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 15(2003)年から平成 24(2012)年における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た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. 平成 24(2012)年度の成分分析

2.2.1. 調査期間と調査地点

平成 24(2012)年度における黄砂成分調査は、以下のとおり、黄砂飛来シーズンの 2 月中旬から 6 月頃までの間で、日本に黄砂の飛来が予想される日に実施した。

サンプリングは、地方公共団体の協力を得て、全国 5 地点で行った。

調査地点は、図 2-1 のとおり、国設新潟巻酸性雨測定所（新潟県；以下、巻と略）、富山県環境科学センター（富山県；以下、富山と略）、国設松江大気環境測定所（島根県；以下、松江と略）、福岡県保健環境研究所（福岡県；以下、太宰府と略）、長崎県環境保健研究センター（長崎県；以下、長崎と略）の計 5 地点であり、測定地点の緯度、経度、標高を始め、気象条件、周辺の地勢・土地利用状況等を表 2-1 に示す。



図 2-1 調査地点配置 (5 地点)

表 2-1 黄砂調査地点一覧

地点名	長崎（長崎県）	太宰府（福岡県）	松江（島根県）	富山（富山県）	巻（新潟県）
サマリング地点	長崎県環境保健研究センター	福岡県保健環境研究所	国設松江大気環境測定所	富山県環境科学センター	国設新潟巻酸性雨測定所
住所	大村市池田 2-1306-11	太宰府市大字向佐野 39	松江市西浜佐陀町 582-1	射水市中太閤山 17-1	新潟市西蒲区越前浜字向谷地 5597-1
緯度	32°56' 21"	33°30' 32"	35°28' 31"	36°41' 51"	37°48' 22"
経度	129°58' 40"	130°30' 09"	133°00' 45"	137°06' 10"	138°51' 21"
標高	160m	27m	5m	20m	50m
気象条件	対馬海流の影響により全体的に温暖である。冬期の降雪は年間 5 日程度であり積雪はほとんどない。	冬季には曇天が多く、また北西の季節風が多い。年数回の積雪がみられる。	曇天の日が多い。北西～西風が強い。降雪は 1 シーズンに約 10～15 日程度、積雪は多い時に 10～20cm、通常は 5cm 程度	西高東低の冬型の気圧配置で降雪・積雪能登半島から南へ連なる山の影響で季節風がやや弱められる。	秋冬期は海からの季節風が強い。降雪・積雪
地勢・土地利用等	長崎県のほぼ中央部、琴平岳（標高 330m）中腹にあり、周囲約 1km は工業団地として開発され、規模は小さいが固定発生源（ボイラー等）が 4 件ある。南西約 1 km に長崎自動車道大村 IC、西方約 3km に大村湾、西方約 5km の大村湾内に空港がある。	周辺は田畑が多い。西側 230m（九州自動車道）、北東側 450m（国道 3 号線）西側 1km 及び南東側 750m に住宅団地、南東側 2.5km に市街地、北側 16km に福岡市の中心部	0～3km：田畑が広がり、南側に小山、宍道湖、民家が点在するが大気汚染の発生源はない。3km 以遠：東に松枝市街、西側に合板工場があるが、規模は小さい。	富山平野の中西部、周囲は住宅地及び農地、周辺に固定発生源なし、海岸部に火力発電所、化学工場等がある。海岸（富山湾）より約 8km 富山市より西約 10km 南方約 1km に北陸自動車道	日本海から 1.3km の丘陵地南東～南西に松林、丘陵地の下は広大な畑地北～東は果樹園海岸沿いに国道
特記事項		建築物屋上	H14 は建築物屋上、H15 以降は測定所		
ライダー観測	サンプリング地点で観測	なし	島根県保健環境科学研究所（松江市）で観測	サンプリング地点で観測	アジア大気汚染研究センター（新潟市）で観測

採取日：平成 24(2012)年 4 月 23～25 日

(長崎、富山、巻で煙霧、大宰府で黄砂と煙霧、松江で黄砂を観測)、

平成 25(2012)年 3 月 19～21 日

(長崎と太宰府で黄砂と煙霧、松江、富山、巻で黄砂を観測)、

2.2.2. エアロゾル捕集方法

本調査では、黄砂の飛来が予想される日において、基本的に 24 時間単位の 2 日間連続で、以下の 2 つの方法で大気中のエアロゾル等を捕集した。

1) ハイボリウムサンプラー (HV)

浮遊粉じん濃度、エアロゾル中の金属成分及び PAHs 成分の捕集を目的とする。

2) 二段型ローボリウムサンプラー (LV)

2.5 μ m で粗大粒子及び微小粒子に分級したエアロゾル中の主にイオン成分の捕集を目的とする。

エアロゾル捕集実施要領

ア. ハイボリウムサンプラー (HV)

- 1) 石英ろ紙 (Pallflex 2500QAT-UP) を 550℃で 10 分間加熱処理した後に秤量する。
- 2) ハイボリウムサンプラーの流量設定は、約 1,000L/分程度とし、所定時間エアロゾルを捕集する (気圧、気温補正はしない)。
- 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1 昼夜清浄な室内 (湿度 50 $\pm$ 5%) に放置した後、秤量する。
- 4) 試料の保存に際しては、試料の捕集面を内側で合わせ 2 つ折りにし、清浄な和紙 (半紙) で包み、その上を更にアルミ箔で覆い、それをビニール袋に入れて密閉する。保存場所は冷蔵庫内など 5℃冷暗所である。
- 5) 分析等に際しては、低温宅配便にて所定の機関へ送付する。
- 6) ブランクは、トラベルブランクとする。

イ. 二段型ローボリウムサンプラー (LV)

- 1) 石英ろ紙 (Pallflex 2500QAT-UP) を 550℃で 10 分間加熱処理した後に秤量する。
- 2) 二段型ローボリウムサンプラー (分離粒径は 2.5 μ m) の流量設定は 20L/分とし、所定時間エアロゾルを捕集する。
- 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1 昼夜清浄な室内 (湿度 50 $\pm$ 5%) に放置した後、秤量する。
- 4) 試料の保存に際しては、あらかじめ紙製ワイパーで拭いたペトリスライド ((独) 国立環境研究所指定の容器、47mm、ミリポア社製) にろ紙を入れ、更に、粗大粒子を捕集したろ紙が入ったペトリスライドと微小粒子を捕集したペトリスライド 2 個を 1 組にして、ファスナー付きビニール袋に入れる。保存場所は冷蔵庫内など 5℃冷暗所である。
- 5) 分析等に際しては、低温宅配便にて所定の機関へ送付する。
- 6) ブランクは、トラベルブランクとする。

2.2.3. 分析項目

捕集したエアロゾルの重量（浮遊粉じん濃度）及び微小粒子(PM_{2.5})重量濃度を測定したほか、金属成分 8 項目、イオン成分 8 項目、多環芳香族炭化水素類（PAHs）成分 11 項目を分析した。

本調査の分析項目を表 2-2 に示す。

表 2-2 分析項目

分類	対象物質	分析方法
金属	アルミニウム (Al)	ICP 質量分析法
	鉄 (Fe)	
	マグネシウム (Mg)	
	カルシウム (Ca)	
	ストロンチウム (Sr)	
	マンガン (Mn)	
	チタン (Ti)	
	亜鉛 (Zn)	
イオン	硝酸イオン (NO ₃ ⁻)	イオンクロマトグラフ法
	硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)	
	ナトリウムイオン (Na ⁺)	
	カルシウムイオン (Ca ²⁺)	
	アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺)	
	カリウムイオン (K ⁺)	
	マグネシウムイオン (Mg ²⁺)	
	塩素イオン (Cl ⁻)	
多環芳香族炭化水素類 (PAHs)	ベンゾ[a]アントラセン	GC-MS 法
	クリセン	
	ベンゾ[b]フルオランテン	
	ベンゾ[k]フルオランテン	
	ベンゾ[a]ピレン	
	ベンゾ[e]ピレン	
	ジベンゾ[a, h]アントラセン	
	インデノ[1, 2, 3-cd]ピレン	
	ジベンゾ[a, c]アントラセン	
	ベンゾ[g, h, i]ペリレン	
	コロネン	

2.3. 黄砂の把握方法

黄砂の特徴を把握するために、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 F0Recasting 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 比、硫酸イオン濃度などについて整理した。

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測したと発表⁹⁾した地点を示した。また、黄砂現象の規模の相対的な比較の目安とするために、黄砂を観測した都道府県の全測定局の SPM 濃度日平均値を平均した値に、観測した都道府県数を乗じた積算値（以下「黄砂規模」）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も同時に記載した。併せて、地図上に黄砂・煙霧観測地点を表示した。

気象概況（天気図）は、気象庁のホームページ¹⁰⁾から天気図と天気概況を引用した。また、世界気象資料¹¹⁾をもとに、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表示した。気象コード 33, 34, 35 を Severe duststorm、30, 31, 32 を Slight duststorm、07, 08, 09 を Dust、05 を Haze として分類した。

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

後方流跡線は、アメリカ NOAA のホームページ¹⁵⁾により表示できる HYSPLIT を使用した。計算の起点は、SPM 濃度が高くなった時間、地点を考慮して決め、概ね後方 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（RIAM/NIES-CFORS）¹⁴⁾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¹³⁾でみることができる。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。数値データとして示されている消散係数（/m）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を示したものである。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。また、黄砂の高度分布をみるために、必要に応じ 150m～3000m の黄砂消散係数 1 時間平均値を算出し、グラフにした。

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していただいた（機種：SPA 5020i Thermo Fisher Scientific 社）。また、この測定値が得られていない場合は、福岡県や各自治体、環境省で行ったフィルター法による調査での日値を使用した。

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広がりを見た。PM_{2.5} 濃度は、全国の常時監視局で測定しているものを使用した。また、PM_{2.5} 濃度、SPM 濃度及び PM_{2.5}/SPM 比の経時変化をグラフで表し黄砂の影響を観察した。

^{*} 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、解析に用いなかった。

3. 黄砂の観測状況

3.1. 気象台黄砂の観測状況

平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度までの 10 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 に示す。平成 15(2003)年度から 18(2006)年度まで増加傾向がみられ、その後平成 20(2008)年度、平成 21(2009)年度一旦減少し、平成 22(2010)年度には再び増加した。その後、平成 23(2011)年度、平成 24(2012)年度は減少している。

図 3-1-2 に、平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度までの黄砂日数の経月変化を示す。3～5 月に圧倒的に多いことが分かる。

図 3-1-3 には平成 15(2003)～24(2012)年度の観測地点毎の黄砂日数を、多い順で並べている。九州・中国地方が上位を占めており、黄砂の影響の大きさを示している。

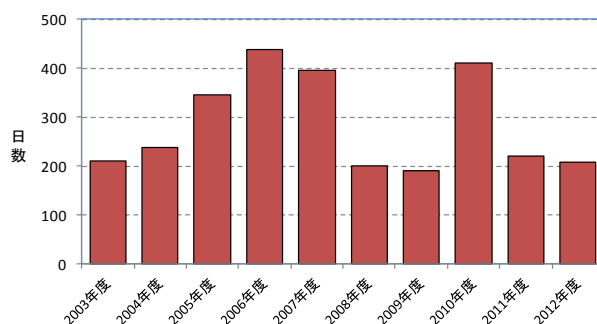


図 3-1-1 黄砂観測日数の経年変化

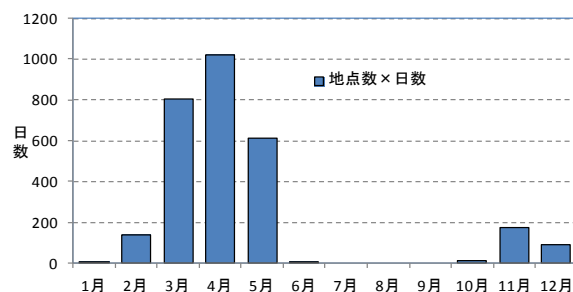


図 3-1-2 黄砂観測日数の経月変化

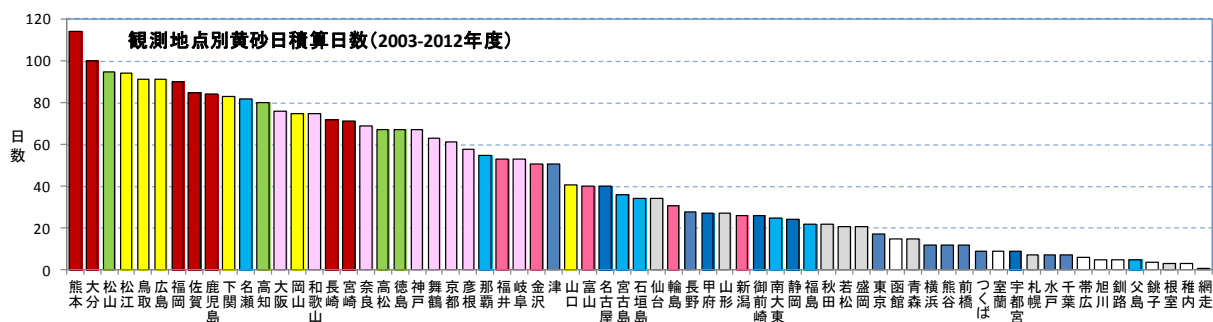


図 3-1-3 黄砂日の地点別日数

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24(2012)年について、気象台が発表している黄砂観測日における都道府県ごとのSPM平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じたものを図3-2-1(1)～(3)に示す。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。

この図から、黄砂日の影響は、西日本の方が北・東日本よりも相対的に大きいことがわかる。

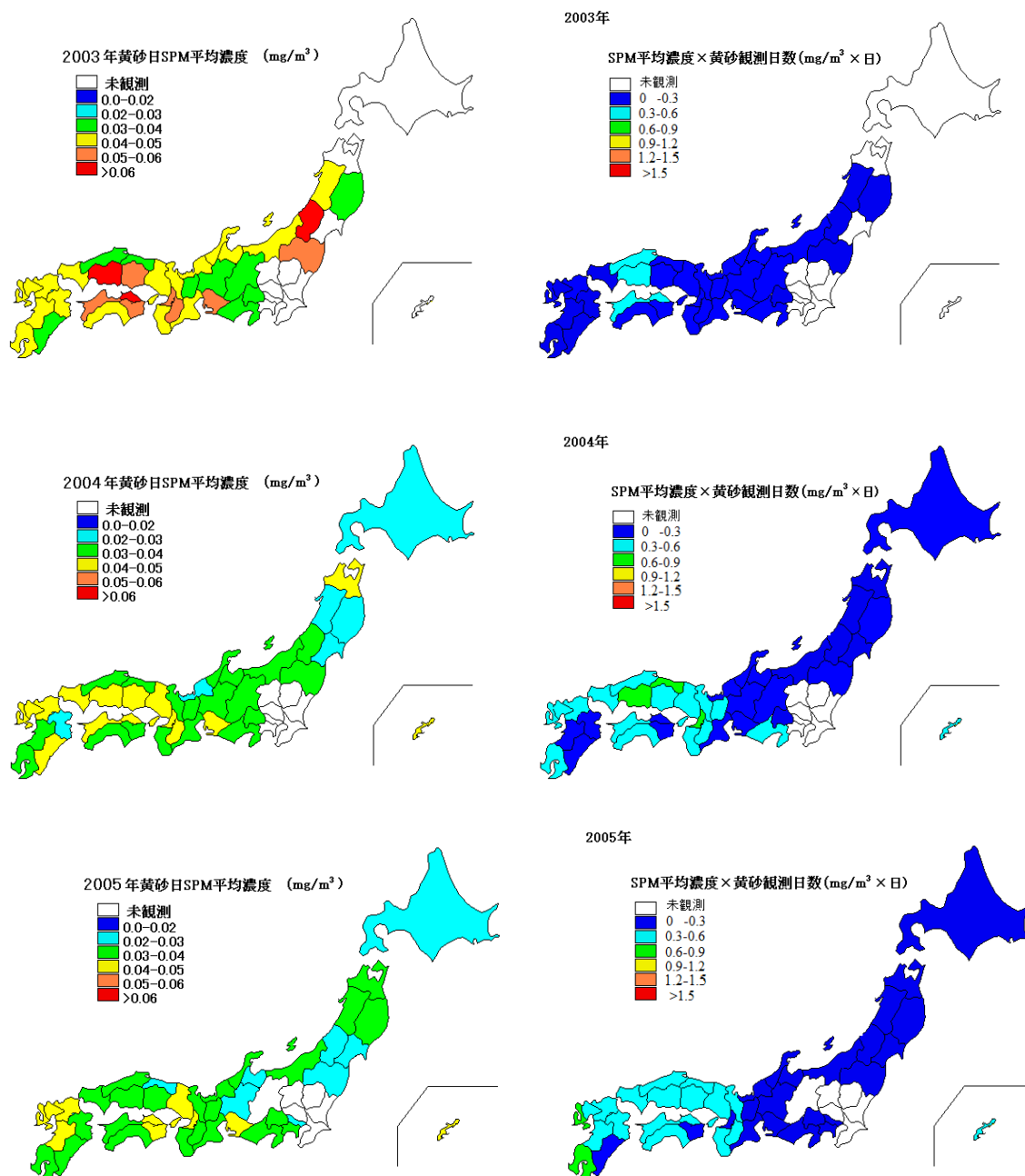


図3-2-1(1) 黄砂日のSPM平均濃度(左)と観測日数との積算値(右)

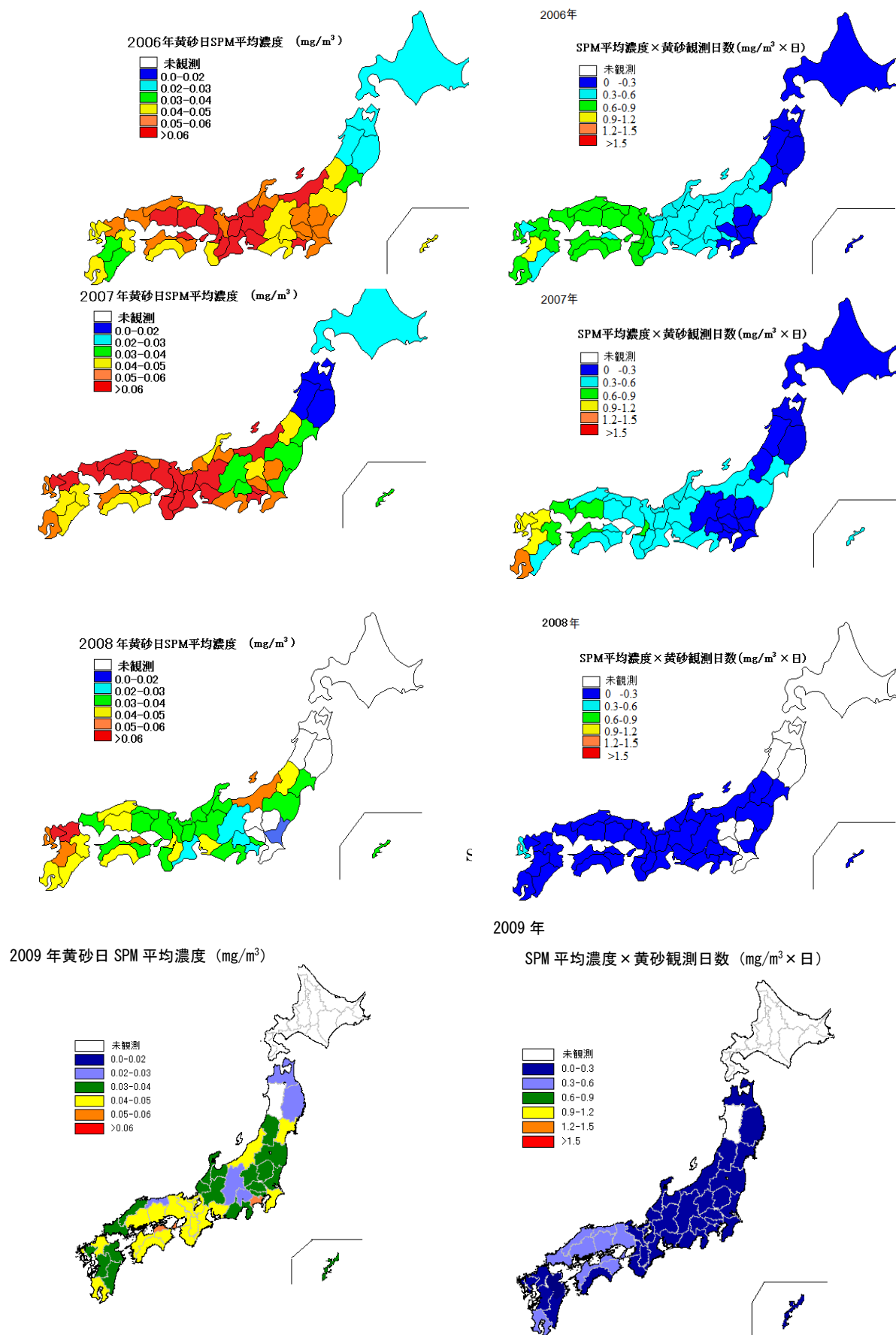


図 3-2-1 (2) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

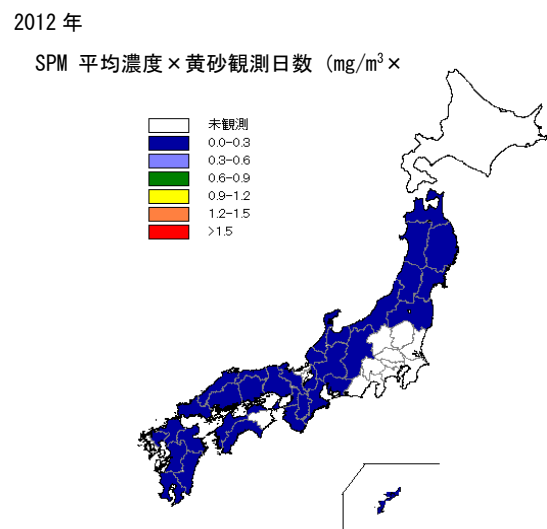
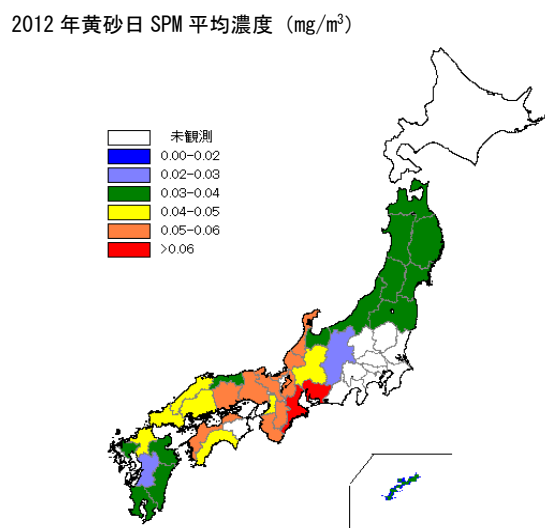
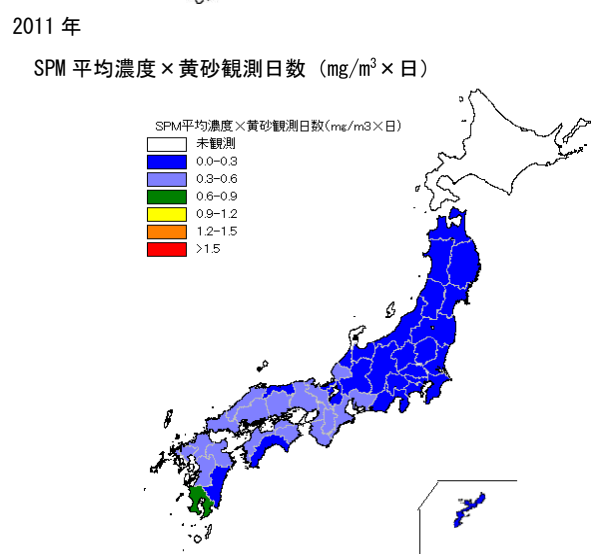
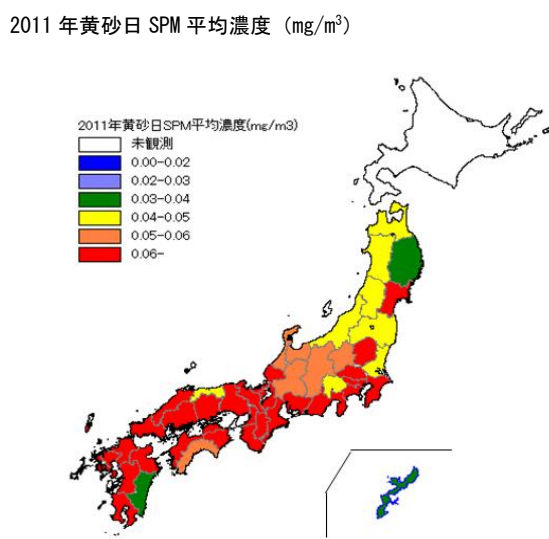
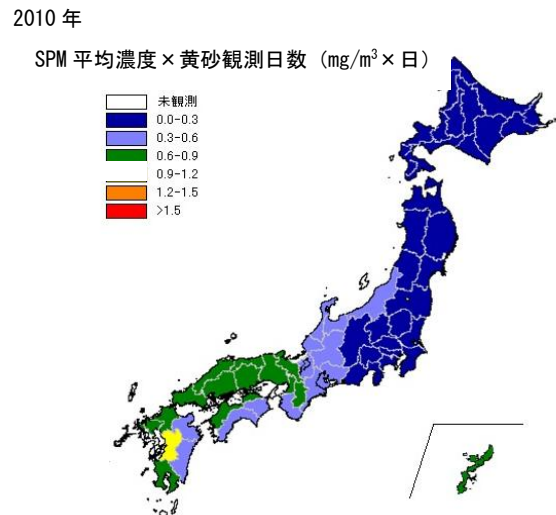
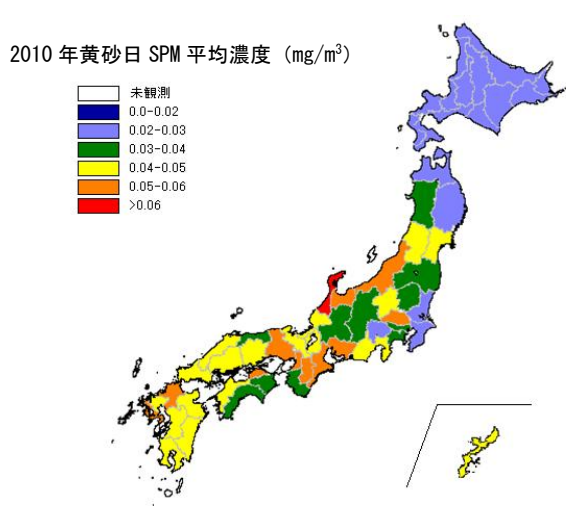


図 3-2-1 (3) 黄砂日の SPM 平均濃度 (左) と観測日数との積算値 (右)

3.3. 気象台煙霧の観測状況

黄砂と同様に、平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度までの 10 年間について、気象台観測の煙霧日の年間延べ日数を図 3-3-1 に示す。平成 17(2005)年度を最高に、それ以降は減少の傾向が続いている。

図 3-3-2 に、この期間の全国での煙霧延べ日数の経月変化と、関東地方と九州地方に分けた経月変化を示す。全国では 4～7 月が多く 12～1 月が少なくなっている。地域別では、関東では 7、8 月に九州と比較して多くなっている様子がみられる。

平成 15(2003)～24(2012)年度の観測地点毎の煙霧日数を、図 3-3-3 に多い順に示す。関東・関西の都市が多く、上位 10 地点の内訳は関東 5、関西 2、東海 2、九州 1 である。

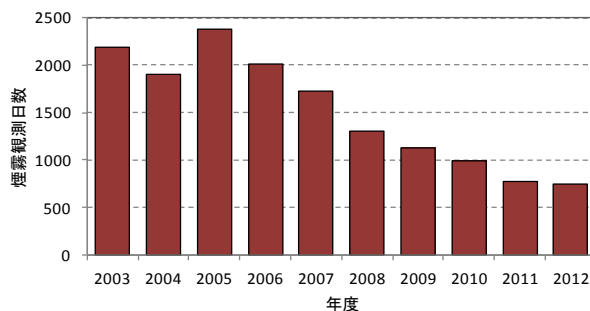


図 3-3-1 煙霧日の経年変化

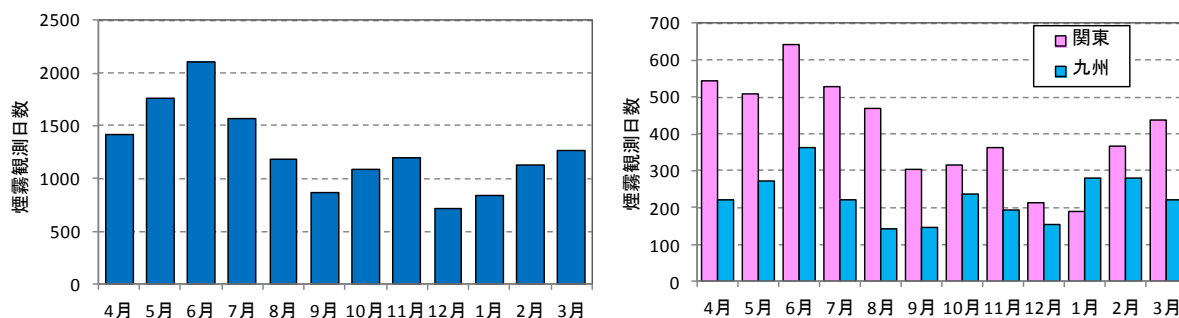


図 3-3-2 煙霧日の全国での経月変化と関東・九州での経月変化

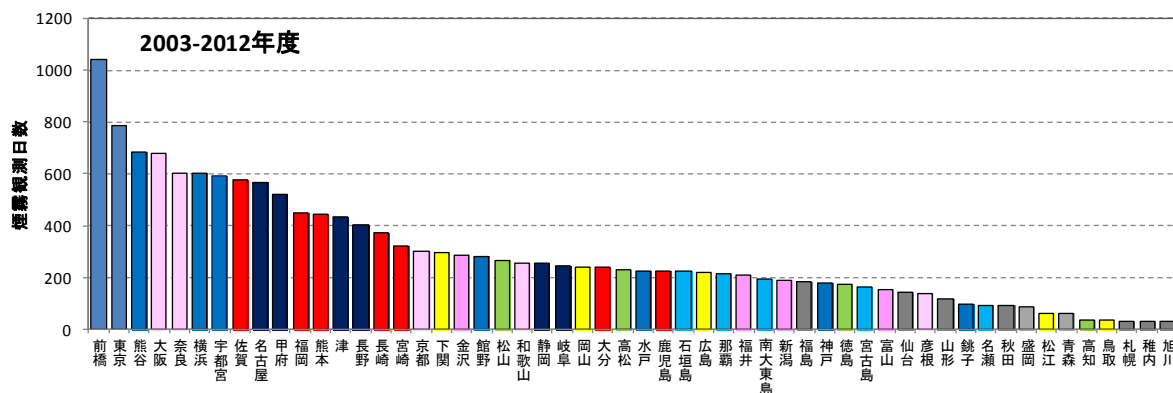


図 3-3-3 煙霧日の地点別日数

3.4. 平成 24(2012)年度の黄砂飛来状況

平成 24(2012)年度に気象台が観測した黄砂を、観測地点数、黄砂の規模とともに、表 3-4-1 に示す。

平成 24(2012)年度に黄砂は 21 日観測され、連続した日をまとめると 10 事例となる。観測地点が最も多かったのは、平成 25(2013)年 3 月 9 日で 31 地点、続いて 3 月 20 日の 29 地点である。

なお、煙霧については、平成 24(2012)年度に全国のいずれかの地点で 212 日観測され、最も多くの地点で観測されたのは平成 25(2013)年 3 月 8 日の 22 地点であった。

以下、平成 24(2012)年度の黄砂飛来状況を事例別にまとめる。

「黄砂実態解明調査中間報告書—平成 20～22 年度—」⁵⁾に基づき、各黄砂事例の分類も行った。

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飛来が主であると判断されるものである。

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。硫酸イオンの増加から、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。

表 3-4-1 平成 24 年度の黄砂日一覧

事例 番号	通 算 日 数				観測地 点数	黄砂の規模			
		年	月	日		SPM 平均	県数	SPM積 算	SPM積 算合計
1	1	2012	4	1	3	42	1	42	461
	2	2012	4	2	1	17	1	17	
	3	2012	4	3	7	24	3	72	
2	4	2012	4	9	11	33	10	330	364
	5	2012	4	10	1	34	1	34	
3	6	2012	4	23	10	34	10	340	2659
	7	2012	4	24	22	59	21	1239	
	8	2012	4	25	19	60	18	1080	
4	9	2012	5	16	1	37	1	37	160
	10	2012	5	17	3	41	3	123	
5	11	2012	12	4	1	35	2	70	70
6	12	2013	1	2	2	33	2	66	79
	13	2013	1	3	1	13	1	13	
7	14	2013	3	1	1	9.6	1	9.6	9.6
8	15	2013	3	8	18	46	18	828	3197
	16	2013	3	9	31	57	30	1710	
	17	2013	3	10	19	33	19	627	
	18	2013	3	11	1	32	1	32	
9	19	2013	3	16	1	27	1	27	27
10	20	2013	3	19	26	36	25	900	1992
	21	2013	3	20	29	39	28	1092	

(1)平成 24 (2012) 年 4 月 1 日～3 日

沖縄、鹿児島など日本南部のみで観測された黄砂である。砂塵嵐の発生は観測されているが規模は小さい。3 日には煙霧も観測されているが、地点は散在している。後方流跡線はモンゴル上空を通過しており黄砂の飛来を示している。福岡における硫酸イオンの濃度は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満で低く、規模の小さな単純黄砂と考えられる。

表 3-4-1-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名							黄砂の規模		
				1	2	3	4	5	6	7	SPM平均	県数	SPM積算
2012	4	1	3	名瀬	那覇	南大東					42	1	42
2012	4	2	1	熊本							17	1	17
2012	4	3	7	熊本	鹿児島	名瀬	石垣島	宮古島	那覇	南大東	24	3	72

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名		
				1	2	3
2012	4	3	3	前橋	下関	松山

黄砂・煙霧観測地点：2012 年 4 月 3 日

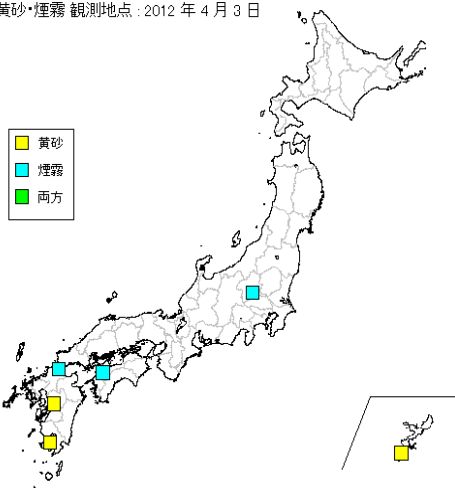
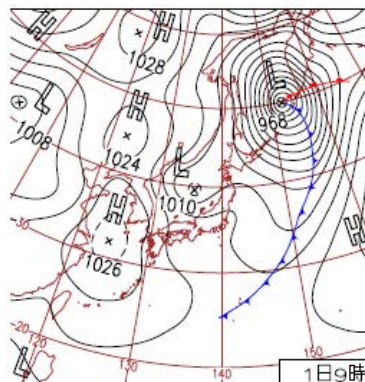


図 3-4-1-1 黄砂・煙霧観測地点



1日(日)寒の戻り
上空に寒気を伴った低気圧が東北を通過。山陰・北陸・東北を中心に雨や雪。気温は平年より低い所が多い。徳島市・甲府市でサクラ開花、福岡市・静岡市で満開。那覇市等で黄砂。

図 3-4-1-2 天気図

SPM Date: 2012 年 4 月 3 日 6 時

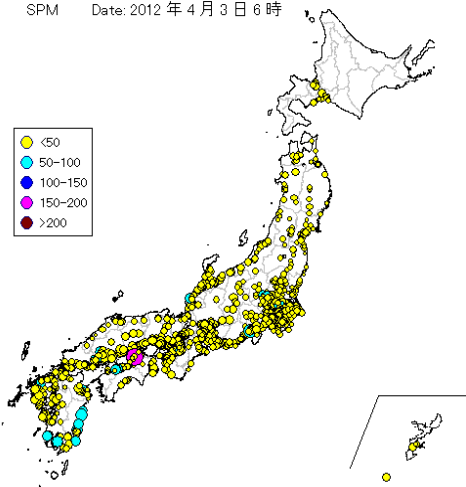


図 3-4-1-3 SPM 濃度全国分布

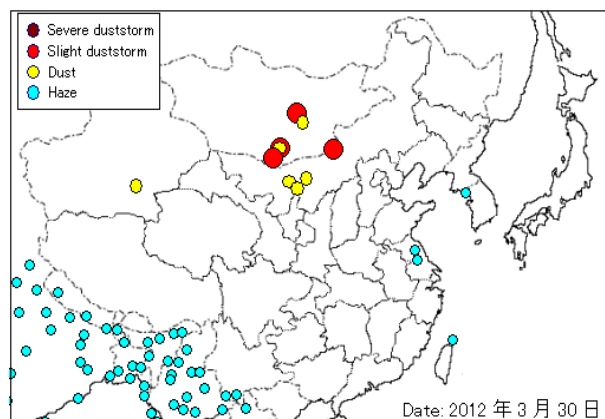


図 3-4-1-4 砂塵嵐発生状況

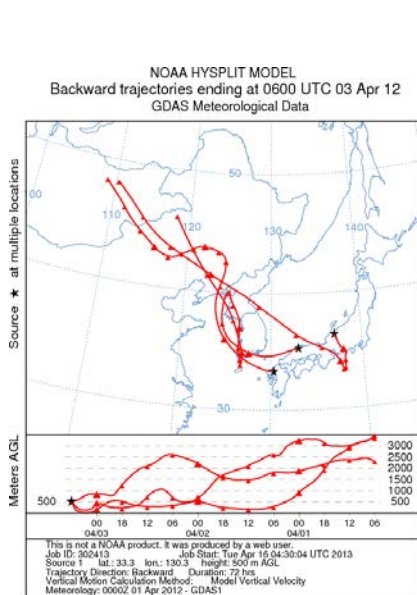


図 3-4-1-5 後方流跡線

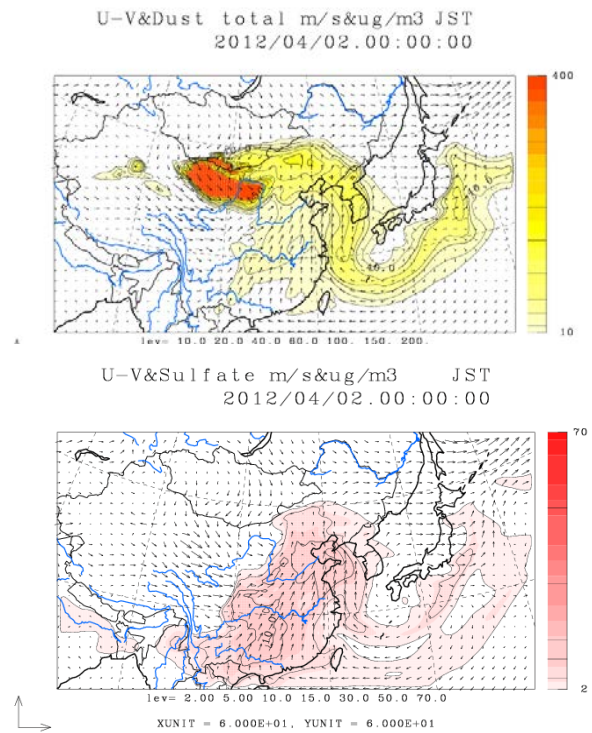


図 3-4-1-6 CFORS 予測結果

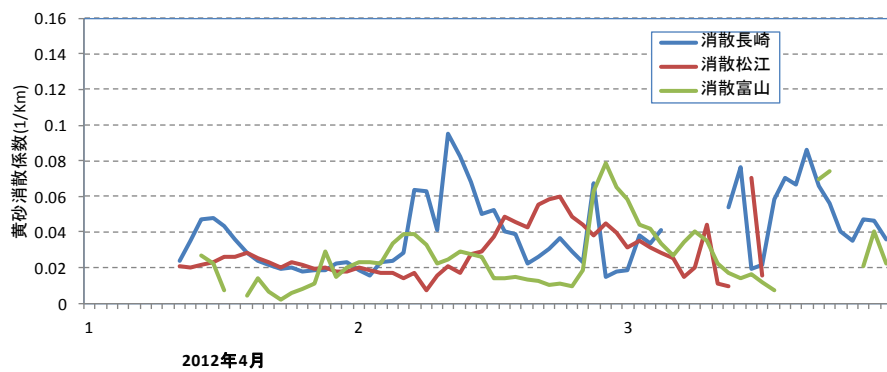


図 3-4-1-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化

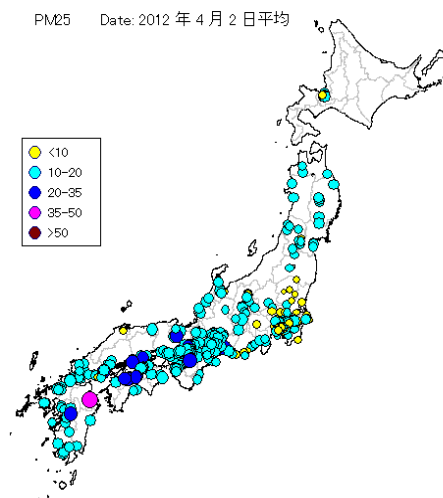


図 3-4-1-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

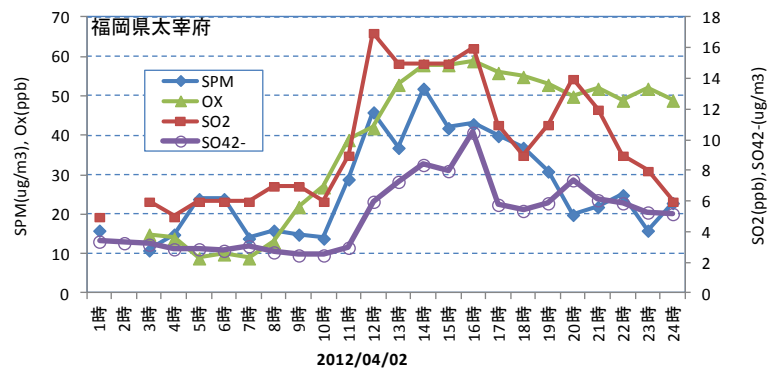


図 3-4-1-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(2)平成 24 (2012) 年 4 月 9 日～10 日

9 日は北海道、東北・北陸を中心に 11 地点で黄砂が観測されている。モンゴルで砂塵嵐の発生もみられ、東北での後方流跡線とも重なっている。SPM 濃度は高くないが、PM_{2.5} 濃度は中国・四国で高い。福岡での硫酸イオン濃度は 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、CFORS の予測を含めると、北日本で黄砂、西日本で硫酸塩が飛来した混在黄砂と考えられる。

表 3-4-2-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名										黄砂の規模		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SPM平均	県数	SPM積算
2012	4	9	11	室蘭 富山	函館	青森	秋田	盛岡	山形	仙台	福島	新潟	金沢	33	10	330
2012	4	10	1	山形										34	1	34

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
2012	4	9	2	函館	大阪							
2012	4	10	9	新潟	長野	熊谷	津	京都	岡山	神戸	大阪	奈良

黄砂・煙霧観測地点：2012 年 4 月 9 日

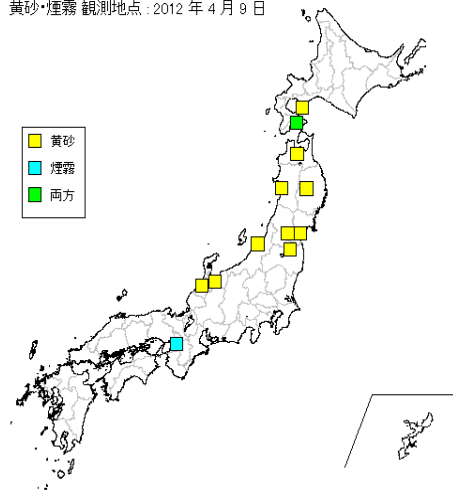
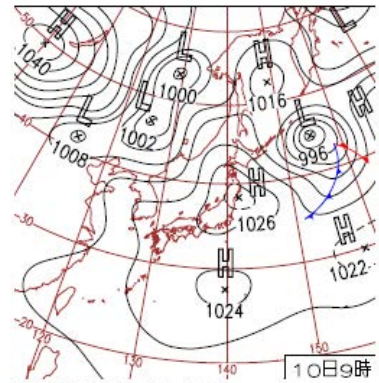


図 3-4-2-1 黄砂・煙霧観測地点



10日(火)西日本から雨
高気圧に覆われて、東～北日本は晴れたが、午後は高気圧が東へ移動し、九州で雨、夜には近畿まで雨。福井市・金沢市でサクラ開花、松江市・鳥取市・埼玉県熊谷市で満開。

図 3-4-2-2 天気図

SPM Date: 2012 年 4 月 10 日 9 時

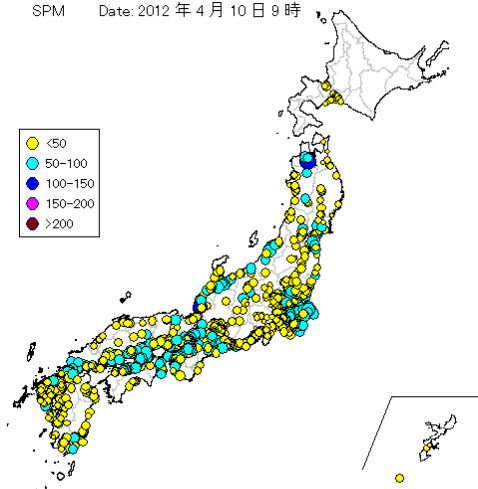


図 3-4-2-3 SPM 濃度全国分布

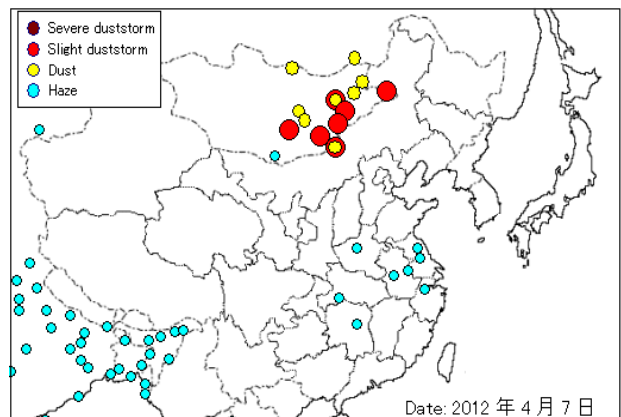


図 3-4-2-4 砂塵嵐発生状況

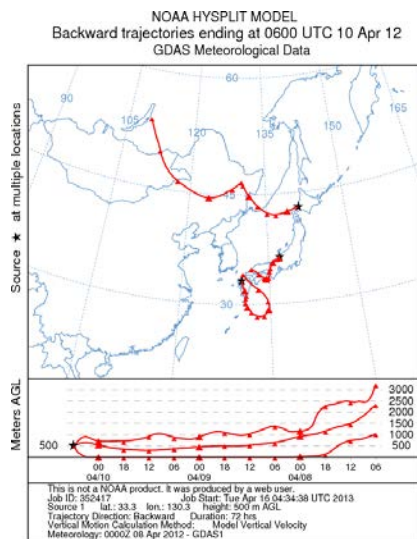
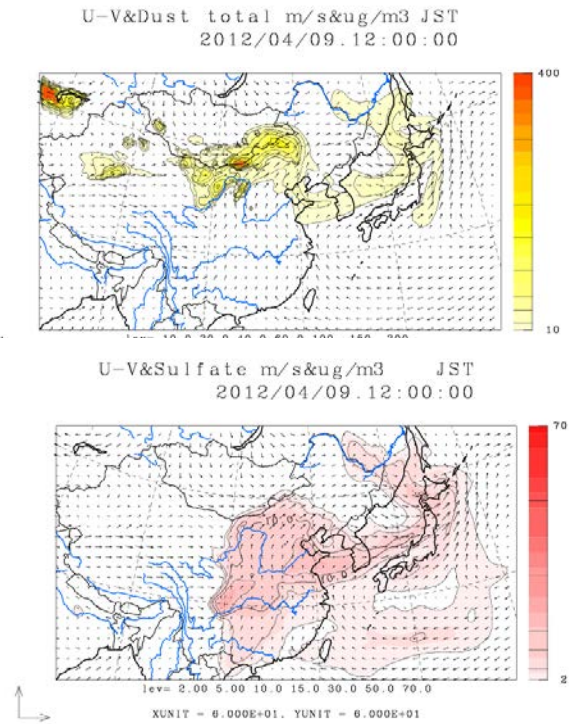


図 3-4-2-5 後方流跡線



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図 3-4-2-6 CFORS 予測結果

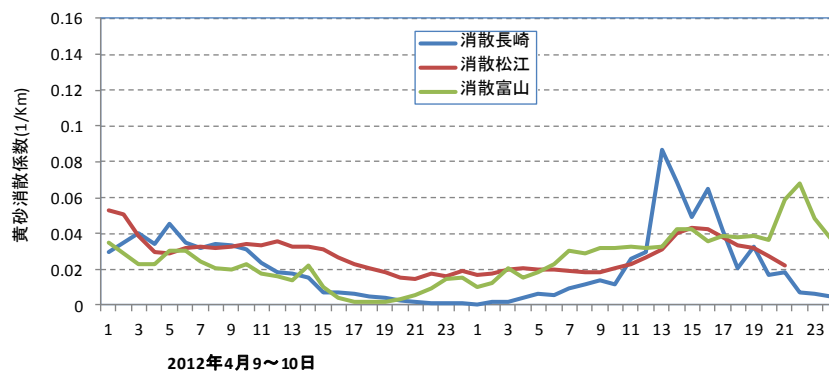


図 3-4-2-7 ライタ-黄砂消散係数の経時変化

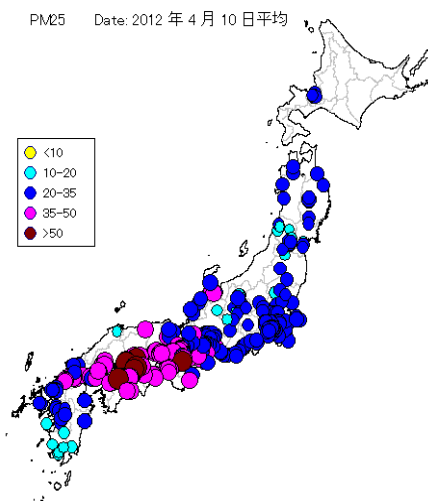


図 3-4-2-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

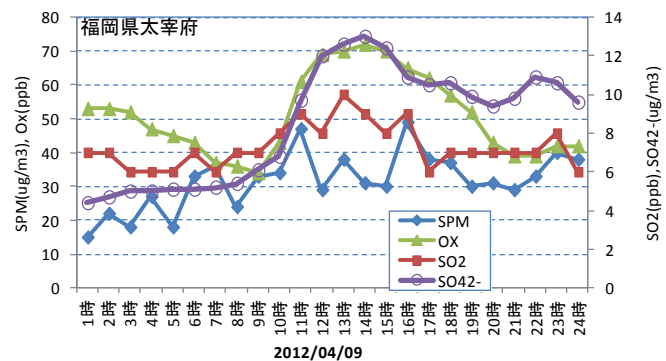


図 3-4-2-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(3)平成 24 (2012) 年 4 月 23 日～25 日

前日の 22 日にモンゴル南部で大きな砂塵嵐が発生しており、それが西日本に飛来し、24 日には 22 地点で黄砂が観測されている。同時に煙霧も 17 地点で観測されており、西日本での PM_{2.5} 濃度は高く、福岡での硫酸イオンも 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。比較的大きな黄砂と、硫酸塩エアロゾルが同時に飛来した混在黄砂と考えられる。

表 3-4-3-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名										黄砂の規模		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SPM平均	県数	SPM積算
2012	4	23	10	松江	鳥取	下関	広島	岡山	大阪	福岡	大分	松山	高松	34	10	340
2012	4	24	22	長野	岐阜	名古屋	津	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	59	21	1239
				広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	福岡	大分	松山	高松			
2012	4	25	19	高知	徳島									60	18	1080
				金沢	福井	岐阜	名古屋	津	鳥取	舞鶴	京都	彦根	岡山			
				神戸	大阪	和歌山	奈良	大分	松山	高松	高知	徳島				

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2012	4	23	9	下関	福岡	佐賀	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	名瀬	南大東島	
2012	4	24	17	山形	新潟	金沢	富山	福井	前橋	名古屋	津	下関	広島
				福岡	佐賀	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	名瀬			
2012	4	25	15	山形	仙台	新潟	金沢	富山	長野	福井	前橋	熊谷	津
				東京	横浜		奈良	佐賀					

黄砂・煙霧 観測地点：2012 年 4 月 24 日

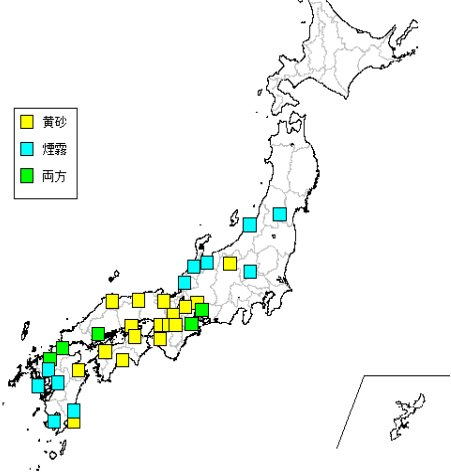
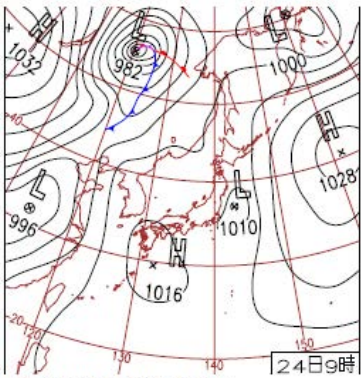


図 3-4-3-1 黄砂・煙霧観測地点



24日(火)今年初の真夏日
低気圧の影響で北日本は雲多く所々で雨
東～西日本は高気圧の圏内で晴れて気温
が上昇、大分・高知県で真夏日。黄砂、
西日本～東海、長野県で観測、奈良市で
視程6km。

図 3-4-3-2 天気図

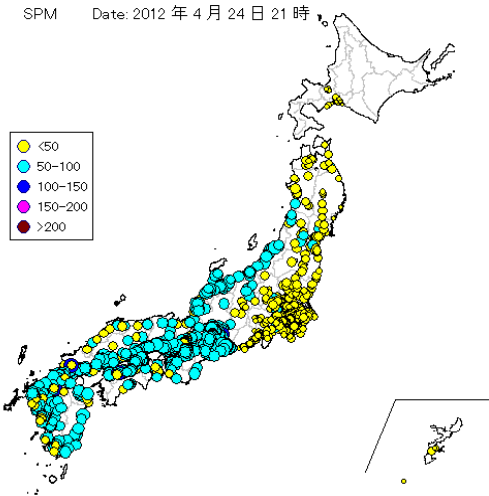


図 3-4-3-3 SPM 濃度全国分布

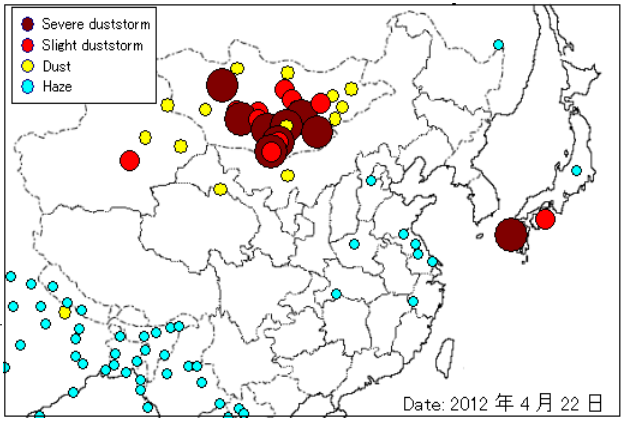


図 3-4-3-4 砂塵嵐発生状況

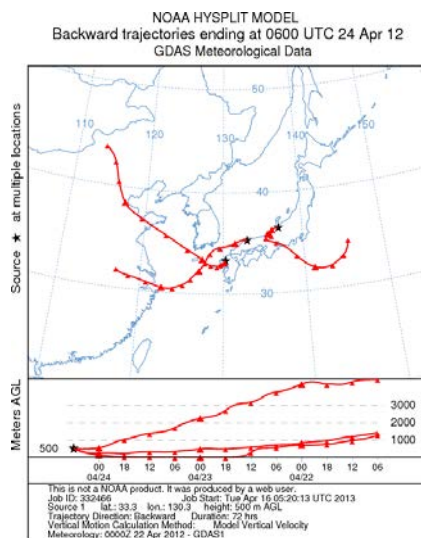


図 3-4-3-5 後方流跡線

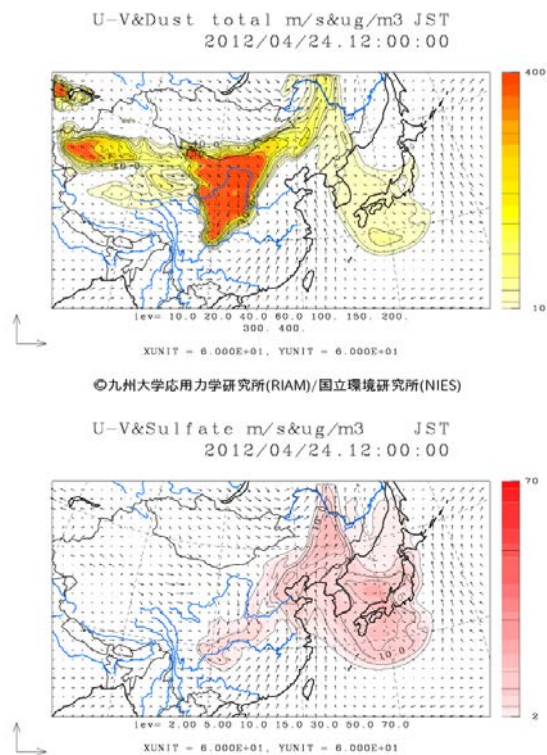


図 3-4-3-6 CFORS 予測結果

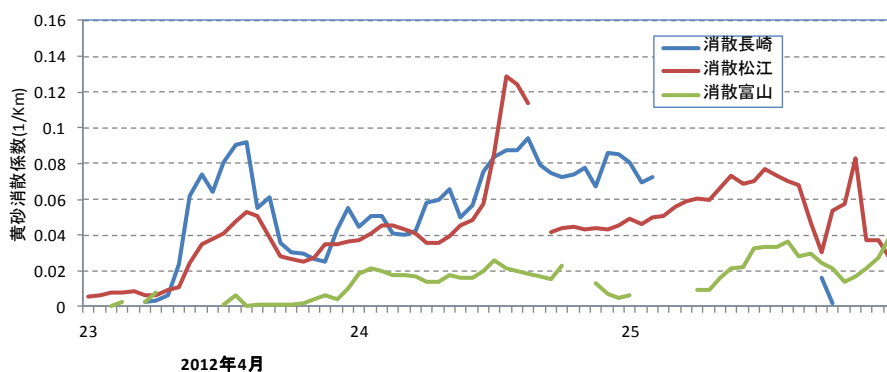


図 3-4-3-7 5μm-黄砂消散係数の経時変化

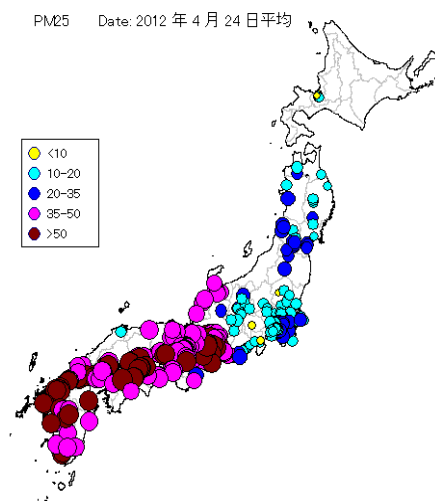


図 3-4-3-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

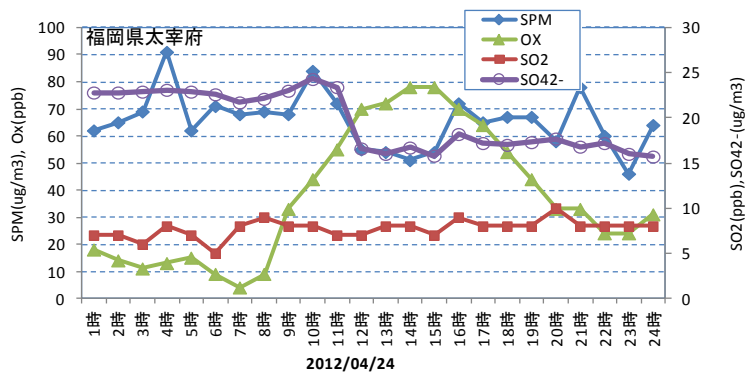


図 3-4-3-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(4)平成 24 (2012) 年 5 月 16 日～17 日

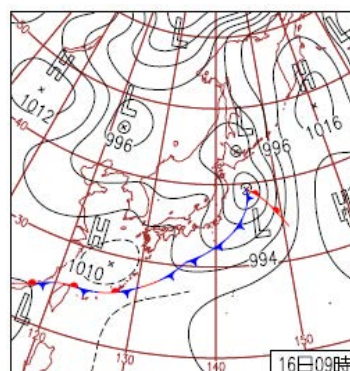
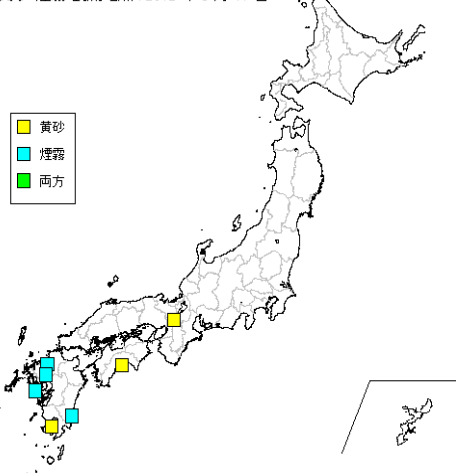
中国大陸での砂塵嵐の発生は顕著でなく、黄砂の観測は九州、四国に散在している。九州では煙霧も観測されている。後方流跡線も黄砂特有のモンゴル方向ではなく、煙霧時に多い中国沿岸部方向を示している。福岡での硫酸イオン濃度は $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超しており、小規模の黄砂と硫酸塩エアロゾルの混在黄砂と考えられる。

表 3-4-4-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名			黄砂の規模		
				1	2	3	SPM平均	県数	SPM積算
2012	5	16	1	鹿児島			37	1	37
2012	5	17	3	京都	鹿児島	高知	41	3	123

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名			
				1	2	3	4
2012	5	16	2	福岡	佐賀		
2012	5	17	4	福岡	佐賀	長崎	宮崎

黄砂・煙霧 観測地点：2012 年 5 月 17 日



16日(水)関東以西で夏日

低気圧の影響により東北～北海道は雨。梅雨前線近傍の沖縄市胡屋で53mm/1hの非常に激しい雨。東海南部と関東以西では気温上昇し、夏日多数。宮城県で震度4。

図 3-4-4-1 黄砂・煙霧観測地点

図 3-4-4-2 天気図

SPM Date: 2012 年 5 月 17 日 15 時

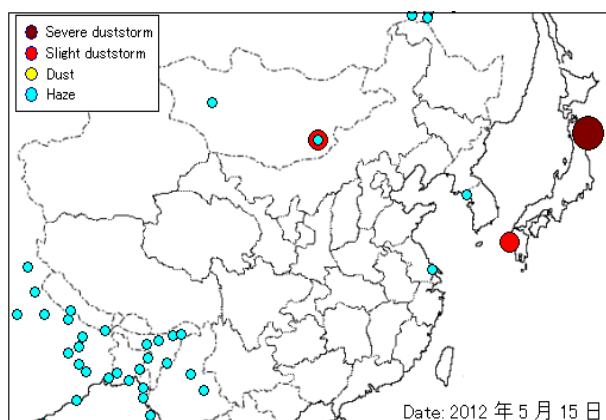
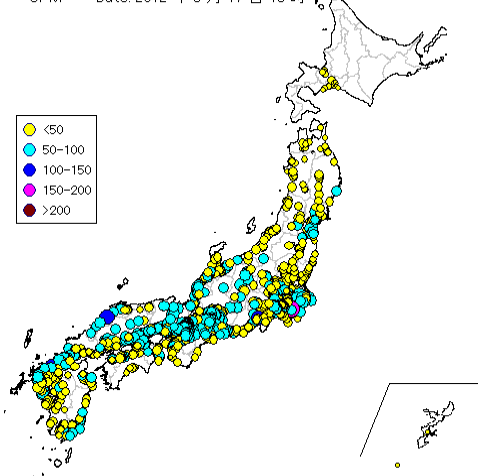


図 3-4-4-3 SPM 濃度全国分布

図 3-4-4-4 砂塵嵐発生状況

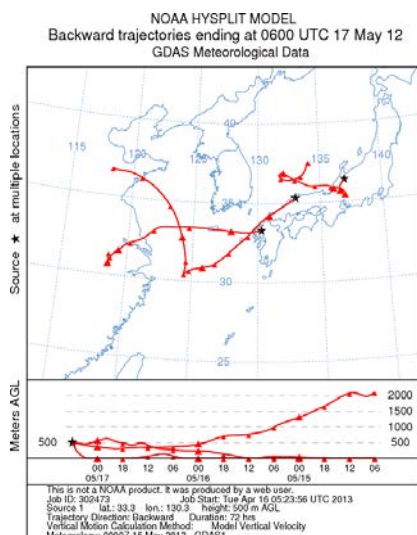


図 3-4-4-5 後方流跡線

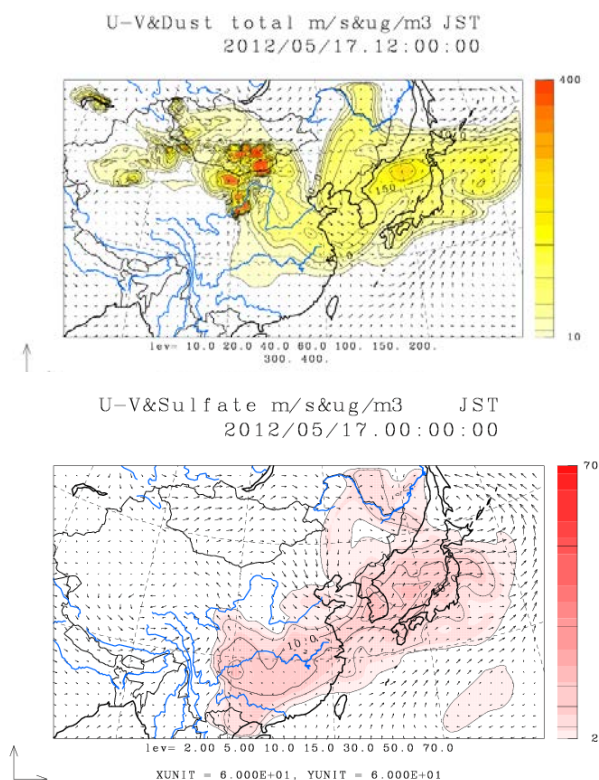


図 3-4-4-6 CFORS 予測結果

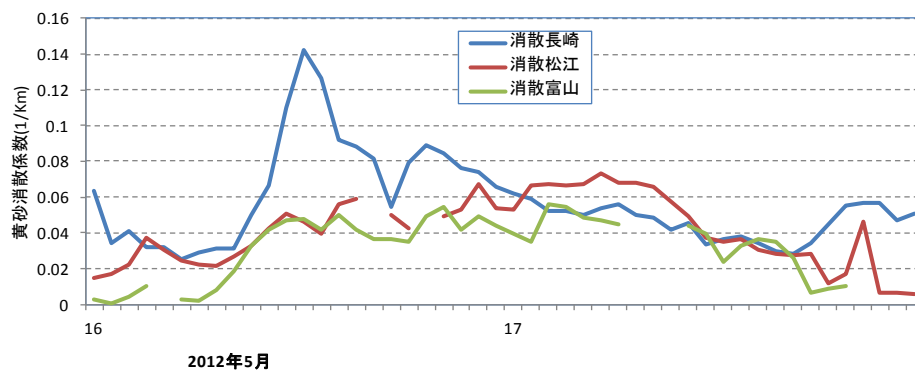


図 3-4-4-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化

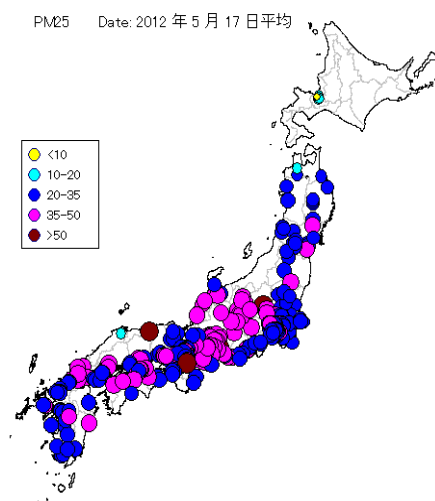


図 3-4-4-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

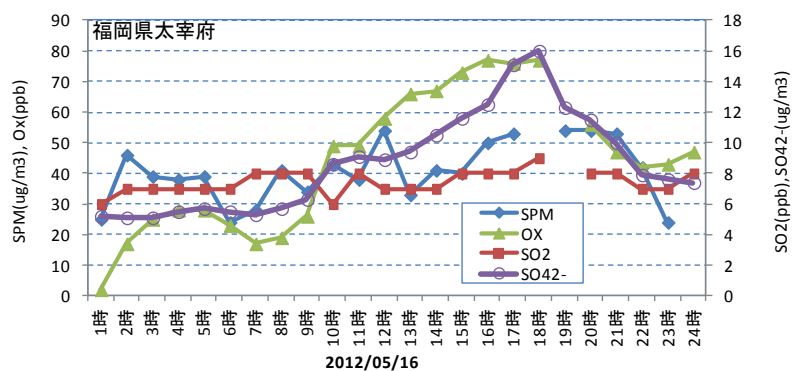


図 3-4-4-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(5)平成 24 (2012) 年 12 月 4 日

中国内陸部での砂塵嵐の発生規模も小さく、沖縄のみで観測された小さな黄砂である。佐賀と宮古島では煙霧が観測されている。本土での黄砂の様子はみられていない小規模の単純黄砂と考えられる。

表 3-4-5-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点数	黄砂の規模		
				1	SPM平均	県数	SPM積算
2012	12	4	1	那覇	35	1	35

年	月	日	地点数	煙霧観測地点数	
				1	2
2012	12	4	2	佐賀	宮古島

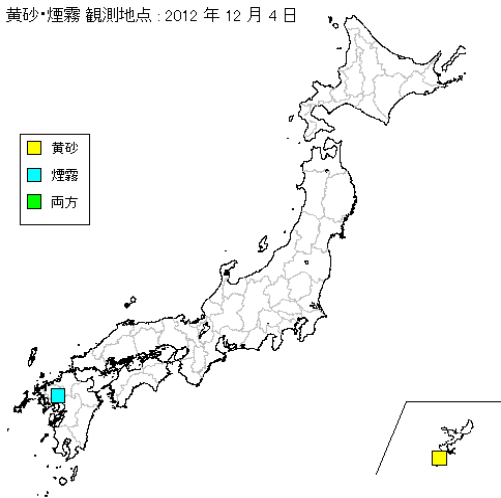


図 3-4-5-1 黄砂・煙霧観測地点

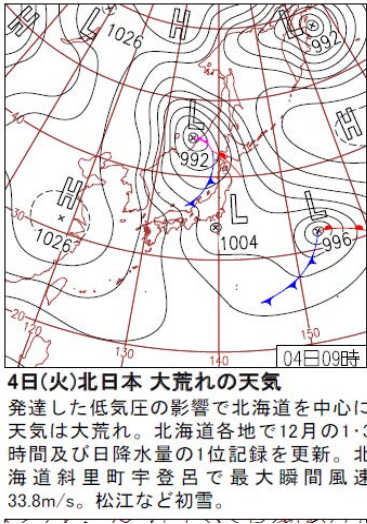


図 3-4-5-2 天気図

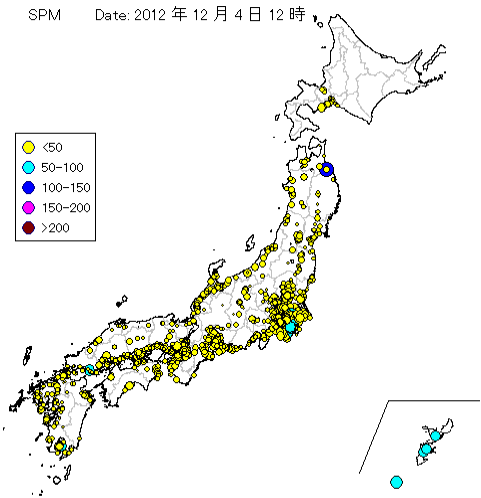


図 3-4-5-3 SPM 濃度全国分布

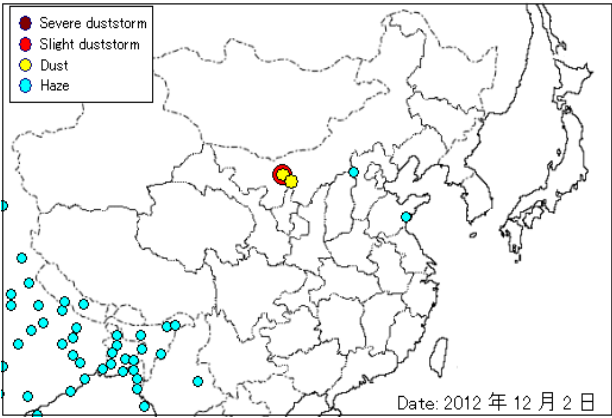


図 3-4-5-4 砂塵嵐発生状況

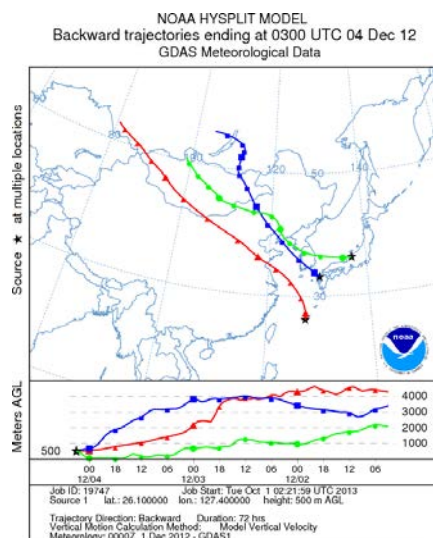


図 3-4-5-5 後方流跡線

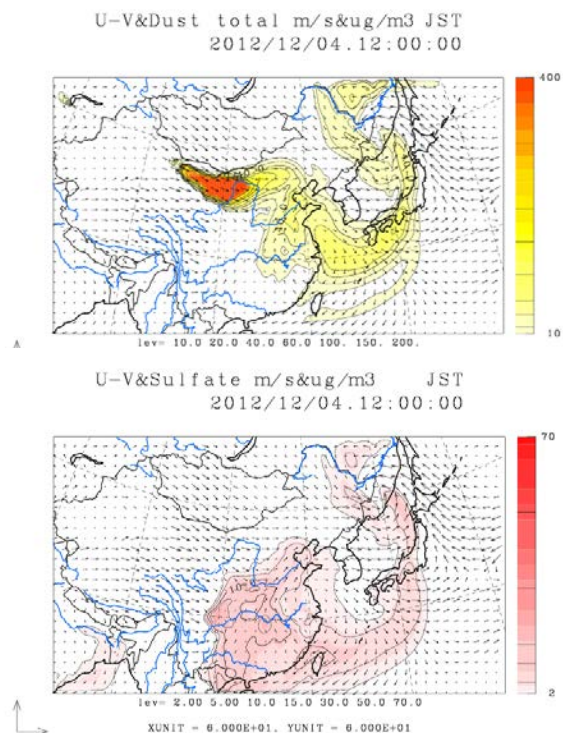


図 3-4-5-6 CFORS 予測結果

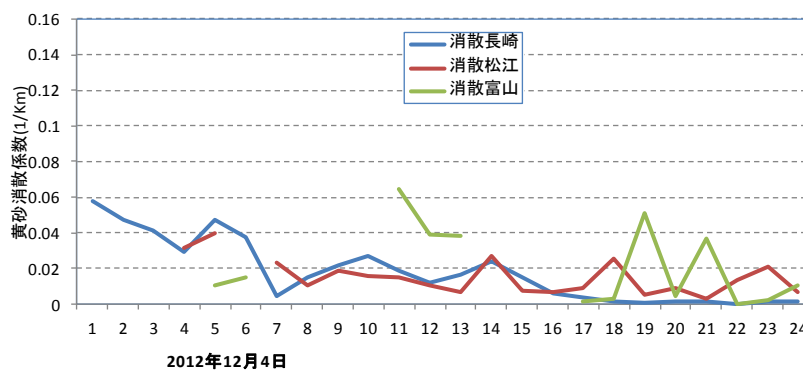


図 3-4-5-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化

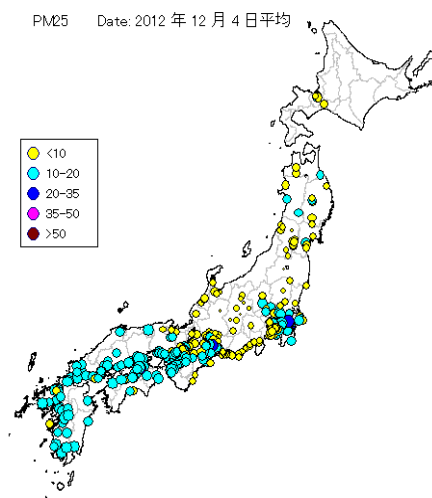


図 3-4-5-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

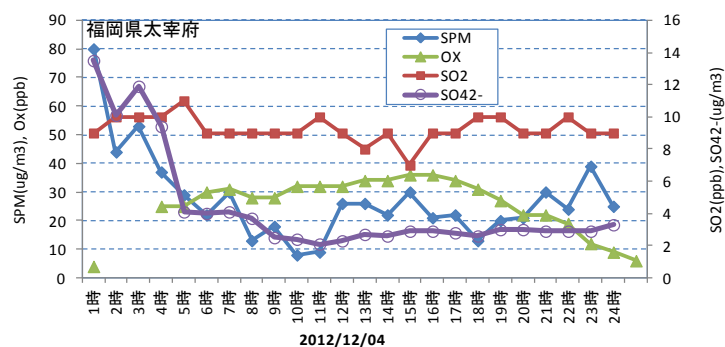


図 3-4-5-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(6)平成 25 (2013) 年 1 月 2 日～3 日

松江と鹿児島でのみ観測された黄砂である。九州では煙霧も観測されている。中国大陸での大きな砂塵嵐はみられないが、後方流跡線はモンゴル上空を通過してきている。硫酸イオン濃度も低く、九州付近にきた小さな単純黄砂と考えられる。

表 3-4-6-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点		黄砂の規模		
				1	2	SPM平均	県数	SPM積算
2013	1	2	2	松江	鹿児島	33	2	66
2013	1	3	1	鹿児島		13	1	13

年	月	日	地点数	煙霧観測地点	
				1	2
2013	1	2	2	福岡	佐賀
2013	1	3	1	南大東島	

黄砂・煙霧観測地点：2013 年 1 月 2 日

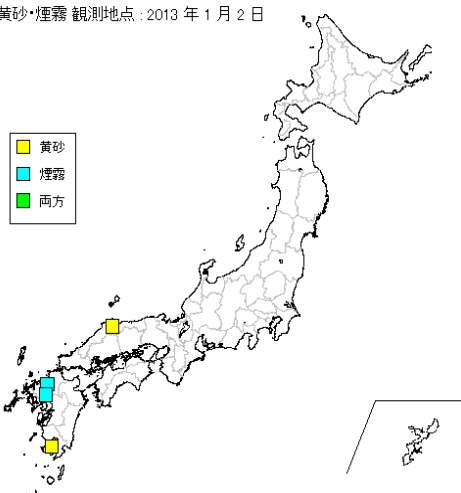
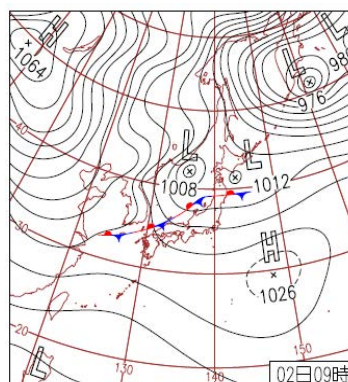


図 3-4-6-1 黄砂・煙霧観測地点



2日(水)太平洋側も強い風

冬型の気圧配置が強まり、日本海側は雪や雨に加えて暴風も。北海道石狩市浜益で最大瞬間風速37.1m/s。太平洋側も前線の通過に伴う強風。千葉県勝浦で最大瞬間風速25.6m/s。

図 3-4-6-2 天気図

SPM Date: 2013 年 1 月 2 日 12 時

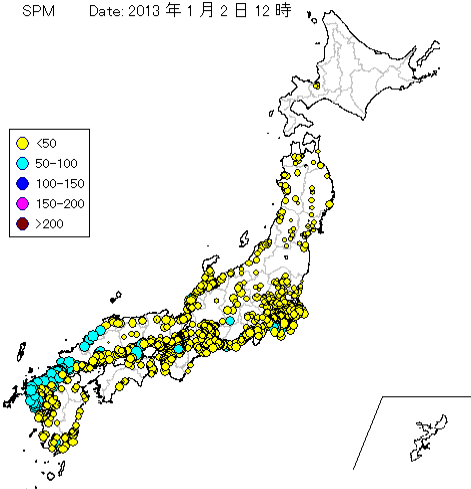


図 3-4-6-3 SPM 濃度全国分布

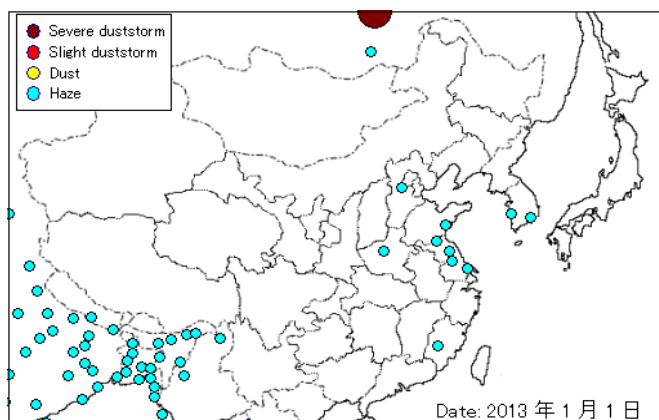


図 3-4-6-4 砂塵嵐発生状況

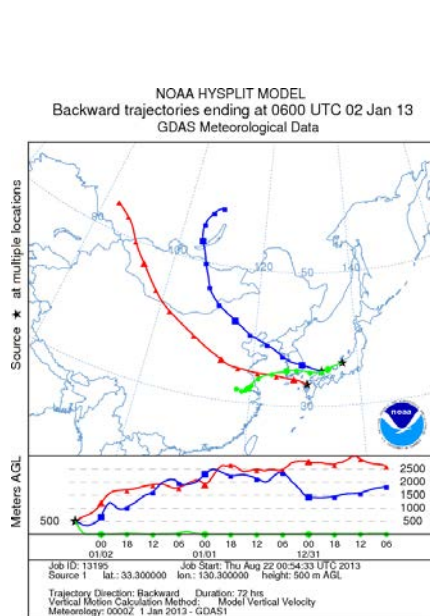


図 3-4-6-5 後方流跡線

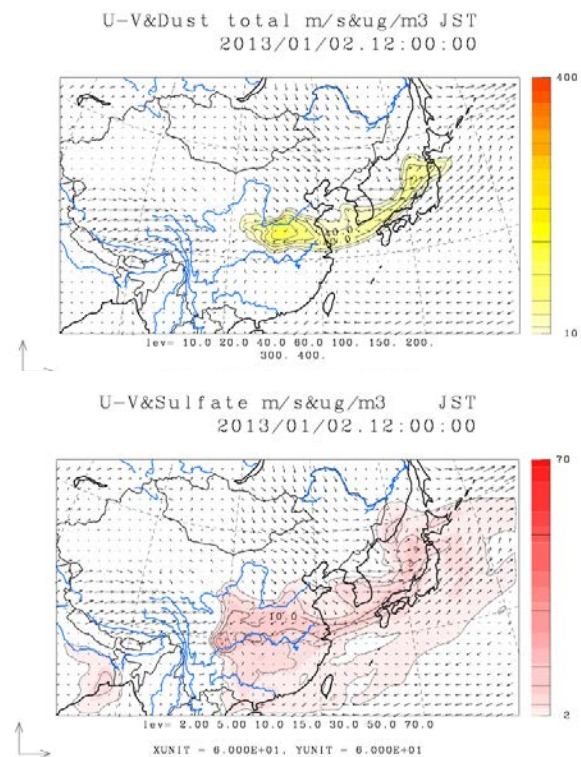


図 3-4-6-6 CFORS 予測結果

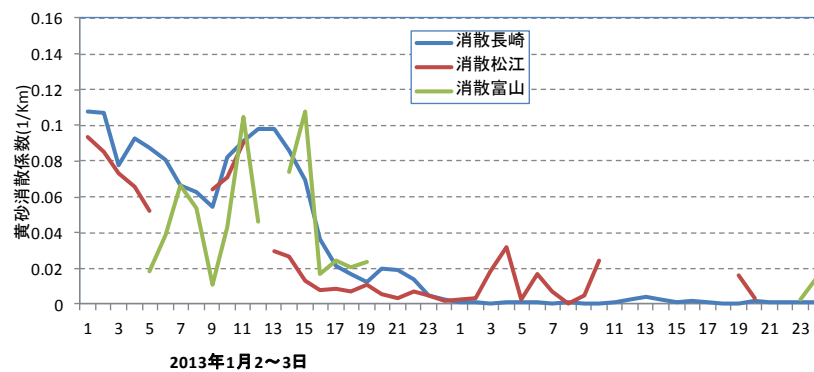


図 3-4-6-7 黄砂-黄砂消散係数の経時変化

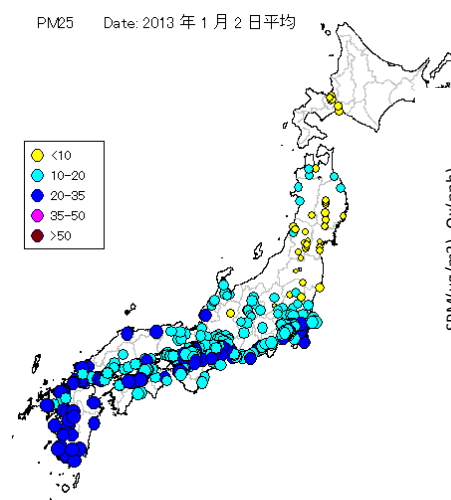


図 3-4-6-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

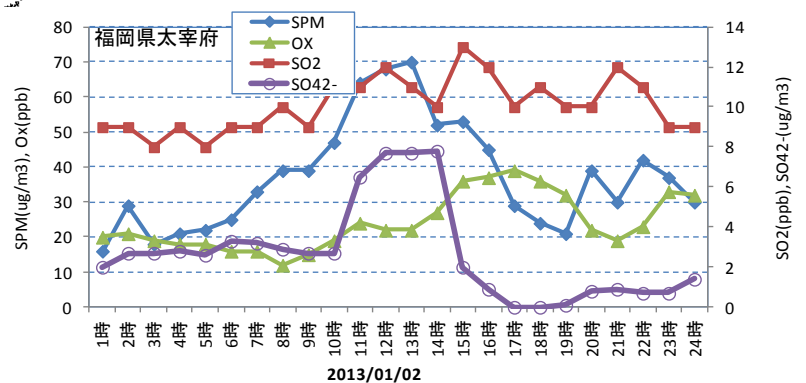


図 3-4-6-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(7)平成 25 (2013) 年 3 月 1 日

モンゴルで砂塵嵐の発生は観測されているが、黄砂の観測は北海道のみである。煙霧が、東北・関東で観測されている。福岡での硫酸イオン濃度は低いが、東北での $PM_{2.5}$ 濃度は高くなっている。北日本へ影響を与えた単純黄砂と考えられる。

表 3-4-7-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点	黄砂の規模		
				1	SPM平均	県数	SPM積算
2013	3	1	1	室蘭	9.6	1	9.6

年	月	日	地点数	煙霧観測地点					
				1	2	3	4	5	6
2013	3	1	6	仙台	宇都宮	前橋	熊谷	館野	津

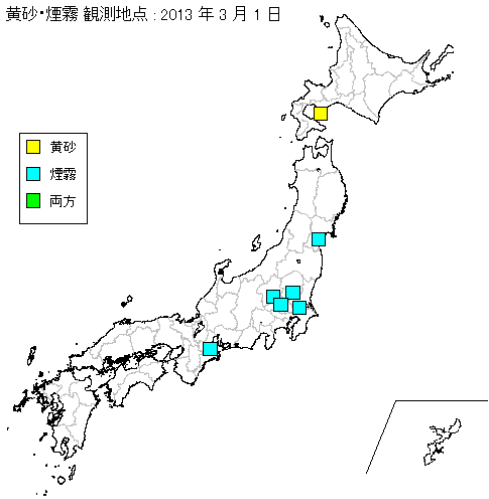


図 3-4-7-1 黄砂・煙霧観測地点

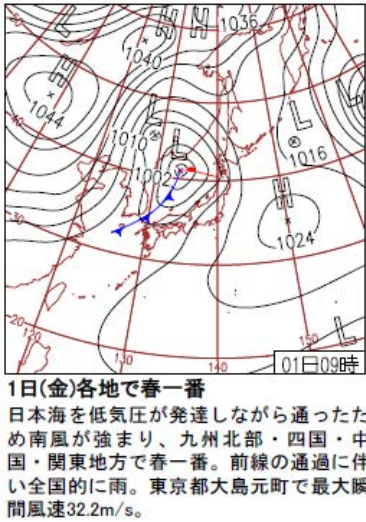


図 3-4-7-2 天気図

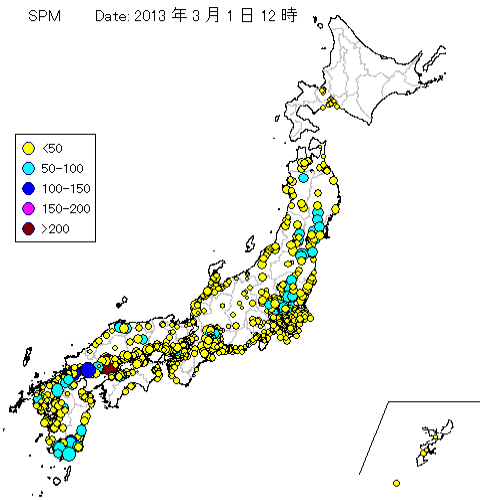


図 3-4-7-3 SPM 濃度全国分布

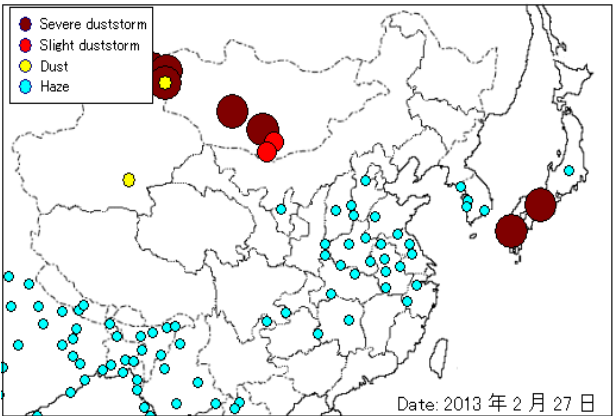


図 3-4-7-4 砂塵嵐発生状況

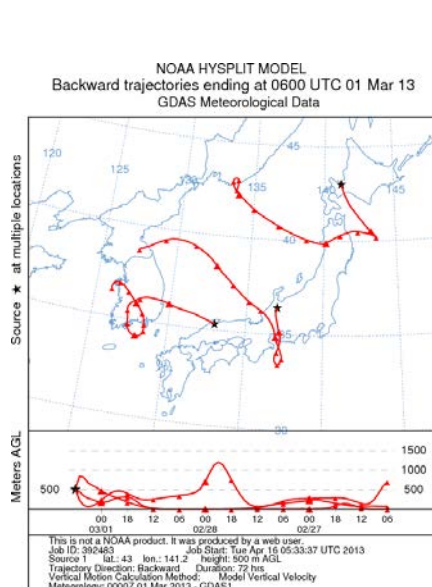


図 3-4-7-5 後方流跡線

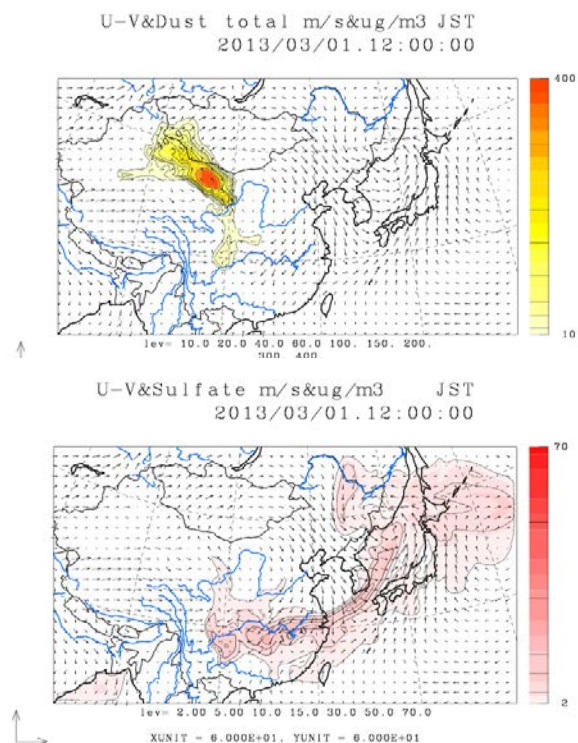


図 3-4-7-6 CFORS 予測結果

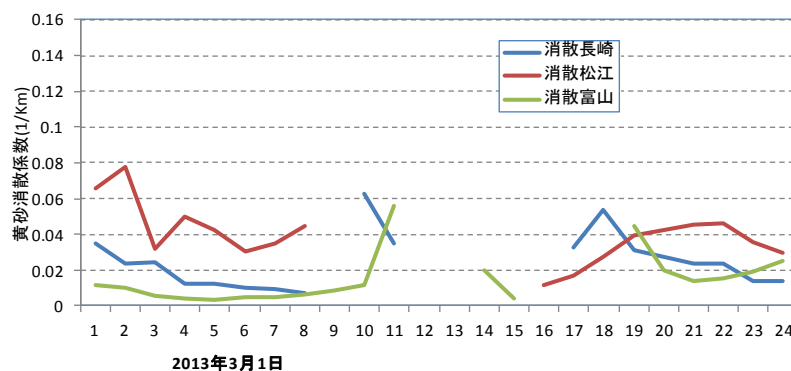


図 3-4-7-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化

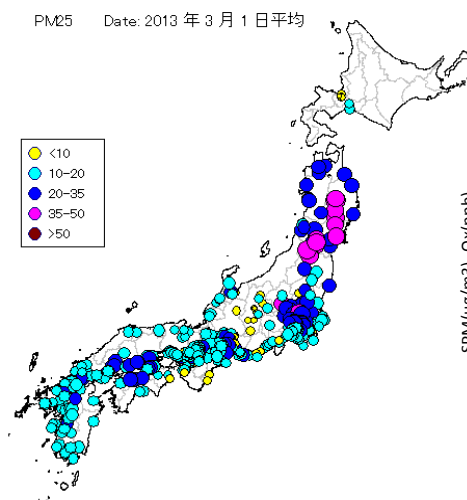


図 3-4-7-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

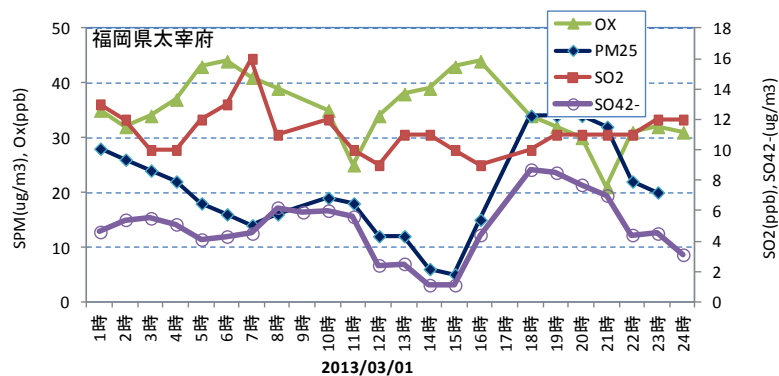


図 3-4-7-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(8)平成 25 (2013) 年 3 月 8 日～11 日

黄砂が 9 日 31 地点、煙霧が 8 日 22 地点と、ともに観測地点が多く規模が大きな黄砂である。モンゴルで砂塵嵐も観測されており、後方流跡線も気流がこの地域を通過してきていることを示している。一方、9 日には後方流跡線も中国沿岸部からのものがみられ、福岡での硫酸イオン濃度も高くなっている。大きな黄砂と沿岸部からの硫酸塩エアロゾルが飛来した混在黄砂と考えられる。

表 3-4-8-1 黄砂・煙霧観測地点

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名										黄砂の規模		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SPM平均	県数	SPM積算
2013	3	8	18	松江	鳥取	下関	広島	岡山	和歌山	奈良	福岡	佐賀	大分	46	18	828
				長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島					
2013	3	9	31	金沢	富山	福井	岐阜	名古屋	甲府	津	静岡	松江	鳥取	57	30	1710
				舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良			
				福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知			
2013	3	10	19	新潟	金沢	福井	岐阜	名古屋	津	静岡	松江	彦根	神戸	33	19	627
				新潟	大阪	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎			
2013	3	11	1	名瀬										32	1	32

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2013	3	8	22	仙台	新潟	富山	福井	前橋	熊谷	水戸	岐阜	名古屋	館野
				銚子	津	東京	松江	彦根	下関	佐賀	長崎	熊本	鹿児島
2013	3	9	8	宮崎	松山								
2013	3	10	5	新潟	富山	長野	福井	岐阜	名古屋	銚子	静岡		
2013	3	11	3	前橋	水戸	銚子	東京	下関					
				鹿児島	石垣島	那覇							

黄砂・煙霧観測地点：2013 年 3 月 9 日

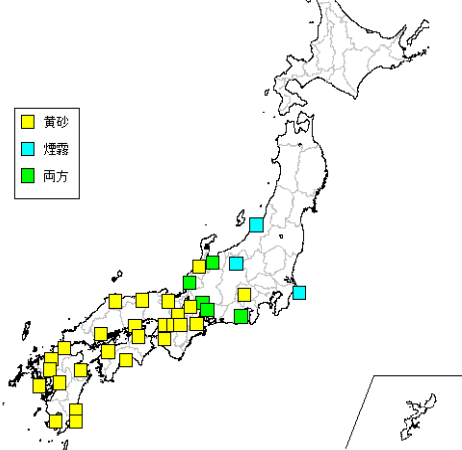
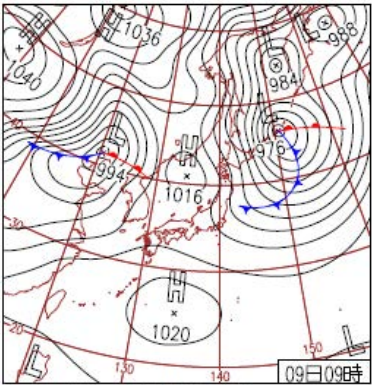


図 3-4-8-1 黄砂・煙霧観測地点



9日(土)西～東日本で黄砂
千島近海の低気圧の発達により北日本を中心に強風、北海道えりも岬で最大瞬間風速32.5m/s。西～東日本の広い範囲で黄砂を観測し、松江と佐賀では視程5km。

図 3-4-8-2 天気図

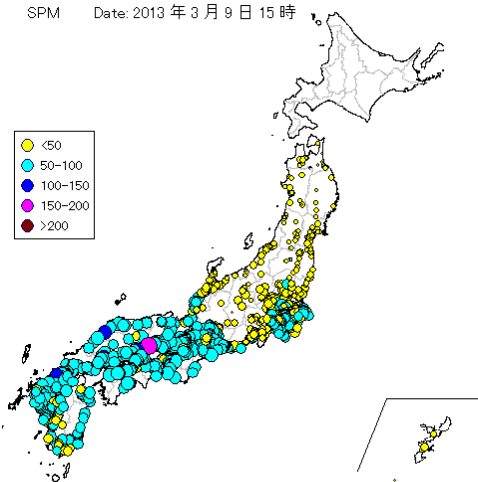


図 3-4-8-3 SPM 濃度全国分布

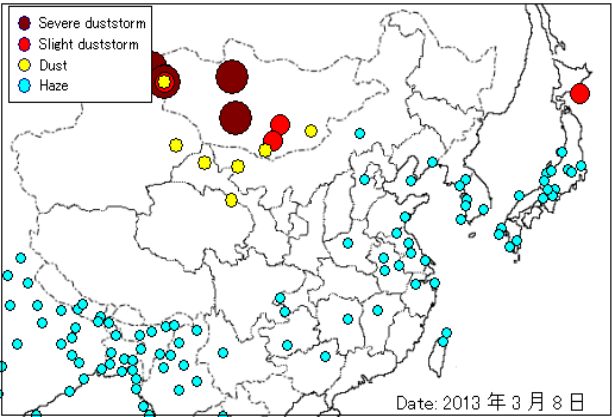


図 3-4-8-4 砂塵嵐発生状況

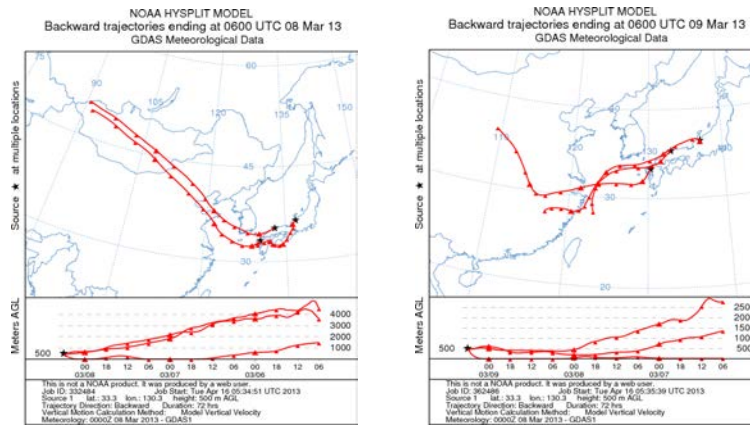


図 3-4-8-5 後方流跡線

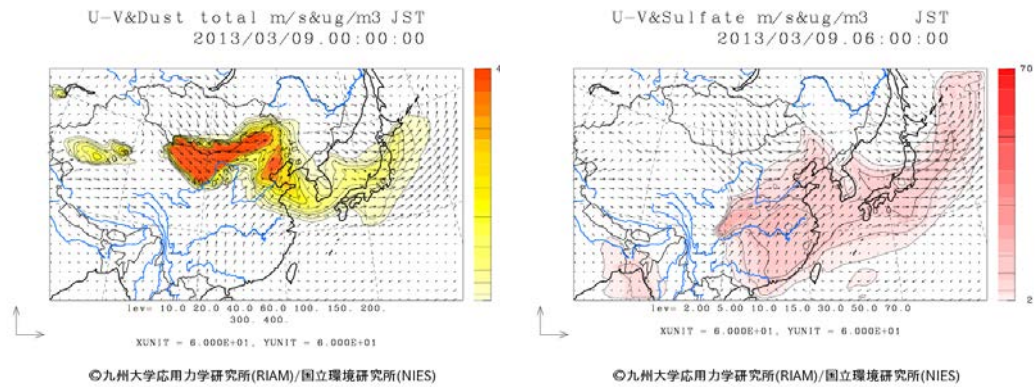


図 3-4-8-6 CFORS 予測結果

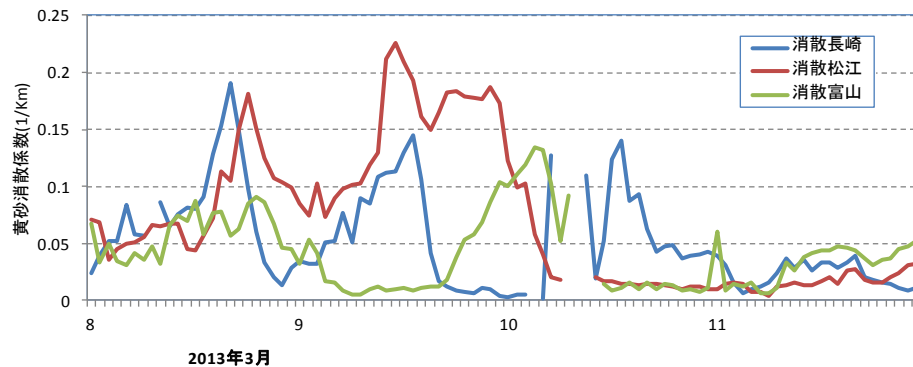


図 3-4-8-7 ライタ-黄砂消散係数の経時変化

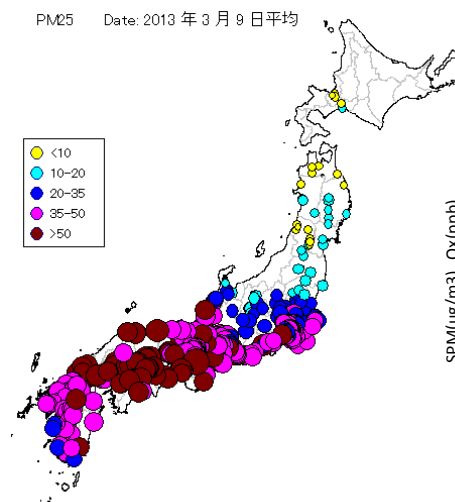


図 3-4-8-8 $PM_{2.5}$ 日平均値全国分布

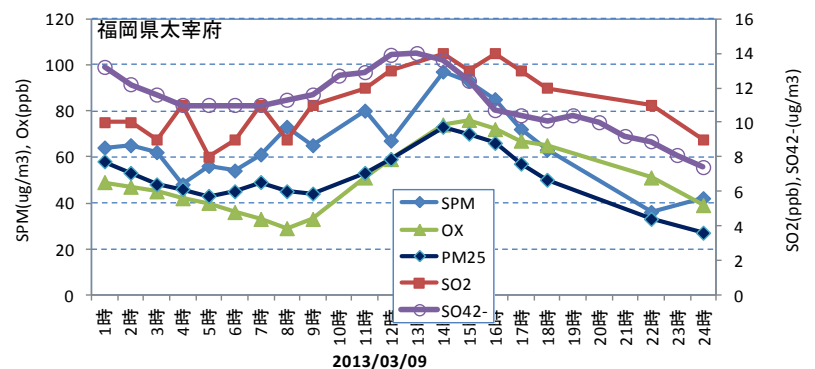


図 3-4-8-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(9)平成 25 (2013) 年 3 月 16 日

黄砂の観測は松江の 1 ヶ所のみで、北陸、東北では 5 地点で煙霧が観測されている。モンゴルで小さな砂塵嵐が観測されている。後方流跡線はこの方向からの通過を明確には示していない。福岡での硫酸イオン濃度は高くないが、CFORS での sulfate の予測などから東日本に飛来してきた煙霧が中心と考えられる。

表 3-4-9-1 黄砂・煙霧観測地点

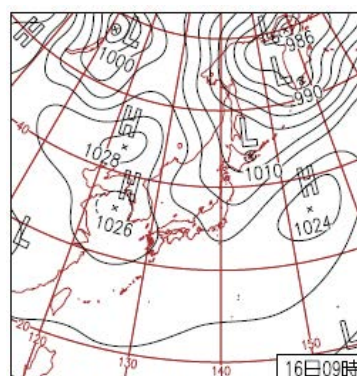
年	月	日	地点数	黄砂観測地点	黄砂の規模		
				1	SPM平均	県数	SPM積算
2013	3	16	1	松江	27	1	27

年	月	日	地点数	煙霧観測地点				
				1	2	3	4	5
2013	3	16	5	山形	新潟	長野	福井	銚子

黄砂・煙霧 観測地点 : 2013 年 3 月 16 日



図 3-4-9-1 黄砂・煙霧観測地点



16日(土)東京でサクラ開花

北日本は気圧の谷の影響で曇りや雨、西～東日本は高気圧圏内で概ね晴れ。山形県酒田市飛島で最大瞬間風速30.1m/s。東京のサクラ開花は最早記録。長崎市・熊本市でもサクラ開花。

図 3-4-9-2 天気図

SPM Date: 2013 年 3 月 16 日 18 時

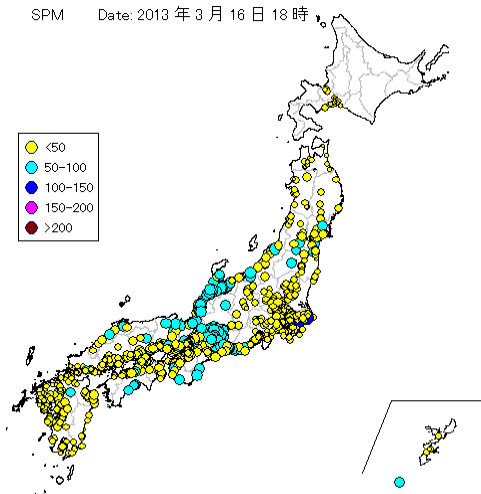


図 3-4-9-3 SPM 濃度全国分布

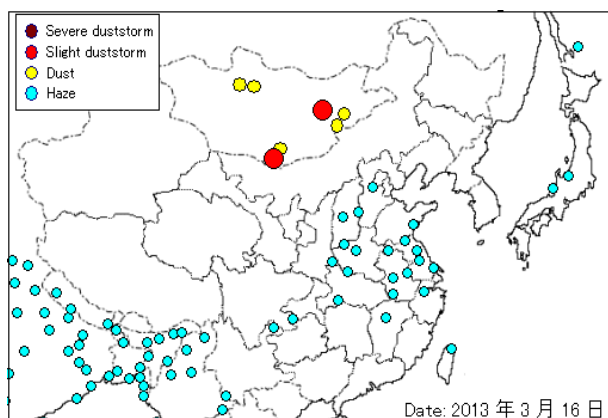


図 3-4-9-4 砂塵嵐発生状況

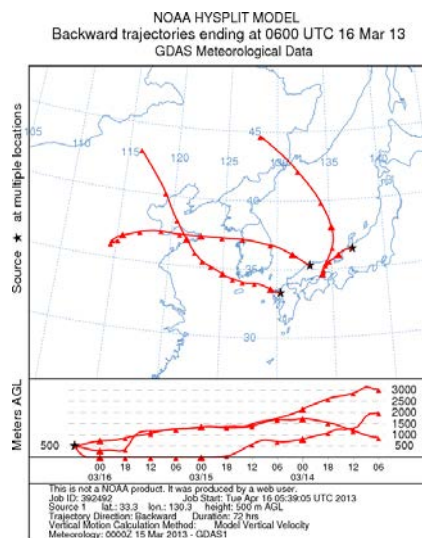


図 3-4-9-5 後方流跡線

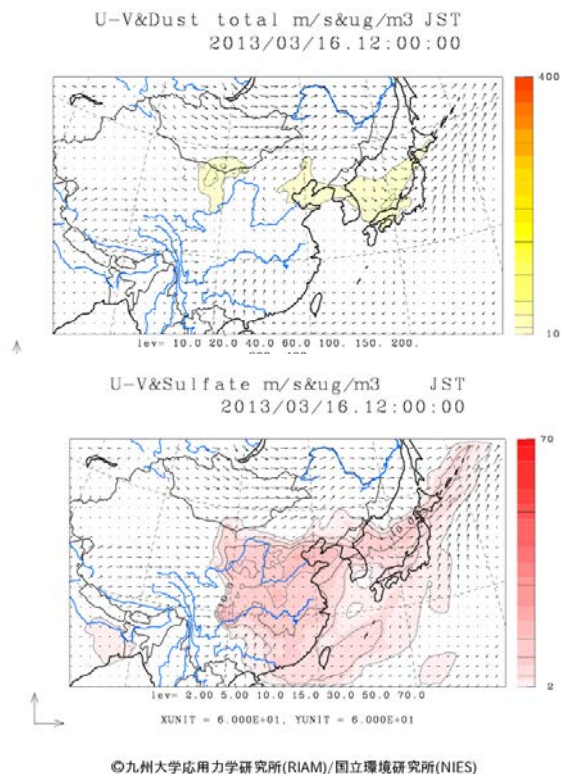


図 3-4-9-6 CFORS 予測結果

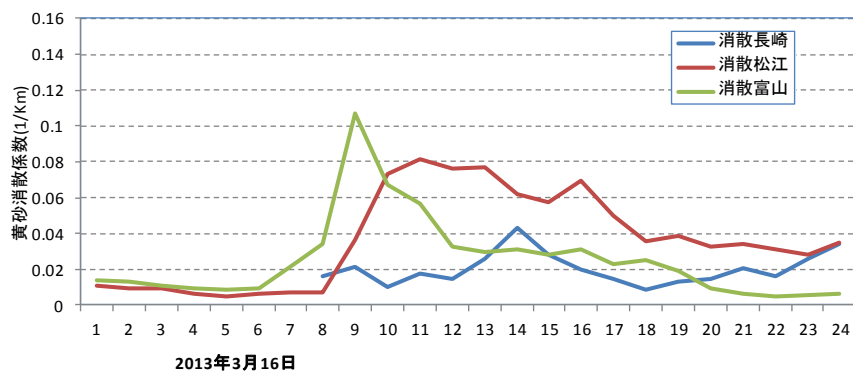


図 3-4-9-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化

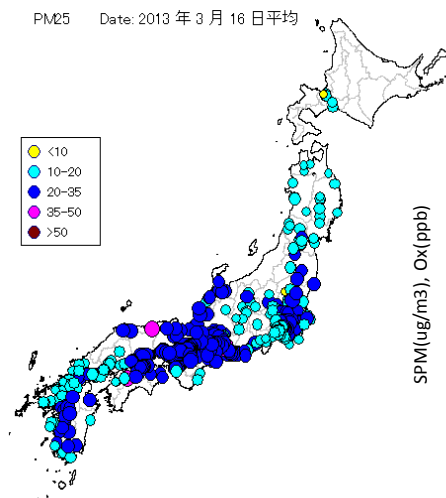


図 3-4-9-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

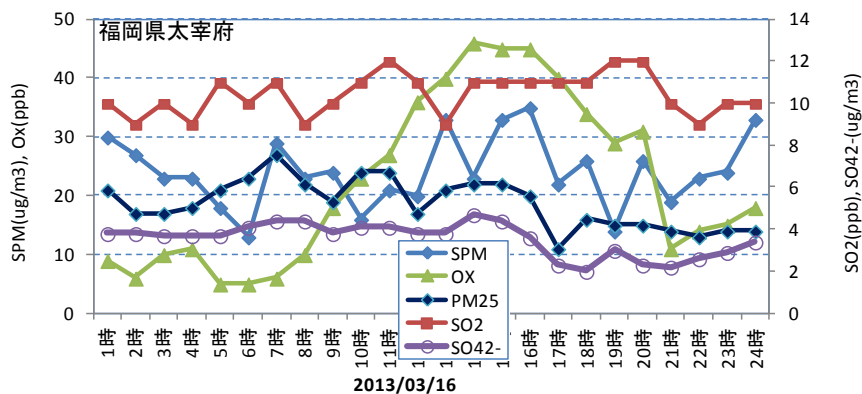


図 3-4-9-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(10) 平成 25 (2013) 年 3 月 19 日～20 日

東北までの全国に広がる黄砂であるが、SPM は低く黄砂の影響は小さい。ゴビ砂漠付近で砂塵嵐の発生がみられ、後方流跡線もこの地域からの流れを示している。中国、四国で PM_{2.5} 濃度が上昇し、福岡での硫酸イオン濃度も 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 近くになっている。比較的大きな混在黄砂と考えられる。

表 3-4-10-1 黄砂・煙霧観測

年	月	日	地点数	黄砂観測地点名										黄砂の規模		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SPM平均	県数	SPM積算
2013	3	19	26	新潟	金沢	富山	福井	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	36	25	900
				広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本			
				鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島							
2013	3	20	29	盛岡	仙台	新潟	金沢	富山	長野	福井	熊谷	名古屋	甲府	39	28	1092
				津	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	広島	岡山	神戸	大阪			
				和歌山	奈良	福岡	大分	長崎	松山	高松	高知	徳島				

年	月	日	地点数	煙霧観測地点名					
				1	2	3	4	5	6
2013	3	19	3	長野	下関	長崎			
2013	3	20	6	前橋	熊谷	銚子	津	福岡	佐賀

黄砂・煙霧観測地点：2013 年 3 月 20 日

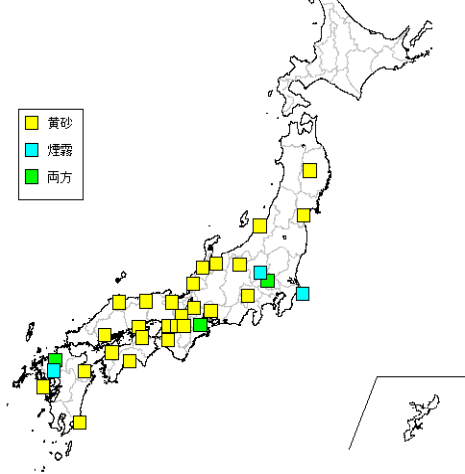
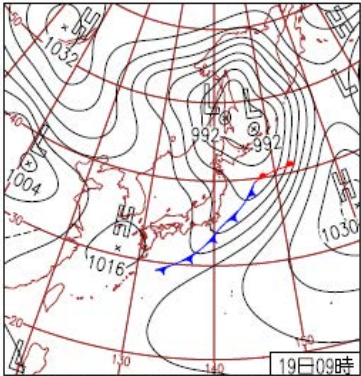


図 3-4-10-1 黄砂・煙霧観測地点



19日(火)東日本で気温上昇顯著
寒気の影響で曇った北日本日本海側を除き、高気圧に覆われて晴れた所が多く気温が上昇。特に東日本太平洋側の広い範囲で最高気温の3月の1位を更新。西日本と北陸で黄砂。

図 3-4-10-2 天気図

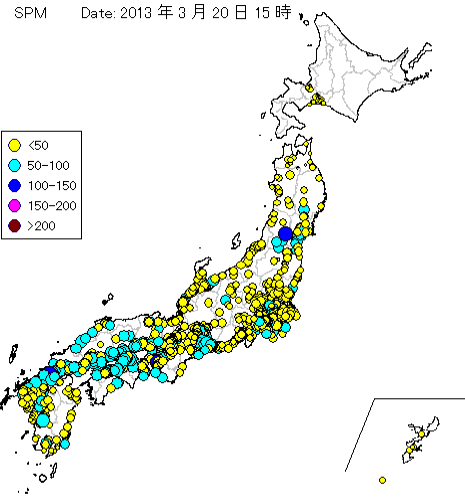


図 3-4-10-3 SPM 濃度全国分布

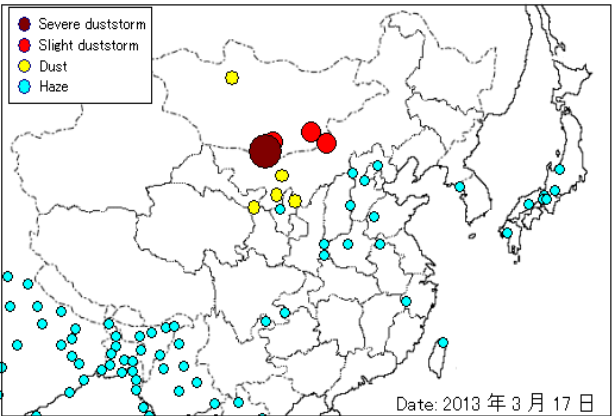


図 3-4-10-4 砂塵嵐発生状況

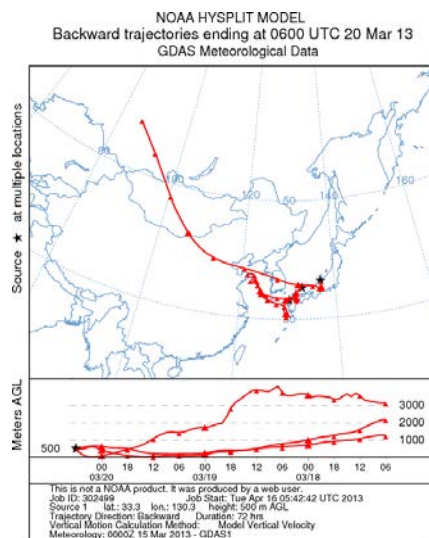
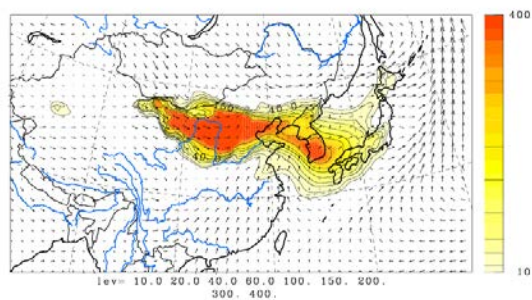
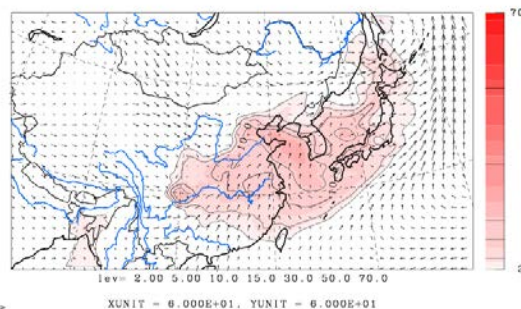


図 3-4-10-5 後方流跡

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2013/03/19.12:00:00



U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2013/03/19.12:00:00



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図 3-4-10-6 CFORS 予測結果

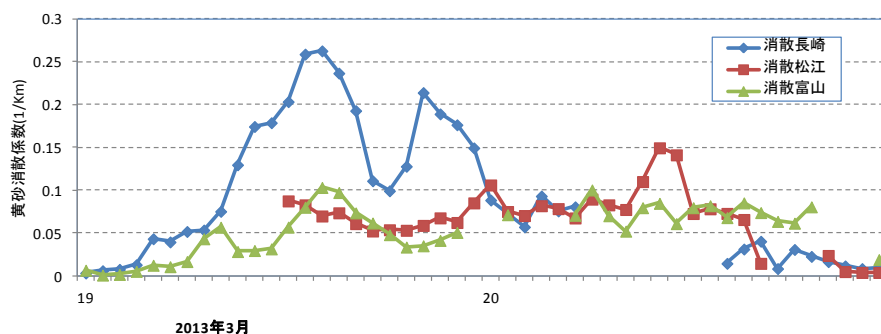


図 3-4-10-7 ライタ[®]-黄砂消散係数の経時変化

PM_{2.5} Date: 2013 年 3 月 19 日平均

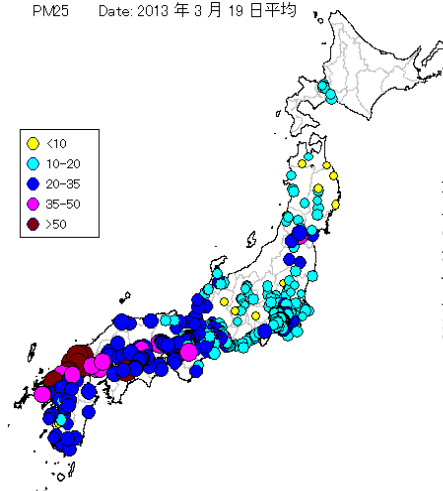


図 3-4-10-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

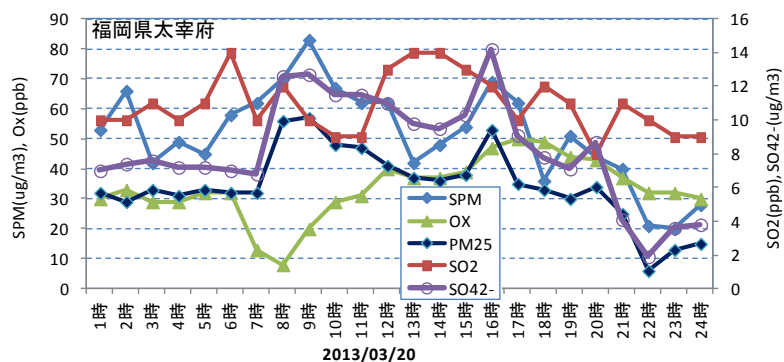


図 3-4-10-9 硫酸イオン濃度(時間値)

各事例の解析からの分類結果は表 3-4-2 の通りである。

平成 24(2012)年度の規模が大きかった黄砂は 4 月 23～25 日、3 月 8～11 日、3 月 19～20 日の 3 回である。いずれも観測地点が 20 地点以上で全国的に広がっているが、SPM 濃度は最高でも 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度でそれほど高濃度にはなっていない。同時に硫酸イオン濃度の上昇もみられており、この 3 つのケースは混在黄砂と考えられる。単純黄砂とした 4 月 1～3 日、12 月 4 日、1 月 2～3 日、3 月 1 日は、いずれも規模の小さなものであった。

表 3-4-2 平成 24(2012)年度の黄砂日の分類

事例 番号	通 算 日 数				観測地 点数	黄砂の規模				分類
		年	月	日		SPM 平均	県数	SPM積 算	SPM積 算合計	
1	1	2012	4	1	3	42	1	42	461	単純黄砂
	2	2012	4	2	1	17	1	17		
	3	2012	4	3	7	24	3	72		
2	4	2012	4	9	11	33	10	330	364	混在黄砂
	5	2012	4	10	1	34	1	34		
3	6	2012	4	23	10	34	10	340	2659	混在黄砂
	7	2012	4	24	22	59	21	1239		
	8	2012	4	25	19	60	18	1080		
4	9	2012	5	16	1	37	1	37	160	混在黄砂
	10	2012	5	17	3	41	3	123		
5	11	2012	12	4	1	35	2	70	70	単純黄砂
6	12	2013	1	2	2	33	2	66	79	単純黄砂
	13	2013	1	3	1	13	1	13		
7	14	2013	3	1	1	9.6	1	9.6	9.6	単純黄砂
8	15	2013	3	8	18	46	18	828	3197	混在黄砂
	16	2013	3	9	31	57	30	1710		
	17	2013	3	10	19	33	19	627		
	18	2013	3	11	1	32	1	32		
9	19	2013	3	16	1	27	1	27	27	混在黄砂
10	20	2013	3	19	26	36	25	900	1992	混在黄砂
	21	2013	3	20	29	39	28	1092		

4. 黄砂と成分濃度

4.1. 平成 24(2012)年度の成分分析結果

平成 24(2012)年度の成分分析のための粉じん採取は、平成 24(2012)年 4 月 23～25 日と、平成 25(2013)年 3 月 19～21 日に実施した。

なお、PAHs については、平成 21(2009)年 3 月 17～19 日、6 月 4～6 日、平成 23(2011)年 4 月 27～29 日、5 月 13～15 日、平成 24(2012)年 3 月 23～25 日に採取したサンプルについても追加して分析を行った。

4.1.1. 調査時の状況

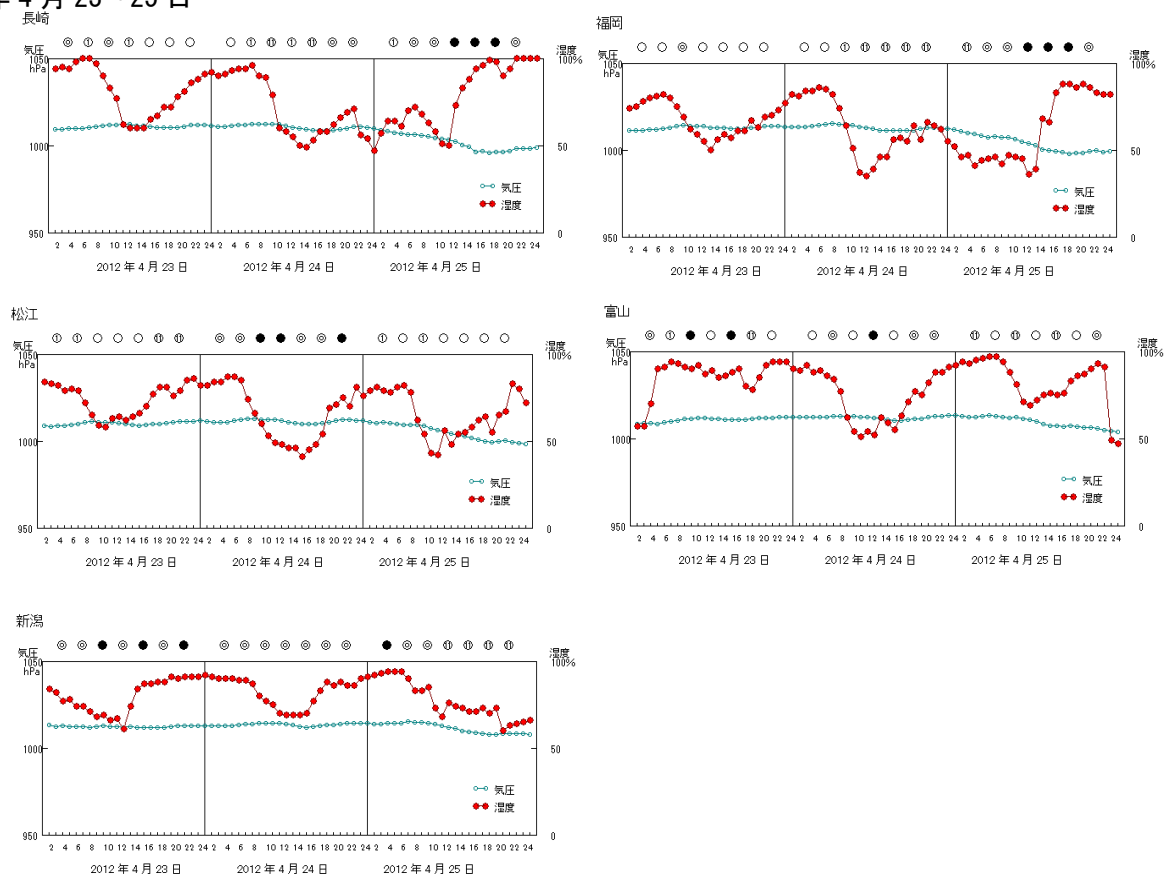
平成 24(2012)年度の 1 回目の採取である平成 24(2012)年 4 月 23～25 日の状況については、「3.4. 平成 24(2012)年度の黄砂飛来状況 (3) p. 16」に示したとおり、西日本を中心に 20 地点近くで黄砂が観測された日で、煙霧も 15 地点以上で観測されている。西日本の多くの地点で、PM_{2.5}濃度も 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超しており、福岡での硫酸イオン濃度の上昇 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超) も併せて、混在黄砂と考えられる。

2 回目の採取期間の平成 25(2013)年 3 月 19～20 日の状況については、同様に「3.4. 平成 24(2012)年度の黄砂飛来状況 (10) p. 30」に示したとおりで、黄砂観測地点数としては 1 回目よりも多く、19 日、20 日ともに 25 地点を超しており、地域は西日本から東北にまで及んでいる。煙霧は九州と関東で 6 地点観測されている。松江での後方流跡線、福岡での硫酸イオン濃度の上昇 (14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超) など 1 回目と同様、混在黄砂と考えられる。

図 4-1-1 に、採取期間の気象データ (天気、気圧、湿度) を示す。4 月 23～25 日は、長崎、福岡はおおむね晴であるが、松江、富山、新潟は一時雨が降っている。3 月 19～21 日は、全地点で一時雨がみられるもののその時間は短い。

図 4-1-2 に、採取期間の常時監視測定局での SPM、SO₂、風向ベクトルを示す。4 月 23～25 日、長崎、福岡で SPM 濃度が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える時間が長く続き、富山では 24 日から上昇している。3 月 19～21 日も同様に、長崎、福岡で SPM 濃度が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える時間が継続している。

2012 年 4 月 23～25 日



2013 年 3 月 19～21 日

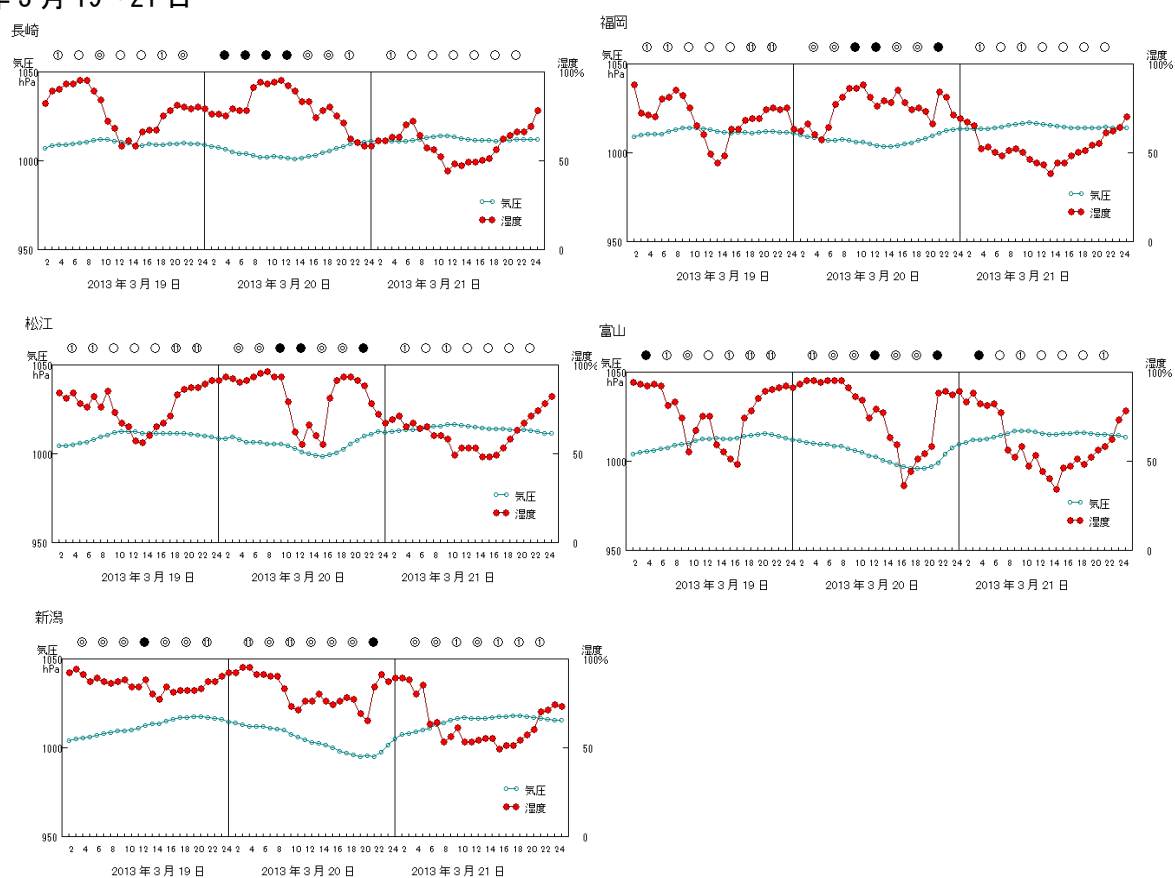
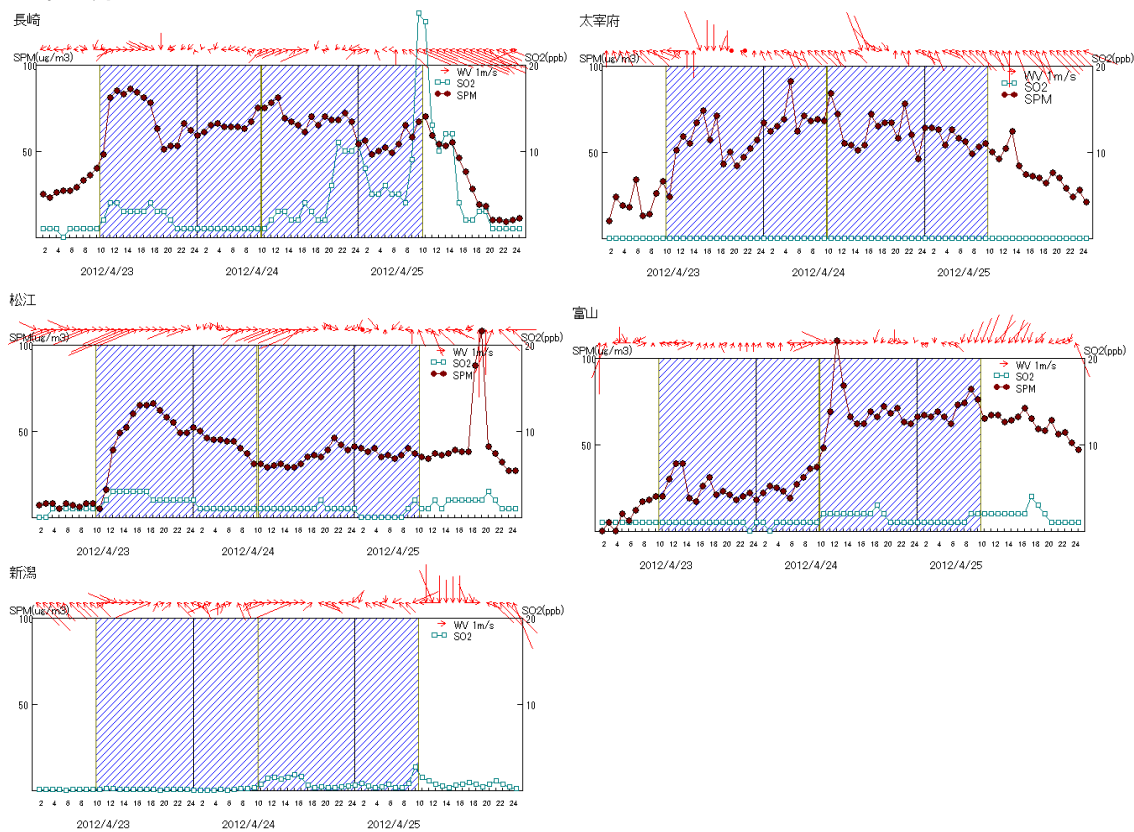


図 4-1-1 粉じん採取時の気象状況

2012 年 4 月 23～25 日



2013 年 3 月 19～21 日

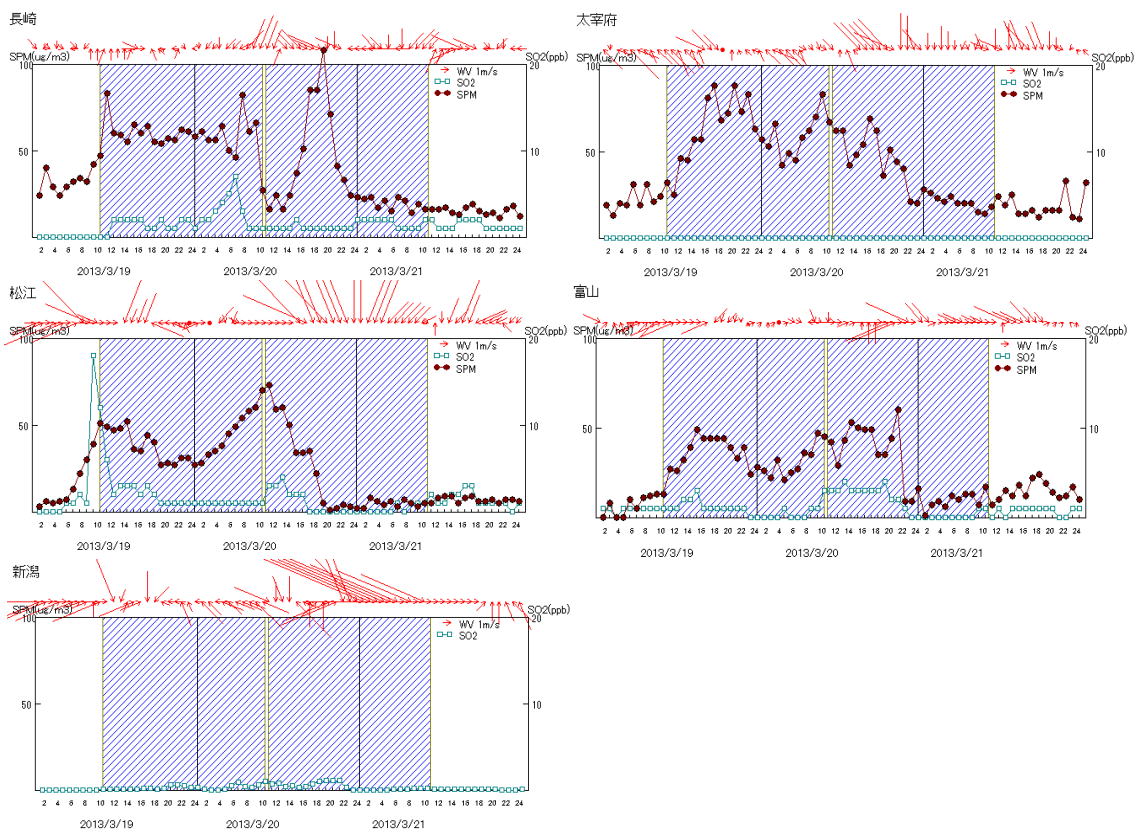


図 4-1-2 粉じん採取時の SPM、SO₂、風向ベクトル

4.1.2. 調査結果

(1) 浮遊粉じん (TSP) 濃度

平成 24 (2012) 年度における調査地点・調査日毎のハイボリウムサンプラー (HV) により採取した TSP 濃度を表 4-1-1 に、日・地点別の濃度グラフを図 4-1-3 にそれぞれ示す。

TSP 濃度は、4 月 24～25 日に長崎と太宰府、3 月 19～20 日に長崎、太宰府、松江で、それぞれ $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。

表 4-1-1 浮遊粉じん (TSP) 濃度

採取地点		開始年月日	開始時	終了年月日	終了時	単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
						TSP	黄砂・煙霧の観測
長崎	長崎県環境保健研究センター	2012/4/23	9:30	2012/4/24	9:30	74	煙霧
		2012/4/24	9:34	2012/4/25	9:34	149	煙霧
太宰府	福岡県保健環境研究所	2012/4/23	9:30	2012/4/24	9:20	93	黄砂・煙霧
		2012/4/24	9:30	2012/4/25	9:20	109	黄砂・煙霧
松江	島根県保健環境科学研究所	2012/4/23	9:30	2012/4/24	9:30	73	黄砂
		2012/4/24	9:40	2012/4/25	9:40	84	黄砂
富山	富山県環境科学センター	2012/4/23	9:30	2012/4/24	9:20	30	煙霧
		2012/4/24	9:30	2012/4/25	9:30	84	煙霧
新潟	新潟県保健環境科学研究所	2012/4/23	9:30	2012/4/24	9:35	15	煙霧
		2012/4/24	9:35	2012/4/25	9:30	70	煙霧

採取地点		開始年月日	時:始	終了年月日	時:終	単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
						TSP	黄砂・煙霧の観測
長崎	長崎県環境保健研究センター	2013/3/19	10:00	2013/3/20	10:00	177	黄砂・煙霧
		2013/3/20	10:30	2013/3/21	10:30	56	黄砂・煙霧
太宰府	福岡県保健環境研究所	2013/3/19	10:00	2013/3/20	10:00	172	黄砂
		2013/3/20	10:30	2013/3/21	10:30	53	黄砂・煙霧
松江	島根県保健環境科学研究所	2013/3/19	10:00	2013/3/20	10:10	102	黄砂
		2013/3/20	10:30	2013/3/21	10:30	53	黄砂
富山	富山県環境科学センター	2013/3/19	10:00	2013/3/20	10:00	81	黄砂
		2013/3/20	10:30	2013/3/21	10:30	56	黄砂
新潟	新潟県保健環境科学研究所	2013/3/19	10:00	2013/3/20	10:00	64	黄砂
		2013/3/20	10:30	2013/3/21	10:30	73	黄砂

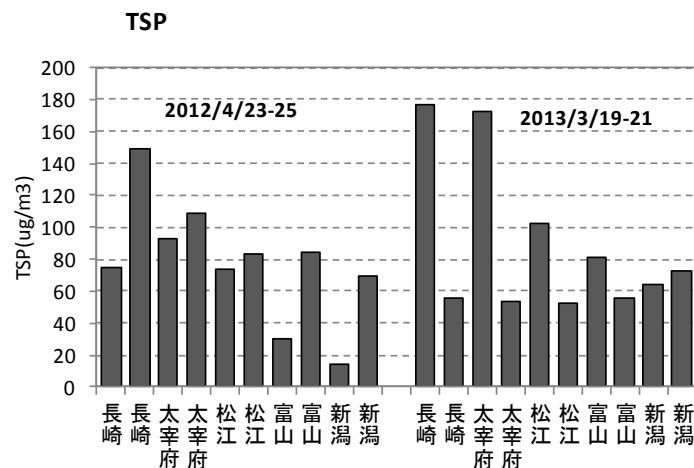


図 4-1-3 TSP 濃度

(2) 金属成分

平成 24(2012)年度における調査日ごとの HV 捕集での金属等の分析結果を表 4-1-2 に、アルミニウム(Al)と鉄(Fe)の日・地点別の濃度グラフを図 4-1-4 にそれぞれ示す。

黄砂が観測され TSP が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた 4 月 24～25 日の長崎、3 月 19～20 日の長崎、太宰府では、Al の濃度が高く $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、併せて Fe の濃度も上昇している。

表 4-1-2 金属成分の分析結果

2012.4.23-25		単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
地点名	開始年月日	Al	Fe	Mg	Ca	Sr	Mn	Ti	Zn
長崎	2012/4/23-24	2.44	1.50	0.66	2.30	0.013	0.050	0.150	0.123
	2012/4/24-25	6.52	4.81	0.51	5.22	0.033	0.115	0.392	0.080
太宰府	2012/4/23-24	3.48	2.54	1.05	1.67	0.017	0.065	0.240	0.090
	2012/4/24-25	1.57	1.12	0.49	3.56	0.009	0.037	0.120	0.113
松江	2012/4/23-24	1.30	0.90	0.44	1.30	0.008	0.034	0.091	0.123
	2012/4/24-25	2.59	1.70	0.90	2.72	0.015	0.047	0.180	0.064
富山	2012/4/23-24	0.53	0.50	0.19	0.49	0.003	0.013	0.045	0.075
	2012/4/24-25	1.48	1.10	0.52	1.49	0.008	0.054	0.099	0.177
新潟	2012/4/23-24	0.19	0.25	0.06	0.18	0.001	0.007	0.022	0.036
	2012/4/24-25	0.41	0.60	0.31	0.82	0.005	0.023	0.065	0.085

2013.3.19-21		単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
地点名	開始年月日	Al	Fe	Mg	Ca	Sr	Mn	Ti	Zn
長崎	2013/3/19-20	6.37	3.70	2.14	4.90	0.032	0.138	0.150	0.082
	2013/3/20-21	0.78	0.53	0.54	0.70	0.006	0.022	0.054	0.042
太宰府	2013/3/19-20	6.39	3.87	2.16	4.81	0.033	0.108	0.240	0.103
	2013/3/20-21	1.40	0.88	0.63	1.02	0.009	0.030	0.120	0.057
松江	2013/3/19-20	3.73	2.10	1.32	2.56	0.018	0.058	0.091	0.103
	2013/3/20-21	1.62	1.00	0.76	1.76	0.010	0.031	0.180	0.044
富山	2013/3/19-20	2.18	1.29	0.93	1.81	0.013	0.039	0.045	0.066
	2013/3/20-21	1.23	0.65	0.53	1.10	0.008	0.024	0.099	0.052
新潟	2013/3/19-20	1.21	0.64	0.57	1.10	0.007	0.019	0.022	0.029
	2013/3/20-21	1.20	0.60	0.61	1.00	0.008	0.030	0.065	0.054

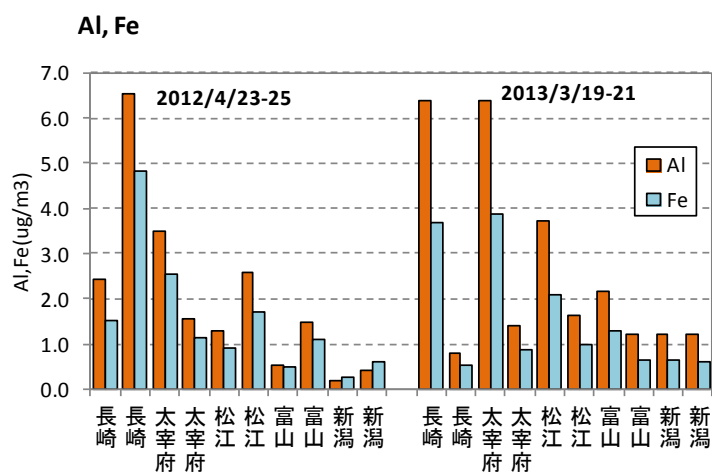


図 4-1-4 TSP 中 Al, Fe 濃度

(3) イオン成分

二段型ローバリウムサンプラー（LV）により捕集した粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下（微小粒子($\text{PM}_{2.5}$)）中のイオン成分等の分析結果を表 4-1-3 に、硝酸イオン、硫酸イオンの日・地点別の濃度グラフを図 4-1-5 にそれぞれ示す。

煙霧も多く の地点で観測されている 4 月 23～25 日は硫酸イオン濃度が上昇しており、太宰府、松江、富山、新潟で $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。3 月 19～20 日も硫酸イオン濃度は比較的高く、長崎、太宰府、松江で $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。硝酸イオン濃度は $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の値が多く、硫酸イオン濃度と比べて、地点や日による濃度の違いは小さい。

表 4-1-3 微小粒子（ $<2.5\mu\text{m}$ ）中のイオン成分分析結果

2012.4.23-25		単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$								
地点名	採取期間	$\text{PM}_{2.5}$	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Cl^-
太宰府	2012.4.23-24	56	3.90	21.0	0.13	8.90	0.32	0.67	0.04	0.19
	2012.4.24-25	49	1.30	16.0	0.12	5.67	0.55	0.40	0.07	0.06
松江	2012.4.23-24	40	0.35	22.0	0.20	8.40	0.14	0.55	0.04	0.05
	2012.4.24-25	42	0.48	16.0	0.14	5.57	0.63	0.42	0.08	0.07
富山	2012.4.23-24	20	0.92	6.6	0.13	2.60	0.13	0.19	0.04	0.10
	2012.4.24-25	58	4.80	24.0	0.16	10.00	0.23	0.59	0.05	0.31
新潟	2012.4.23-24	9	1.10	1.6	0.03	0.70	0.13	0.08	0.02	0.05
	2012.4.24-25	45	2.65	21.0	0.21	7.90	0.16	0.35	0.04	0.07

2013.3.19-21		単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$								
地点名	採取期間	$\text{PM}_{2.5}$	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Cl^-
長崎	2013.3.19-20	60	2.10	14.0	0.46	4.60	1.07	0.53	0.18	0.37
	2013.3.20-21	-	2.00	6.6	0.28	2.80	0.22	0.18	0.10	0.28
太宰府	2013.3.19-20	64	3.80	12.0	0.35	4.60	0.96	0.48	0.16	0.26
	2013.3.20-21	24	2.10	8.1	0.21	3.55	0.16	0.29	0.04	0.16
松江	2013.3.19-20	43	2.40	13.0	0.54	4.80	0.31	0.48	0.11	0.19
	2013.3.20-21	14	0.37	5.2	0.25	1.70	0.24	0.17	0.08	0.09
富山	2013.3.19-20	31	1.90	7.8	0.34	3.23	0.27	0.23	0.08	0.31
	2013.3.20-21	29	0.49	4.7	0.22	1.43	0.31	0.17	0.08	0.12
新潟	2013.3.19-20	-	3.47	5.5	0.27	3.20	0.11	0.24	0.04	0.47
	2013.3.20-21	-	1.80	5.1	0.31	2.73	0.16	0.20	0.07	0.47

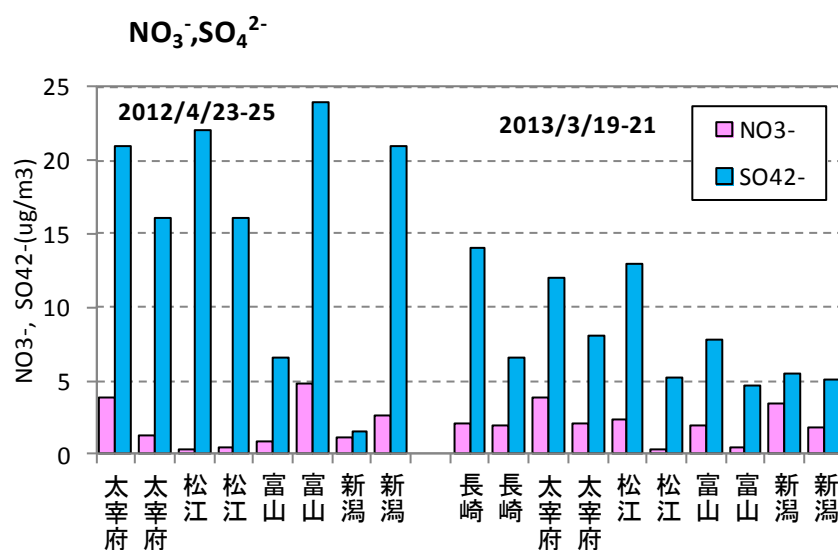


図 4-1-5 微小粒子中 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度

(4) 多環芳香族炭化水素類（PAHs）成分

平成 24(2012)年度調査における HV ろ紙に捕集した粉じん中の PAHs 成分の分析結果を表 4-1-4 に、PAHs 各成分の合計量（PAHs）の日・地点別濃度グラフを図 4-1-6 にそれぞれ示す。本調査期間中は、太宰府、松江で比較的濃度が高くなっている。

なお過年度の追加分析の結果についても、表 4-1-5、図 4-1-7 に示す。採取日の平成 21(2009)年 3 月 17～19 日（5.2.大規模黄砂の事例(9) K11 p.74 参照）、平成 23(2011)年 5 月 13～15 日（5.2.大規模黄砂の事例(14) K16 p.82 参照）は、いずれも黄砂が 30 地点以上で観測された大規模黄砂の時である。平成 23(2011)年 4 月 27～29 日は九州を中心にした煙霧のみの観測（7 地点）で、平成 24(2012)年 3 月 24～25 日は、黄砂が 12 地点、煙霧が 5 地点で観測された混在黄砂時である。また、平成 21(2009)年 6 月 4～6 日は黄砂や煙霧の影響を受けていない期間である。

表4-1-4 PAHs 成分分析結果

2012.4.23-25											単位:pg/m ³			
地点名	採取期間	TSP	Benzo(a)anthracene	Chrysene	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(k)fluoranthene	Benzo(e)pyrene	Benzo(a)pyrene	Dibenz(a,c)anthracene	Indeno(1,2,3cd)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene	Benzo(ghi)perylene	Coronene	PAHs
長崎	2012.4.23-24	74	60	200	340	130	210	120	6	230	23	220	80	1619
	2012.4.24-25	149	56	200	300	110	180	130	6	200	21	200	75	1478
太宰府	2012.4.23-24	93	100	300	450	180	280	190	11	310	32	320	120	2293
	2012.4.24-25	109	130	360	500	190	310	250	13	360	37	380	140	2670
松江	2012.4.23-24	73	67	240	330	130	210	140	6	220	22	210	69	1644
	2012.4.24-25	84	95	230	390	150	260	210	14	280	34	310	100	2073
富山	2012.4.23-24	30	51	120	190	74	120	87	6	140	15	160	63	1026
	2012.4.24-25	84	53	170	280	100	170	100	6	190	21	200	68	1358
新潟	2012.4.23-24	15	17	47	86	32	54	34	0	66	7	72	27	442
	2012.4.24-25	70	35	110	200	76	120	72	5	140	14	160	63	995

2013.3.19-21													単位: pg/m ³	
地点名	採取期間	TSP	Benzo (a) anthracene	Chryse ne	Benzo (b) fluo ranthe ne	Benzo (k) fluo ranthe ne	Benzo (e) pyre ne	Benzo (a) pyre ne	Dibenz (a, c) ant hracene	Indeno (1, 2, 3cd) pyrene	Dibenz (a, h) a nthrac ene	Benzo (ghi) pe rylene	Corone ne	PAHs
長崎	2013.3.19-20	177	66	260	370	120	230	140	0	180	20	210	72	1668
	2013.3.20-21	56	65	160	240	83	130	110	0	110	15	130	37	1080
太宰府	2013.3.19-20	172	120	360	540	190	350	250	11	280	29	360	120	2610
	2013.3.20-21	53	66	190	240	87	150	120	0	120	12	150	50	1185
松江	2013.3.19-20	102	98	290	440	150	280	210	11	230	30	270	90	2099
	2013.3.20-21	53	64	180	240	90	150	120	0	120	16	130	43	1153
富山	2013.3.19-20	81	110	220	330	140	210	190	10	210	29	230	85	1764
	2013.3.20-21	56	71	180	270	98	160	140	0	150	17	170	56	1312
新潟	2013.3.19-20	64	40	120	180	69	110	110	0	120	0	130	48	927
	2013.3.20-21	73	55	140	230	85	140	130	0	140	11	150	51	1132

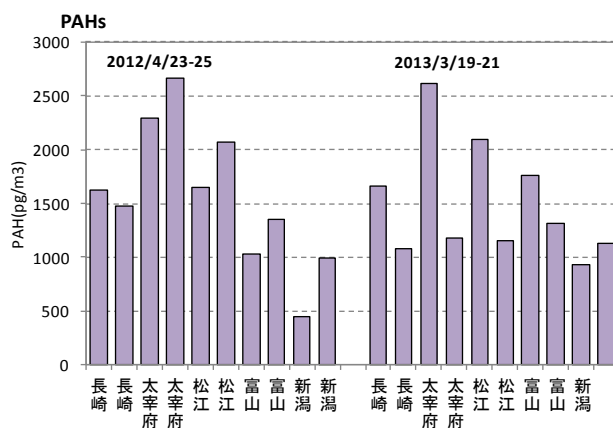


図 4-1-6 TSP 中 PAHs 濃度

表4-1-5 PAHs 成分分析結果 (2012年度以前)

単位: pg/m³

地点名	採取期間	TSP	Benzo(a)anthracene	Chrysene	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(k)fluoranthene	Benzo(e)pyrene	Benzo(a)pyrene	Dibenz(a,c)anthracene	Indeno(1,2,3cd)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene	Benzo(ghi)perylene	Coronene	PAHs
長崎	2009 3/17-18	97	27	86	140	51	86	62	0	92	12	99	47	702
	2009 3/18-19	23	0	9.6	17	0	0	10	0	13	0	16		66
太宰府	2009 3/17-18	125	63	160	280	100	180	140	7.3	210	27	250	98	1515
	2009 3/18-19	74	55	110	220	93	160	130	13	220	27	270	110	1408
松江	2009 3/17-18	106	230	540	1100	420	840	570	52	860	110	1100	350	6172
	2009 3/18-19	51	57	110	320	120	260	140	9.1	340	29	490	220	2095
富山	2009 3/17-18	148	210	500	680	270	420	340	17	470	50	530	220	3707
	2009 3/18-19	109	98	310	420	160	270	200	9	260	31	300	110	2168
新潟	2009 3/17-18	106	75	200	350	130	220	170	9.8	250	28	280	120	1833
	2009 3/18-19	72	70	160	250	93	160	160	8	190	27	210	79	1407
長崎	2009 6/4-5	32	18	57	75	31	50	44	0	42	0	51	15	383
	2009 6/5-6	47	29	75	93	39	64	68	0	57	7.3	70	14	516
太宰府	2009 6/4-5	30	120	250	350	150	230	240	10	210	36	240	86	1922
	2009 6/5-6	48	61	110	200	87	140	120	6.9	130	18	160	63	1096
松江	2009 6/4-5	24	48	74	120	56	79	94	0	98	13	110	42	734
	2009 6/5-6	31	31	68	120	50	85	80	0	96	9.3	130	49	718
富山	2009 6/4-5	45	39	91	140	59	100	84	0	120	15	180	91	919
	2009 6/5-6	22	25	55	84	34	57	52	0	70	10	92	40	519
新潟	2009 6/4-5	36	12	44	69	25	44	34	0	48	0	53	20	349
	2009 6/5-6	50	22	49	84	36	62	67	0	87	9.9	100	41	558
松江	2011 4/27-28	41	42	120	180	63	92	92	4.8	150	14	150	57	965
	2011 4/28-29	18	23	59	170	49	99	56	4.4	150	10	180	72	872
富山	2011 4/27-28	34	39	110	120	42	64	71	3.9	91	12	100	38	691
	2011 4/28-29	20	52	130	150	56	68	67	6.5	120	14	120	40	824
新潟	2011 4/27-28	18	18	52	77	28	34	44		51	5.5	55	19	384
	2011 4/28-29	21	11	25	42	13	17	21		29	4	29	13	204
長崎	2011 5/13-14	234	120	390	610	220	360	270	11	360	42	400	150	2933
	2011 5/14-15	149	110	330	500	190	310	230	7.7	300	37	330	120	2465
太宰府	2011 5/13-14	132	64	170	270	100	170	150	0	170	20	200	80	1394
	2011 5/14-15	93	77	210	330	120	200	170	6.3	220	28	240	98	1699
松江	2011 5/13-14	150	52	140	210	80	130	110	0	120	15	140	46	1043
	2011 5/14-15	116	76	210	340	130	220	170	7.8	200	22	250	76	1702
富山	2011 5/13-14	273	52	170	230	84	140	100	0	130	18	150	52	1126
	2011 5/14-15	122	77	220	320	120	200	150	9	200	26	210	66	1598
新潟	2011 5/13-14	295	29	95	150	53	93	69	0	90	9.3	100	36	724
	2011 5/14-15	106	32	120	160	66	96	83	0	100	9.5	100	30	797
長崎	2012 3/23-24	62	90	260	390	130	220	150	0	200	21	200	77	1738
	2012 3/24-25	79	90	240	330	120	180	140	0	160	21	160	62	1503
太宰府	2012 3/23-24	45	99	280	400	140	220	150	6.7	210	23	230	84	1843
	2012 3/24-25	57	120	300	420	160	220	180	7.9	220	28	220	79	1955
松江	2012 3/23-24	11	13	37	67	22	41	15		48	4.2	51	20	318
	2012 3/24-25	31	63	170	220	81	120	91		120	14	120	49	1048
富山	2012 3/23-24	31	42	140	170	62	100	66		120	11	120	50	881
	2012 3/24-25	12	22	70	75	29	45	34		48	3.6	54	23	404
新潟	2012 3/23-24	31	31	79	110	42	65	48		76	7.5	75	29	563
	2012 3/24-25	22	8.9	25	34	13	19	16		24		23		163

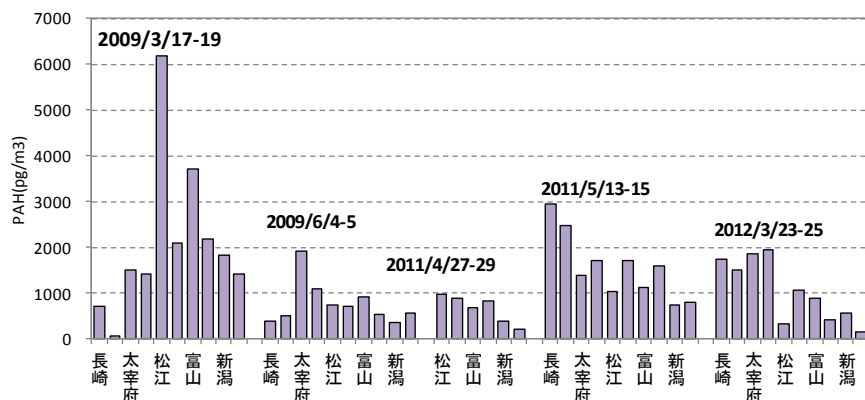


図 4-1-7 TSP 中 PAHs 濃度 (2012 年度以前)

4. 2. 成分濃度による黄砂の特徴

平成 15(2003)年度から平成 24(2012)年度まで、黄砂日を中心に多くの大気試料を集め分析に供した。ハイボリウムエアサンプラー (HV) による TSP の採取と Al などの金属類の分析を行ったサンプルは全部で 423 件ある。ローボリウムエアサンプラー(LV)により微小粒子 (PM_{2.5}) として採取し、主にイオン類を分析したものは平成 18(2006)年度～平成 24(2012)年度に 316 件、TSP 中の PAHs を分析したものは平成 21(2009)年度～平成 22(2012)年度に 66 件、ガス状も含めて採取し分析した農薬類は平成 20(2008)年度～平成 22(2010)年度までに 36 件となっている。これらの分析結果について、金属類などの TSP 成分、イオン類、PAHs、農薬類に分けて整理する。

4. 2. 1. TSP 成分

平成 15(2003)～平成 24(2012)年度に採取した TSP の中の金属類、イオン類の多成分を分析した件体を抽出し、黄砂時を含めた浮遊粉じんの成分間の関係性をみた。多成分が同時に分析されている平成 15(2003)年 4 月から平成 18(2006)年 4 月の 164 件を対象とした。採取地点は、長崎(17)、太宰府(18)、松江(20)、金沢(12)、新潟(21)、犬山(22)、つくば(12)、札幌(21)、立山(10)の 9 地点で (カッコ内はサンプル数)、成分は TSP、Mg、Al、Ca、Fe、Sr、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺の 14 項目である。

表 4-2-1 に、各成分の平均と最大を示す。また、TSP 濃度について黄砂・煙霧の観測状況とともに図 4-2-1 に示す。大きな黄砂が飛来した平成 16(2004)年 3 月 10～12 日、平成 18(2006)年 4 月 8～9 日、18～19 日は TSP が 150μg/m³ を超す高濃度を示している。しかし、黄砂観測時でも 150μg/m³ 以下の低いケースも多くみられる。

表 4-2-1 HV 採取粉じんでの各成分の平均・最大

	TSP	Mg	Al	Ca	Fe	Sr	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
平均	78	0.92	3.65	2.10	1.87	0.014	2.02	2.44	6.03	1.99	0.97	0.25	0.21	1.20
最大	445	7.04	34.62	13.07	18.04	0.090	10.71	16.80	23.58	7.60	6.90	1.00	0.91	10.01

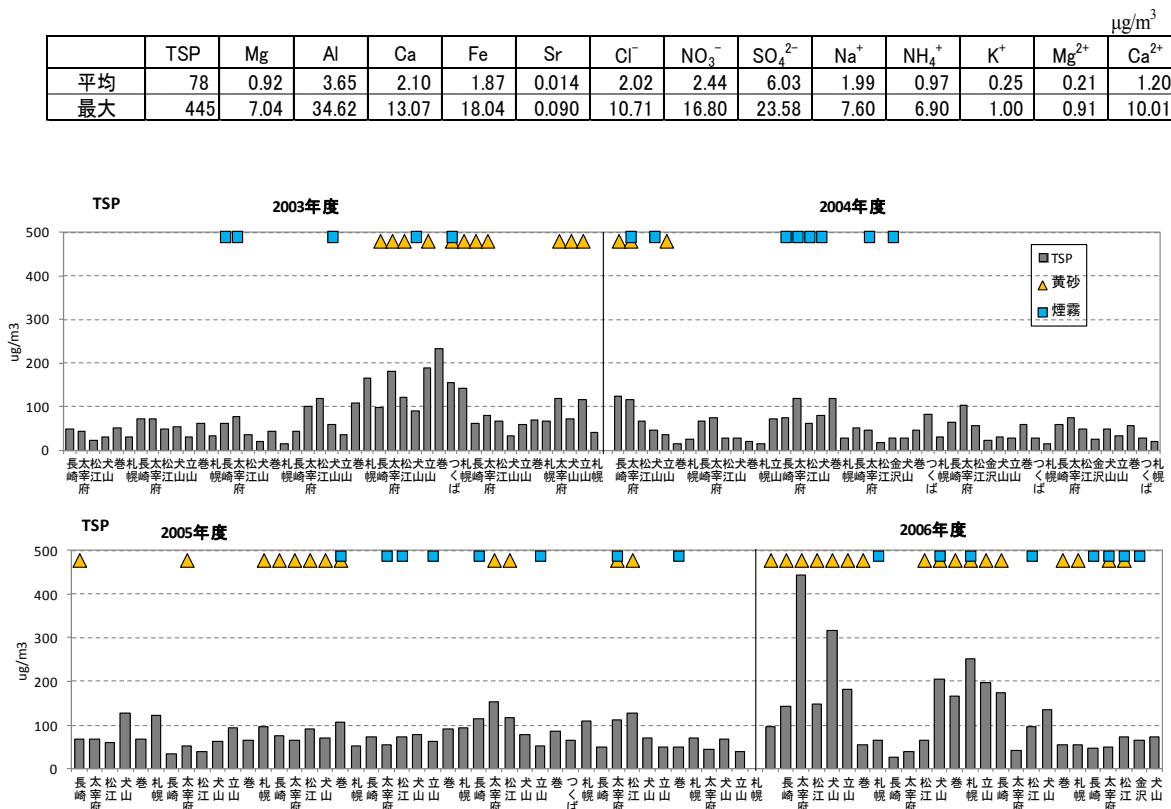


図 4-2-1 多成分分析に供した TSP 濃度と黄砂・煙霧観測状況

黄砂による TSP 高濃度などを含めたデータ群について、成分間の総体的な関係をみるために成分間の相関行列を、表 4-2-2 に示した。この結果から、Mg、Al、Ca、Fe、Sr といった主に土壌起源と思われる金属類が、TSP 濃度と高い相関関係にあることがわかる。また、 SO_4^{2-} と NH_4^+ 、 Na^+ と Cl^- とに比較的高い相関があるが、これらの成分は金属類にみられるような TSP 濃度との強い関係はみられていない。

図 4-2-2 では、さらに黄砂観測時に絞って（80 件）、TSP、Fe、Al 間の散布図で示す。TSP と Al の傾きが 0.08 であること、Fe は Al とほぼ同じような挙動をし、その割合は Al の半分程度であることがわかる。

表 4-2-2 HV 採取粉じんでの成分間相関

	TSP	Mg	Al	Ca	Fe	Sr	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+
TSP	1											
Mg	0.902	1										
Al	0.926	0.939	1									
Ca	0.807	0.858	0.797	1								
Fe	0.945	0.942	0.957	0.791	1							
Sr	0.890	0.947	0.902	0.930	0.901	1						
Cl^-	0.331	0.440	0.372	0.296	0.324	0.361	1					
NO_3^-	0.386	0.312	0.228	0.419	0.289	0.348	-0.059	1				
SO_4^{2-}	0.413	0.321	0.224	0.354	0.274	0.346	-0.128	0.477	1			
Na^+	0.315	0.441	0.326	0.308	0.294	0.382	0.902	0.033	0.012	1		
NH_4^+	0.105	-0.056	-0.078	-0.029	-0.039	-0.059	-0.286	0.549	0.765	-0.273	1	
K^+	0.577	0.497	0.434	0.442	0.471	0.484	0.085	0.502	0.805	0.189	0.607	1

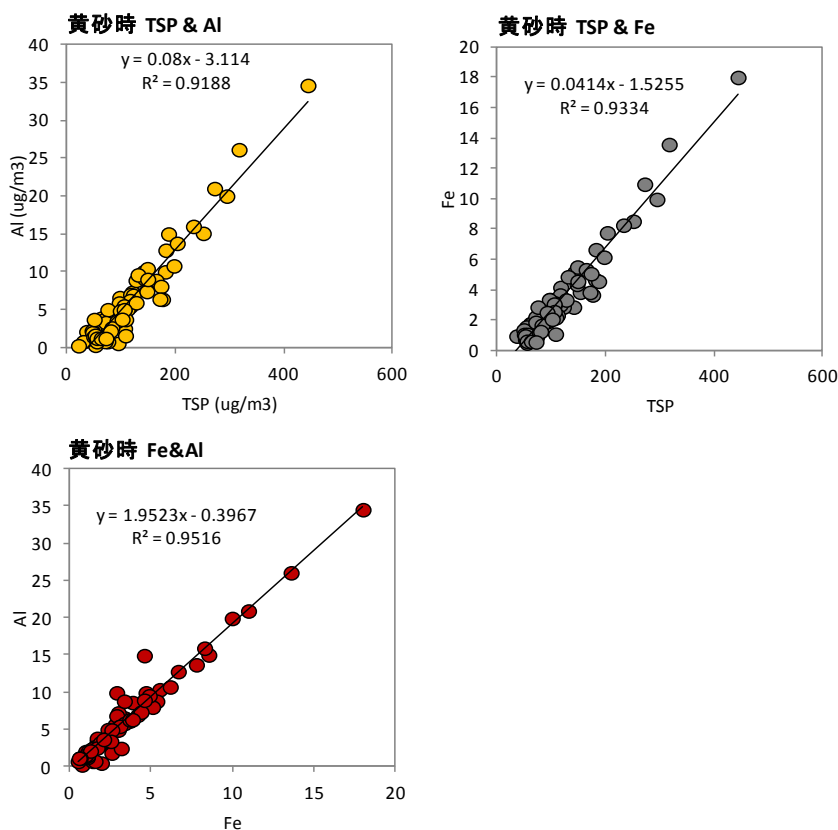


図 4-2-2 TSP と Al、TSP と Fe、Fe と Al の散布図

このデータ群で、黄砂において Al の存在が重要であることが示されているため、TSP 採取時に Al の分析値が存在するものを集めて (279 件)、黄砂観測時で且つ TSP 濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度を示したとき (37 件) の Al 濃度を抽出し、その時に TSP 濃度に占める Al 濃度の割合とともに図 4-2-3 に示す。TSP 濃度の平均は $166\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、Al 平均濃度は $9.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。また、TSP 濃度に占める Al 濃度の割合は、平均で 5.5% となっている。これを、黄砂の観測がなく TSP 濃度も $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の状況と比較すると、Al 平均濃度 $0.67\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均組成 2.4% と大きな違いがみられる。

Al 濃度が高かった平成 18 (2006) 年 4 月 8~9 日は、41 地点で黄砂が観測された西日本全体を覆った大きな単純黄砂である (5.2 大規模黄砂の事例 (4) K05 p. 64 参照)。平成 23 (2011) 年 5 月 13~14 日も九州から東北まで 39 地点で黄砂が観測された大きな単純黄砂である (5.2 大規模黄砂の事例 (14) K16 p. 82 参照)。

Al は、黄砂の飛来とともに濃度及び TSP に占める割合が増加することが確認できたことから、黄砂の指標的な成分と考えることができる。

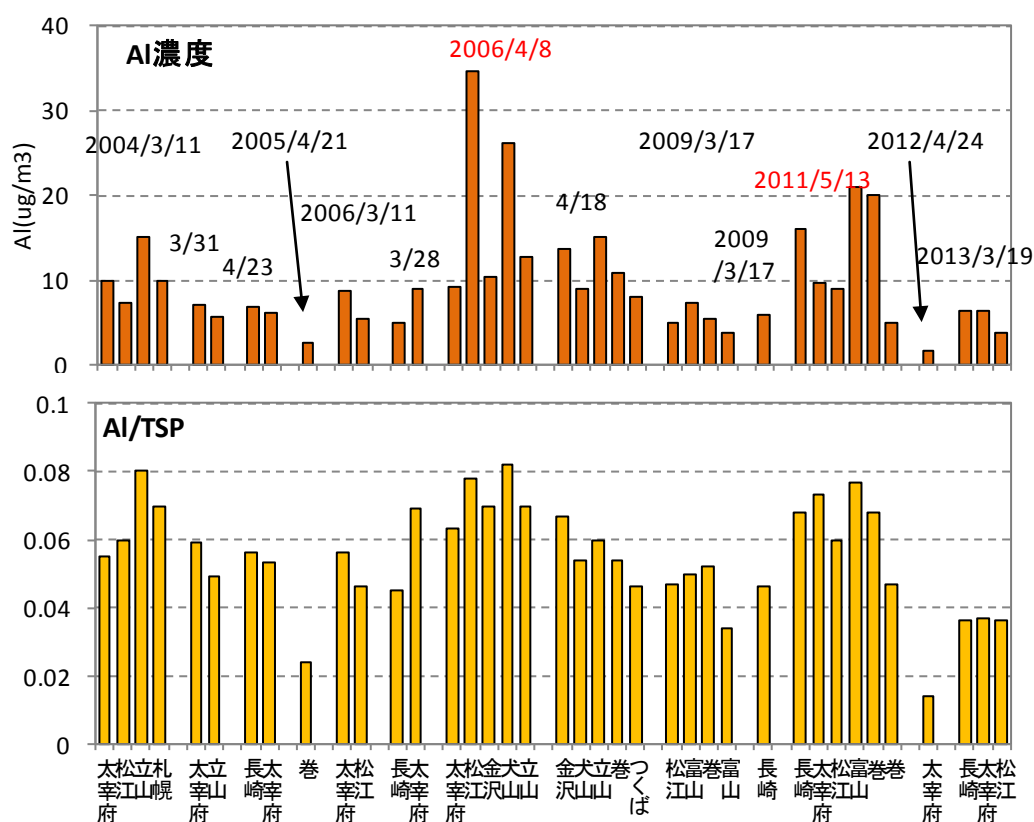


図 4-2-3 黄砂で TSP 高濃度時 ($>100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上) の Al 濃度と Al/TSP

4.2.2. イオン成分

平成 18(2006)～平成 24(2012)年度に微小粒子中のイオン類が分析されているサンプルを抽出し、黄砂時を含めた成分間の関係をみた。微小粒子のイオンが分析されている試料は、この間に 253 件ある。採取地点は、長崎(28)、太宰府(36)、松江(42)、金沢(16)、富山(36)、新潟(40)、犬山(16)、つくば(15)、札幌(16)、立山(8) (カッコ内はサンプル数) の 10 地点で、成分は、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の 8 項目である。

表 4-2-3 に、各成分の平均と最大を示す。イオン類の中で最も平均濃度が高いのは SO_4^{2-} で、次いで NH_4^+ となっている。 NO_3^- の濃度は低く、 SO_4^{2-} の 1/5 程度である。このデータ群について相関行列を表 4-2-4 に示した。 SO_4^{2-} と NH_4^+ 、 SO_4^{2-} と K^+ 、 Ca^{2+} と Mg^{2+} などに高い相関関係がみられている。図 4-2-4 に黄砂日を抜き出して、 SO_4^{2-} 当量濃度と NH_4^+ 当量濃度、 NO_3^- 当量濃度と NH_4^+ 当量濃度の散布図と回帰式を示す。 SO_4^{2-} 当量濃度と NH_4^+ 当量濃度の関係で、相関係数が高く回帰式の傾きもほぼ 1 であることから、黄砂時の SO_4^{2-} は 主に NH_4^+ と結合し $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ として存在していることが推測できる。

表 4-2-3 LV 採取微小粒子での各成分の平均・最大

	$\text{PM}_{2.5}$	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}
平均	28	0.98	5.76	0.004	0.27	1.97	0.26	0.22	0.064
最大	126	5.90	24.00	0.034	1.08	10.00	1.80	0.92	0.300

表 4-2-4 LV 採取粉じん微小粒子の成分間相関

	$\text{PM}_{2.5}$	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}
$\text{PM}_{2.5}$	1								
NO_3^-	0.456	1							
SO_4^{2-}	0.470	0.355	1						
Cl^-	0.440	0.341	-0.160	1					
Na^+	0.571	0.194	0.119	0.630	1				
NH_4^+	0.371	0.437	0.970	-0.169	-0.009	1			
Ca^{2+}	0.829	0.353	0.202	0.470	0.630	0.064	1		
K^+	0.614	0.289	0.863	-0.052	0.281	0.793	0.382	1	
Mg^{2+}	0.753	0.354	0.268	0.457	0.779	0.112	0.882	0.444	1

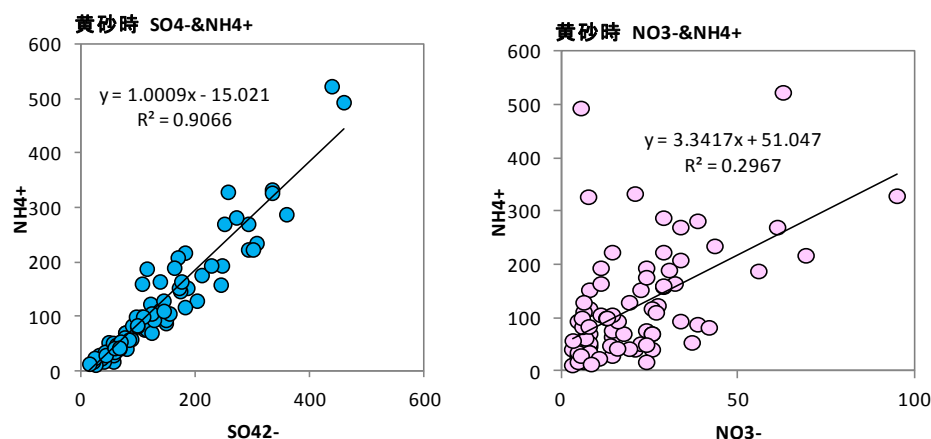


図 4-2-4 黄砂時の SO_4^{2-} 当量濃度及び NO_3^- 当量濃度と NH_4^+ 当量濃度の散布図

SO₄²⁻濃度が黄砂の飛来における汚染物質の混在を見分ける一つの指標になっているため、SO₄²⁻についてその濃度を棒グラフで、黄砂・煙霧の飛来状況とともに図 4-2-5 に示す。SO₄²⁻濃度が 15μg/m³を超しているのは平成 19(2007)年 5 月 8～10 日、5 月 26～28 日、平成 24(2012)年 4 月 23～25 日の 3 事例である（図中赤字）。

2007 年 5 月 8～10 日は松江や新潟で煙霧が観測されており、黄砂はつくばの 1 地点のみである。この時に、九州ではオキシダント注意報が 10 年ぶりに発令され越境汚染が全国的に話題になっている。

平成 19(2007)年 5 月 26～28 日は全国 50 地点で観測された大きな黄砂で、硫酸イオンの高濃度から混在黄砂と考えられる（5.2.大規模黄砂の事例 (6) K09 p.68 参照）。

平成 24(2012)年 4 月 23～25 日は、22 地点で黄砂が観測され、PM_{2.5}の広域的な上昇や、福岡での硫酸イオン時間値の 25μg/m³を超す高濃度などもみられており、混在黄砂と考えられる（3.4.平成 24 年度の黄砂飛来状況 (3) p.16 参照）。

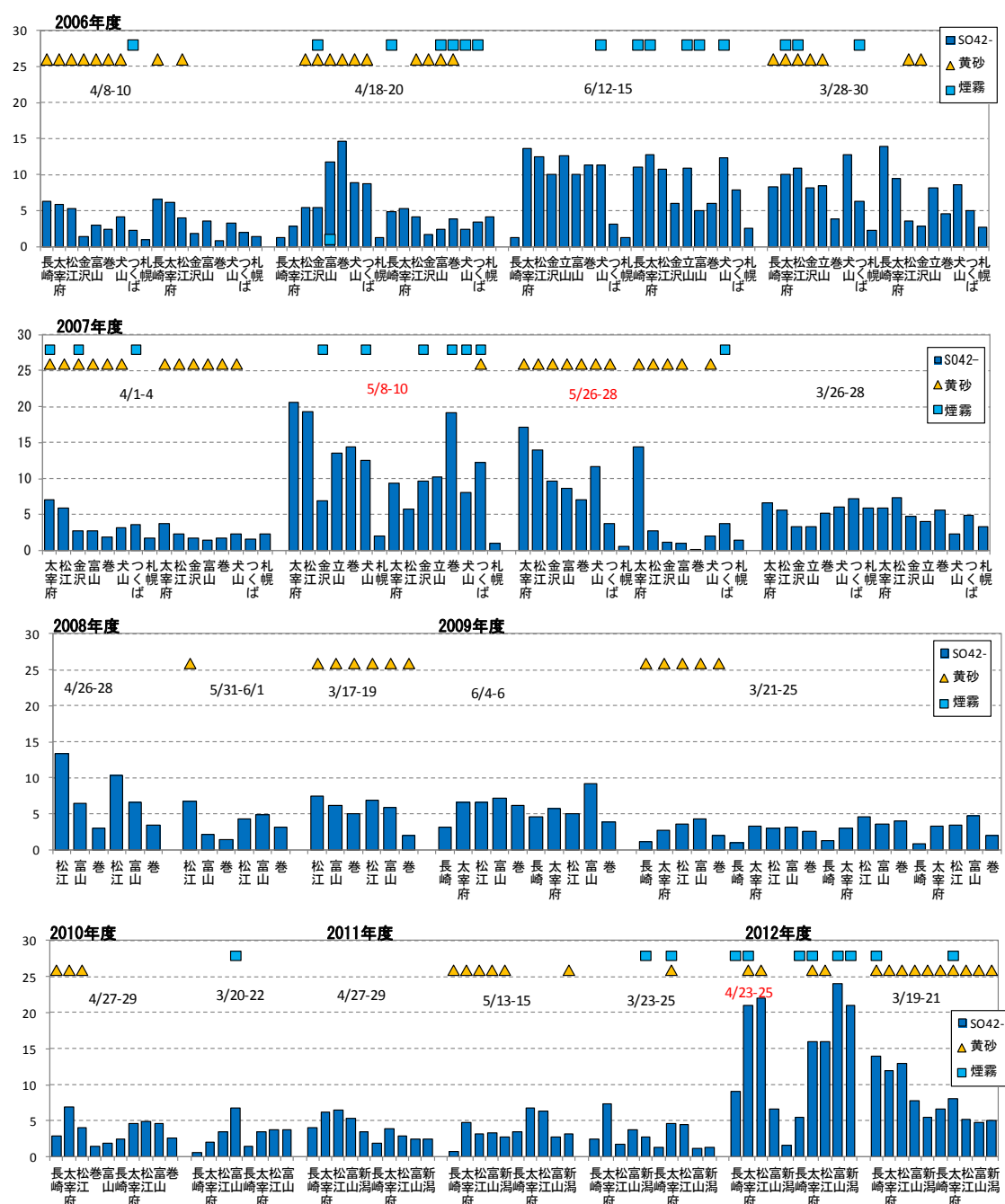


図 4-2-5 微小粒子中 SO₄²⁻濃度一覧

Figure 1 consists of two bar charts comparing SO_4^{2-} concentrations in PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ across various locations and dates from 2006 to 2009. The top chart shows SO_4^{2-} concentrations in PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) and the bottom chart shows SO_4^{2-} concentrations in $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). The locations are categorized by date ranges: 2006/4/8-9, 2006/4/18-20, 2007/4/1-3, 2007/5/8-10, and 2007/5/26-28. The legend indicates that white bars represent TSP, blue bars represent SO_4^{2-} , yellow triangles represent SO_4^{2-} , and blue bars represent SO_4^{2-} .

- 46 -

4. 2. 3. PAHs 成分

平成 21(2009)～平成 24(2012)年度には、ハイボリウムエアサンプラーで採取した粉じん中の PAHs の分析を行っている。分析成分は、ベンゾ[a]アントラセン、クリセン、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[k]フルオランテン、ベンゾ[e]ピレン、ベンゾ[a]ピレン、ジベンゾ[a, c]アントラセン、インデノ[123cd]ピレン、ジベンゾ[a, h]アントラセン、ベンゾ[ghi]ピセン、コロネンの 11 種類である。サンプルは、黄砂日を中心に 66 件である。

表 4-2-5 に、PAHs 各成分の平均と最大を示す。また、全データの成分別濃度グラフを採取日順に、図 4-2-7 に成分の構成グラフとともに示す。成分として平均で最も多いのはベンゾ[b]フルオランテンである。

PAHs として濃度が高かった事例は、平成 21(2009)年 3 月 17～19 日の松江、富山、平成 23(2011)年 5 月 13～15 日の長崎、平成 24(2012)年 4 月 23～25 日の太宰府、松江、平成 25(2013)年 3 月 19～20 日の太宰府、松江などである（図中の赤字）。

表 4-2-5 PAHs 各成分の平均と最大

	TSP	Benzo(a)anthracene	Chrysene	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(k)fluoranthene	Benzo(e)pyrene	Benzo(a)pyrene	Dibenz(a,c)anthracene	Indeno(1,2,3cd)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene	Benzo(ghi)perylene	Coronene	PAHs
平均	78	63	170	260	99	160	130	5.6	170	20	200	74	1400
最大	295	230	540	1100	420	840	570	52	860	110	1100	350	6200

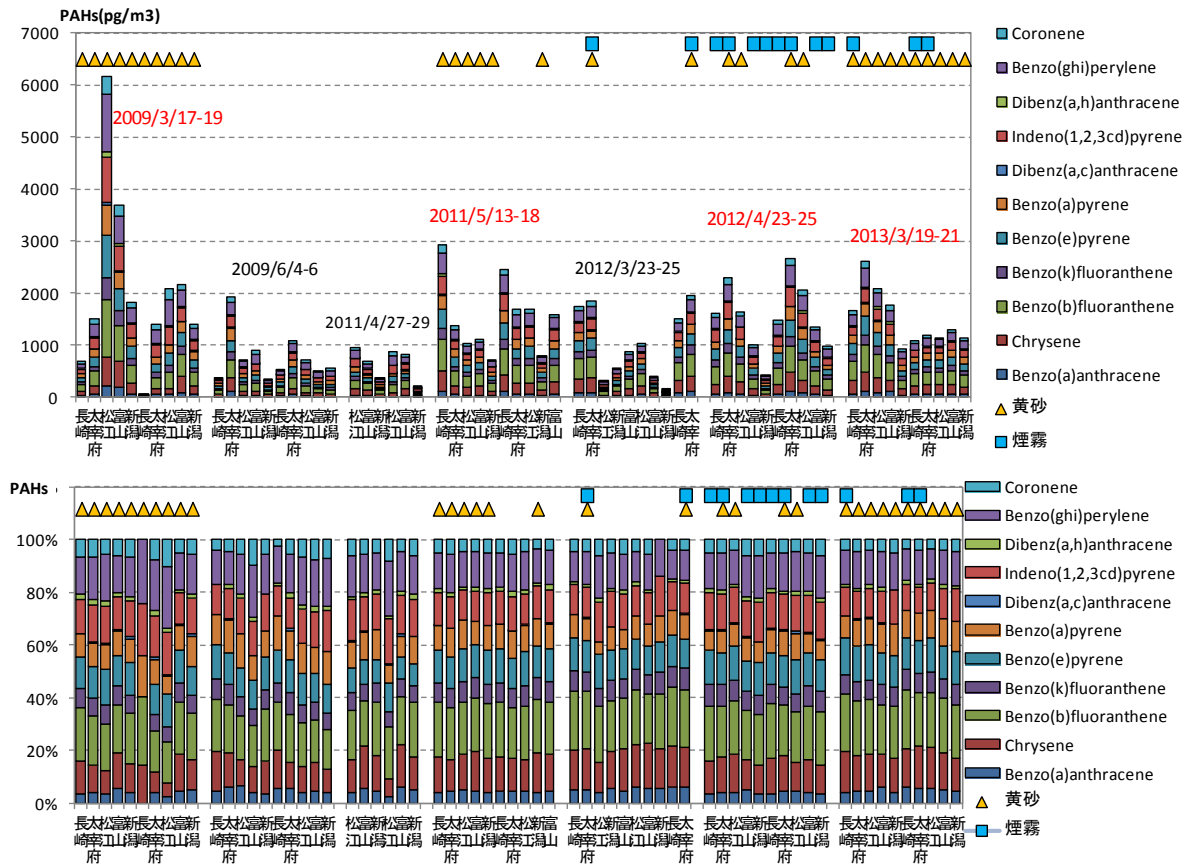


図 4-2-7 PAHs 成分別濃度と組成

平成 21(2009)年 3 月 17～19 日は、黄砂観測が 40 地点以上で全国規模の黄砂である（5.2.大規模黄砂の事例(9)K11 p. 74 参照）。PAHs 濃度は松江で非常に高く、次に富山で高い。後方流跡線は、松江はモンゴル方面、富山、福岡は沿岸部からの流れになっており、また、硫酸イオンの上昇もやや高く、混在黄砂と考えられる。

平成 23(2011)年 5 月 13～15 日は、九州から東北まで 39 地点で黄砂が観測され、大宰府で硫酸イオン濃度があまり上昇していないので単純黄砂と考えているが（5.2.大規模黄砂の事例(14)K16p. 82 参照）、PAHs の高濃度から黄砂が沿岸部を通過する過程で混在黄砂となった可能性も考えられる。

平成 24(2012)年 4 月 23～24 日の状況は、黄砂は西日本を中心に 20 地点以上で観測されているが、煙霧も 15 地点以上で観測され、太宰府での硫酸イオン濃度の上昇、PM_{2.5} の高濃度などから混在黄砂と考えられる（3.4.平成 24 年度の黄砂飛来状況(3) p. 16 参照）。

平成 25(2013)年 3 月 19～20 日は、30 地点近くで黄砂が観測されており、北陸での後方流跡線のモンゴルの通過、福岡での沿岸部からの流れ、硫酸イオン濃度の上昇などから、混在黄砂と考えられる（3.4.平成 24 年度の黄砂飛来状況(10) p. 30 参照）。

表 4-2-6 に PAHs の分析項目について成分間の相関行列を示す。いずれの項目もお互いに高い相関係数を示しており、成分による挙動の大きな違いはみられていない。

表 4-2-6 PAHs 成分の成分間相関

	TSP	Benzo(a)anthracene	Chrysene	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(k)fluoranthene	Benzo(e)pyrene	Benzo(a)pyrene	Dibenz(a,c)anthracene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene	Benzo(ghi)perylene	Coronene	PAHs
TSP	1												
Benzo(a)anthracene	0.285	1											
Chrysene	0.419	0.954	1										
Benzo(b)fluoranthene	0.383	0.943	0.957	1									
Benzo(k)fluoranthene	0.354	0.957	0.950	0.993	1								
Benzo(e)pyrene	0.345	0.910	0.900	0.983	0.984	1							
Benzo(a)pyrene	0.321	0.953	0.910	0.964	0.977	0.972	1						
Dibenz(a,c)anthracene	0.135	0.782	0.702	0.835	0.857	0.889	0.873	1					
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.281	0.878	0.843	0.949	0.957	0.974	0.944	0.926	1				
Dibenz(a,h)anthracene	0.279	0.889	0.832	0.931	0.946	0.960	0.954	0.934	0.967	1			
Benzo(ghi)perylene	0.255	0.835	0.782	0.915	0.924	0.962	0.924	0.927	0.987	0.956	1		
Coronene	0.244	0.804	0.743	0.871	0.883	0.914	0.875	0.872	0.963	0.913	0.978	1	
PAHs	0.335	0.938	0.919	0.988	0.992	0.993	0.979	0.889	0.982	0.964	0.962	0.927	1

黄砂観測時で且つ TSP 濃度が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度を示したとき（14 件）と、黄砂非観測時で且つ TSP 濃度が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度のとき（24 件）のそれぞれの PAHs 各成分の濃度について、濃度範囲を含めて図 4-2-8 に示す。黄砂時には濃度のばらつきは大きいものの、非黄砂時に比較して濃度の上昇がみられている。成分では、ベンゾ[k]フルオランテン、ベンゾ[ghi]ピレンの濃度が高くなっている。

また、黄砂観測時で且つ TSP 濃度が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度を示したときを、単純黄砂（5 件）と混在黄砂（9 件）に分けて、各成分の濃度を比較して、図 4-2-9 に示す。混在黄砂がおおむね 1.5 倍程度高くなっている。

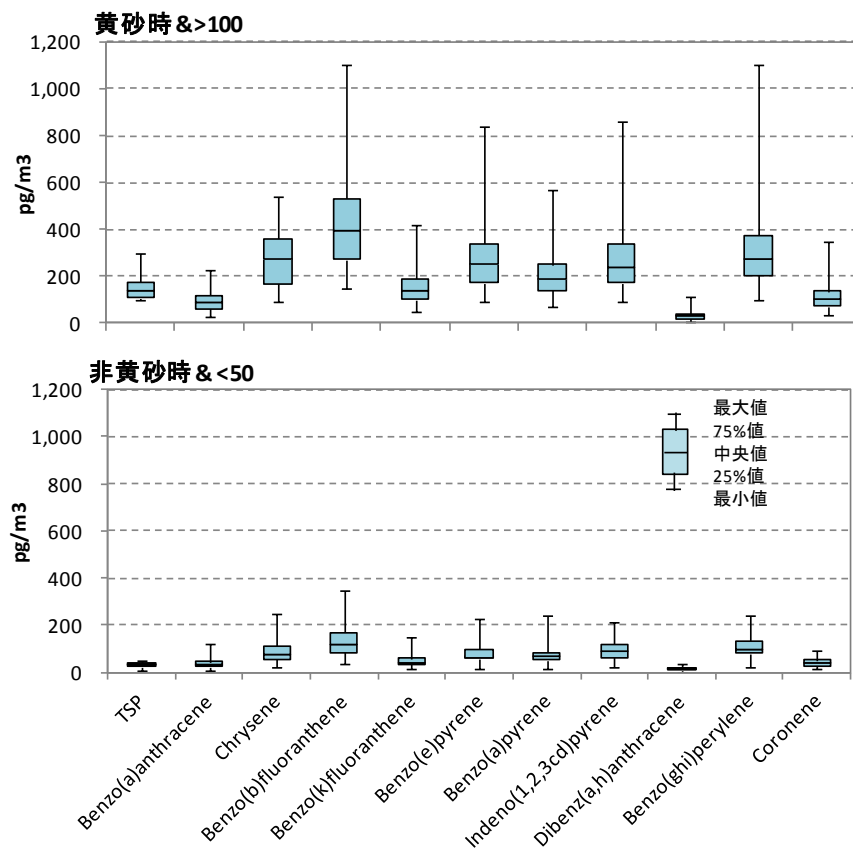


図 4-2-8 黄砂時&TSP>100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と非黄砂時&TSP<50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ での PAHs 各成分の比較

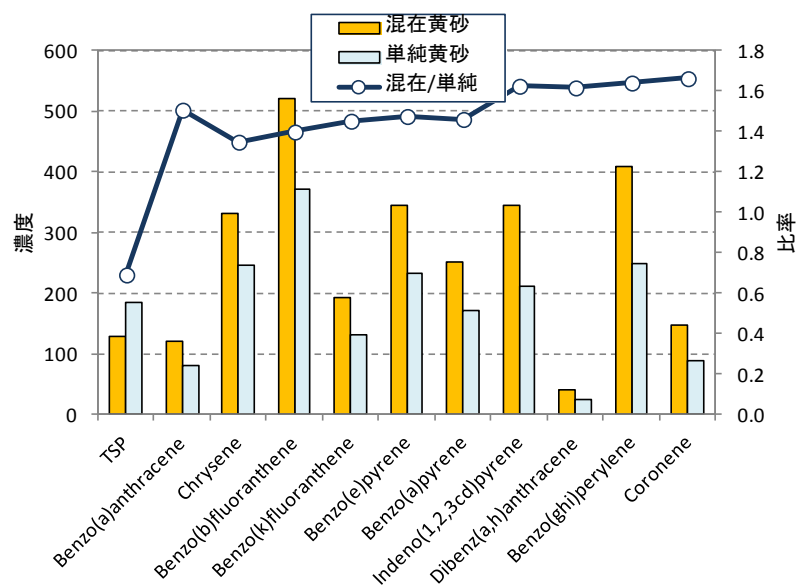


図 4-2-9 黄砂時&TSP>100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で単純黄砂と混在黄砂での PAHs 各成分の比較

PAHs（合計量）が相対的に高い日（ 2000pg/m^3 超の 11 件）の後方流跡線をまとめて図 4-2-10 に示している。黄砂時特有のモンゴル方向からの流れが主なものであるが、北京、遼東半島、韓国を経由してきているものが多い。また、中国沿岸部からの流れも数例みられている。

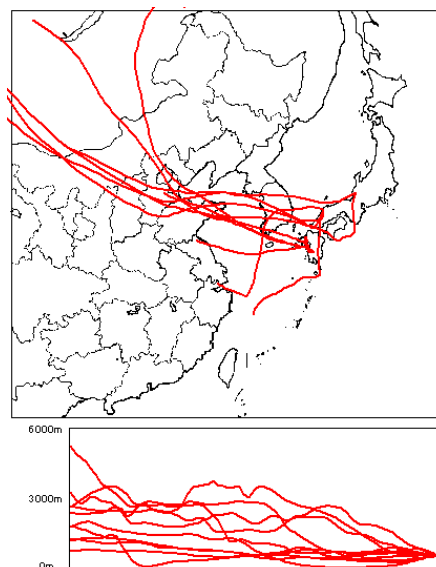


図 4-2-10 PAHs が 2000pg/m^3 を超えた日の後方流跡線

PAHs の日本での平均的な濃度と比較するために、全国で毎月実施されている有害大気汚染物質調査によるベンゾ(a)ピレンのデータを引用した。平成 19(2007)～平成 23(2011)年度の 5 年間平均値を、黄砂調査での採取地点別に図 4-2-11 に示す。福岡で最も高く 200pg/m^3 を超えているが、その他の地点は 100pg/m^3 以下であり、黄砂飛来時に PAHs の濃度が高くなることが分かる。

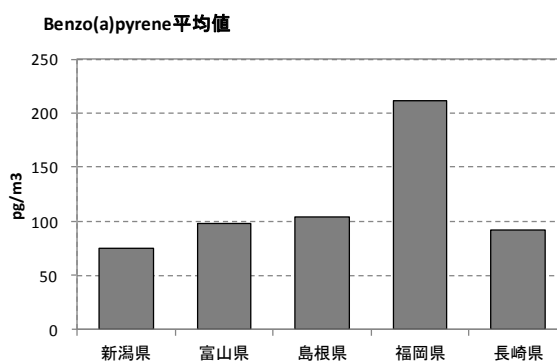


図 4-2-11 全国有害大気汚染物質調査によるベンゾ(a)ピレンの地点別平均濃度（2007～2011 年度）

4.2.4. 農薬成分

農薬類は、平成 20(2008)～平成 22(2010)年度にハイボリウムエアサンプラーにポリウレタンフォーム及び活性炭繊維フェルトをろ紙の後段に装着した装置で採取した。この間、計 36 件採取し、ジクロロボス、 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH、ダイアジノン、クロロタロニル、フェニトロチオン、クロルピリホス、プロチオホス、エンドリン、 o,p' DDE、 p,p' DDE、 o,p' DDD、 p,p' DDD、 o,p' DDT、 p,p' DDT の 17 種について分析を行った。

表 4-2-7 に成分ごとの平均値と最大値を示す。濃度が高いのは、ジクロロボス、フェニトロチオン、ダイアジノンである。

表 4-7-8 には、成分間の相関行列を示す。

表 4-2-9 に平成 22 年度の POPs モニタリング調査での結果を示しているが、今回の農薬類の結果では、黄砂による顕著な濃度上昇は観測されず、国内での平均的な濃度との差もみられなかった。

表 4-2-7 農薬各成分の平均と最大

	dicolboss	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	daiajinon	clorotanitu	fenitoto	clorpirihos	op' -DDE	pp' -DDE	burotiohos	endrin	op' -DDD	pp' -DDD	op' -DDT	pp' -DDT
平均	150	28	1.7	7.3	0.54	86	43	130	5.1	0.39	2.80	12	1.0	0.058	0.056	0.90	1.4
最大	3700	61	3.9	16	1.5	2300	560	1300	32	1.9	9.90	330	17	0.50	0.60	3.1	7.3

表 4-2-8 農薬類の成分間相関

	dicolboss	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	daiajinon	clorotanitu	fenitoto	clorpirihos	op' -DDE	pp' -DDE	burotiohos	endrin	op' -DDD	pp' -DDD	op' -DDT	pp' -DDT
dicolboss	1																
α -HCH	0.364	1															
β -HCH	0.469	0.864	1														
γ -HCH	0.338	0.951	0.808	1													
δ -HCH	0.388	0.820	0.813	0.866	1												
daiajinon	0.105	0.284	0.430	0.198	0.302	1											
clorotanitu	0.354	0.446	0.390	0.296	0.386	0.491	1										
fenitoto	0.868	0.359	0.533	0.318	0.378	0.145	0.120	1									
clorpirihos	0.267	0.407	0.455	0.520	0.574	0.340	0.168	0.223	1								
op' -DDE	-0.059	0.109	0.154	0.149	0.121	0.130	0.053	-0.033	0.042	1							
pp' -DDE	0.296	0.649	0.825	0.555	0.635	0.705	0.405	0.429	0.447	0.212	1						
burotiohos	0.040	0.344	0.361	0.244	0.353	0.005	0.178	0.302	0.140	-0.041	0.316	1					
endrin	-0.077	-0.153	-0.107	-0.178	-0.101	-0.019	-0.078	-0.065	-0.127	-0.096	0.132	-0.025	1				
op' -DDD	0.096	0.607	0.633	0.516	0.614	0.737	0.470	0.173	0.311	0.276	0.764	0.259	-0.098	1			
pp' -DDD	-0.048	0.486	0.582	0.439	0.528	0.747	0.330	-0.012	0.408	0.210	0.704	0.078	-0.071	0.891	1		
op' -DDT	0.218	0.725	0.832	0.678	0.757	0.714	0.488	0.279	0.503	0.344	0.916	0.251	-0.051	0.844	0.777	1	
pp' -DDT	0.134	0.637	0.771	0.531	0.589	0.776	0.506	0.202	0.451	0.173	0.867	0.283	-0.073	0.872	0.904	0.883	1

表 4-2-9 平成 22 年度環境省 POPs モニタリング調査（大気）の結果

	dicolboss	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	daiajinon	clorotanitu	fenitoto	clorpirihos	op' -DDE	pp' -DDE	burotiohos	endrin	op' -DDD	pp' -DDD	op' -DDT	pp' -DDT
平均	-	46	5.6	14	1.4	-	-	-	-	0.49	4.9	-	-	0.21	0.20	2.2	3.5
最大	-	280	34	66	25	-	-	-	-	9	200	-	-	1.8	1.7	26	56

4.3. 成分濃度による黄砂の分類 [試算]

過去に TSP 中の成分として分析した金属類、イオン類を用い、PMF 法によって発生源の寄与を推定する方法について検討した。PMF (Positive Matrix Factorization)法は、発生源寄与濃度の推定に用いられる多変量モデルで、環境成分濃度データを統計解析処理することによって、発生源に關与する因子のプロファイルと寄与を導き出すことができる。

使用データは、HV 採取による分析データで、TSP、Mg、Al、Ca、Fe、Sr、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺ の 12 種である。解析対象は、平成 15(2003)年 3 月～18(2006)年 4 月の計 205 件で、計算ソフトは、EPA-PMF3.0²⁶⁾を使用した。

因子数を 5 として計算した時の因子プロファイルを図 4-3-1 に示す。この結果から、各プロファイルの発生源種類を推定すると、Factor1 は NO₃⁻で高く硝酸塩系の二次粒子、Factor2 は Al、Fe、Mg、Ca、Sr の金属類で土壌系（主に黄砂）、Factor3 は NH₄⁺、SO₄²⁻で高く硫酸塩系の二次粒子、Factor4 は Na⁺、Cl⁻ で海塩粒子、Factor5 は K⁺でバイオ燃焼と想定される。

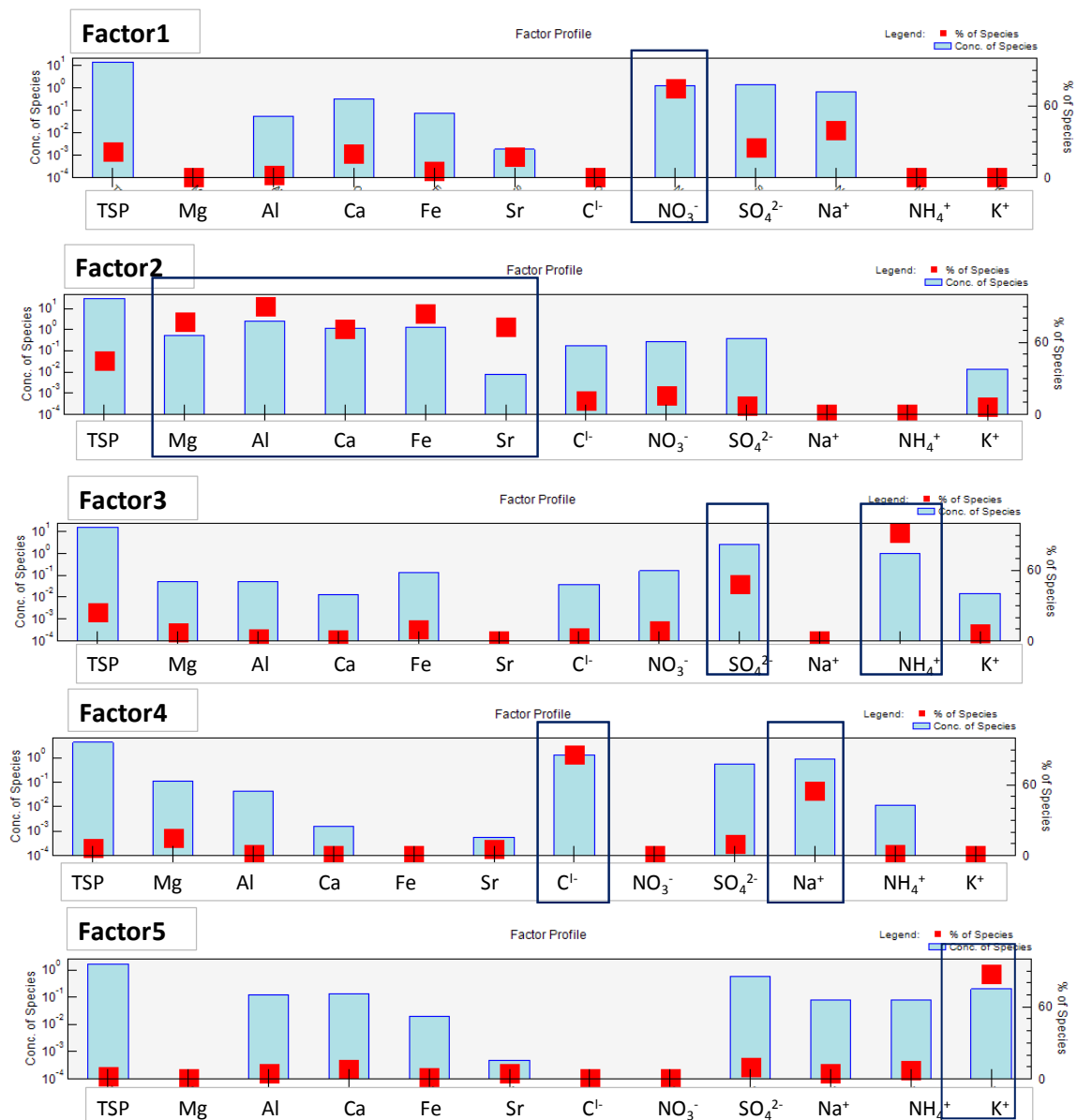


図 4-3-1 PMF 法による発生源プロファイル

各サンプルごとの寄与濃度合計と TSP 実測濃度との散布図を図 4-3-3 に示す。おおむね実測濃度に対応した濃度が得られている。

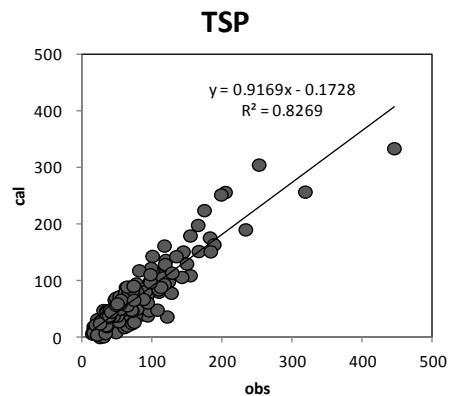


図 4-3-3 TSP 濃度実測値と計算値の相関

The figure consists of three stacked bar charts showing TSP concentration (ug/m³) by location and date for three periods. The locations are: 長崎 (Nagasaki), 太宰府 (Taizai), 松山 (Matsuyama), 大分 (Oita), 立山 (Tateyama), 巻 (Maki), つくば (Tsukuba), and 札幌 (Sapporo). The legend identifies five factors: Factor 5 (植物燃焼) in grey, Factor 4 (道路) in dark blue, Factor 3 (硫酸塩系二次) in light blue, Factor 1 (硝酸塩系二次) in pink, and Factor 2 (土壌系(黄砂)) in yellow.

2003年3月～2004年3月

2003/03/25, 2003/03/30-31, 2004/02/24-27, 2004/03/10-11

2004年3月～2005年4月

2004/03/30, 2004/04/23, 2004/05/06, 2005/03/18, 2005/03/29-30, 2005/04/07

2005年4月～2006年4月

2005/04/15, 2005/04/21, 2005/04/28, 2006/03/11, 2006/03/28, 2006/04/06, 2006/04/18-19

図 4-3-4 サンプルごとの発生源寄与推定

平成 16(2004)年 3 月 10～11 日は、北海道を含めた全国 35 か所で黄砂が観測され、SPM も $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す地点が多く存在する比較的大きな黄砂である (5.2. 大規模黄砂の事例 (17) K02 p. 88 参照)。硫酸イオン濃度もあまり高くなく、全体として単純黄砂と考えられる。PMF 法での寄与推定では、TSP 濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超した巻 (新潟) や立山 (富山) で 70%以上が土壌系 (黄砂) 寄与と考えられる。

同様に、平成 18(2006)年 4 月 6～7 日も観測が 40 地点を超し、SPM 濃度も $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い地点がみられる非常に大きな黄砂である (5.2. 大規模黄砂の事例 (4) K05 p. 64 参照)。この事例は、硫酸イオン濃度や後方流跡線を含めて、前例と同じように単純黄砂と考えられる。PMF 法での発生源寄与では TSP が $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超した松江 (島根)、犬山 (愛知) で 70%近くが土壌系 (黄砂) 寄与と考えられる。

一方、平成 16(2004)年 5 月 6～8 日は西日本で硫酸塩系二次粒子の割合が大きくなっている。この時の黄砂・煙霧観測状況と後方流跡線を図 4-3-5 に示した。黄砂の観測は 14 地点で、併せて煙霧も関東から東北を中心に 22 地点で観測されている。また、後方流跡線も新潟でモンゴル方向、西日本で沿岸部からの流れがみられている。PMF 法での寄与推定では、西日本で硫酸塩系二次粒子の寄与が 80%以上と高い割合となり、巻 (新潟) では土壌系 (黄砂) が 80%以上となり、地域で分かれた様相であることがうかがえる。

このように、成分濃度を元にした PMF 法の解析を行うことによって、黄砂における汚染質混在の様子について、ある程度、定量的な判断を加味することが期待できる。

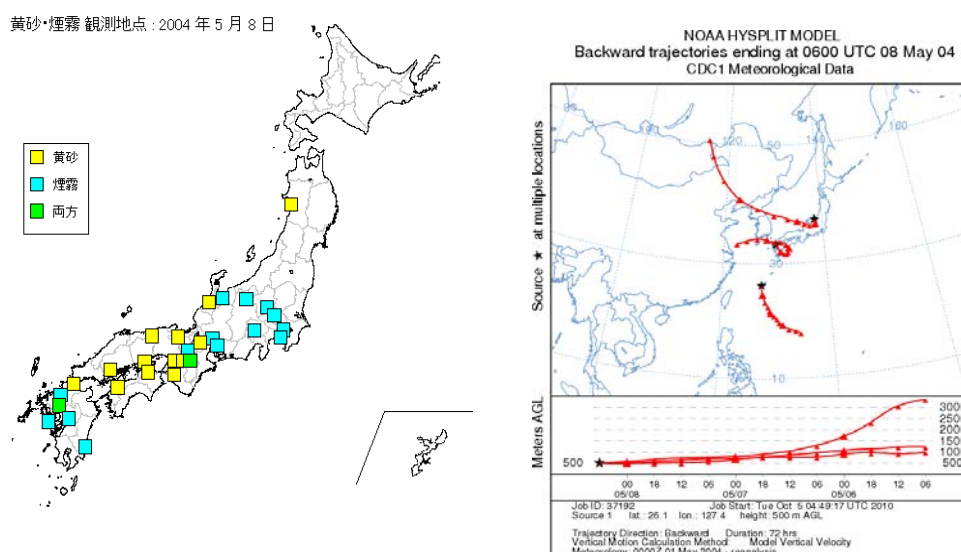


図 4-3-5 2004 年 5 月 6～8 日の黄砂・煙霧観測状況と後方流跡線

5. 大規模な黄砂・煙霧の事例解析

黄砂は、個々の事例によって、発生位置、経路、広がり、濃さ、成分など様々な形態がある。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。そこで、一度発生すると環境への影響が大きくなると考えられる大規模な黄砂・大規模な煙霧について、共通性の抽出を試みた。日本全体での黄砂観測地点が約 60 地点であることから、その過半である 31 地点以上で観測された事象を大規模黄砂・煙霧として取り扱うこととした。

5.1. 平成 15 (2003) ～24 (2012) 年度の黄砂観測日

平成 15 (2003) 年度から平成 24 (2012) 年度の 10 年間に気象台が観測した全ての黄砂を表 5-1-1 に示す。10 年間で 254 日観測されており、連続した日を 1 事例とすると、85 事例となる。

このうち、31 地点以上観測した日の事例は 17 事例である (表中の黄色)。

表 5-1-1 (1) 10 年間の気象台黄砂観測日 (2003 年度～2005 年度)

年度	No.	期日			黄砂 観測 点数	黄砂の規模				煙霧 観測 点数
		年	月	日		SPM平 均濃度	県 数	SPM 積算	SPM積 算合計	
2003	1	2003	4	1	1	32.6	1	33		10
	2	2003	4	12	1			0		1
	3	2003	4	13	31	49.8	28	1394		19
	4	2003	4	14	18	52.7	17	896		12
	5	2003	4	15	10	44.7	9	402		9
	6	2003	4	16	2	45.6	2	91		13
	7	2003	4	17	2	42.3	2	85		13
	8	2004	2	26	8	27.9	8	223		12
	9	2004	2	27	2	73.3	1	73		1
	10	2004	2	28	2	52	1	52		3
	11	2004	2	29	1			0		7
	12	2004	3	11	24	45.2	13	588		9
	13	2004	3	12	35	32.8	26	853		3
	14	2004	3	13	9	26.7	8	214		5
	15	2004	3	14	9	38.2	8	306		1
	16	2004	3	15	13	52.3	11	575		4
	17	2004	3	16	10	49.9	10	499		7
	18	2004	3	17	4	37.8	4	151		14
	19	2004	3	30	3	22.5	3	68		4
	20	2004	3	31	26	29.2	22	642		1
2004	21	2004	4	1	5	29	5	145		1
	22	2004	4	2	2	31.2	2	62		4
	23	2004	4	3	23	46.1	21	968		3
	24	2004	4	4	5	20.2	5	101		5
	25	2004	4	16	1	19.2	1	19		4
	26	2004	4	17	19	47.5	18	855		6
	27	2004	4	18	16	47.7	16	763		4
	28	2004	4	19	2	39.5	2	79		11
	29	2004	4	20	2	55.6	1	56		6
	30	2004	4	21	23	43.1	20	862		5
	31	2004	4	22	34	58.5	29	1697		11
	32	2004	4	23	17	41.4	15	621		15
	33	2004	4	24	1	19.3	1	19		2
	34	2004	5	7	14	50.7	14	710		22
	35	2004	5	8	15	53.4	15	801		16
	36	2004	5	9	1	21	1	21		14
	37	2004	5	11	2	29.1	2	58		8
	38	2005	2	23	24	40.2	23	925		4
	39	2005	2	24	16	45	15	675		6
	40	2005	3	18	11	32.3	7	226		10
	41	2005	3	19	2	21.9	1	22		1
	42	2005	3	24	2	17.5	1	18		8
	43	2005	3	29	2	26.3	1	26		1
2005	44	2005	4	1	4	46.8	3	140		1
	45	2005	4	2	1	45.8	1	46		6
	46	2005	4	3	6	30.8	2	62		13
	47	2005	4	4	2			0		1
	48	2005	4	5	1	23.4	1	23		3
	49	2005	4	6	7	44	2	88		11
	50	2005	4	7	1	41.1	1	41		3
	51	2005	4	11	1			0		0
	52	2005	4	12	1			0		0
	53	2005	4	13	3	39.3	3	118		2
	54	2005	4	14	13	39.9	8	319		5
	55	2005	4	15	28	44	19	836		10
	56	2005	4	16	21	48.9	18	880		25
	57	2005	4	17	8	30.9	6	185		14
	58	2005	4	18	1	34.8	1	35		4
	59	2005	4	20	9	27.6	8	221		1
	60	2005	4	21	38	34.7	32	1110		3
	61	2005	4	22	25	27.7	22	609		2
	62	2005	4	23	4	24.3	4	97		0
	63	2005	4	29	2	23.8	1	24		14
	64	2005	4	30	3	37.6	3	113		11
	65	2005	5	1	2	29.1	2	58		10
	66	2005	5	12	7	53	7	371		7
	67	2005	5	13	7	35	6	210		1
	68	2005	6	2	1			0		15
	69	2005	11	7	24	47.8	16	765		11
	70	2005	11	8	29	35.5	22	781		1
	71	2005	11	9	12	29.4	8	233		1
	72	2005	11	10	1	45.9	1	46		4
	73	2006	3	11	3	44.1	3	132		12
	74	2006	3	12	4	48.1	4	192		7
	75	2006	3	17	1			0		4
	76	2006	3	18	1			0		4
	77	2006	3	19	10	26.9	5	135		9
	78	2006	3	21	3	23.2	2	46		1
	79	2006	3	23	21	40.5	18	729		4
	80	2006	3	24	11	26.4	10	264		1
	81	2006	3	25	1	28.7	1	29		0
	82	2006	3	26	1	26.1	1	26		6
	83	2006	3	27	1	29.3	1	29		10
	84	2006	3	28	15	54.2	9	488		15
	85	2006	3	29	8	16.3	4	65		5
	86	2006	3	30	4	28.8	3	86		0
	87	2006	3	31	1			0		1

表 5-1-1 (2) 10 年間の気象台黄砂観測日 (2006 年度～2012 年度)

年度	No.	期日			黄砂観測 点数	黄砂の規模				煙霧観測 点数
		年	月	日		SPM平均濃度	県数	SPM積算	SPM積算合計	
2006	88	K05	2006	4	1	1		0		3
	89		2006	4	2	1		0	15	
	90		2006	4	3	14	33.7	12	404	7
	91		2006	4	4	14	45.1	14	631	12
	92		2006	4	5	1	26	1	26	2
	93		2006	4	6	1	34.8	1	35	1
	94		2006	4	7	1	26	1	26	3
	95	2006	4	8	41	94.3	35	3301	8	
	96	2006	4	9	29	69.9	26	1817	3	
	97	2006	4	10	9	52	9	468	3	
	98	K06	2006	4	17	3	24	3	72	1
	99		2006	4	18	43	52.3	36	1883	8
	100		2006	4	19	32	48.4	24	1162	18
	101		2006	4	20	2	27.1	2	54	5
	102	2006	4	21	1	26.3	1	26	1	
	103	K07	2006	4	24	42	86.1	37	3186	12
	104		2006	4	25	44	50.3	37	1861	8
	105		2006	4	26	3	33.6	2	67	1
	106		2006	4	27	4	37.3	1	37	6
	107		2006	4	29	9	39.8	8	318	9
	108		2006	4	30	25	44.8	23	1030	6
	109		2006	5	1	24	51.4	22	1131	7
110		2006	5	2	6	36	6	216	4	
111		2006	5	3	2	17.1	2	34	3	
112		2006	5	5	1	28.8	1	29	29	
113		2007	2	23	5	35.4	5	177	3	
114		2007	2	24	3	21.2	3	64	0	
115		2007	3	25	1			0	6	
116		2007	3	26	7	40.5	6	243	6	
117		2007	3	27	11	36.7	9	330	6	
118		2007	3	28	30	40.6	27	1096	12	
119		2007	3	29	17	43.3	17	736	4	
120		2007	3	30	8	36.2	8	290	3	
121		2007	3	31	3	34.9	3	105	4	
2007	122	K08	2007	4	1	43	69.3	37	2564	15
	123		2007	4	2	53	110.1	43	4734	10
	124		2007	4	3	29	21.9	25	548	1
	125		2007	4	9	2	38	1	38	38
	126		2007	4	16	7	35	5	175	7
	127		2007	4	17	4	44.7	1	45	175
	128		2007	4	18	1				1
	129		2007	4	21	2	32.9	1	33	3
	130		2007	4	22	3	33.4	3	33	66
	131		2007	4	26	3	49	3	147	19
	132		2007	4	27	2	79.1	2	158	305
	133		2007	5	9	1	53.2	1	53	28
	134		2007	5	14	7	41.9	7	293	2
	135		2007	5	15	7	66.8	7	468	3
	136		2007	5	16	6	59.7	6	358	4
	137		2007	5	17	10	45.4	8	363	3
	138		2007	5	18	6	49.3	4	197	0
	139		2007	5	19	4	38.4	2	77	2
	140	K09	2007	5	26	50	67.2	40	2688	1
	141		2007	5	27	46	62.1	39	2422	0
	142		2007	5	28	12	33.7	12	404	1
	143		2007	5	29	2	38.8	2	78	5
144	2007		5	30	3	36.4	2	73	5	
145	2007	5	31	1			0	1		
146		2008	3	2	1	32	1	32	2	
147	K10	2008	3	3	44	47.7	35	1670	2164	
148		2008	3	4	25	23.1	20	462	3	
149		2008	3	17	8	43.3	7	303	663	
150		2008	3	18	10	45	8	360	11	
151		2008	3	23	1	24.3	1	24	69	
152		2008	3	24	2	44.4	1	44	4	
2008	153		2008	4	26	2	41	2	82	82
	154		2008	5	31	3	56.9	3	171	3
	155		2008	6	1	2	39.6	2	79	250
	156		2009	2	11	13	37.1	10	371	10
	157		2009	2	12	19	58.7	18	1057	6
	158		2009	2	13	5	48.4	5	242	12
	159		2009	2	15	3	18.2	3	55	55
	160		2009	2	20	11	26.5	10	265	2
	161		2009	2	21	23	33.4	20	668	933
	162		2009	2	22	1	32.9	1	33	2
	163		2009	3	10	1	24.9	1	25	25
	164	K11	2009	3	16	27	29.8	20	596	1
	165		2009	3	17	46	46.8	40	1872	3
	166		2009	3	18	41	42.1	36	1516	2
	167		2009	3	19	4	37.6	4	150	4

年度	No.	期日			黄砂観測 点数	黄砂の規模				煙霧観測 点数
		年	月	日		SPM平均濃度	県数	SPM積算	SPM積算合計	
2009	168		2009	4	25	9	18.8	6	113	2
	169		2009	4	26	2	21.3	1	21	134
	170		2009	5	8	2	41.8	2	84	84
	171		2009	5	19	1	27.6	1	28	28
	172		2009	10	19	6	31.1	5	156	1
	173		2009	10	20	3	38.8	1	39	3
	174		2009	10	21	2	25	2	50	0
	175		2009	10	22	2	25	2	50	1
	176		2009	12	26	29	48.4	24	1162	16
	177		2009	12	27	1	26.6	1	27	1188
	178		2010	3	13	14	32.6	13	424	2
	179		2010	3	14	5	26.9	5	135	3
	180		2010	3	16	27	32.8	25	820	2
	181		2010	3	17	3	18.8	3	56	876
	182	K12	2010	3	20	5	66	5	330	13
	183		2010	3	21	63	98.7	47	4639	10
	184		2010	3	22	6	58.9	2	118	0
	185		2010	3	23	6	88.8	1	89	2
186	2010		3	24	4	22.8	1	23	0	
187			2010	4	2	9	34	3	102	218
188		2010	4	3	5	29	4	116	0	
189		2010	4	27	13	26	12	312	0	
190		2010	4	28	5	27	3	81	0	
191		2010	4	29	6	26	3	78	3	
192		2010	4	30	23	34	21	714	0	
193		2010	5	1	11	37	10	370	1	
194		2010	5	2	1	37	1	37	0	
195	K13	2010	5	3	11	47	10	470	1	
196		2010	5	4	32	51	31	1581	5	
197		2010	5	5	27	57	26	1482	1	
198		2010	5	6	6	35	6	210	1	
199		2010	5	9	2	27	2	54	54	
200		2010	5	11	1	19	1	19	97	
201		2010	5	12	3	26	3	78	1	
202		2010	5	20	2	73	2	146	7	
203		2010	5	21	24	61	23	1403	2620	
204		2010	5	22	22	51	21	1071	9	
205		2010	5	24	4	47	3	141	3	
206		2010	5	25	21	42	20	840	1023	
207		2010	5	26	3	21	2	42	4	
208	K14	2010	11	12	37	63	36	2268	8	
209		2010	11	13	30	88	29	2552	9	
210		2010	11	14	29	65	28	1820	10	
211		2010	11	15	14	21	14	294	4	
212			2010	12	3	30	23	25	575	0
213		2010	12	4	5	21	1	21	611	
214		2010	12	5	1	15	1	15	1	
215		2010	12	11	13	35	13	455	484	
216		2010	12	12	1	29	1	29	0	
217		2010	12	23	6	31	6	186	2	
218		2010	12	24	3	23	3	69	255	
219		2011	3	20	2	69	2	138	138	
220		2011	3	22	10	22	10	220	220	
221		2011	4	10	1	27	1	27	2	
222		2011	4	11	7	40	3	120	167	
223		2011	4	12	4	20	1	20	1	
224	K15	2011	5	1	14	56	14	784	10	
225		2011	5	2	43	96	40	3840	6	
226		2011	5	3	38	95	37	3515	0	
227		2011	5	4	29	65	28	1820	3	
228		2011	5	5	16	36	15	540	0	
229		K16	2011	5	13	39	47	33	1551	2
230	2011		5	14	14	39	13	507	2	
231	2011		5	16	1	21	1	21	21	
232	2011		6	4	2	37	2	74	74	
233		2012	3	24	12	30	8	240	240	
2012	234		2012	4	1	3	42	1	42	0
	235		2012	4	2	1	17	1	17	131
	236		2012	4	3	7	24	3	72	3
	237		2012	4	9	11	33	10	330	2
	238		2012	4	10	1	34	1	34	364
	239		2012	4	23	10	34	10	340	9
	240		2012	4	24	22	59	21	1239	2659
	241		2012	4	25	19	60	18	1080	15
	242		2012	5	16	1	37	1	37	2
	243		2012	5	17	3	41	3	123	

5. 2. 大規模黄砂の事例

気象台観測で 31 地点以上観測された大規模黄砂として抽出された 17 事例について、黄砂日の SPM 平均濃度と観測都道府県数を乗じて算出した黄砂の規模を示す指標で大きな順に並べると表 5-2-1 のようになる。大規模黄砂の時期は、3 月 5 事例、4 月 7 事例、5 月 4 事例と春がほとんどで、秋は 1 事例のみである。

以下、この順序に従って事例ごとにその概要を示す

表 5-2-1 2003～2012 年度の大規模黄砂事例

No.	事例番号	年	月	日	日数	黄砂地点数	煙霧地点数	黄砂の規模		
								SPM平均濃度	観測都道府県数	積算値
1	K08	2007	4	1-3	3	43	15	110	43	4734
2	K12	2010	3	20-24	5	63	13	99	47	4639
3	K15	2011	5	1-5	5	43	10	96	40	3840
4	K05	2006	4	1-10	10	41	15	94	35	3301
5	K07	2006	4	24-27	4	44	12	86	37	3186
6	K09	2007	5	26-31	6	50	5	67	40	2688
7	K14	2010	11	12-15	4	37	10	63	36	2268
8	K06	2006	4	17-21	5	43	18	52	36	1883
9	K11	2009	3	16-19	4	46	4	47	40	1872
10	K17	2013	3	8-11	4	31	8	57	30	1710
11	K03	2004	4	16-24	9	34	15	59	29	1697
12	K10	2008	3	2-3	2	44	3	48	35	1670
13	K13	2010	5	3-6	4	32	5	51	31	1581
14	K16	2011	5	13-14	2	39	2	47	33	1551
15	K01	2003	4	12-17	6	31	19	50	28	1394
16	K04	2005	4	20-23	4	38	3	35	32	1110
17	K02	2004	3	10-17	8	35	14	33	26	853

(1)平成 19 (2007) 年 4 月 1 日～3 日 (事例 K08)

西日本から東北まで 53 地点での広域的な黄砂の観測、全体での SPM 濃度の上昇など、過去 10 年間で最も規模が大きい黄砂といえる。SPM 濃度は九州で最高 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超している。モンゴル南部、内モンゴルで大きな砂塵嵐が発生しており、後方流跡線からも気流がこの地域を通過してきているのがわかる。CFORS の dust 予測でも日本全体を覆ったものになっている。福岡で硫酸イオン濃度が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を少し超しているものの全体としては低い状況であり、大きな単純黄砂と考えられる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2007 年 4 月 2 日

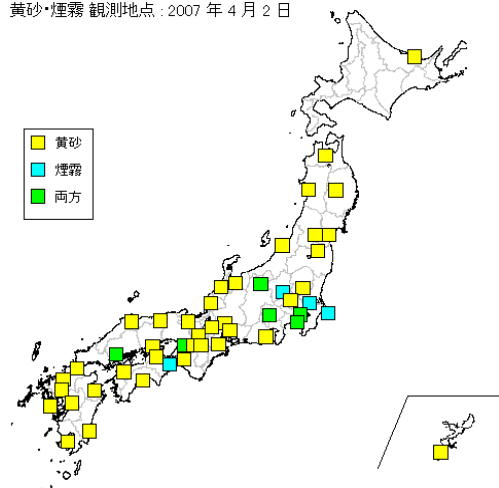
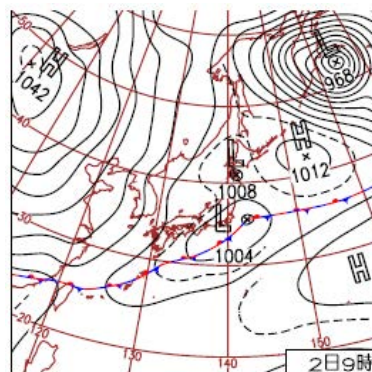


図 5-2-1-1 黄砂・煙霧観測地点



2日(月)黄砂続く

低気圧が東北北部と関東の東海上にあり前線が南岸に停滞。北海道や東北で雨。前日に続き東北～九州の広範囲で黄砂観測。熊本、広島、水戸など7官署でサクラ満開。

図 5-2-1-2 天気図

SPM Date: 2007 年 4 月 2 日 15 時

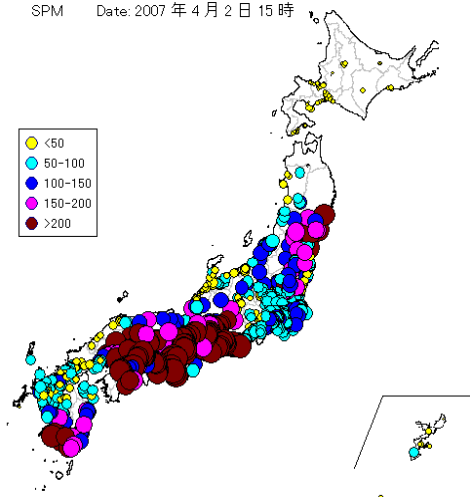


図 5-2-1-3 SPM 濃度全国分布

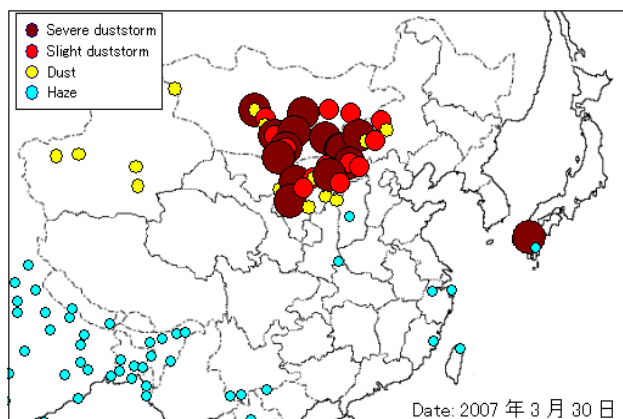


図 5-2-1-4 砂塵嵐発生状況

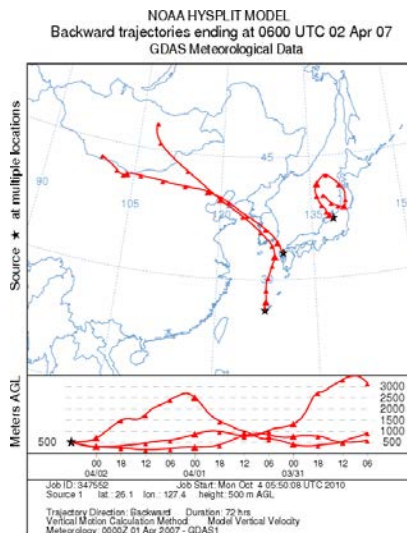


図 5-2-1-5 後方流跡線

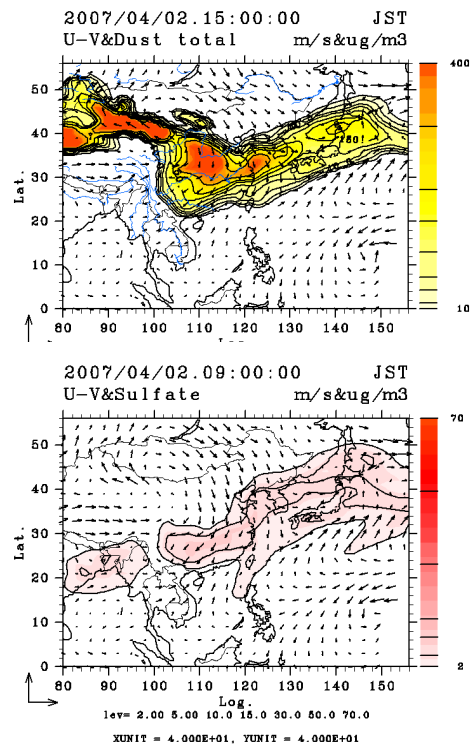


図 5-2-1-6 CFORS 予測結果

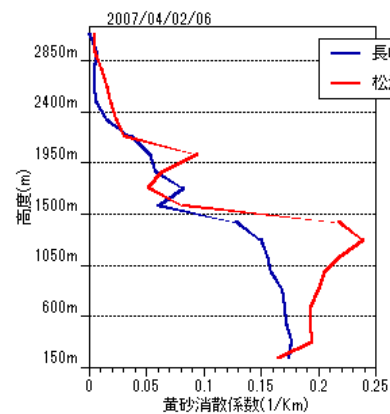
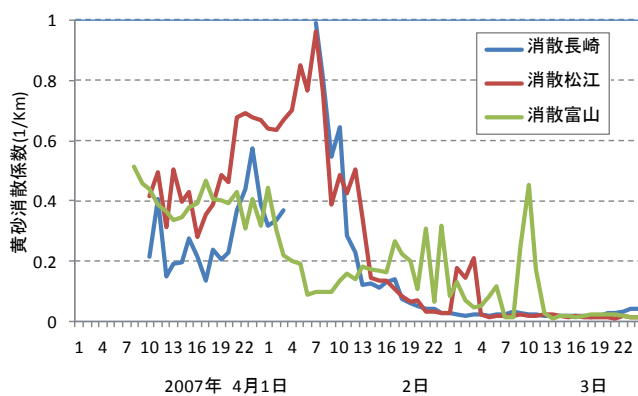


図 5-2-1-7 ライダ-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

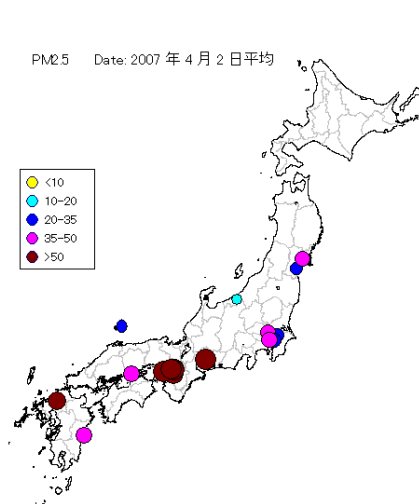


図 5-2-1-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

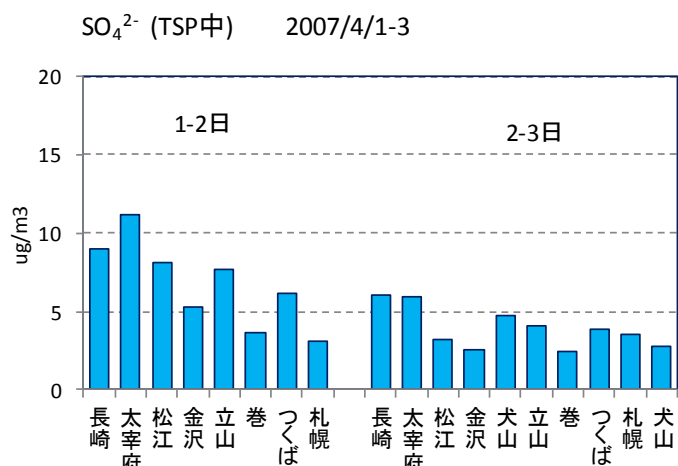


図 5-2-1-9 TSP 中硫酸イオン濃度(日値)

(2) 平成 22 (2010) 年 3 月 20 日～24 日 (事例 K12)

日本の全観測地点 (63 地点) で黄砂が観測され、SPM 濃度も最大で $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超すなど、事例 K08 と匹敵する大きな規模の黄砂である。しかし、継続時間は短く、ほぼ 1 日で日本を通過している。モンゴル中央部での大規模な砂塵嵐の発生と、そこを通過する後方流跡線が得られている。SPM 濃度が急上昇する直前に硫酸イオン濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで上昇しており、硫酸塩エアロゾルが先行して、その後大きな黄砂が飛来してきたものと考えられる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2010 年 3 月 21 日

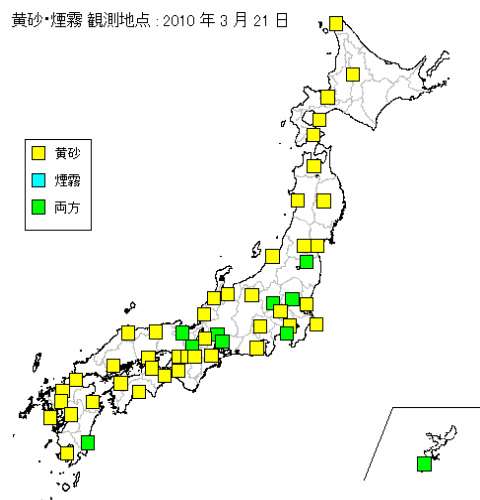
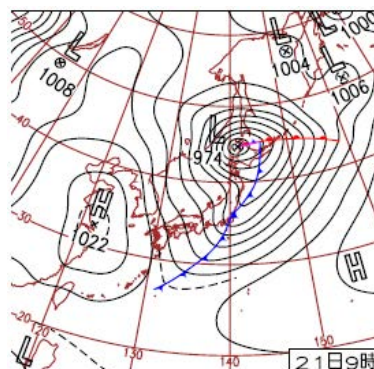


図 5-2-2-1 黄砂・煙霧観測地点



21日(日)北海道や関東で暴風
発達した低気圧の通過と寒冷前線の南下
により広い範囲で暴風や短時間的大雨。
千葉市中央区で最大瞬間風速38.1m/s、
神奈川県箱根町箱根67.0 mm/1h。また、
全国で黄砂を観測。

図 5-2-2-2 天気図

SPM Date: 2010 年 3 月 21 日 9 時

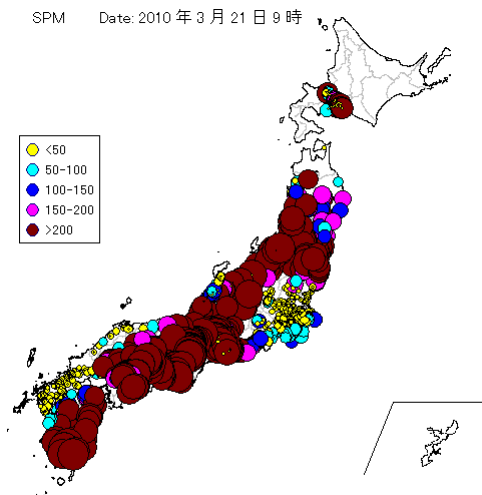


図 5-2-2-3 4 SPM 濃度全国分

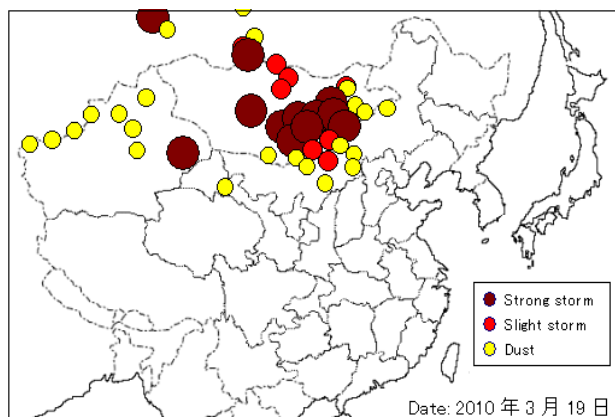


図 5-2-2-4 砂塵嵐発生状況

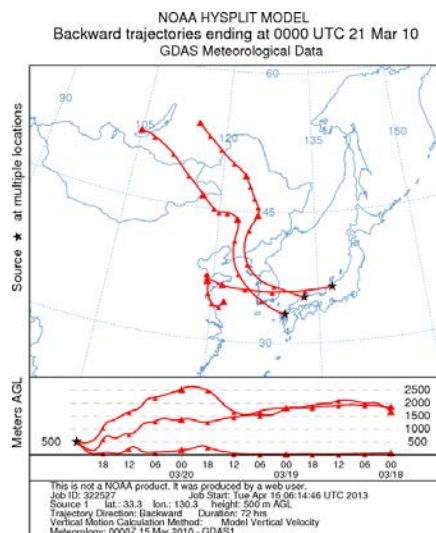


図 5-2-2-5 後方流跡線

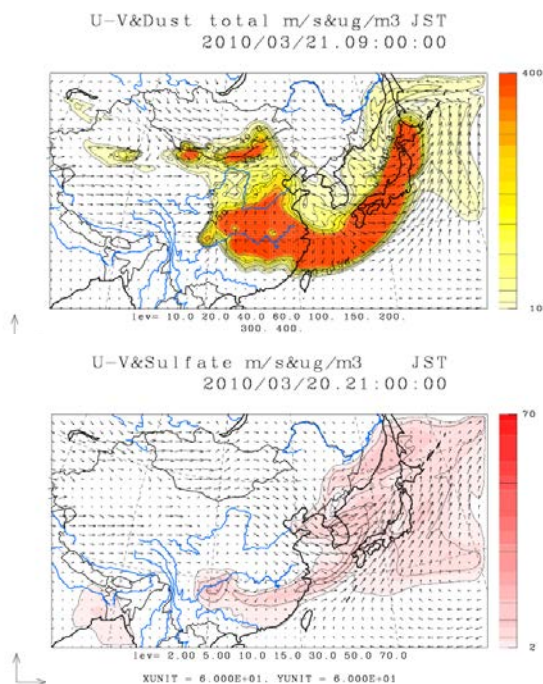


図 5-2-2-6 CFORS 予測結果

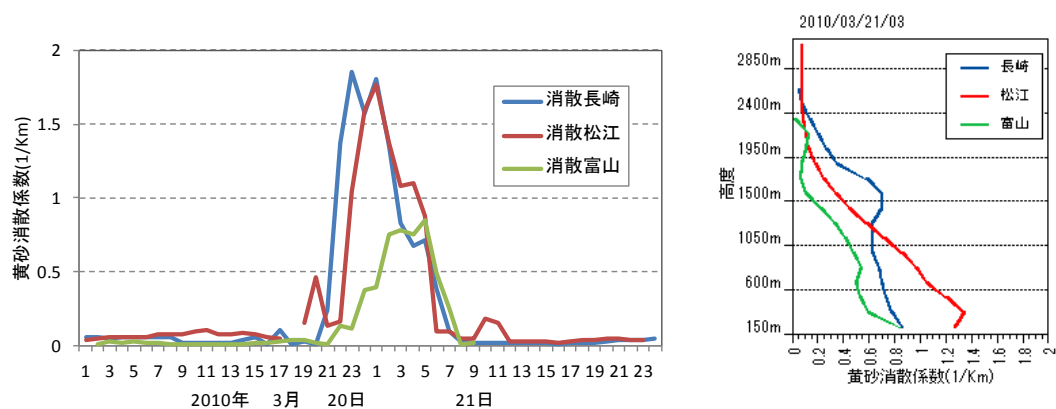


図 5-2-2-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

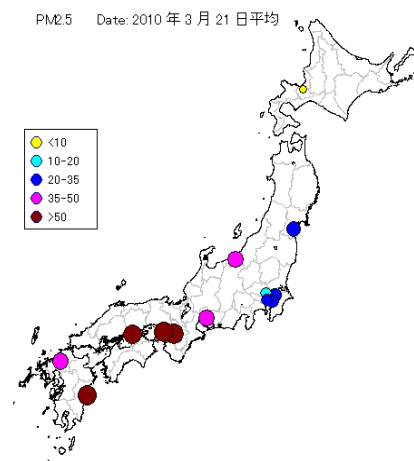


図 5-2-2-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

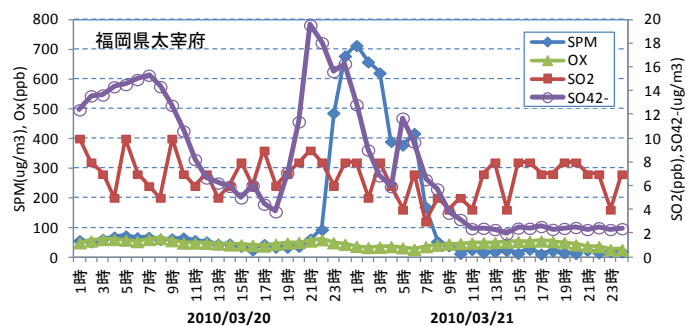


図 5-2-2-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(3)平成 23 (2011) 年 5 月 1 日～5 日 (事例 K15)

西日本を中心に 43 地点と広範囲で黄砂が観測されており、SPM 濃度も最高では $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。中部から東北では、煙霧の観測もあるが地点数は少ない。モンゴル東部から内モンゴルで大きな砂塵嵐の発生がみられ、後方流跡線もこの方向からの気塊を示している。CFORS の dust は、中国中部からの流れが西日本を中心に濃く覆う状況を予測している。ライダーによる黄砂消散係数は 3 地点同時上昇で値も高く、3 地点とも黄砂消散係数と SPM の変化はよく一致していた。PM_{2.5} 日平均値は高い状態が広範囲に広がっているが、九州での硫酸イオン濃度は、ほぼ $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低い。以上から、西日本を広く覆った単純黄砂と考えられる。

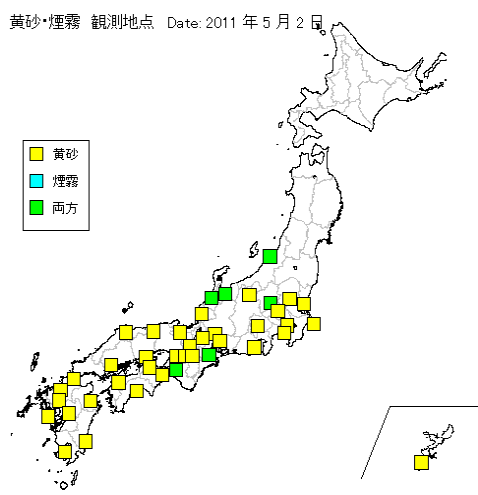


図 5-2-3-1 黄砂・煙霧観測地点

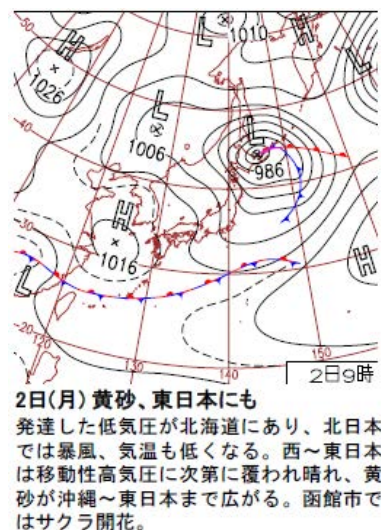


図 5-2-3-2 天気図

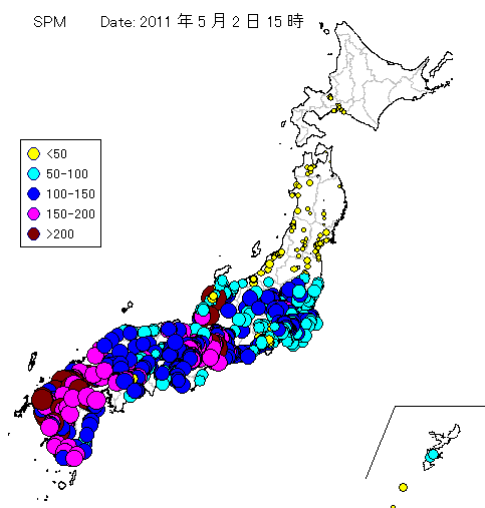


図 5-2-3-3 SPM 濃度全国分布

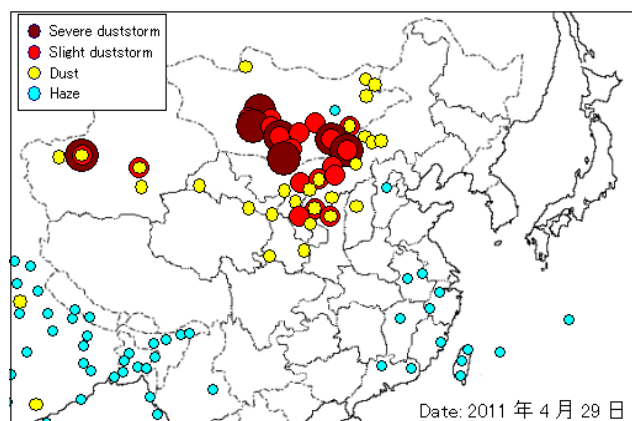


図 5-2-3-4 砂塵嵐発生状況

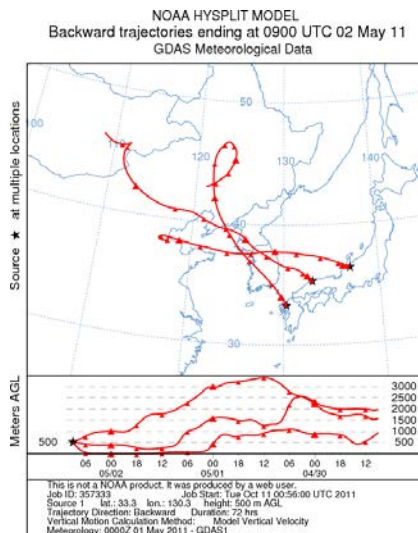


図 5-2-3-5 後方流跡線

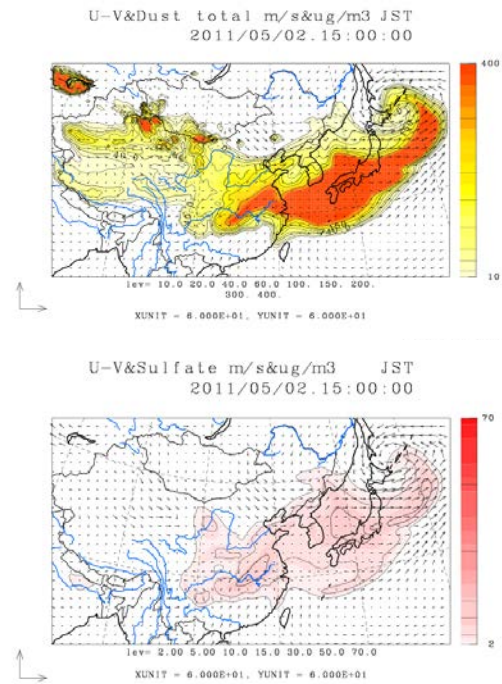


図 5-2-3-6 CFORS (dust) 予測結果

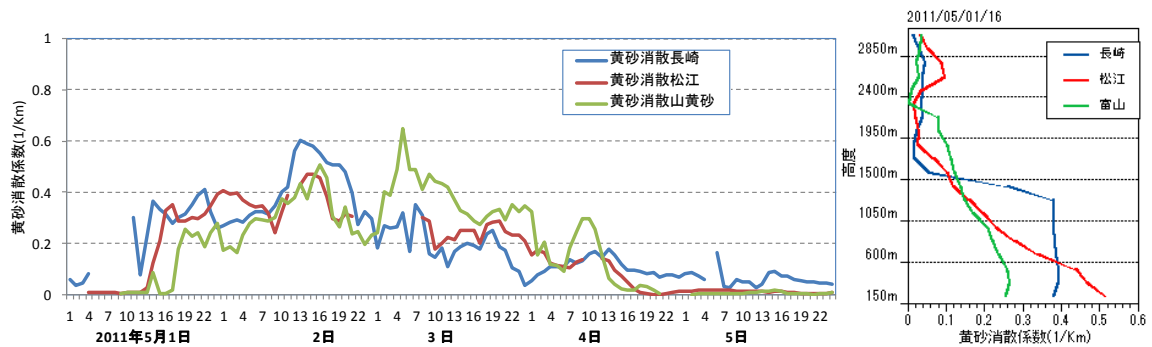


図 5-2-3-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

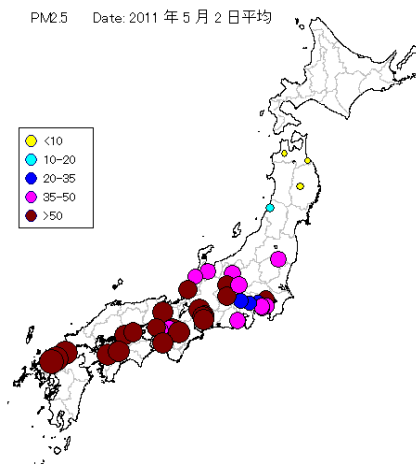


図 5-2-3-8 PM_{2.5} 日平均值全国分布

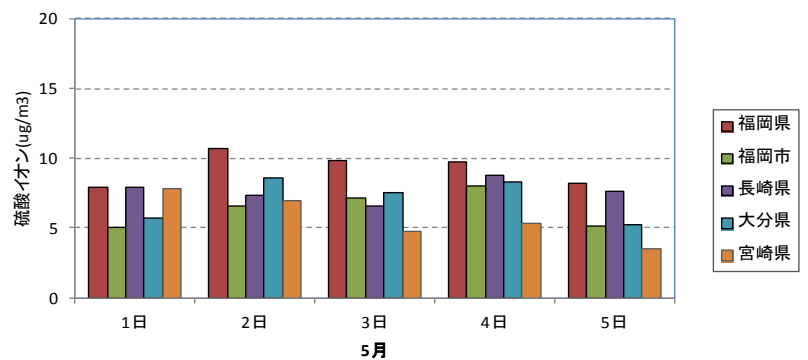
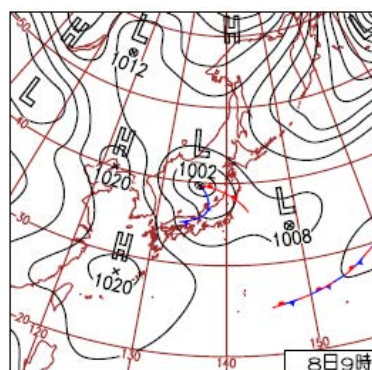
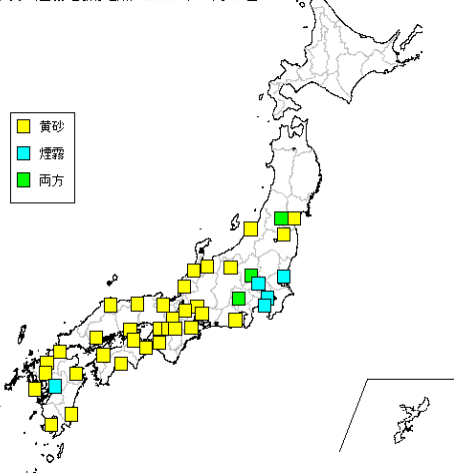


図 5-2-3-9 硫酸イオン濃度(日値)

(4) 平成 18 (2006) 年 4 月 1 日～10 日 (事例 K05)

黄砂は、東北から西日本まで 41 地点で観測している。関東では煙霧も観測されている。中国、近畿、東海、関東まで、高い SPM の値が広がっており、最大は大阪で $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超している。モンゴル東部および内モンゴルで大きな砂塵嵐が発生しており、後方流跡線の方角と重なっている。ライダー消散係数は松江で顕著なピークを持ち、高度 1000m に高い値がみられる。PM_{2.5} は西日本で高くなっているが、各地で測定されている TSP 中の硫酸イオン濃度はいずれも $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、大きな単純黄砂と考えられる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2006 年 4 月 8 日



8日(土)広範囲に黄砂

低気圧が日本海から東北を東に抜け、寒冷前線が本州を南下。東日本～東北は雨、雷を伴う。その他は概ね晴れ。西・東日本や東北の一部など広い範囲で黄砂、視界の悪い所も。

図 5-2-4-1 黄砂・煙霧観測地点

図 5-2-4-2 天気図

SPMB Date: 2006 年 4 月 8 日 21 時

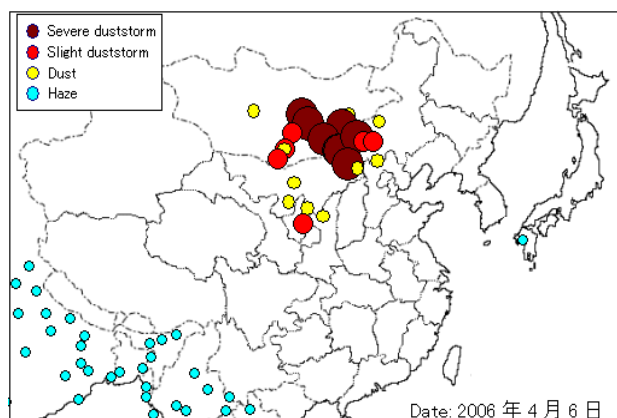
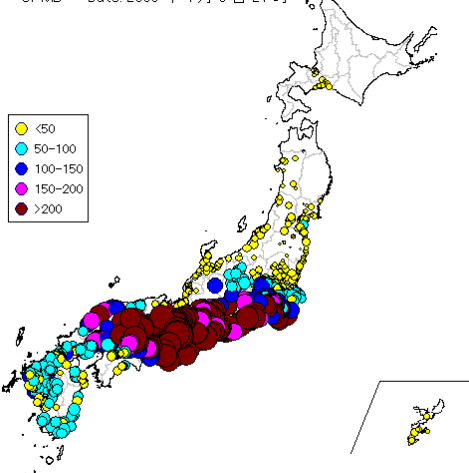


図 5-2-4-3 SPM 濃度全国分布

図 5-2-4-4 砂塵嵐発生状況

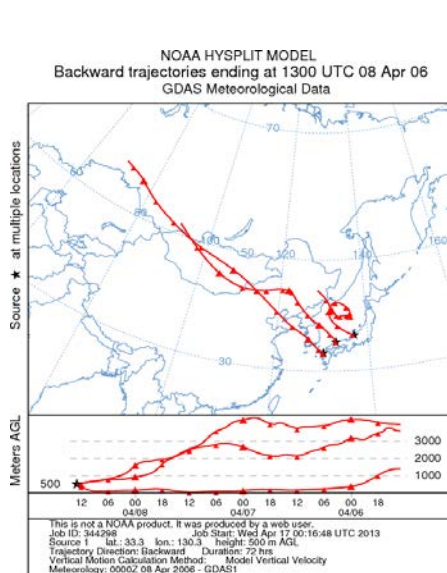


図 5-2-4-5 後方流跡線

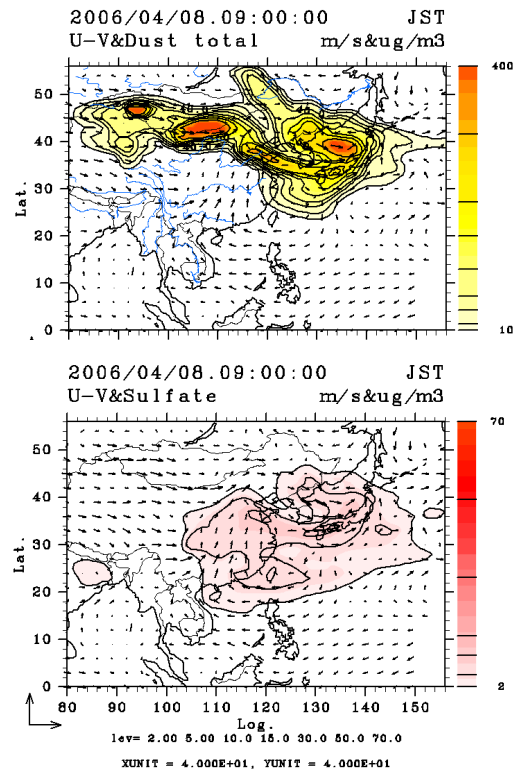


図 5-2-4-6 CFORS(dust) 予測結果

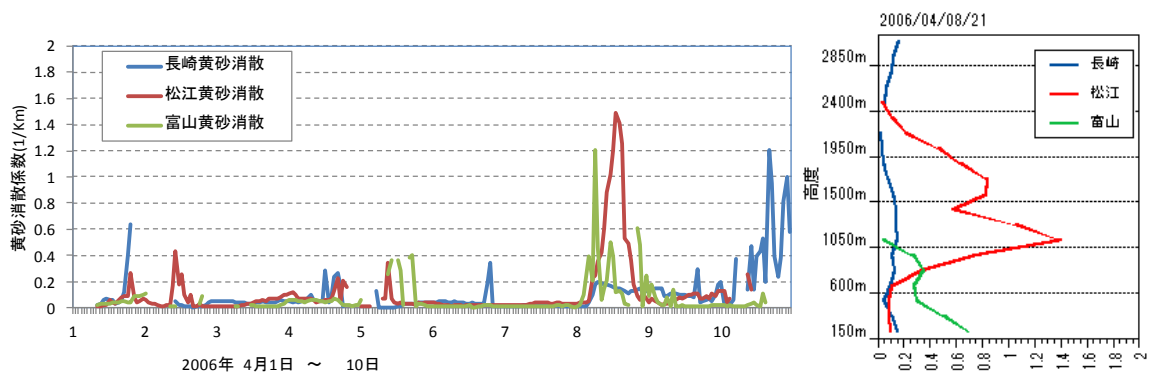


図 5-2-4-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

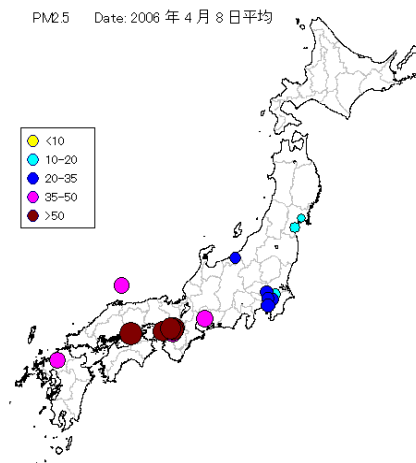


図 5-2-4-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

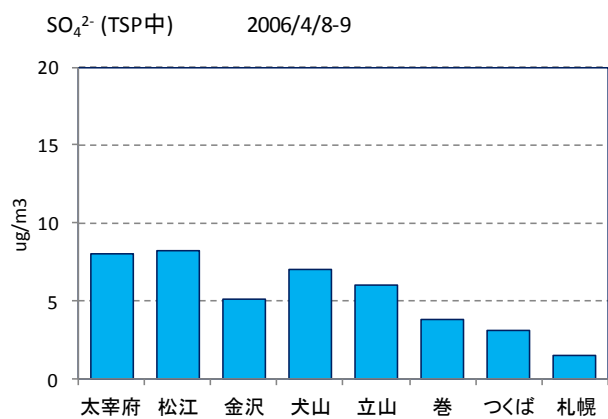


図 5-2-4-9 TSP 中硫酸イオン濃度(日値)

(5) 平成 18 (2006) 年 4 月 24 日～27 日 (事例 K07)

北海道を除いたほぼ全国の 44 地点で黄砂を観測している。関東では煙霧が観測されている。SPM は山陰、北陸の日本海側で高く、新潟では $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超している、モンゴルで砂塵嵐の発生がみられ、後方流跡線もこの地域を通過してきている。ライダー黄砂消散係数は 3 地点で上昇している。PM_{2.5} 組成では others (金属類) の割合が高く、硫酸イオンの濃度は全国 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低くなっており、全国に広がった単純黄砂と考えられる。

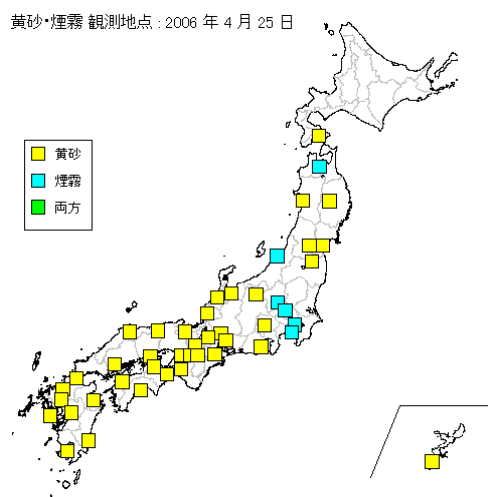


図 5-2-5-1 黄砂・煙霧観測地点

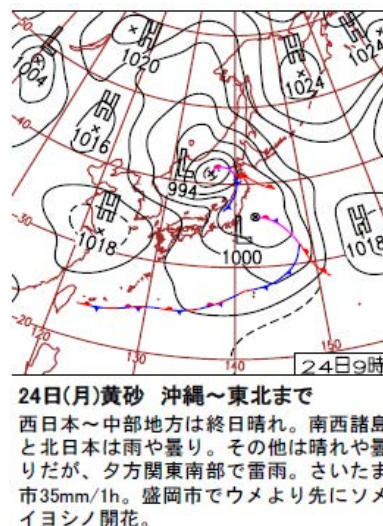


図 5-2-5-2 天気図

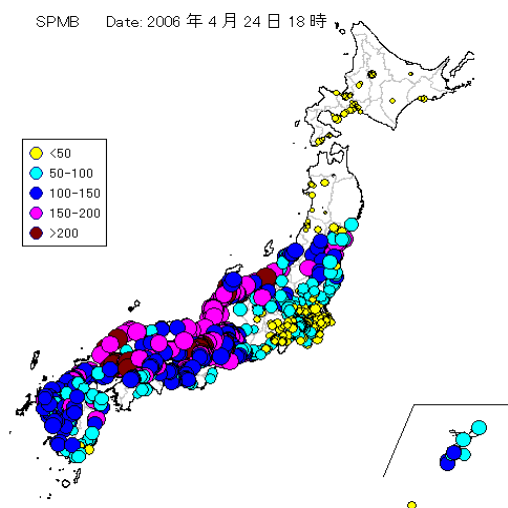


図 5-2-5-3 SPM 濃度全国分布

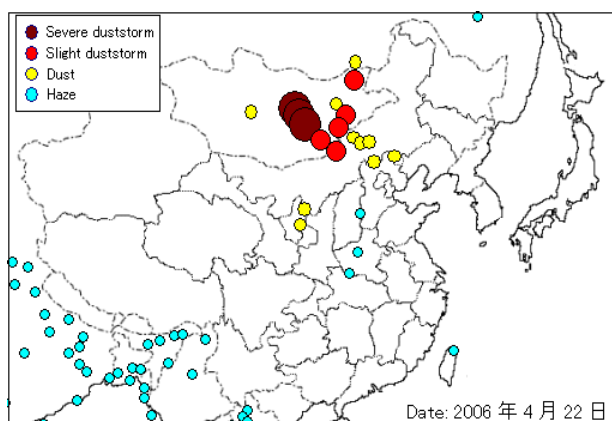


図 5-2-5-4 砂塵嵐発生状況

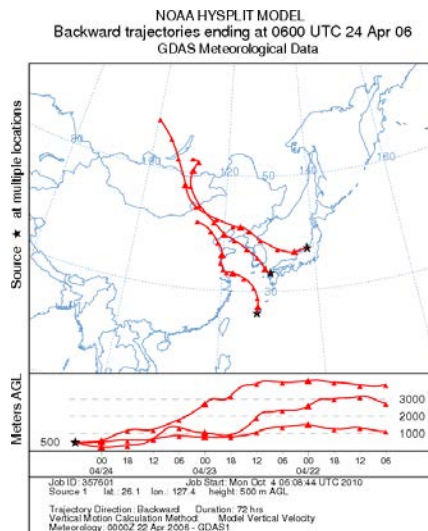


図 5-2-5-5 後方流跡線

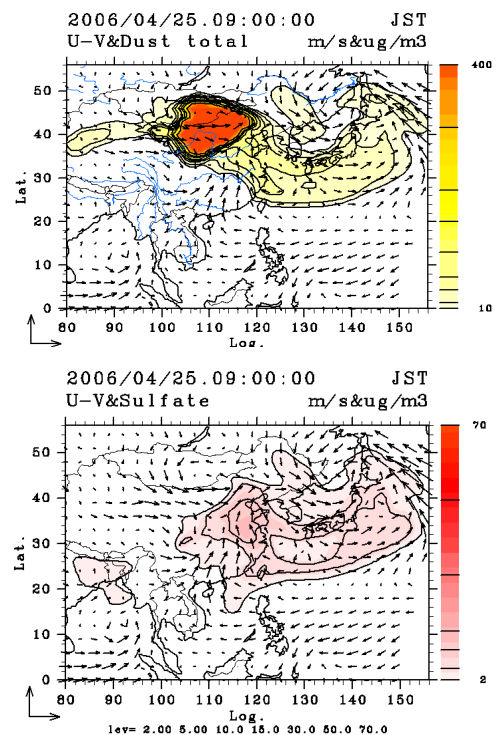


図 5-2-5-6 CFORS 予測結果

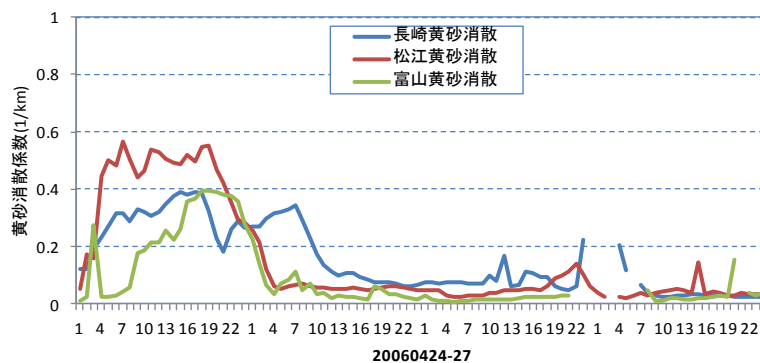


図 5-2-5-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

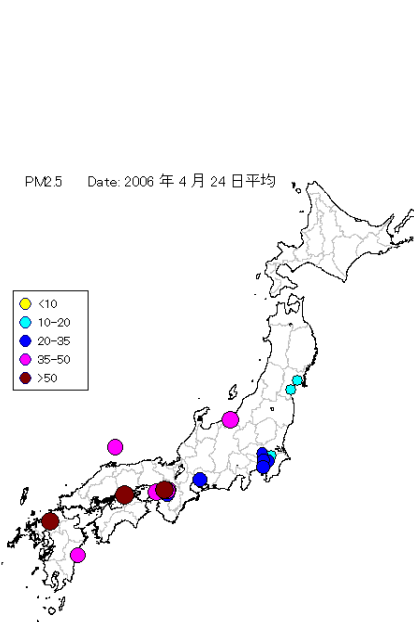
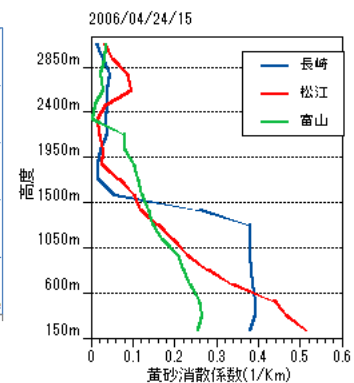


図 5-2-5-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

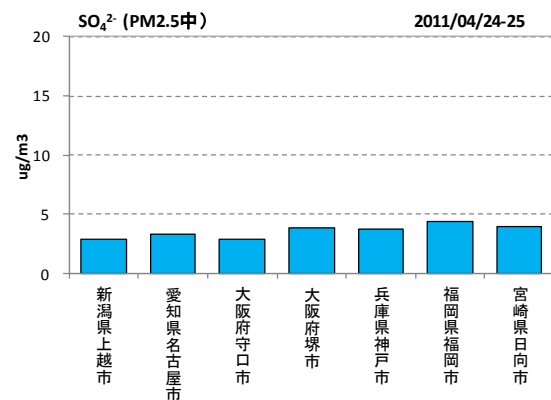
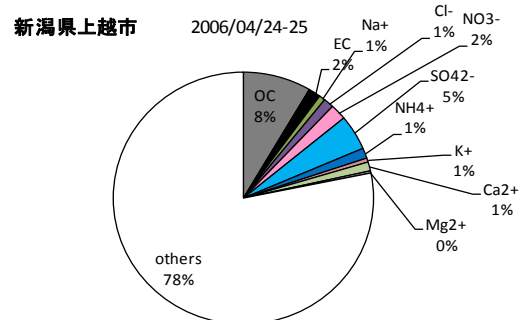


図 5-2-5-9 PM_{2.5} 成分組成と PM_{2.5} 中硫酸イオン濃度

(6)平成 19 (2007) 年 5 月 26 日～31 日 (事例 K09)

北海道を除く全国 50 地点で黄砂を観測している。SPM は西日本で上昇しているが、濃度は $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度でそれほど高くない。モンゴル南部で砂塵嵐が発生しており、後方流跡線は黄土地帯から青島付近を経る経路になっている。CFORS は強い黄砂の影響を示している。PM_{2.5} は西日本で高濃度になっており、硫酸イオン濃度も全国で高い。煙霧の観測はないが、全国的に広がった混在黄砂と考えられる。

黄砂・煙霧観測地点：2007 年 5 月 26 日

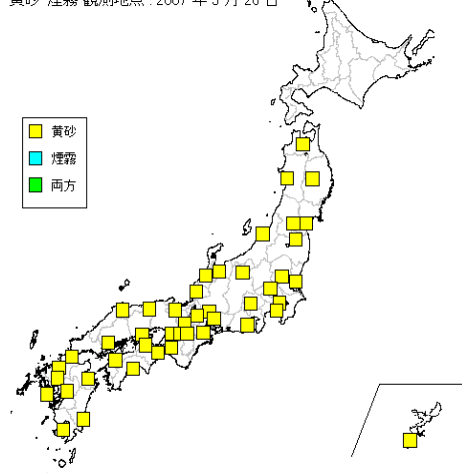
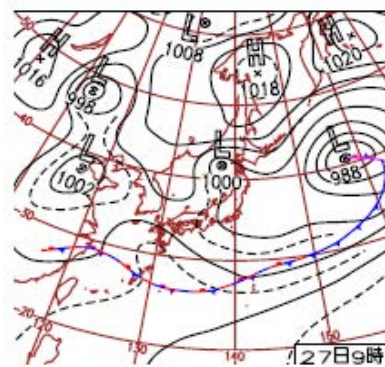


図 5-2-6-1 黄砂・煙霧観測地点



27日(日)今年初の猛暑日

西日本は高気圧に覆われて晴れて気温が上がる。大分県大分市犬飼は36.1℃と最高気温が35℃を超える猛暑日となった。一方、北海道は寒気の影響で5℃以下の低温。

図 5-2-6-2 天気図

SPM Date: 2007 年 5 月 26 日 15 時

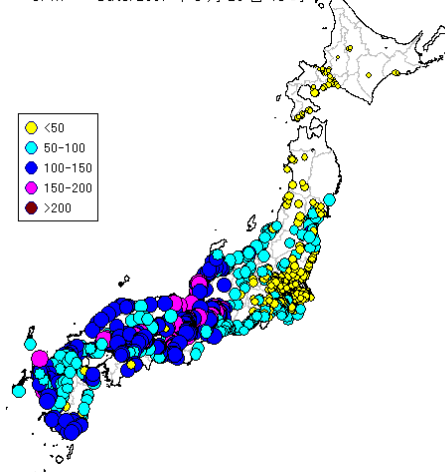


図 5-2-6-3 SPM 濃度全国分布

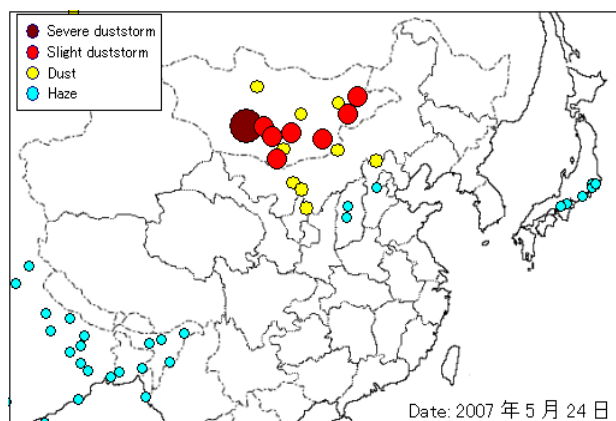


図 5-2-6-4 砂塵嵐発生状況

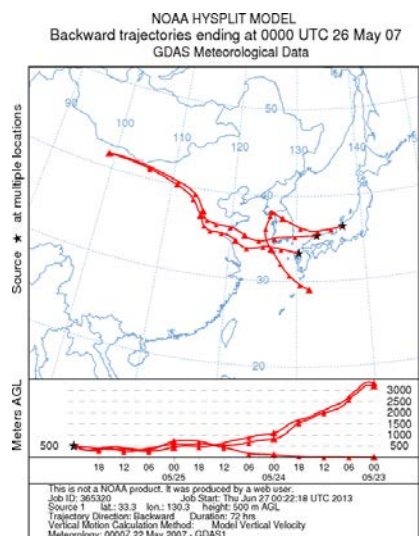


図 5-2-6-5 後方流跡線

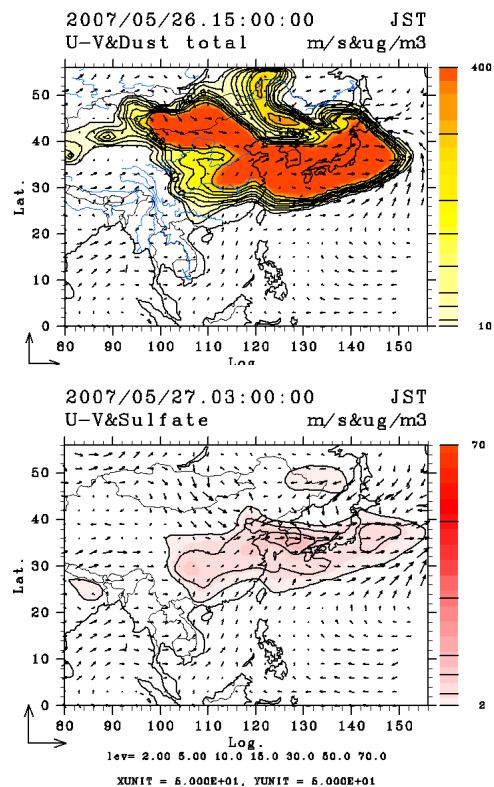


図 5-2-6-6 CFORS 予測結果

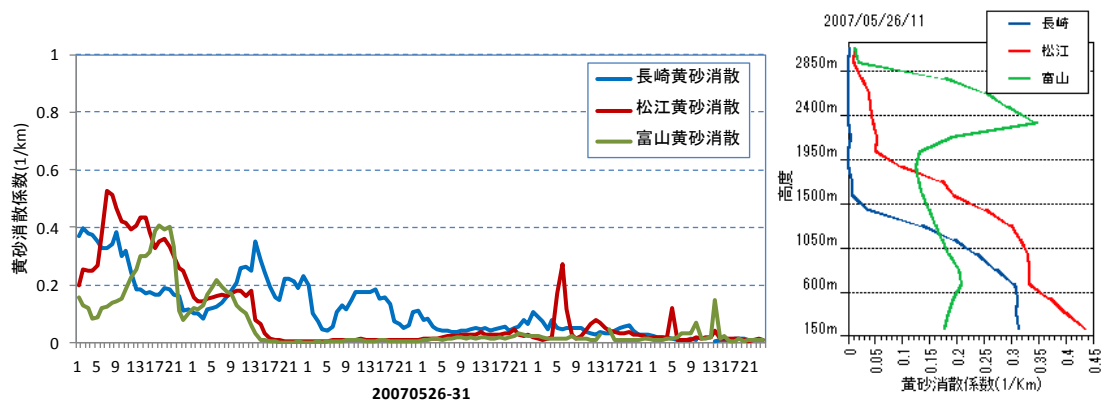


図 5-2-6-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

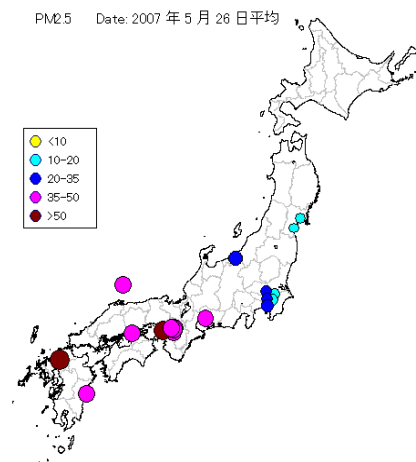


図 5-2-6-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

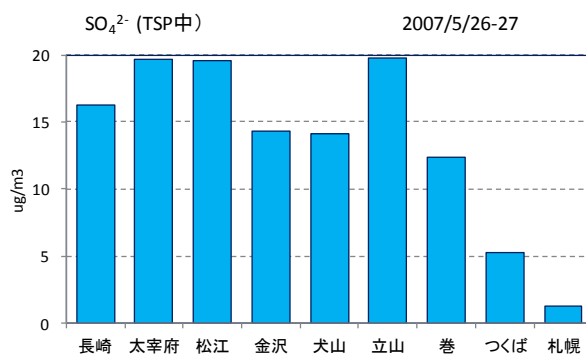


図 5-2-6-9 TSP 中硫酸イオン濃度(日値)

(7)平成 22 (2010) 年 11 月 12 日～15 日 (事例 K14)

秋に、全国的規模で観測された大規模な黄砂で珍しいケースである。北海道、関東、九州などで煙霧が観測されている。2 日前にモンゴル南部で砂塵嵐が観測され、後方流跡線は中国内陸部砂漠地帯上空から遼東半島を通過してきている。CFORS は日本海沿岸を南から北へ通過する予測になっている。ライダーでは、3 地点で黄砂消散係数が上昇しており長崎が最も高い。松江では高度 1500m にピークがみられている。西日本で $PM_{2.5}$ 濃度が高く、宮崎で硫酸イオンが $14\mu g/m^3$ まで上がっている。全国に影響を及ぼしている黄砂で西日本には硫酸塩エアロゾルが飛来してきた混在黄砂と思われる。

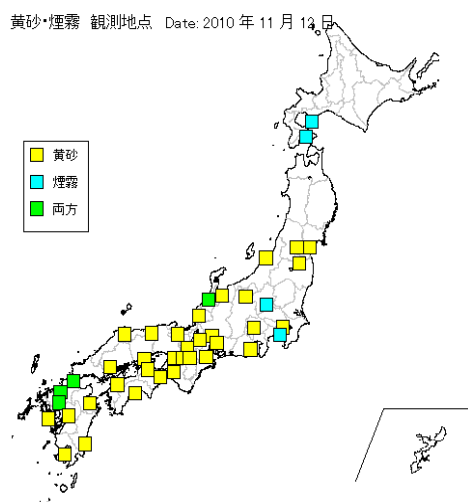


図 5-2-7-1 黄砂・煙霧観測地点

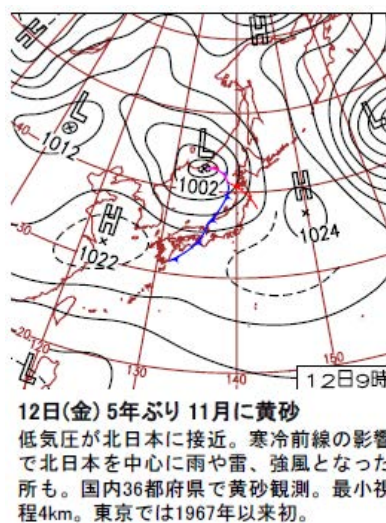


図 5-2-7-2 天気図

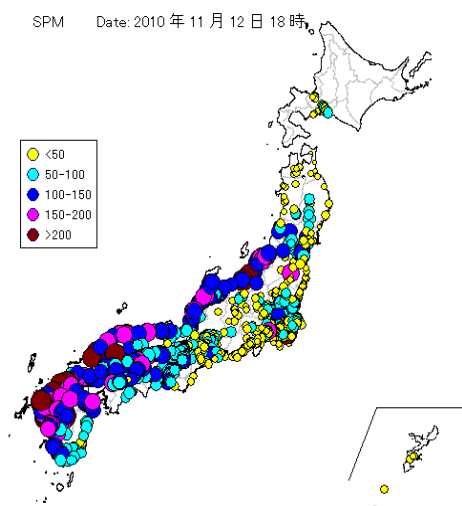


図 5-2-7-3 SPM 濃度全国分布

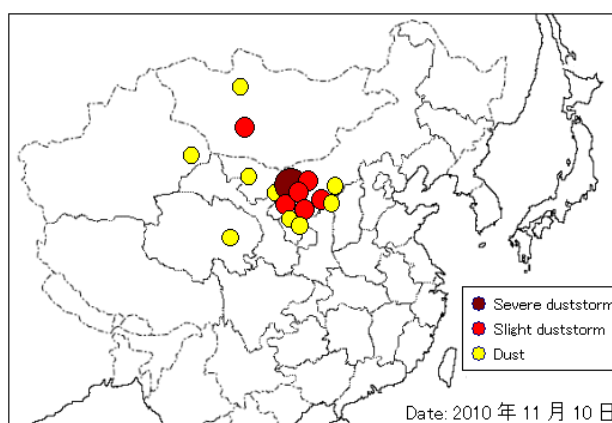


図 5-2-7-4 砂塵嵐発生状況

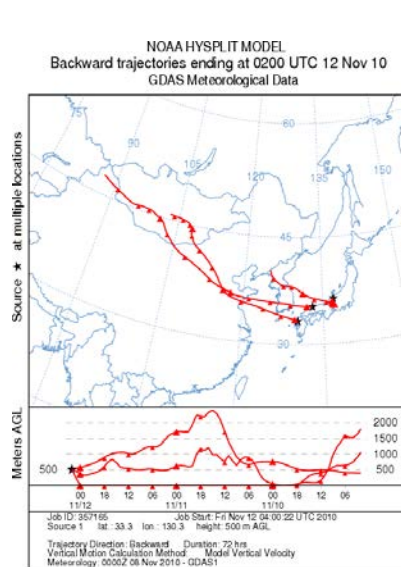


図 5-2-7-5 後方流跡線

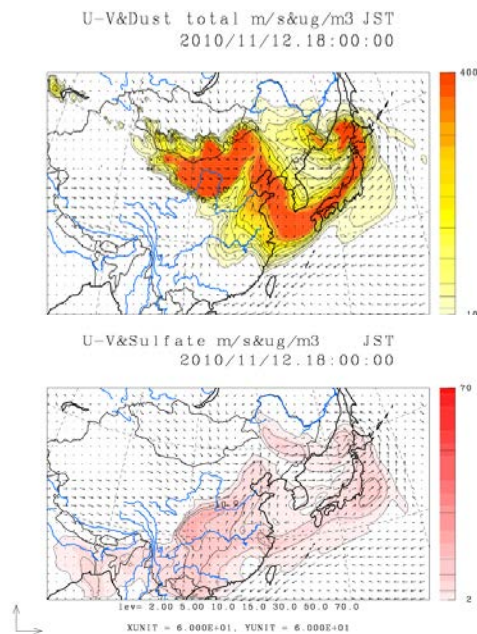


図 5-2-7-6 CFORS 予測結果

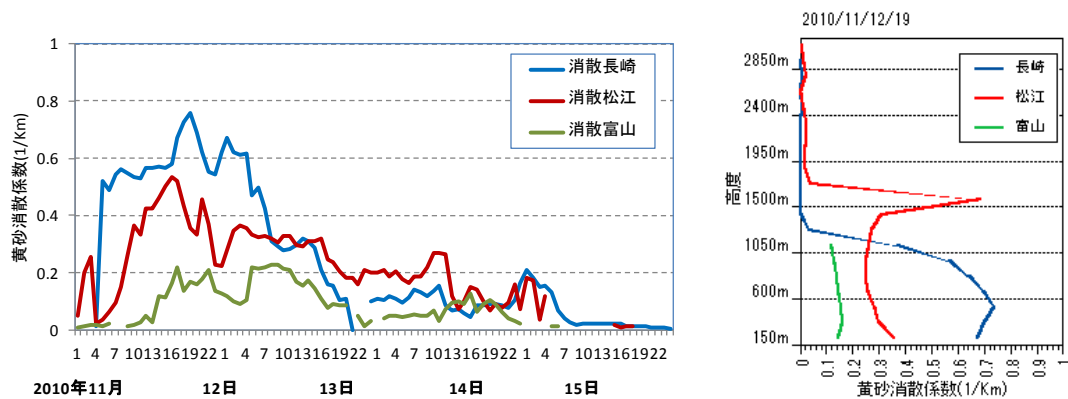


図 5-2-7-7 黄砂消散係数の経時変化と高度分布

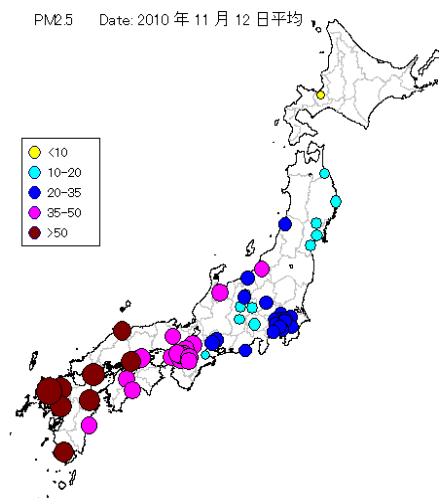


図 5-2-7-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

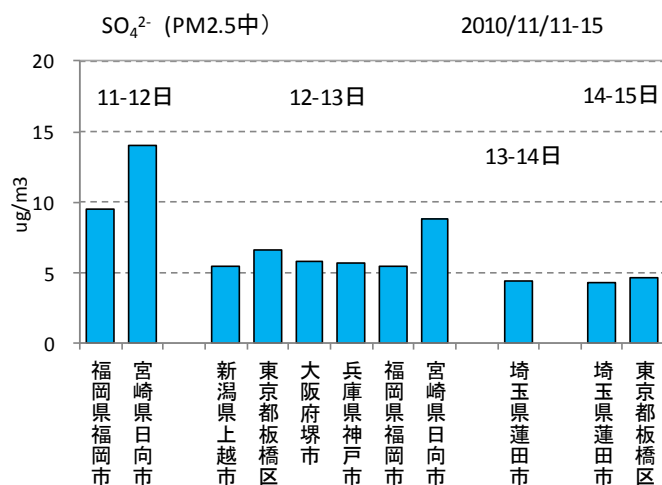


図 5-2-7-9 PM_{2.5} 成分組成と硫酸イオン濃度

(8)平成 18 (2006) 年 4 月 17 日～21 日 (事例 K06)

北海道を除く全国 43 地点で黄砂を観測し、また、関東を中心に煙霧を 18 地点で観測している。内モンゴルでの砂塵嵐の発生が確認されており、後方流跡線もその上空を通過してきている。SPM 濃度は本州中央部で上昇しているが、あまり高くなく $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度である。CFORS は日本北部への飛来を予測している。ライダー黄砂消散係数の上昇はあまり大きくない。立山、巻などの北陸を中心に硫酸イオンが $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す高い濃度を示しており、混在黄砂と判断できる。

黄砂・煙霧観測地点：2006 年 4 月 18 日

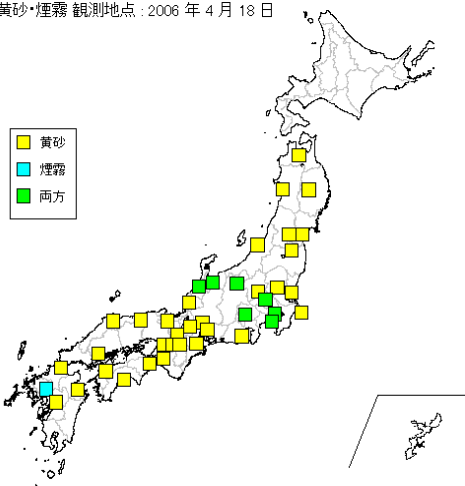
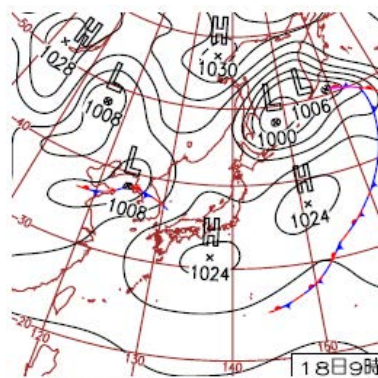


図 5-2-8-1 黄砂・煙霧観測地点



18日(火)東・西日本で黄砂

南高北低の気圧配置。北海道や東北北部は一時雨や雪。東北南部から南は晴れ。山陰や東日本で5月上旬～下旬の最高気温。東京大手町は平成12年4月14日以来の黄砂。

図 5-2-8-2 天気図

SPMB Date: 2006 年 4 月 18 日 21 時

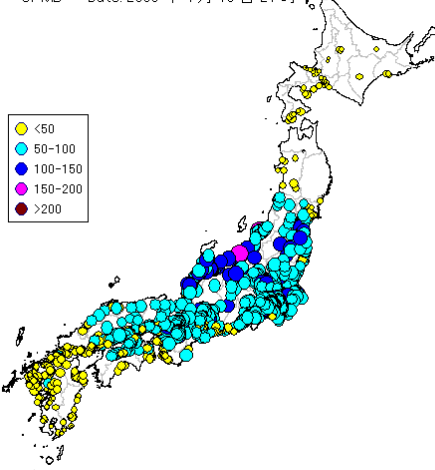


図 5-2-8-3 SPM 濃度全国分布

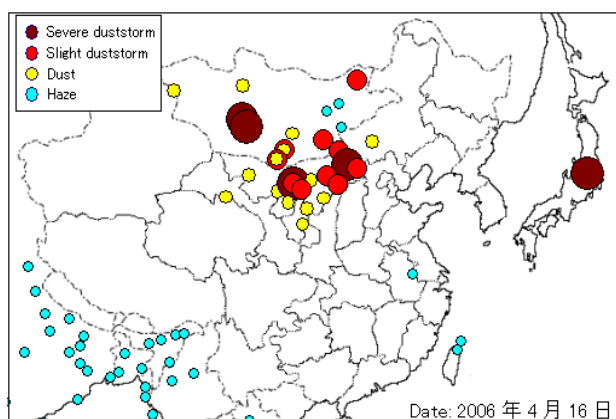
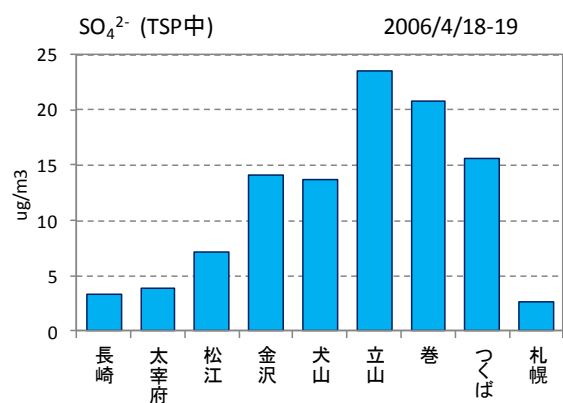
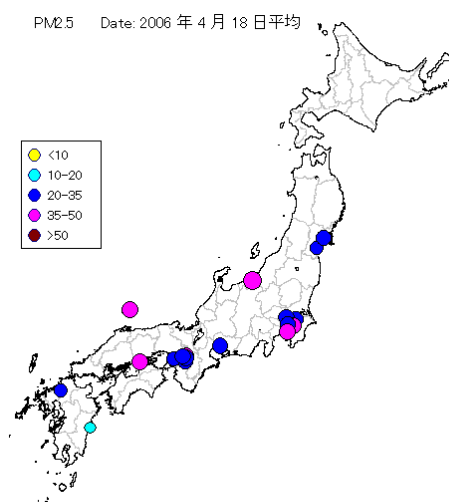
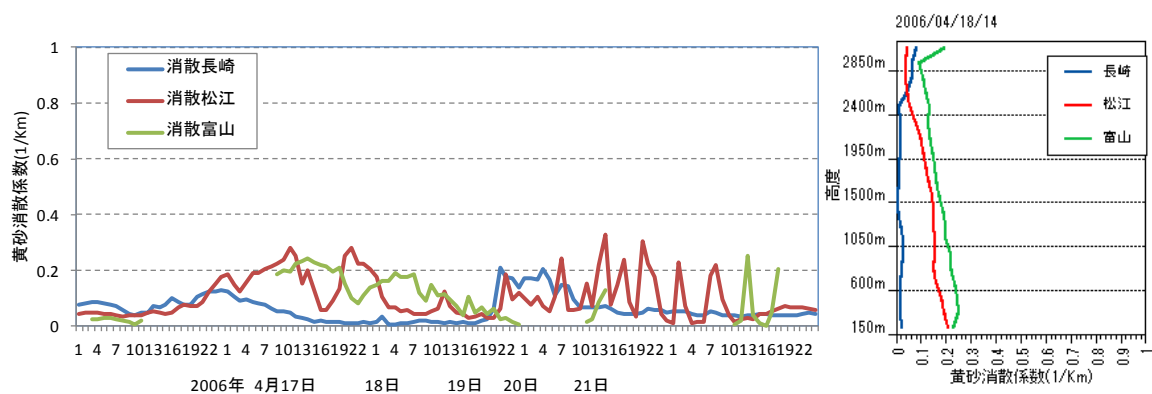
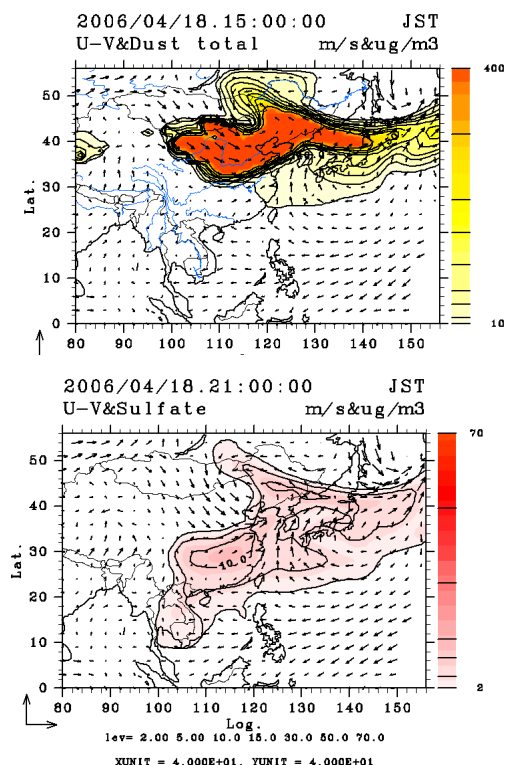
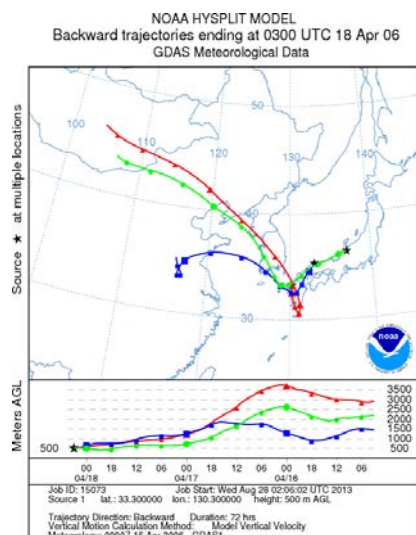


図 5-2-8-4 砂塵嵐発生状況



(9)平成 21 (2009) 年 3 月 16 日～19 日 (事例 K11)

黄砂は、東北を含め 40 地点以上と広範囲に観測されている。SPM 濃度も中国・関西・北陸・関東と広い範囲で上昇しているが、最高でも $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度とあまり高くない。モンゴル西部で砂塵嵐の発生がみられ、松江での後方流跡線はこの上空からになっている。一方、福岡、新潟での後方流跡線は中国沿岸部上空を経由してきている。ライダーの消散係数は松江で高く、富山、長崎ではそれほど上がっていない。福岡での硫酸イオン時間値は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であり、弱い混在黄砂と思われる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2009 年 3 月 17 日

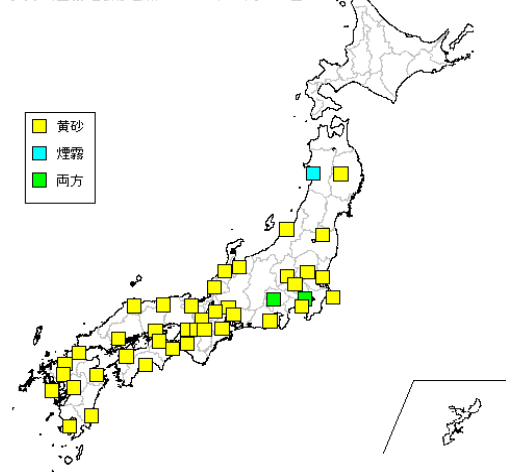
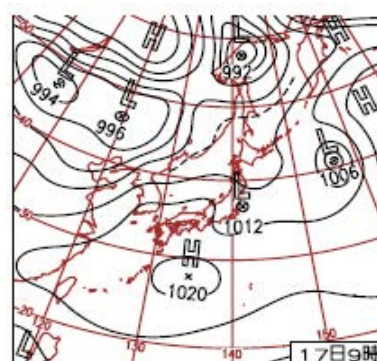


図 5-2-9-1 黄砂・煙霧観測地点



17日(火)東北～九州で広く黄砂
上空に寒気を伴った気圧の谷が通過。北日本～北陸は曇りや雨で、雷雨となった所も。未明に石川県輪島市で直径10mmのひょうを観測。松山市と大分市でサクラ開花。

図 5-2-9-2 天気図

SPM Date: 2009 年 3 月 17 日 18 時

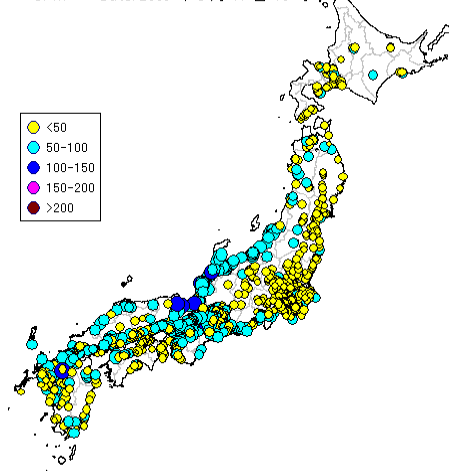


図 5-2-9-3 SPM 濃度全国分布

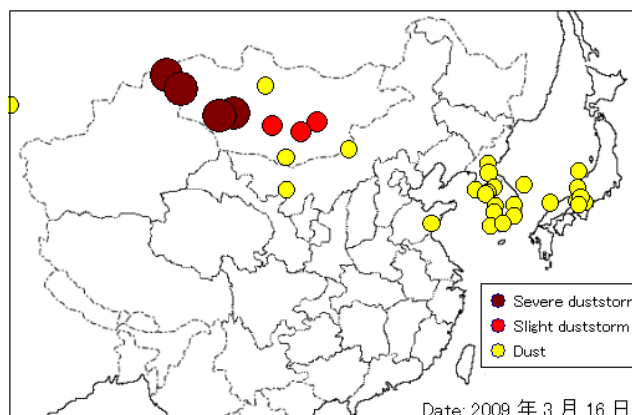


図 5-2-9-4 砂塵嵐発生状況

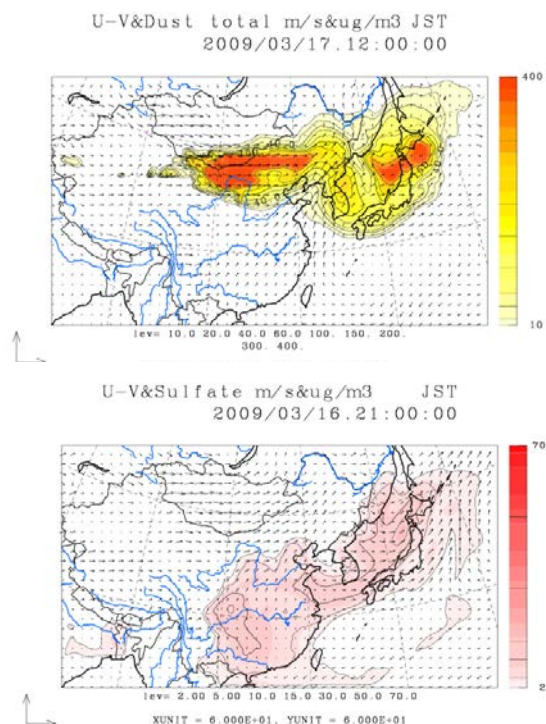


図 5-2-9-5 後方流跡線

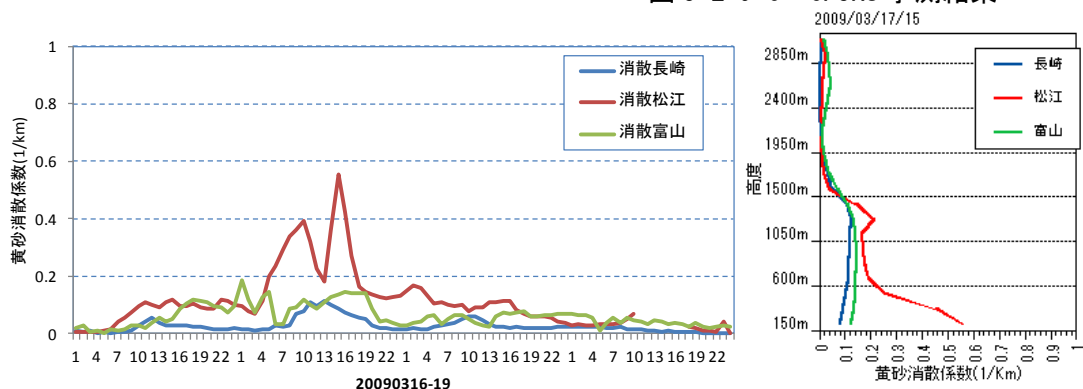


図 5-2-9-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

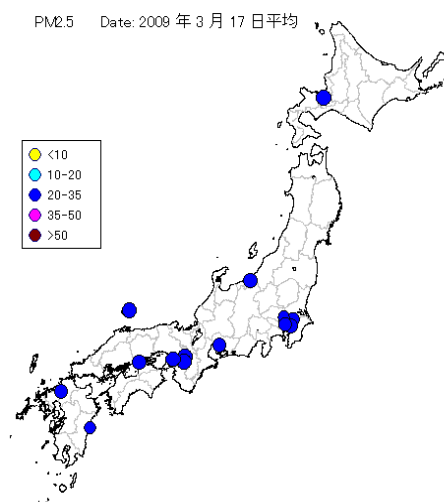


图 5-2-9-8 PM_{2.5} 日平均值全国分布

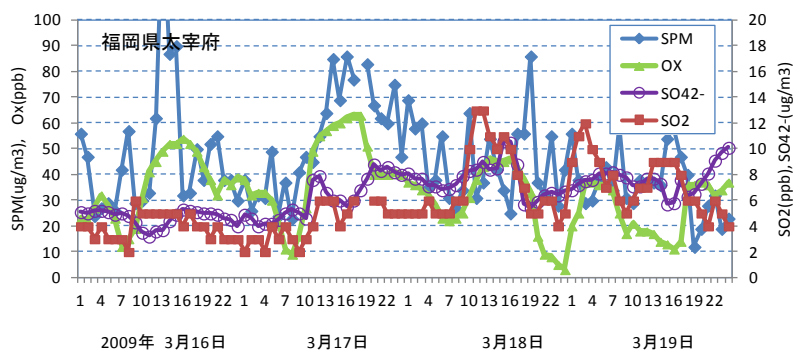


図 5-2-9-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(10)平成 25 (2013) 年 3 月 8 日～11 日 (事例 K17)

「3. 4. 平成 24 年度の黄砂飛来状況 (8)」(p. 26～27 参照) に掲載

(11)平成 16 (2004) 年 4 月 16 日～24 日 (事例 K03)

西日本を中心に東北まで 34 地点で黄砂を観測している。煙霧も関東を中心に 15 地点で観測されている。SPM は日本全体でやや上昇している程度で、最高で $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度である。モンゴルで砂塵嵐の発生が観測されており、富山の後方流跡線はこの方面からである。一方、福岡での後方流跡線は中国沿岸部方面であり、宮崎での硫酸イオンは $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、全国的に高くなっている。西日本での $\text{PM}_{2.5}$ 濃度も高く、混在黄砂と思われる。

黄砂・煙霧観測地点：2004 年 4 月 22 日

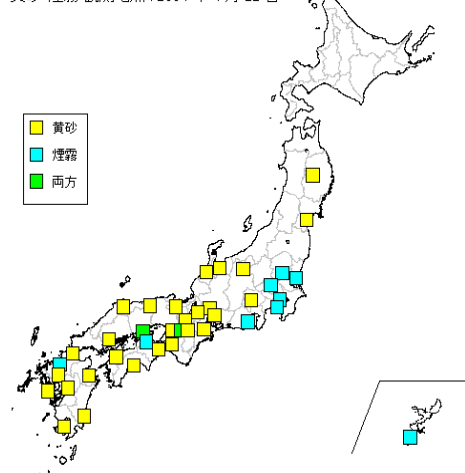
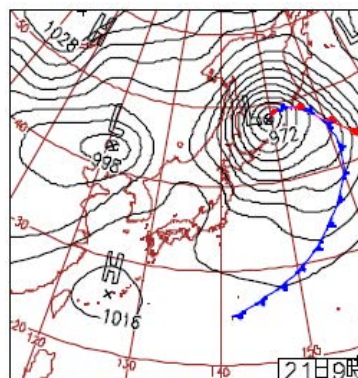


図 5-2-11-1 黄砂・煙霧観測地点



21日(水)羅臼で強風被害

発達した低気圧がオホーツク海をゆっくりと東北東進し、北日本の強風は次第に弱まる。北海道羅臼町では局地的な強風被害。北海道の一部で雨や雪の他は、全国的に概ね快晴。

図 5-2-11-2 天気図

SPMB Date: 2004 年 4 月 22 日 15 時

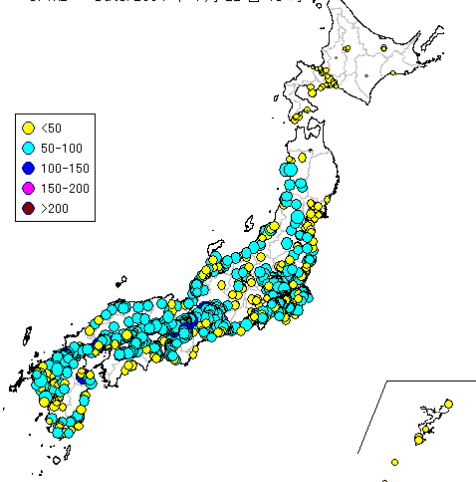


図 5-2-11-3 SPM 濃度全国分布

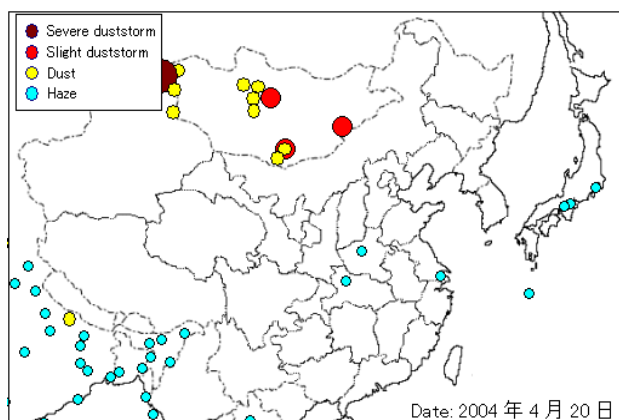
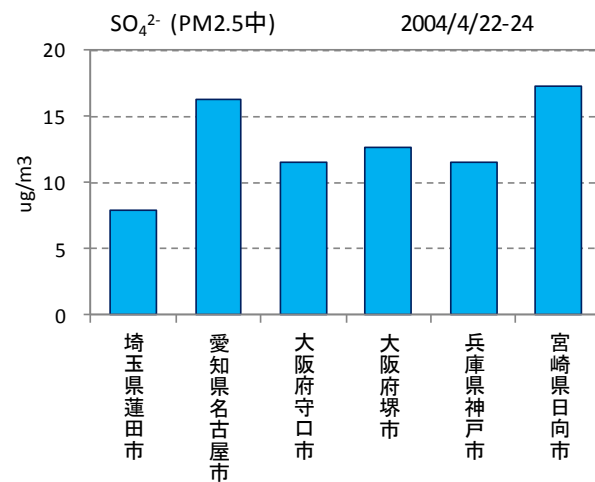
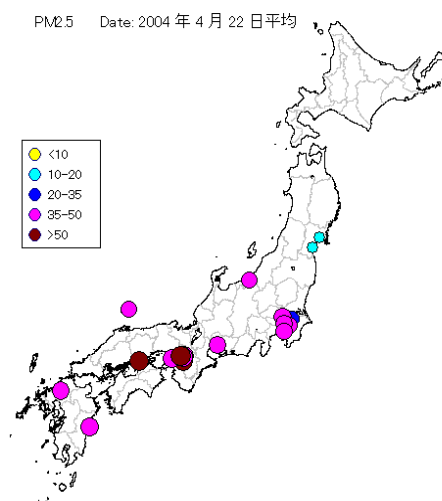
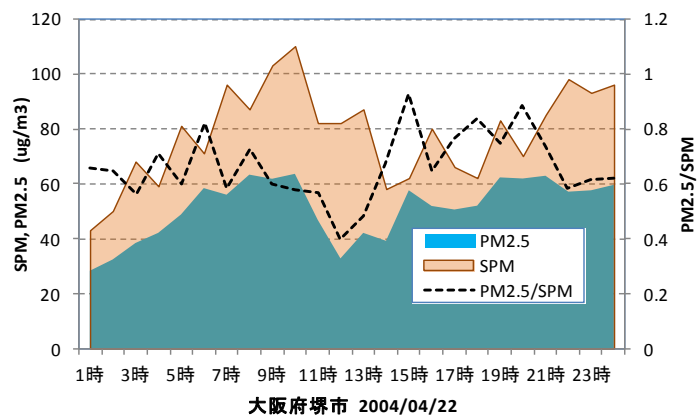
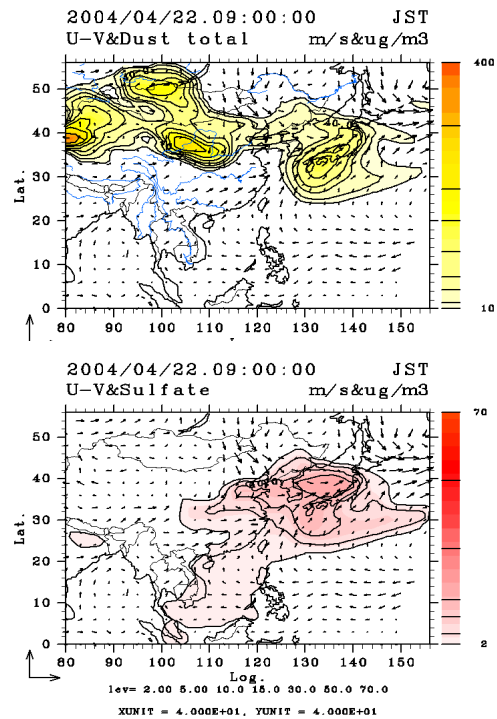
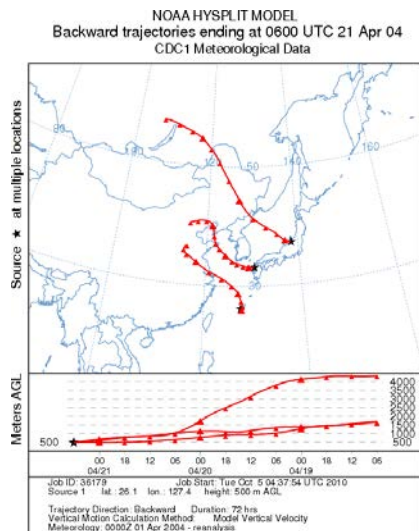


図 5-2-11-4 砂塵嵐発生状況



(12) 平成 20 (2008) 年 3 月 2 日～3 日 (事例 K10)

西日本を中心に東北を含め 44 地点で黄砂を観測している。2 日前にゴビ砂漠南で大きな砂塵嵐が発生しており、後方流跡線は中国内陸部と沿岸部からの流れを示している。SPM 濃度は特に九州で上昇しており、 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超した測定局もある。ライダー消散係数は長崎で上昇が著しい。CFORS も主に九州への飛来を予測している。太宰府での硫酸イオン濃度は $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高く、九州に強く影響を及ぼした混在黄砂である。

黄砂・煙霧観測地点：2008 年 3 月 3 日

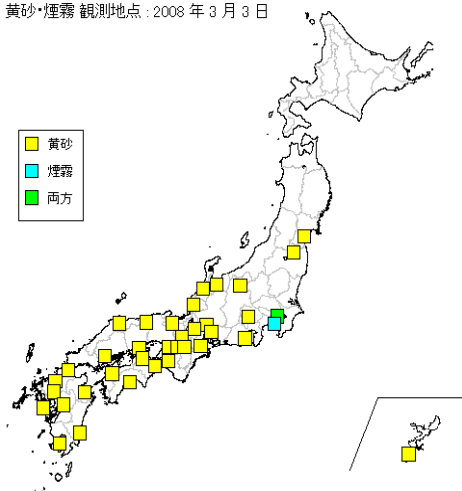
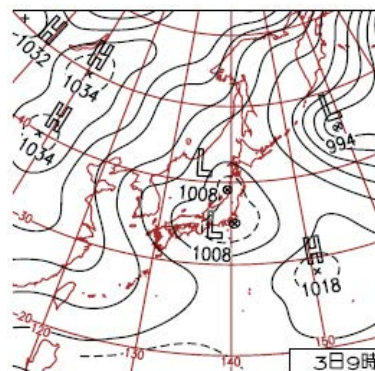


図 5-2-12-1 黄砂・煙霧観測地点



3日(月)黄砂、東日本へ広がる

上空に寒気を伴った低気圧が秋田沖でほぼ停滞。長崎県五島市では直径10mmのひょう。一方黄砂が西日本から広がり、一部は東北南部にまで達した。黄砂により視程は8km前後。

図 5-2-12-2 天気図

SPM Date: 2008 年 3 月 3 日 12 時

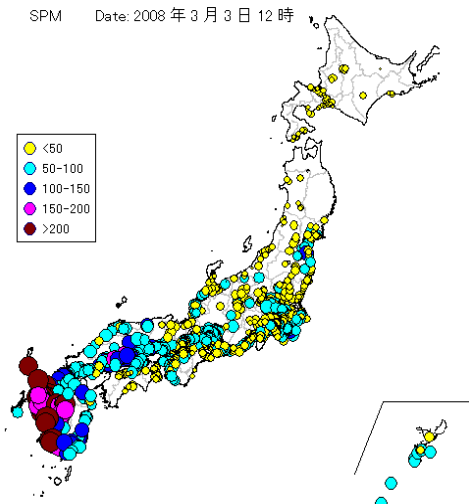


図 5-2-12-3 SPM 濃度全国分布

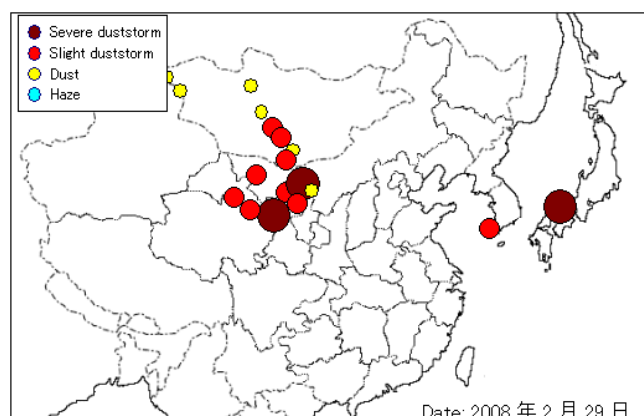


図 5-2-12-4 砂塵嵐発生状況

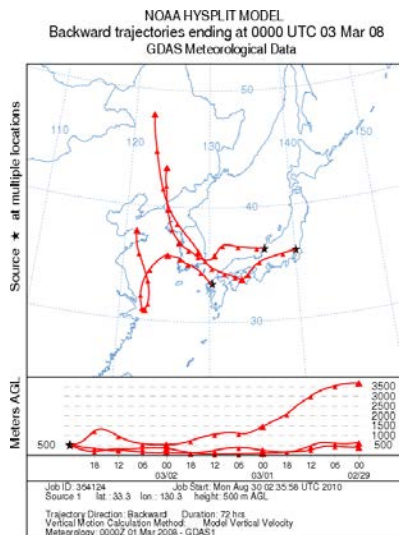


図 5-2-12-5 後方流跡線

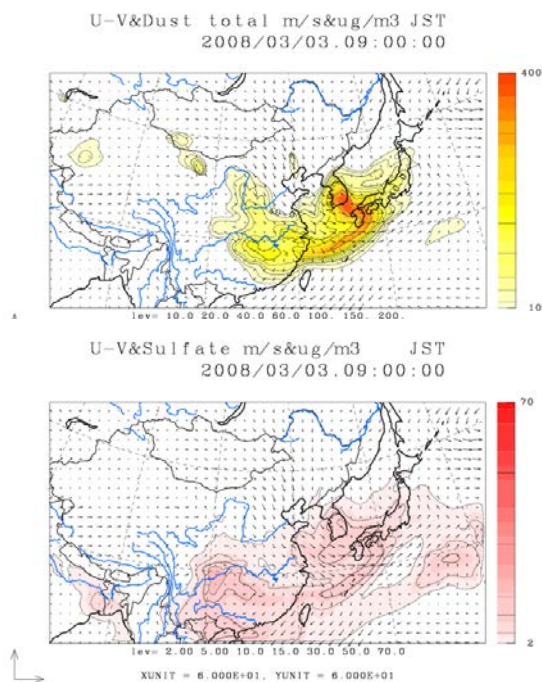


図 5-2-12-6 CFORS (dust) 予測結果

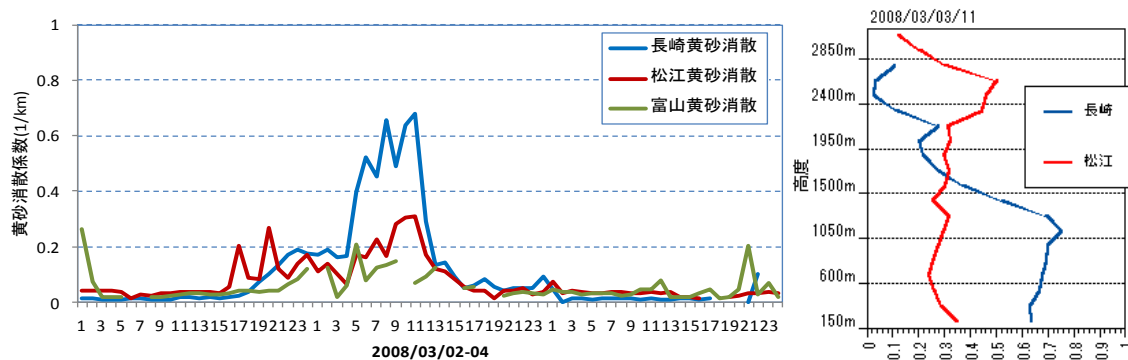


図 5-2-12-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

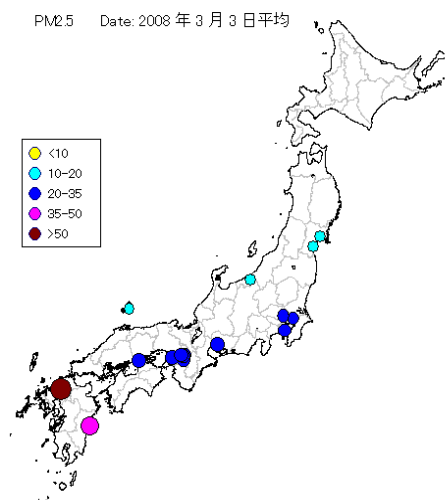


図 5-2-12-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

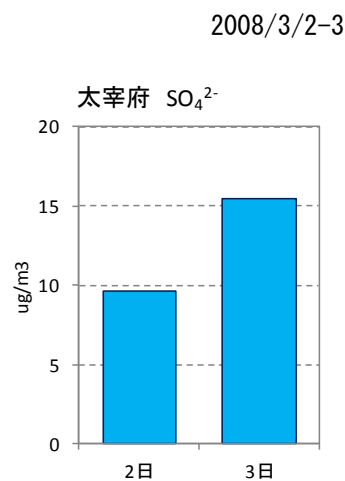


図 5-2-12-9 硫酸イオン濃度(日値)

(13)平成 22 (2010) 年 5 月 3 日～6 日 (事例 : K13)

黄砂の観測は西日本を中心に 32 地点である。モンゴル全域で砂塵嵐の発生がみられている。SPM 濃度は北海道を除き全国的に上昇しているが、あまり高くはない。後方流跡線は中国内陸部と沿岸部の両方を示している。ライダー黄砂消散係数の上昇はあまりなく、硫酸イオン濃度は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を少し超える程度である。弱い混在黄砂と思われる。

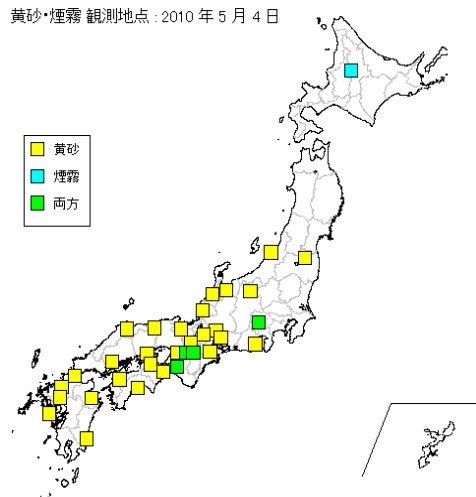


図 5-2-13-1 黄砂・煙霧観測地点

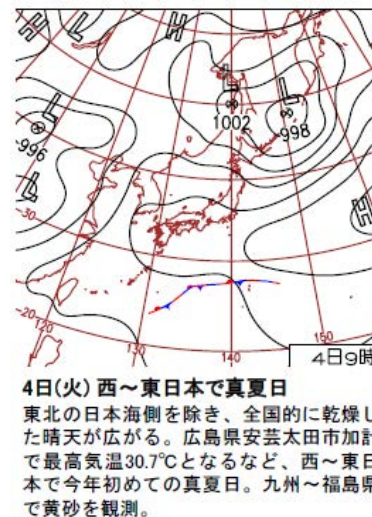


図 5-2-13-2 天気図

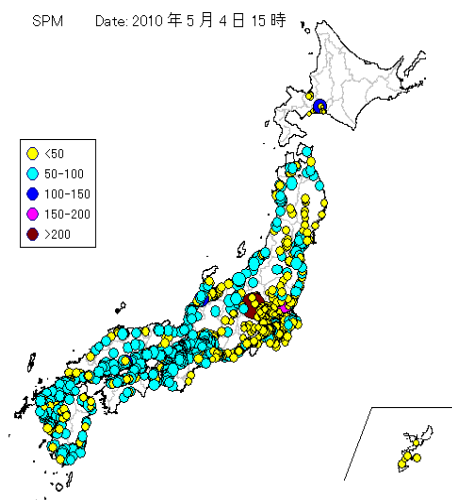


図 5-2-13-3 SPM 濃度全国分布

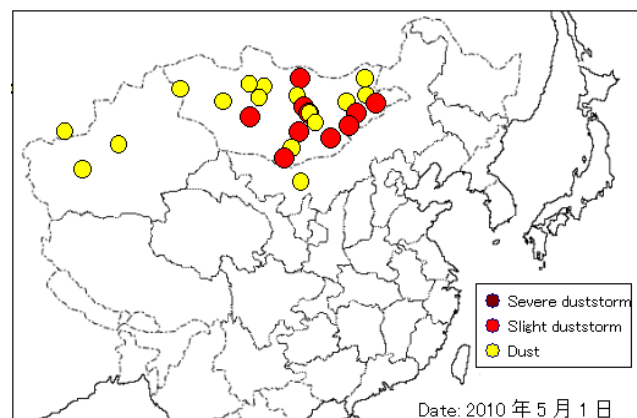


図 5-2-13-4 砂塵嵐発生状況

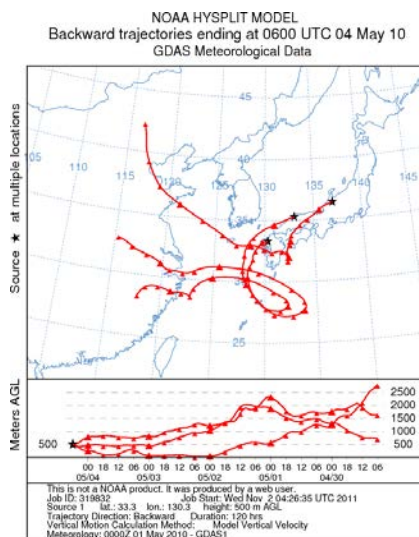


図 5-2-13-5 後方流跡線

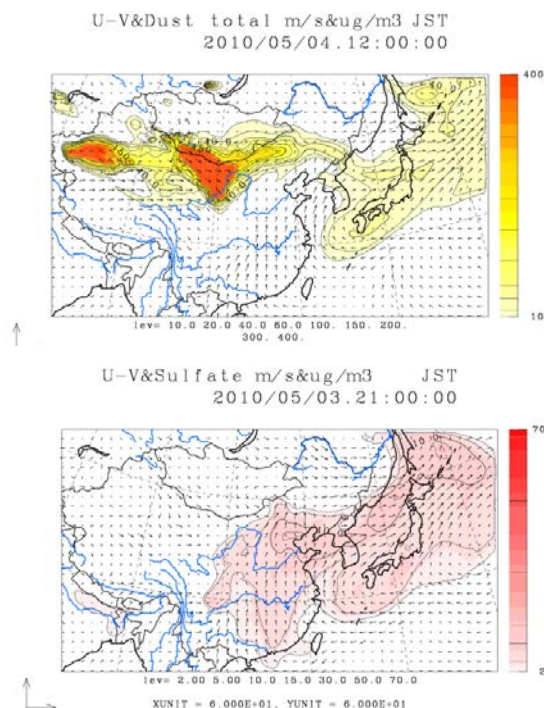


図 5-2-13-6 CFORS 予測結果

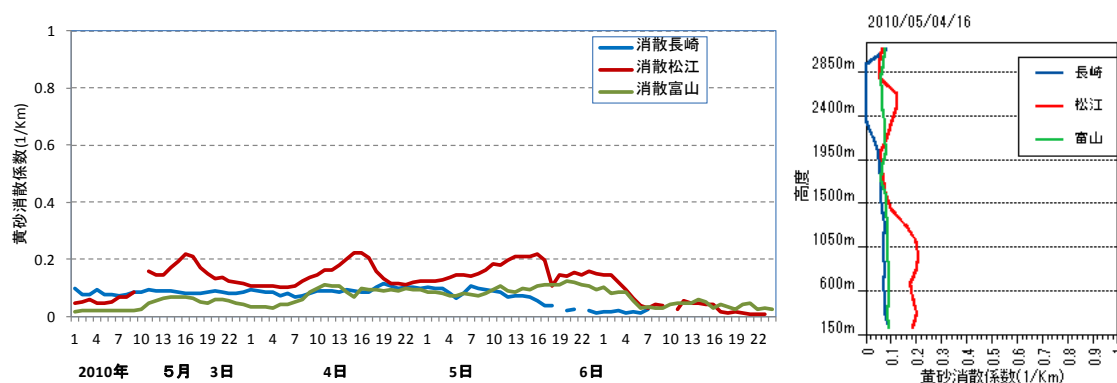


図 5-2-13-7 ライト-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

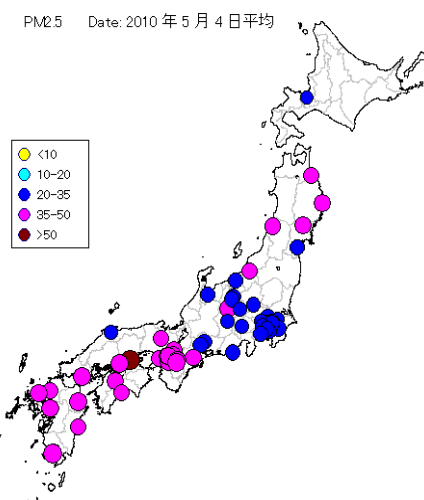


図 5-2-13-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

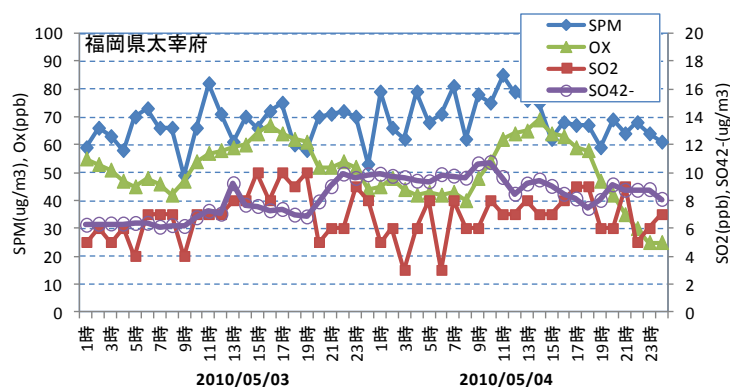


図 5-2-13-9 硫酸イオン濃度(時間値)

(14) 平成 23 (2011) 年 5 月 13 日～14 日 (事例 K16)

黄砂は、九州から東北まで広く 39 地点で観測されている。モンゴル東部から内モンゴルで大きな砂塵嵐が発生しており、後方流跡線もその上空を通過してきている。SPM は関西から東北までの広い範囲で高濃度になっており、東北では $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超まで上昇している。ライダー黄砂消散係数は富山で特に高く、高濃度の SPM ともよく同期している。また、黄砂消散係数の高度分布では、富山で 2000m 付近にピークがみられており、高い標高まで広がっていることがうかがえる。硫酸イオン濃度は 14 日に若干の上昇はみられるものの概ね $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、中部地域に大きな影響を与えた単純黄砂と思われる。

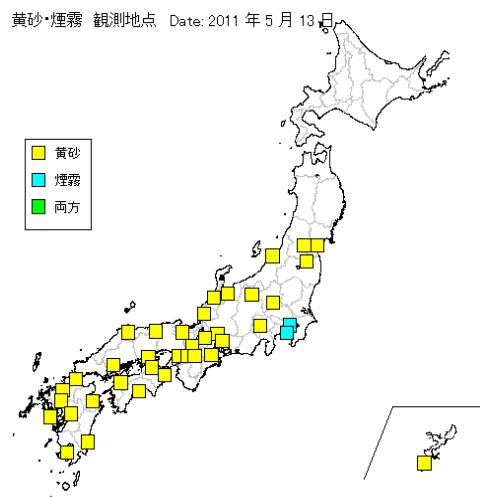
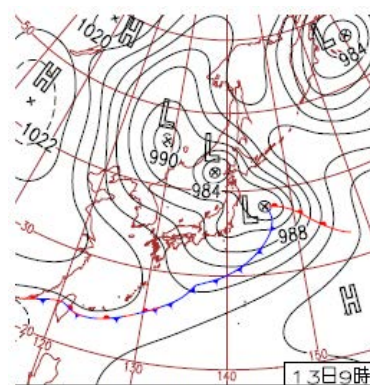


図 5-2-14-1 黄砂・煙霧観測地点



13日(金) 広い範囲で黄砂
北海道と東北北部では発達中の低気圧の影響で風が強く雨や曇り。南西諸島で曇りや雨。その他は太平洋側一部の曇りを除いて概ね晴れ。室蘭市でサクラ満開。沖縄～東北で黄砂。

図 5-2-14-2 天気図

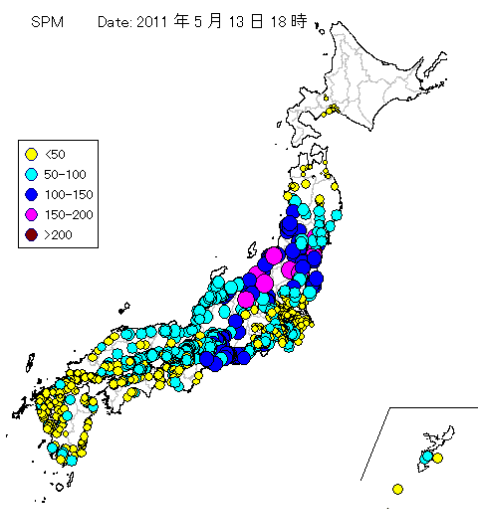


図 5-2-14-3 SPM 濃度全国分布

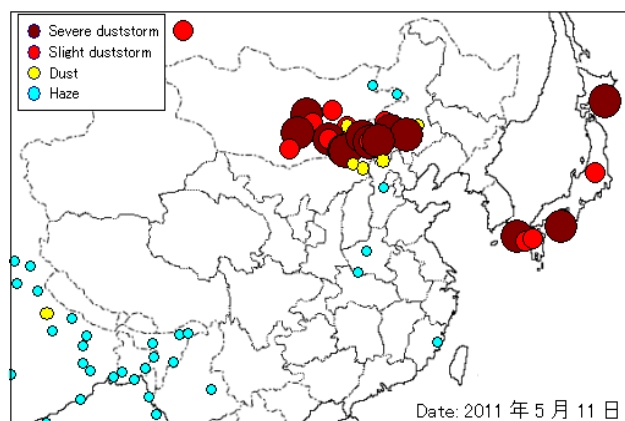


図 5-2-14-4 砂塵嵐発生状況

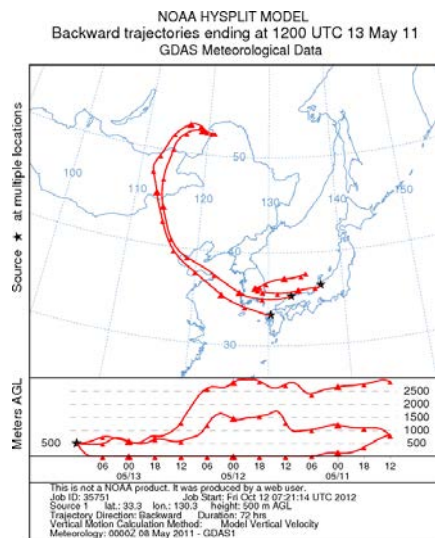


図 5-2-14-5 後方流跡線

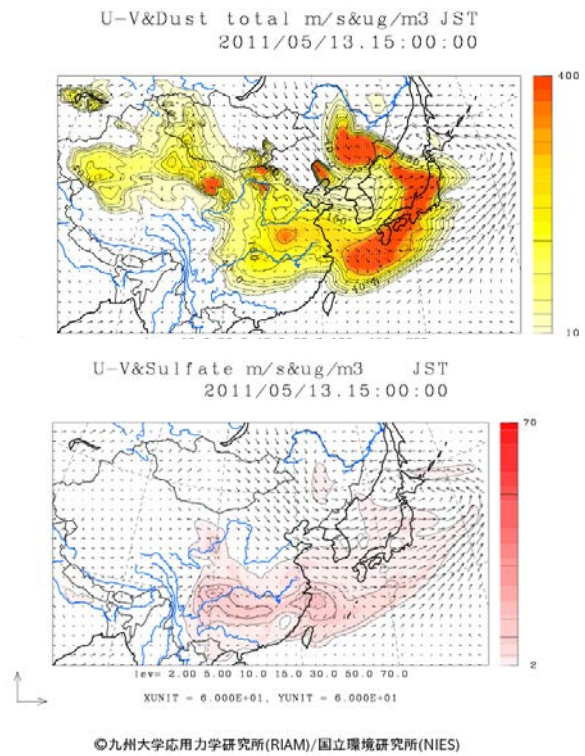


図 5-2-14-6 CFORS 予測結果

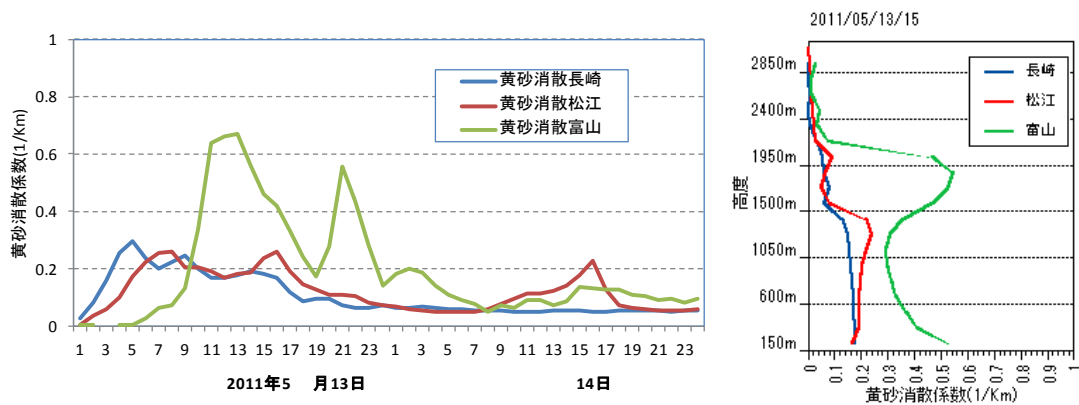


図 5-2-14-7 ライタ[®]-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

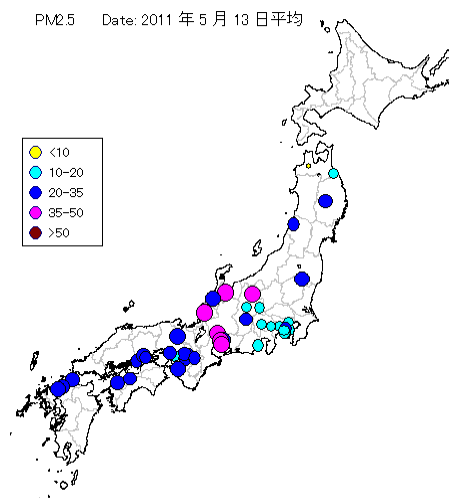


図 5-2-14-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

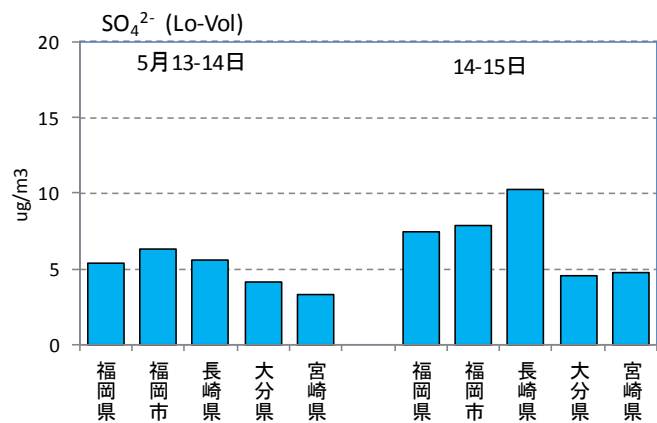


図 5-2-14-9 硫酸イオン濃度(日値)

(15)平成 15 (2003) 年 4 月 12 日～17 日 (事例 K01)

黄砂は西日本の 43 地点で観測され、煙霧は関東、中部を中心に 15 地点で観測されている。内モンゴルで砂塵嵐の発生がみられ、福岡での後方流跡線もその方向になっている。SPM 濃度はさほど高くなく、高いところで $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える程度である。大阪での $\text{PM}_{2.5}$ 成分組成では others (金属類) の割合が大きい。西日本での硫酸イオン濃度は高くなく、単純黄砂と判断できる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2003 年 4 月 13 日

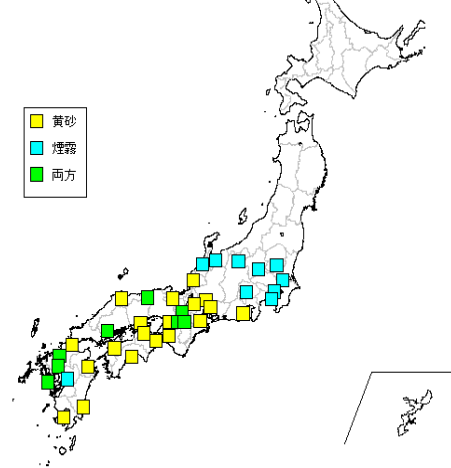
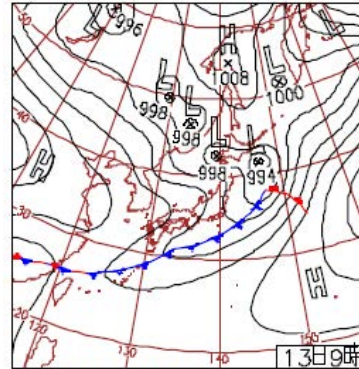


図 5-2-15-1 黄砂・煙霧観測地点



13 日 (日) 統一地方選挙

北海道を除く各地では西からの高気圧の張り出しにより概ね晴れ。最高気温は、北海道を除いて平年より高く、西表島で 30.1°C の真夏日。西日本を中心に黄砂を観測。

図 5-2-15-2 天気図

SPMB Date: 2003 年 4 月 13 日 15 時

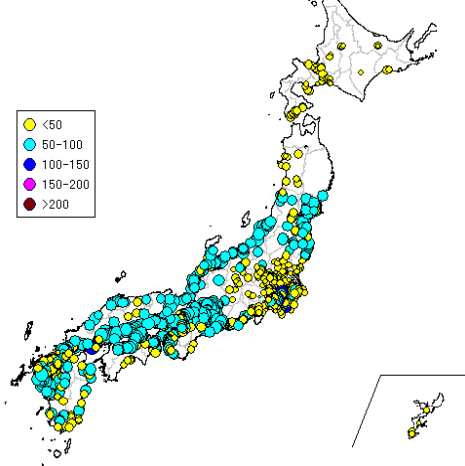


図 5-2-15-3 SPM 濃度全国分布

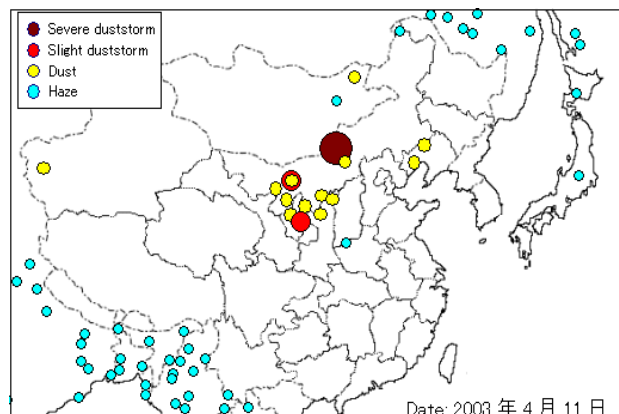


図 5-2-15-4 砂塵嵐発生状況

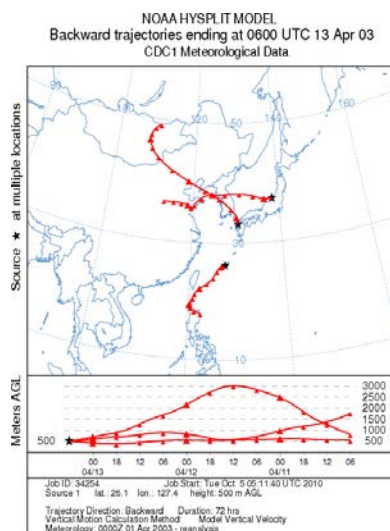


図 5-2-15-5 後方流跡線

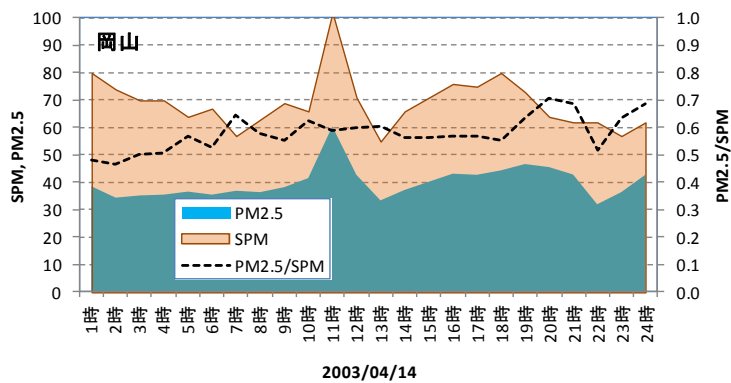


図 5-2-15-6 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

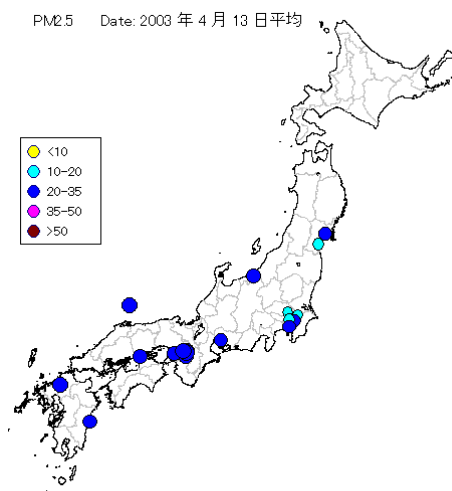


図 5-2-15-7 PM_{2.5} 日平均値全国分布

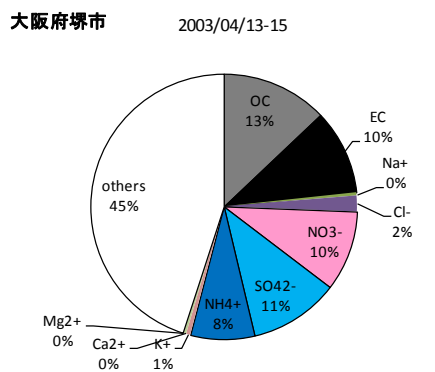


図 5-2-15-8 PM_{2.5} 成分組成

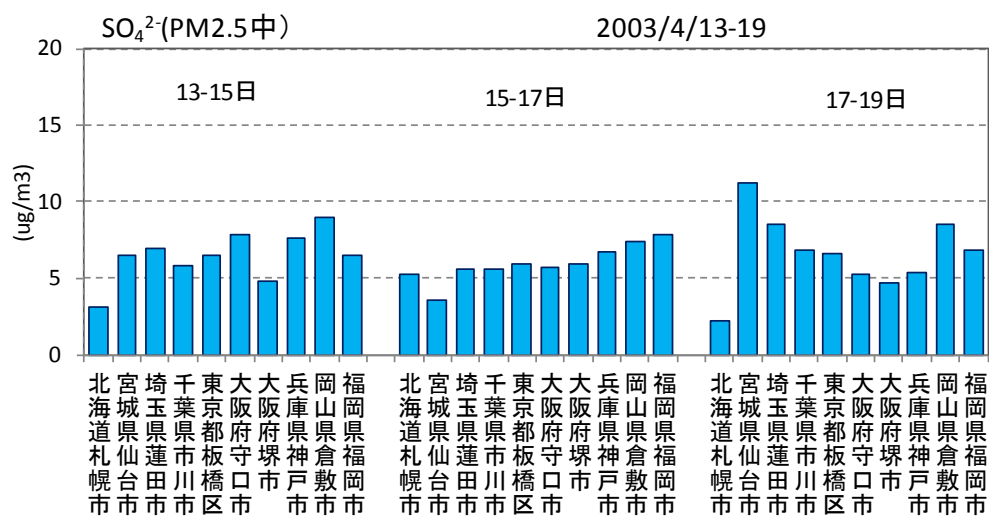
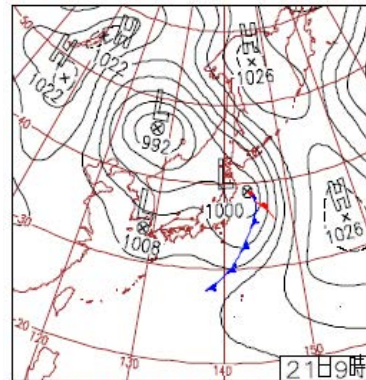
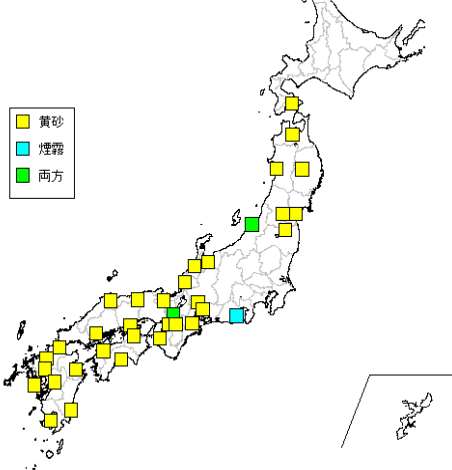


図 5-2-15-9 硫酸イオン濃度(日値)

(16)平成 17 (2005) 年 4 月 20 日～23 日 (事例 K04)

黄砂は、北海道までの全国に広がり 35 地点で観測されている。モンゴル東部で大きな砂塵嵐の発生があり、後方流跡線もその地域を経由したものが得られている。日本では SPM 濃度はあまり上昇しておらず、最高でも $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ をやや超える程度である。ライダー黄砂消散係数の値も低い。硫酸イオン濃度はいずれも $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で広い範囲に飛来した単純黄砂といえる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2005 年 4 月 21 日



21日(木)西日本～東北まで黄砂
発達中の低気圧が三陸沖に進み、北日本山陰は曇りや雨、北海道の一部で雪。その他の東・西日本は概ね晴れ。今年初の黄砂に関する全般気象情報発表。北海道函館市でひょう。

図 5-2-16-1 黄砂・煙霧観測地点

図 5-2-16-2 天気図

SPMB Date: 2005 年 4 月 21 日 21 時

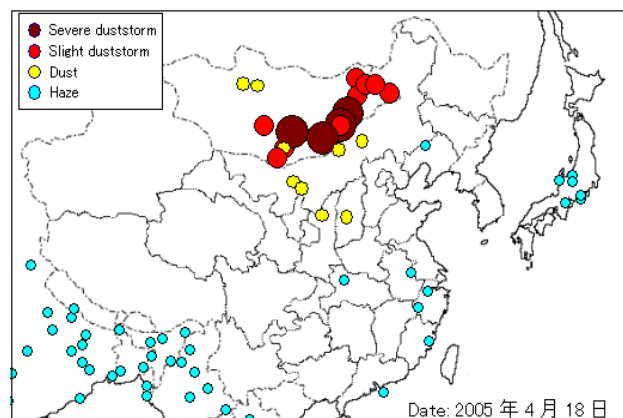
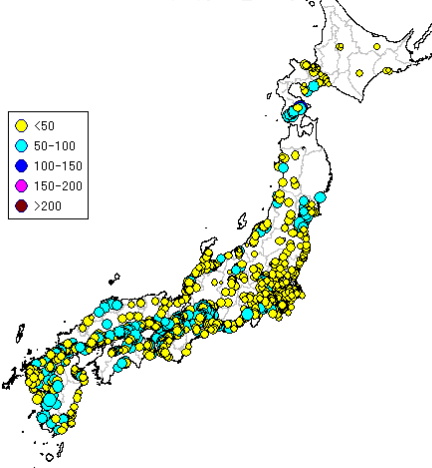


図 5-2-16-3 SPM 濃度全国分布

図 5-2-16-4 砂塵嵐発生状況

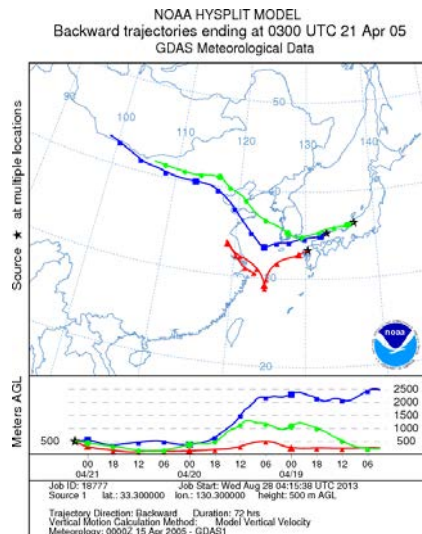


図 5-2-16-5 後方流跡線

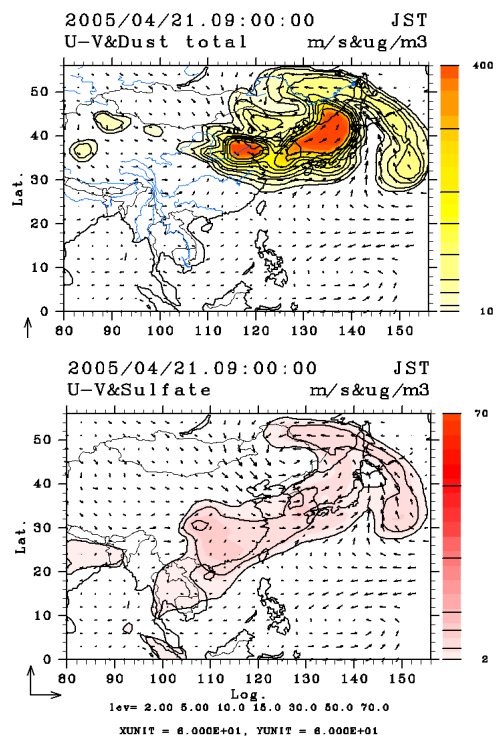


図 5-2-16-6 CFORS 予測結果

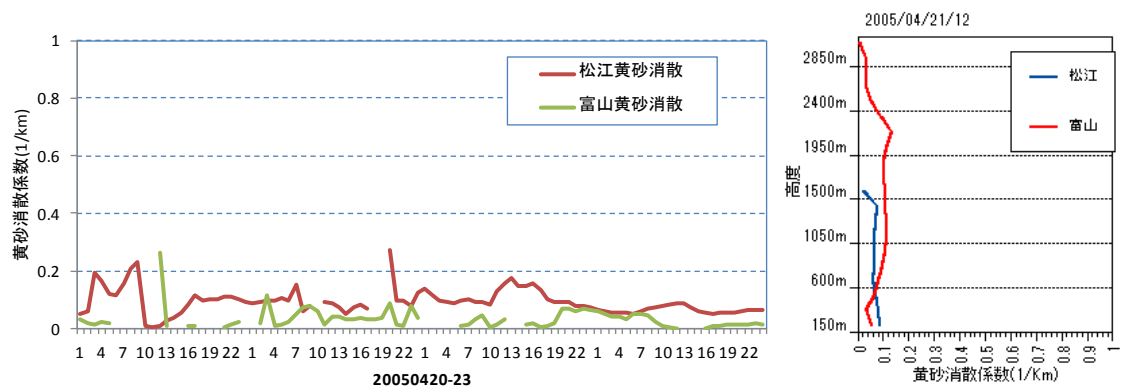


図 5-2-16-7 ライター-黄砂消散係数の経時変化と高度分布

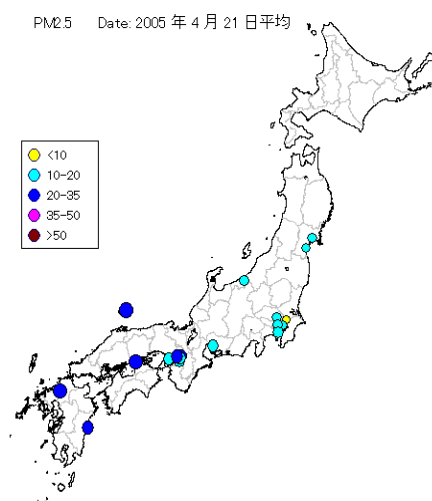


図 5-2-16-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

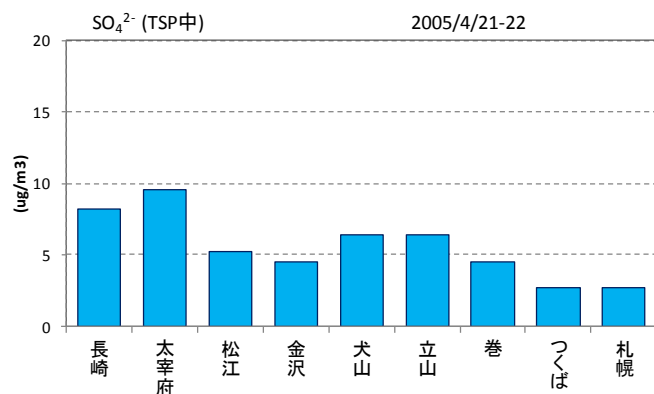


図 5-2-16-9 TSP 中硫酸イオン濃度(日値)

(17) 平成 16 (2004) 年 3 月 10 日～17 日 (事例 K02)

黄砂は北海道を含め全国 35 地点で観測されている。ゴビ砂漠周辺で大きな砂塵嵐の発生があり、後方流跡線もこの地域を通過してきている。SPM 濃度は、北の方でも上昇しており北海道で高いところは $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ になっている。CFORS でも日本の北部への流れが予測されている。硫酸イオンは福岡で $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を少し超しているがそれ以外は低く、北の方に影響を及ぼした単純黄砂と思われる。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2004 年 3 月 12 日

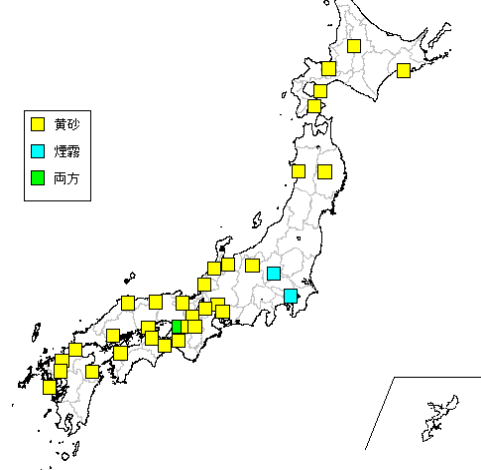
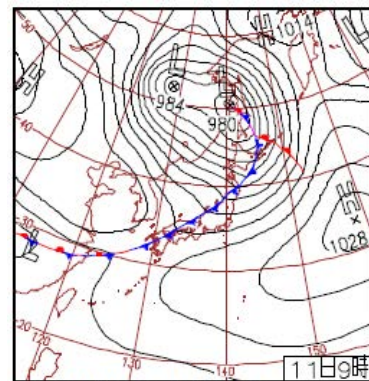


図 5-2-17-1 黄砂・煙霧観測地点



11日(木)各地で黄砂と強風

寒冷前線が日本を通過。暖かい南よりの強風が各地で吹き、東京の最大瞬間風速 31.5m/s は3月の記録。低気圧により大陸で巻き上げられた黄砂が日本各地47か所で観測される。

図 5-2-17-2 天気図

SPMB Date: 2004 年 3 月 11 日 15 時

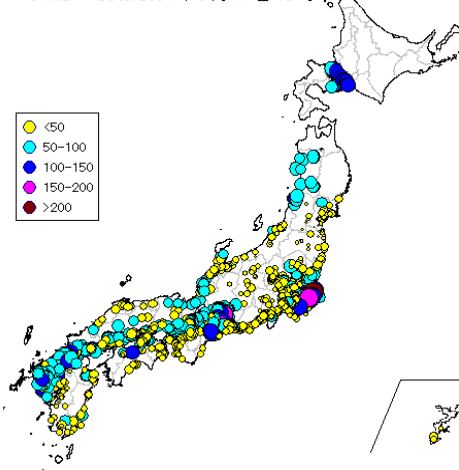


図 5-2-17-3 SPM 濃度全国分布

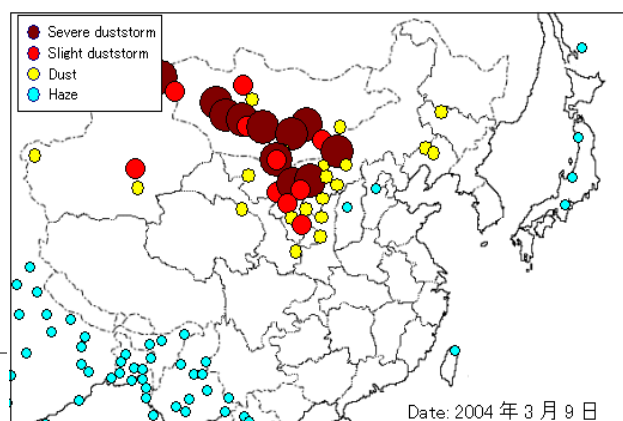


図 5-2-17-4 砂塵嵐発生状況

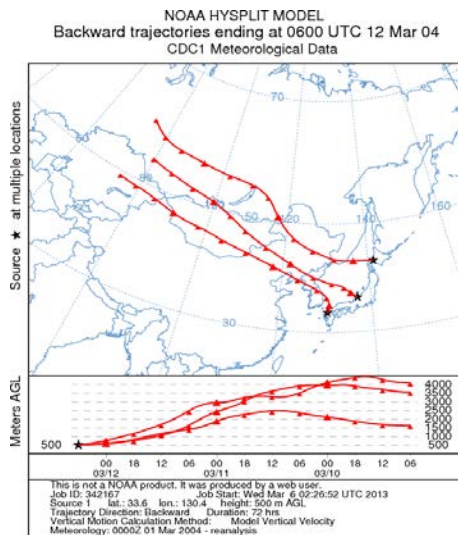


図 5-2-17-5 後方流跡線

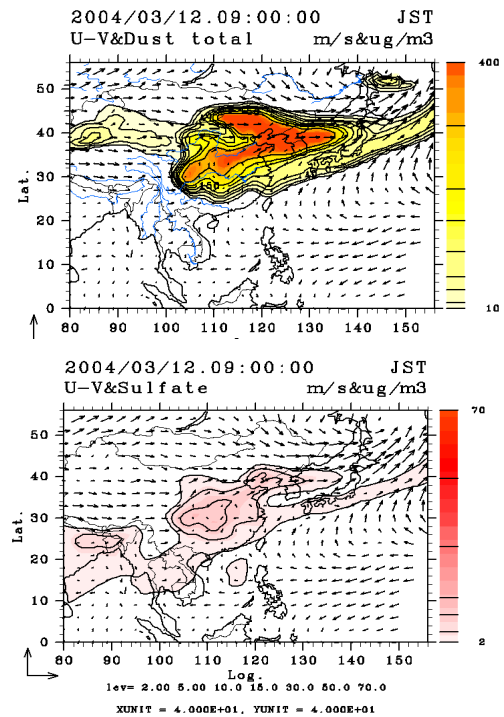


図 5-2-17-6 CFORS 予測結果

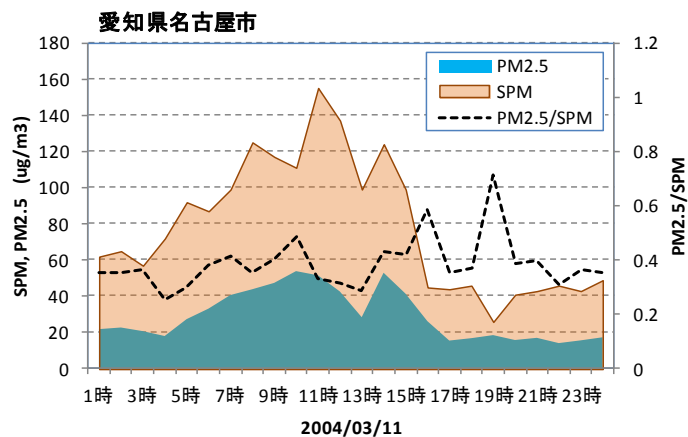


図 5-2-17-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

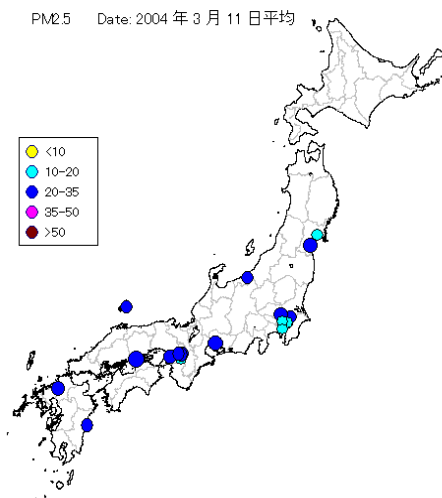


図 5-2-17-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

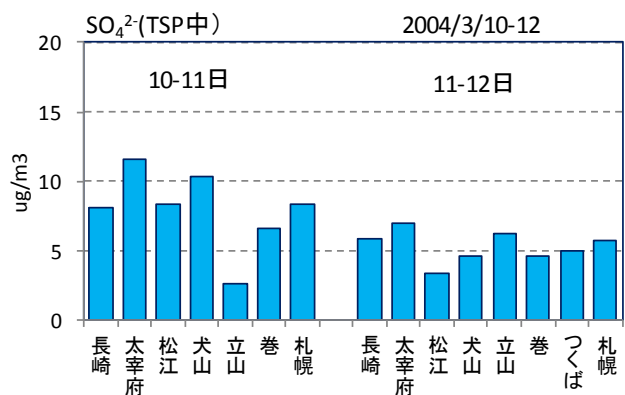


図 5-2-17-9 TSP 中硫酸イオン濃度(日値)

大規模黄砂は、多くの場合西日本から関東までの広がりであることが多いが、一部、北海道、東北まで及ぶケースもみられた。砂塵嵐の発生、後方流跡線の経路、黄砂観測地点が似通ったものでも、SPM濃度の上昇程度はかなり異なっており、飛来時の気象状況などによって、影響の度合いは様々である。大規模の黄砂の場合も、硫酸イオン濃度が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるような高濃度になることは多く、人為起源の大気汚染物質を多く含む混在黄砂か否かは、日本への気流の経路に大きく関係している。

事例ごとの解析による分類結果を、表 5-2-2 に示す。分類結果では、単純黄砂が 8 事例、混在黄砂が 9 事例とほぼ同数となった。

表 5-2-2 2003～2012 年度の大規模黄砂の分類

No.	事例番号	年	月	日	日数	黄砂地点数	煙霧地点数	黄砂の規模			分類
								SPM平均濃度	観測都道府県数	積算値	
1	K08	2007	4	1-3	3	43	15	110	43	4734	単純
2	K12	2010	3	20-24	5	63	13	99	47	4639	混在
3	K15	2011	5	1-5	5	43	10	96	40	3840	単純
4	K05	2006	4	1-10	10	41	15	94	35	3301	単純
5	K07	2006	4	24-27	4	44	12	86	37	3186	単純
6	K09	2007	5	26-31	6	50	5	67	40	2688	混在
7	K14	2010	11	12-15	4	37	10	63	36	2268	混在
8	K06	2006	4	17-21	5	43	18	52	36	1883	混在
9	K11	2009	3	16-19	4	46	4	47	40	1872	混在
10	K17	2013	3	8-11	4	31	8	57	30	1710	混在
11	K03	2004	4	16-24	9	34	15	59	29	1697	混在
12	K10	2008	3	2-3	2	44	3	48	35	1670	混在
13	K13	2010	5	3-6	4	32	5	51	31	1581	混在
14	K16	2011	5	13-14	2	39	2	47	33	1551	単純
15	K01	2003	4	12-17	6	31	19	50	28	1394	単純
16	K04	2005	4	20-23	4	38	3	35	32	1110	単純
17	K02	2004	3	10-17	8	35	14	33	26	853	単純

5.3. 大規模煙霧の事例

前項の大規模黄砂と同じように、気象台で煙霧を観測した地点が 31 地点以上の事例を選び出し、大規模煙霧とした。表 5-3-1 に、各事例について、煙霧日の PM_{2.5} 平均濃度と観測都道府県数を乗じて算出した煙霧の規模を示す指標が大きな順に示す。全部で 9 事例であり、黄砂に比べ、多地点で同時に観測される煙霧の事例は少ない。時期も黄砂とは異なり、年間を通して出現している。

以下、この順序に従って事例ごとにその概要を示す。

表 5-3-1 31 地点以上で煙霧を観測した事例

No.	事例番号	年	月	日	日数	煙霧地点数	煙霧の規模		
							PM2.5 平均濃度	観測都 道府県 数	積算値
1	E08	2008	3	11-13	3	42	51	42	2142
2	E09	2011	2	4-9	9	38	55	38	2090
3	E04	2005	6	24-27	4	41	42	41	1722
4	E07	2007	7	28-29	2	34	50	31	1550
5	E05	2006	3	7-9	3	32	46	32	1472
6	E06	2006	10	11-21	11	34	44	33	1452
7	E03	2004	7	22-25	4	34	40	33	1320
8	E02	2004	6	23-24	4	31	40	31	1240
9	E01	2003	5	21-25	5	33	36	30	1080

(1)平成 20 (2008) 年 3 月 11 日～13 日 (事例 E08)

東北から九州南部まで 44 地点で煙霧を観測している。気圧配置では、日本北部を移動性高気圧が通過している。韓国や中国沿岸部の多くの地点で Haze (煙霧) を観測しており、後方流跡線も気塊が中国沿岸部上空を通過していることを示している。SPM 濃度は多くの地点で $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超し、 $\text{PM}_{2.5}$ も大阪、岡山で $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超すまで上昇している。 $\text{PM}_{2.5}$ が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている兵庫県の測定局での $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ 比は 0.9 近くになっている。福岡での硫酸イオン濃度は、この期間 $15\sim30\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2008 年 3 月 12 日

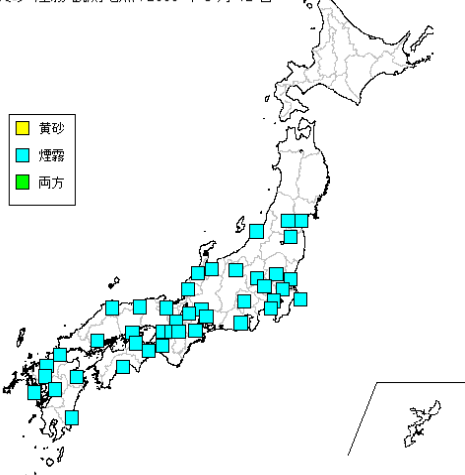
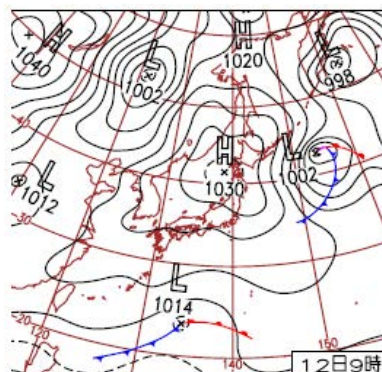


図 5-3-1-1 煙霧観測地点



12日(水)穏やかな天気と高気圧

日本付近は日本海北部の高気圧に覆われ、全国的に晴れ。関東地方は夜には気圧の谷の影響で、下層雲が広がり曇りとなった。東京都小笠原村母島で115.5mm/日の降水を観測。

図 5-3-1-2 天気図

SPM Date: 2008 年 3 月 12 日 9 時

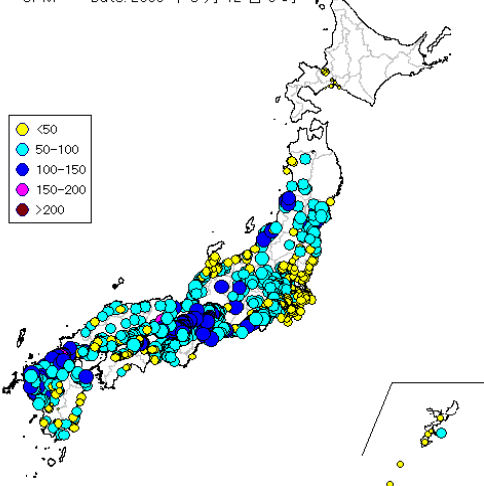


図 5-3-1-3 SPM 濃度全国分布

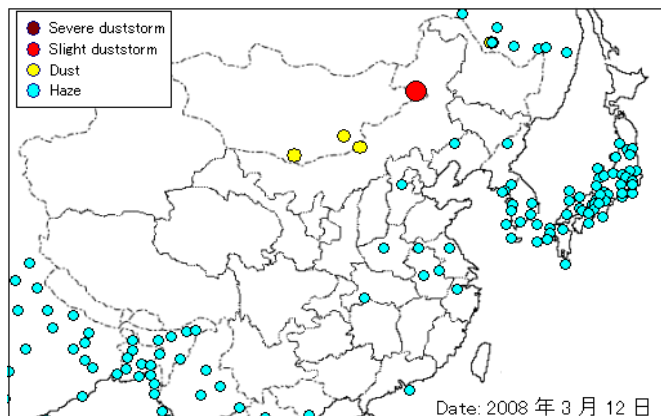


図 5-3-1-4 煙霧観測状況

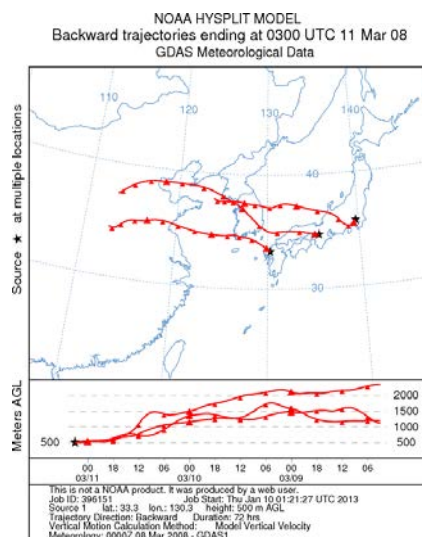


図 5-3-1-5 後方流跡線

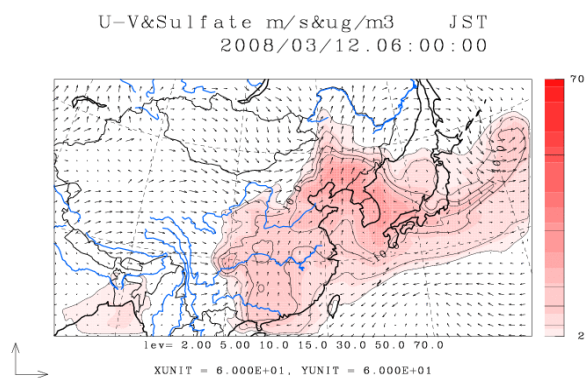


図 5-3-1-6 CFORS(sulfate) 予測結果

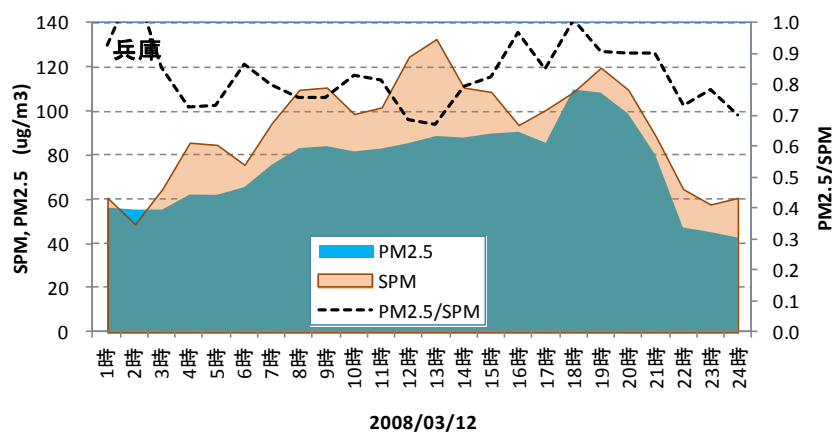


図 5-3-1-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

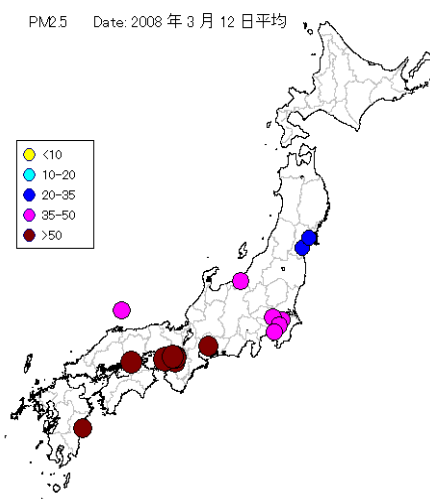


図 5-3-1-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

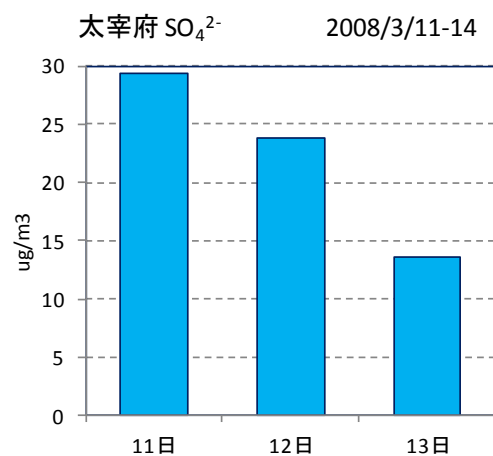


図 5-3-1-9 太宰府市での硫酸イオン濃度(日値)

(2)平成 23 (2011) 年 2 月 4 日～9 日 (事例 E09)

この煙霧現象は、マスコミ等でも大きく取り上げられ話題になった事例である。煙霧の観測は 38 地点と多く継続日数も長い大規模な煙霧であり、九州から時間の経過とともに東へ広がり関東まで至っている。気圧配置では、移動性高気圧が 8～10 日、12～14 日に日本中部を通過している様子がみられる。東アジアの広域で Haze (煙霧) が観測されており、後方流跡線もこの地域を経由している。SPM 全国分布でも、高濃度域が西から東へ時間とともに延びており、高いところでは $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超になっている。同様に、 $\text{PM}_{2.5}$ 日平均値全国分布では基準超過地域が広がっている様子が見られ、九州、山口では 1 時間値が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超している。 $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ 比は、九州、関東で同じように 0.9 を超す高い値で推移し、大阪でのライダー球形消散係数と $\text{PM}_{2.5}$ の濃度変化も同期している。全国での硫酸イオン濃度 (日値) では、この間おおむね $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す値になっている。なお、この事例については、山神らが詳細に解析し、越境汚染による影響の大きさを報告している²⁴⁾。

黄砂・煙霧 観測地点：2011 年 2 月 6 日

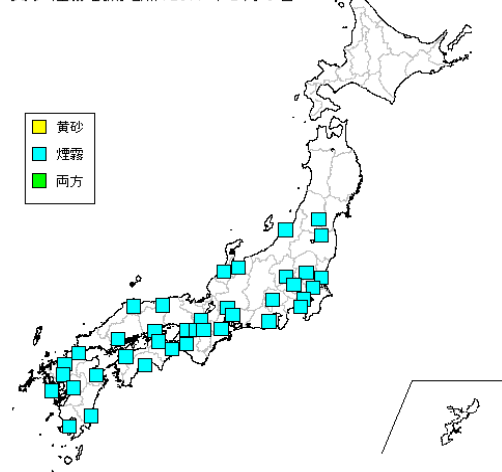
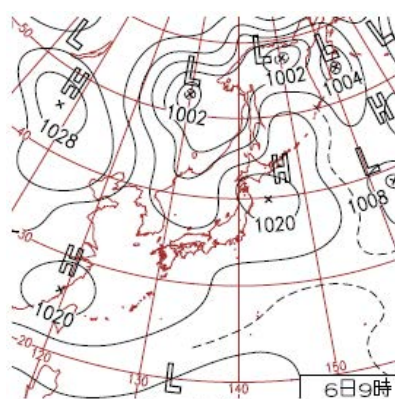


図 5-3-2-1 煙霧観測地点



6日(日) 春の気配は着実に
日本付近は高気圧に覆われ、概ね穏やかな晴れや曇り。北日本は明け方冷え込み寒さ厳しい。夜は、気圧の谷の通過の影響で東～北日本は雨や雪。

図 5-3-2-2 天気図

SPM Date: 2011 年 2 月 5 日 18 時

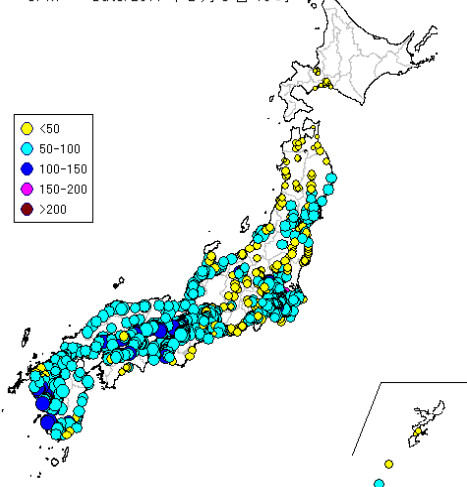


図 5-3-2-3 SPM 濃度全国分布

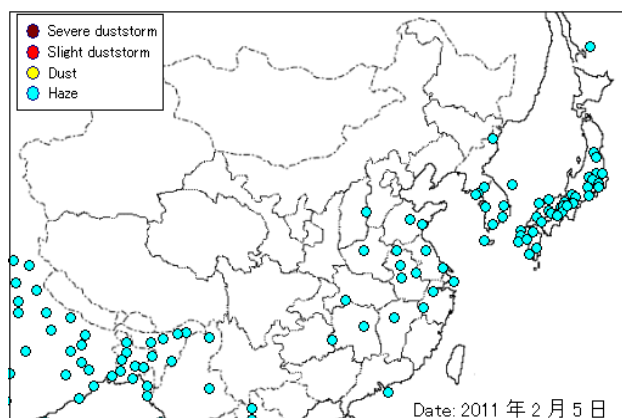


図 5-3-2-4 煙霧観測状況

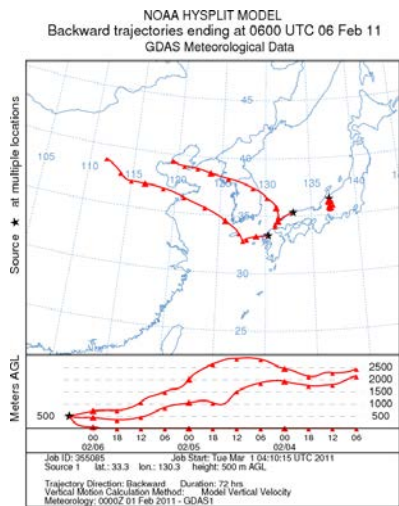


図 5-3-2-5 後方流跡線

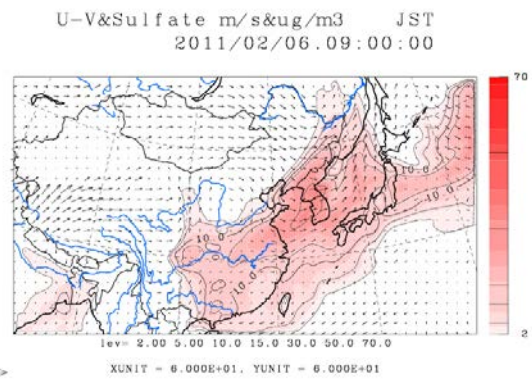


図 5-3-2-6 CFORS (dust) 予測結果

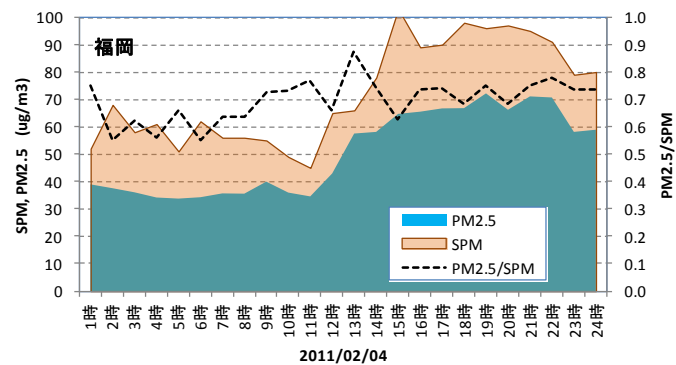


図 5-3-2-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

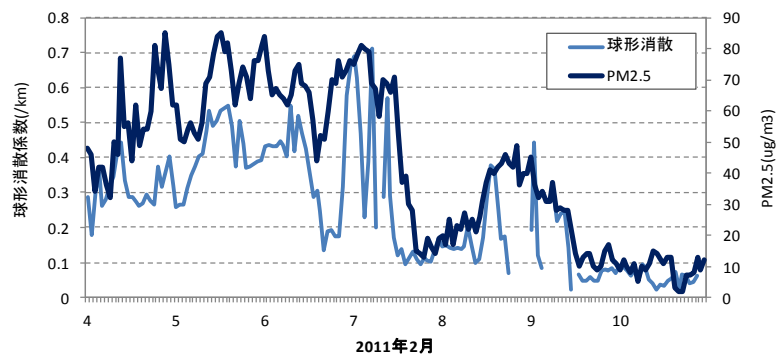


図 5-3-2-8 ライダー球形消散係数と PM_{2.5} 濃度の経時変化 (大阪)

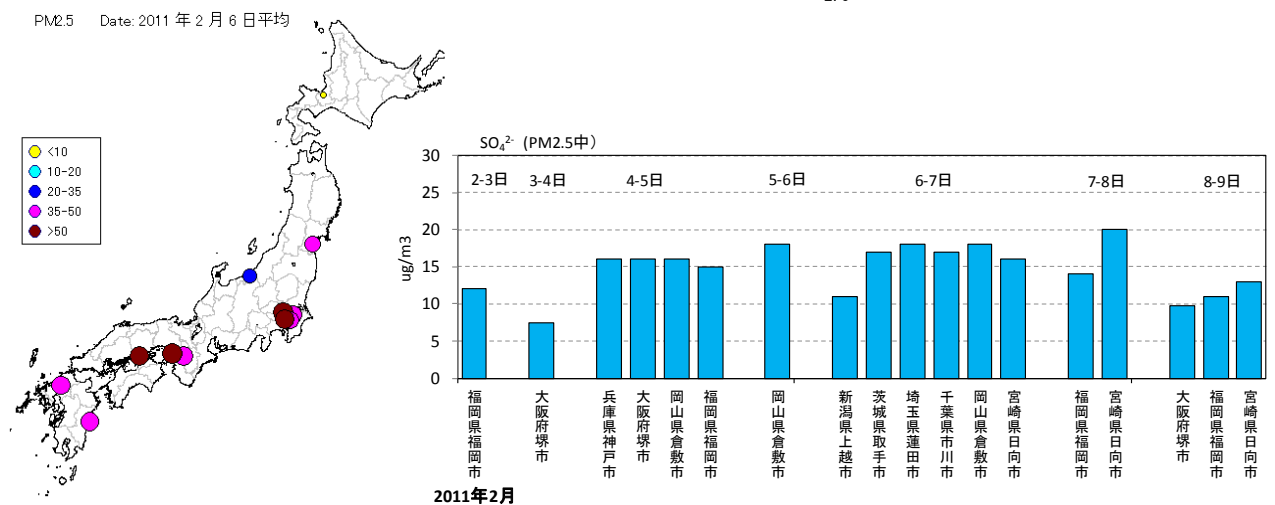


図 5-3-2-9 PM_{2.5} 日平均値全国分布

図 5-3-2-10 PM_{2.5} 中硫酸イオン濃度(日値)

(3)平成 17 (2005) 年 6 月 24 日～27 日 (事例 E04)

北海道以外の 41 地点で煙霧を観測している。この期間、九州を移動性高気圧が通過している。SPM は高いところで $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度である。東アジアでの Haze (煙霧) の観測はあまりみられないが、福岡での後方流跡線は大陸沿岸部方向からの気塊の動きを示している。PM_{2.5} は全国で日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、東北でも日平均値 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す高濃度がみられる。

黄砂・煙霧観測地点: 2005 年 6 月 25 日

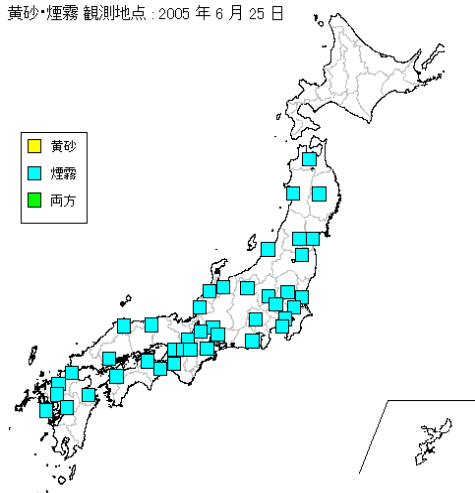
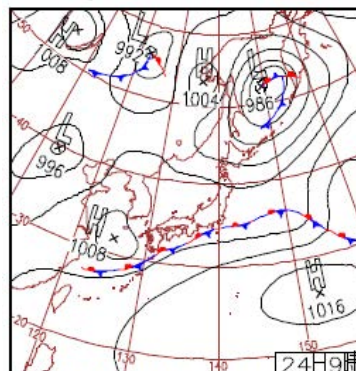


図 5-3-3-1 黄砂・煙霧観測地点



24日(金)関東等も気温上昇

本州付近での梅雨前線の活動は弱まり、沖縄を除いて晴れや曇り。沖縄は雨、竹富町波照間では日雨量238 mm。気温は東京31.0℃、前橋市34.4℃、大分県玖珠町で35.9℃。

図 5-3-3-2 天気図

SPMB Date: 2005 年 6 月 25 日 15 時

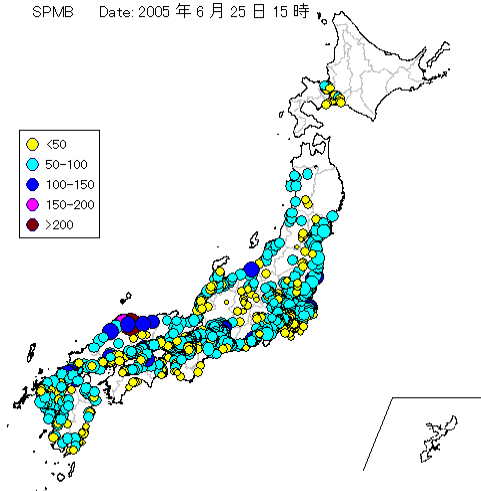


図 5-3-3-3 SPM 濃度全国分布

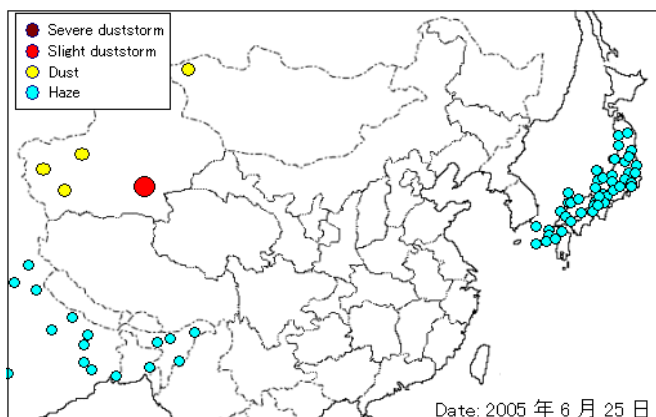


図 5-3-3-4 煙霧観測状況

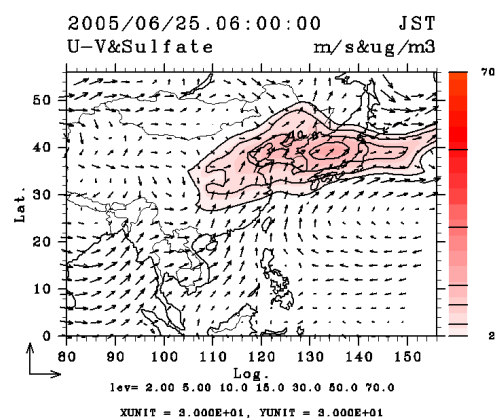
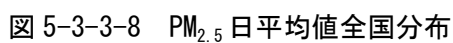
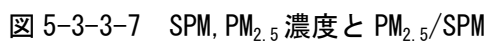


図 5-3-3-6 CFORS (dust) 予測結果



(4)平成 19 (2007) 年 7 月 28 日～29 日 (事例 E07)

西日本を中心に 34 地点で煙霧を観測している。この時、九州の南に移動性高気圧が接近し通過している。SPM は九州、山口で高濃度になり、高いところは $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 近くまで上昇している。中国沿岸部での Haze (煙霧) 観測地点はみられていない。西日本を起点とする後方流跡線は中国沿岸部の方向を示している。CFORS の sulfate の予測では、日本全体が覆われている。PM_{2.5} 濃度も高く日平均で $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超している地点も多い。硫酸イオン濃度は全国で高く、 $10\sim 25\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達している。

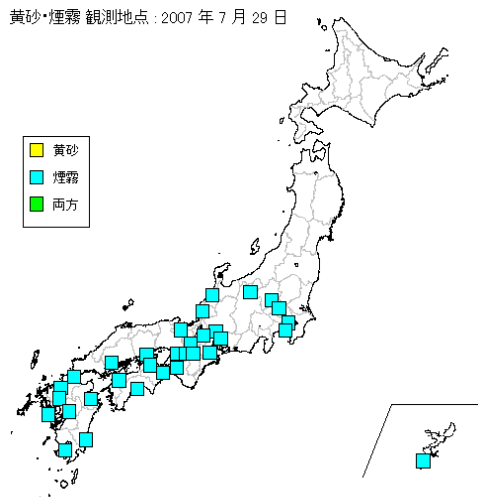


図 5-3-4-1 煙霧観測地点

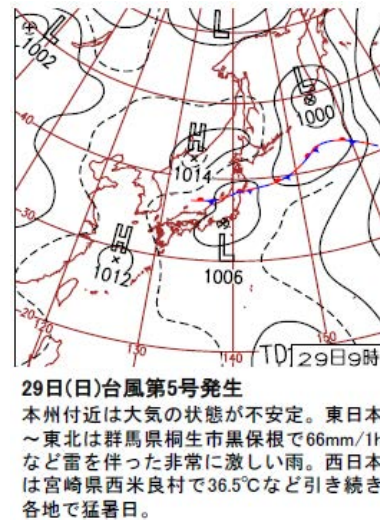


図 5-3-4-2 天気図

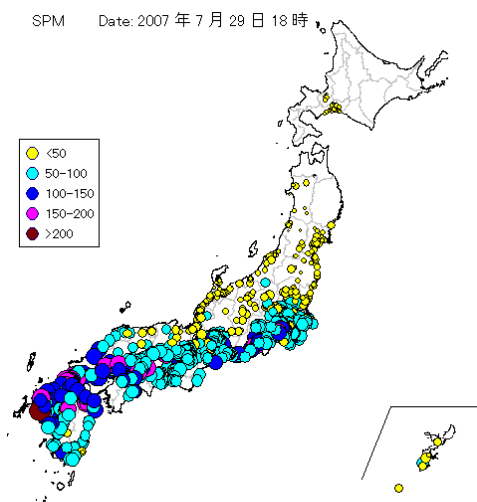


図 5-3-4-3 SPM 濃度全国分布

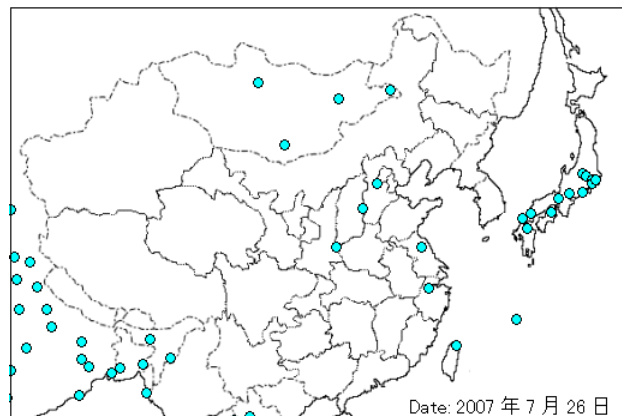


図 5-3-4-4 煙霧観測状況

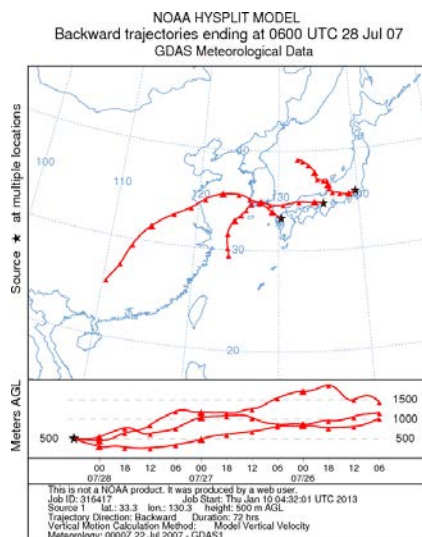


図 5-3-4-5 後方流跡線

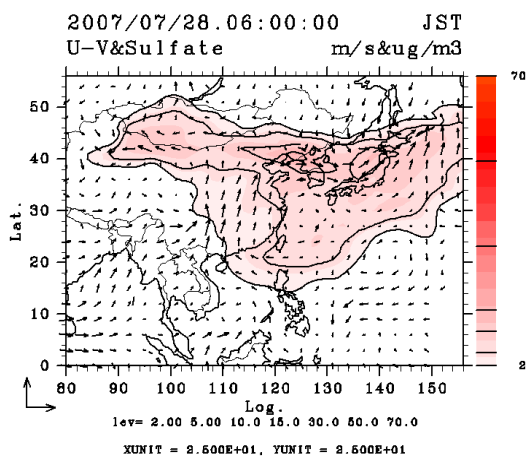


図 5-3-4-6 CFORS(sulfate) 予測結

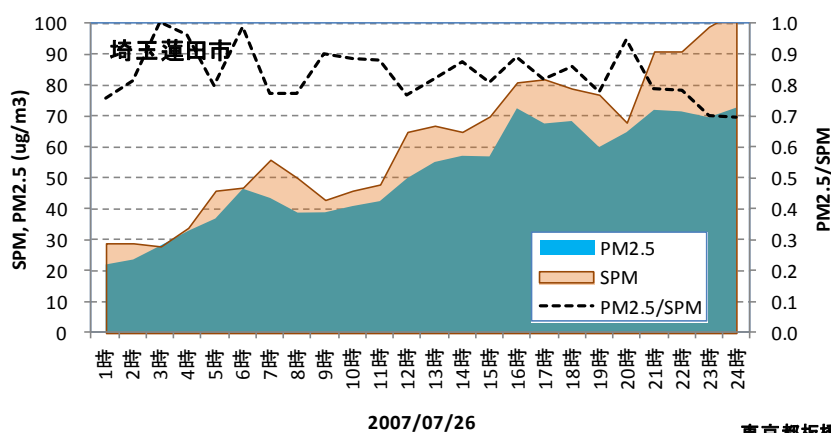


図 5-3-4-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

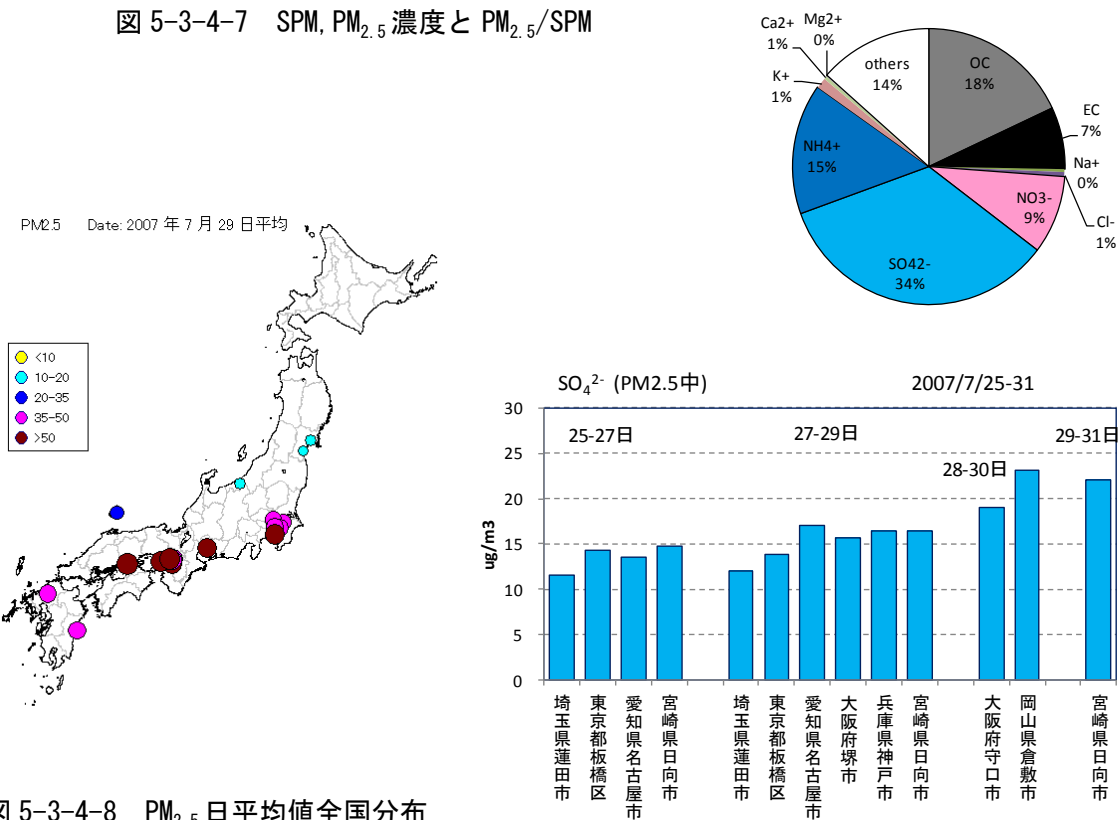


図 5-3-4-8 PM_{2.5} 日平均值全国分布

図 5-3-4-9 PM_{2.5} 中成分組成と硫酸イオン濃度(日値)

(5) 平成 18 (2006) 年 3 月 7 日～9 日 (事例 E05)

関東以西の 32 地点で煙霧を観測している。移動性高気圧が接近してきている。SPM 濃度は九州を中心に $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたところもみられる。前日、中国沿岸部での広い範囲で Haze (煙霧) を観測している。福岡での後方流跡線は中国沿岸部よりの流れを示し、CFORS でも sulfate の中国からの移流を予測している。PM_{2.5} も西日本で広く $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた状況である。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2006 年 3 月 8 日

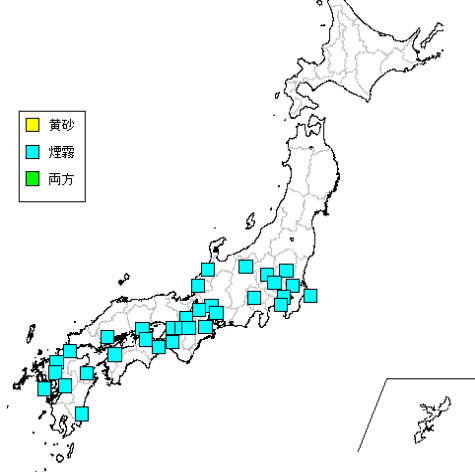
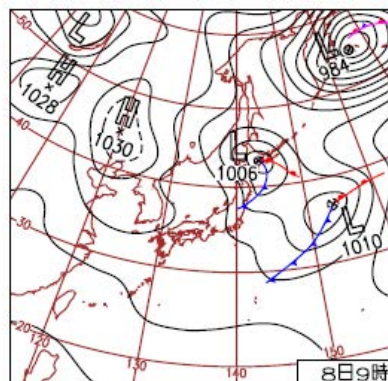


図 5-3-5-1 煙霧観測地点



8日(水)北日本に低気圧や前線

北日本は雨や雪。南西諸島も気圧の谷の影響で曇りや雨。高気圧に覆われた東・西日本は晴れて4月上旬～中旬の暖かさ。奈良市でツバキが開花。

図 5-3-5-2 天気図

SPMB Date: 2006 年 3 月 8 日 18 時

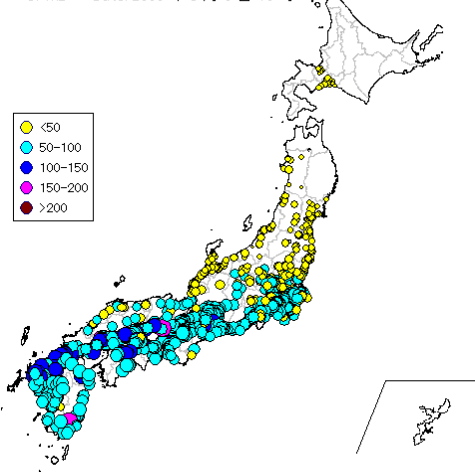


図 5-3-5-3 SPM 濃度全国分布

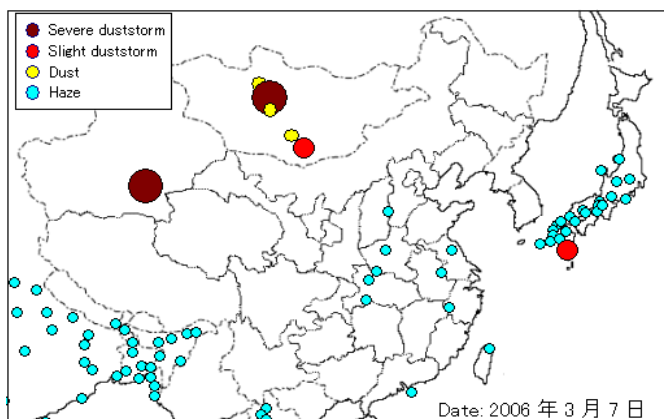


図 5-3-5-4 煙霧観測状況

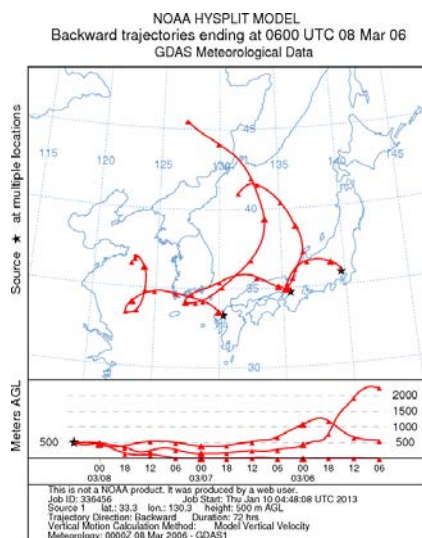


図 5-3-5-5 後方流跡線

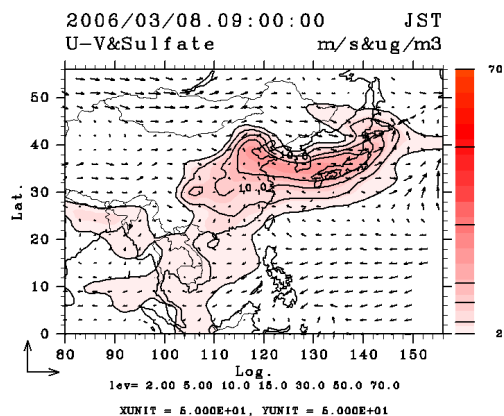


図 5-3-5-6 CFORS(sulfate) 予測結

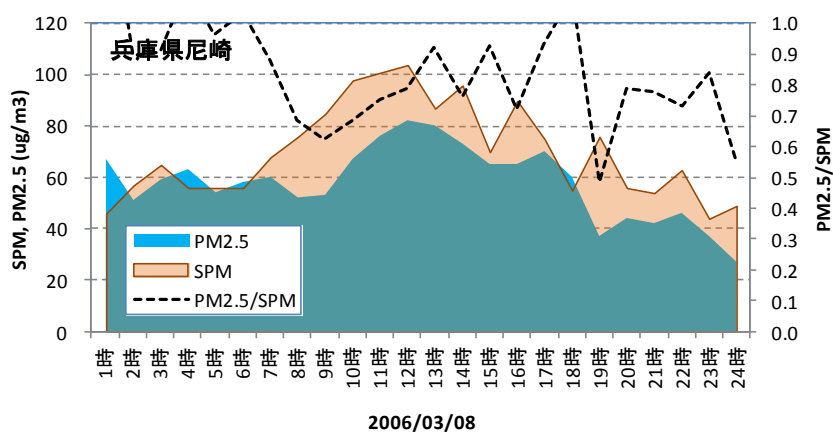


図 5-3-5-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

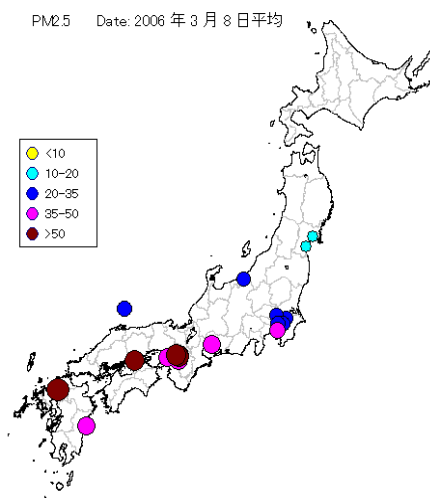
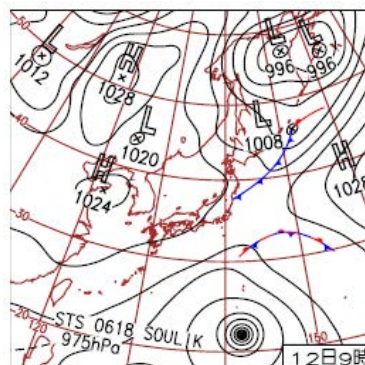
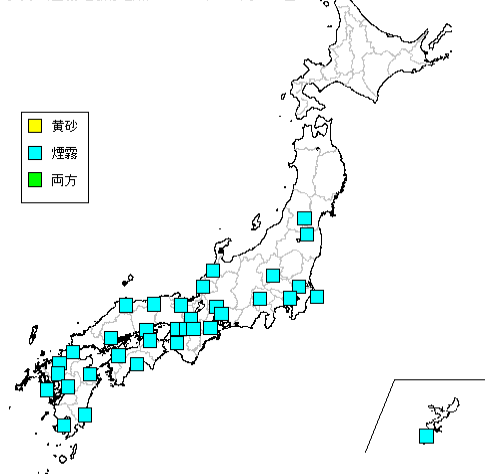


図 5-3-5-8 PM_{2.5} 日平均值全国分布

(6)平成 18 (2006) 年 10 月 11 日～21 日 (事例 E06)

西日本から東北まで 30 地点以上で煙霧が観測され、11 日間継続した規模と期間の長い煙霧である。この期間、移動性高気圧が日本をゆっくりと通過している。SPM も最高で $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える局が多く存在する。中国沿岸部で Haze (煙霧) が多数観測されており、後方流跡線も西日本では中国沿岸部からの流れを示している。CFORS も sulfate の中国からの流れを予測している。PM_{2.5} は西日本で $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す地点が出ている。硫酸イオン濃度が、福岡で高い時は $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超している。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2006 年 10 月 12 日



12日(木)徐々に高気圧圏内

寒冷前線は北日本を抜けたが、日本海側や北海道北部を中心に弱い雨が残る。西から高気圧に覆われて関東以西は晴れ。平年より3～5℃高い最高気温。九州・沖縄は真夏日の所も。

図 5-3-6-1 煙霧観測地点

図 5-3-6-2 天気図

SPMB Date: 2006 年 10 月 12 日 18 時

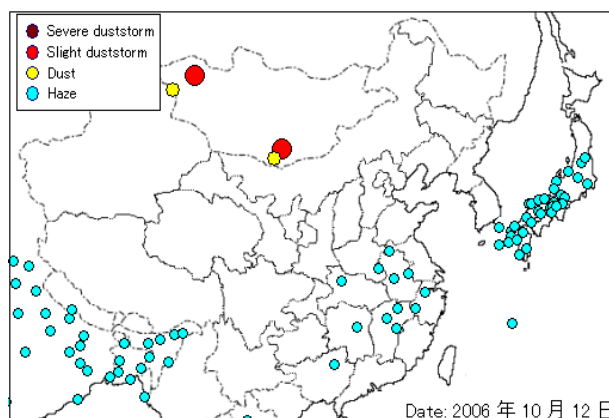
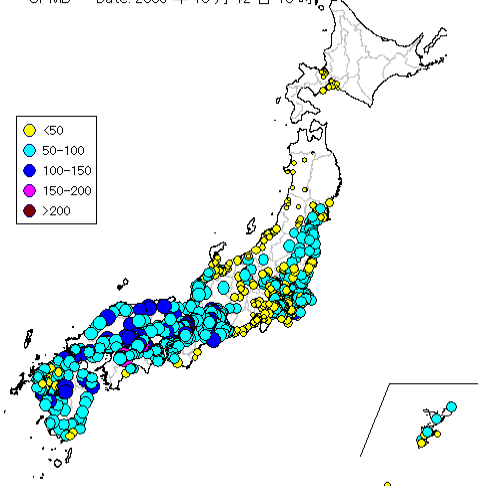


図 5-3-6-3 SPM 濃度全国分布

図 5-3-6-4 煙霧観測状況

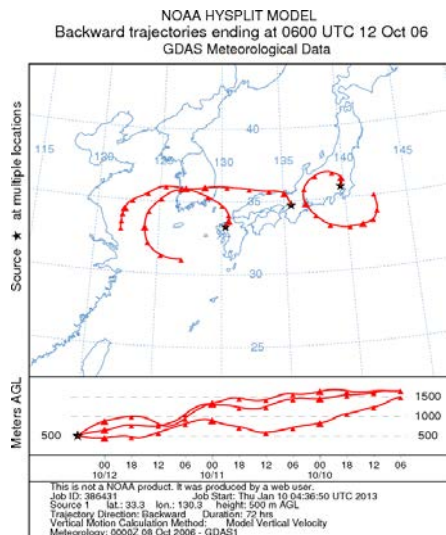


図 5-3-6-5 後方流跡線

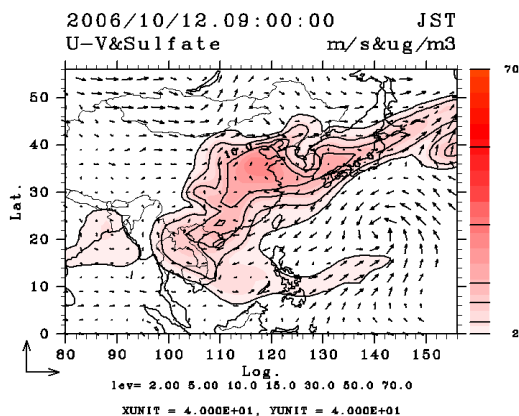


図 5-3-6-6 CFORS(sulfate)予測結果

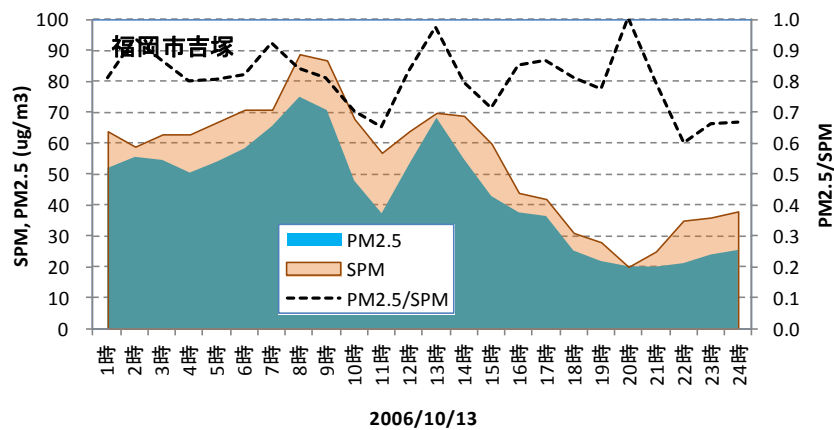


図 5-3-6-7 SPM, PM_{2.5}濃度と PM_{2.5}/SPM

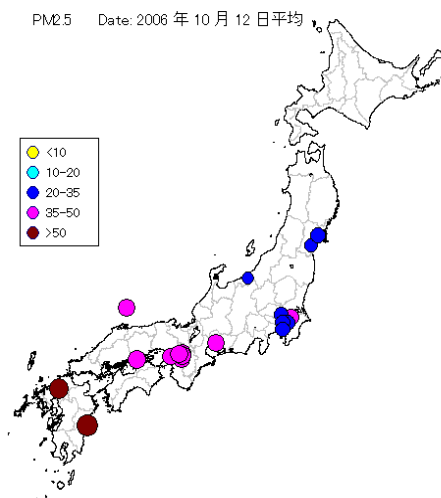


図 5-3-6-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

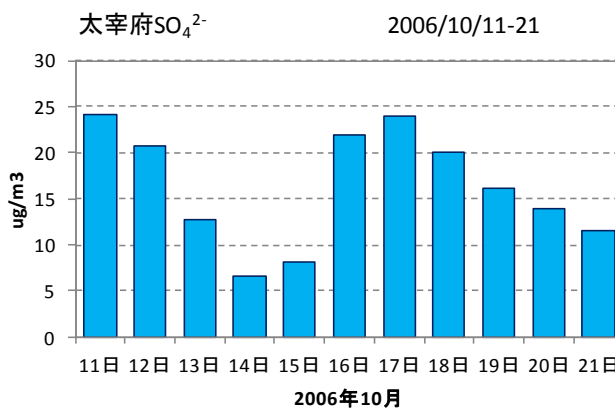
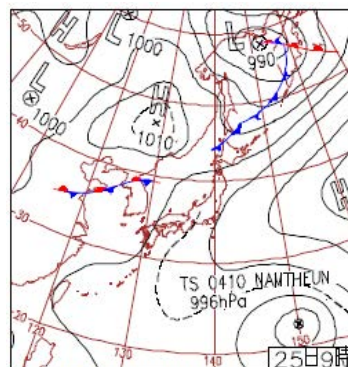
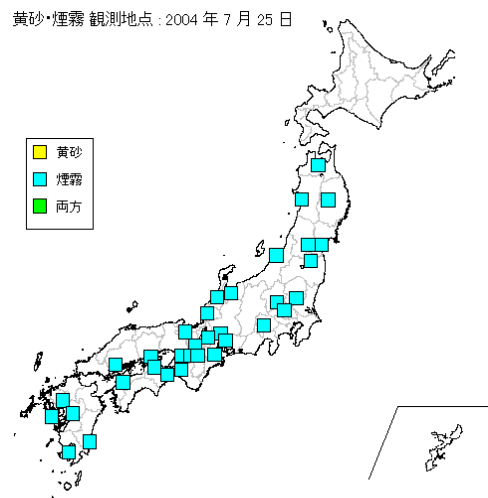


図 5-3-6-9 太宰府市での硫酸イオン濃度(日値)

(7)平成 16 (2004) 年 7 月 22 日～25 日 (事例 E03)

煙霧が、本州から九州にかけての全体に広がり 34 か所で観測されている。SPM は最高で $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える局が多くなっている。中国沿岸部での Haze (煙霧) の観測は少ない。後方流跡線は福岡で中国沿岸部方面からの流れを示している。CFORS は中国からの影響を示しているが高濃度にはなっていない。PM_{2.5} は関西と宮城で日平均が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値を示している。



25日(日)広い範囲で雷雨
日本付近は太平洋高気圧に緩やかに覆われ、概ね晴れ。日本上空に南海上から寒気が入り、午後は山沿いを中心に広い範囲で雷雨。愛媛県西条市で49mm/h。落雷による被害多発。

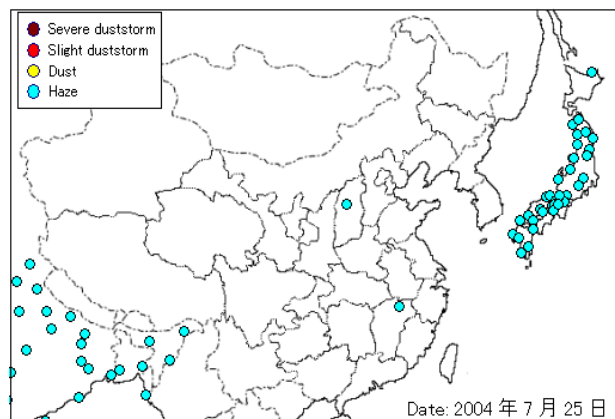
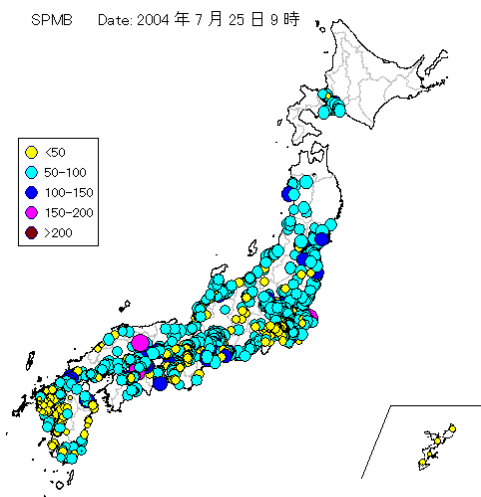


図 5-3-7-3 SPM 濃度全国分布

図 5-3-7-4 煙霧観測状況

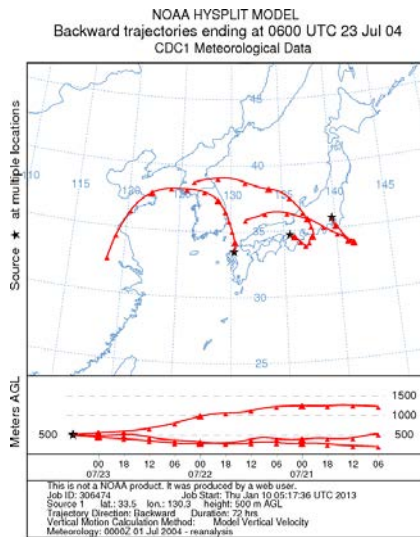


図 5-3-7-5 後方流跡線

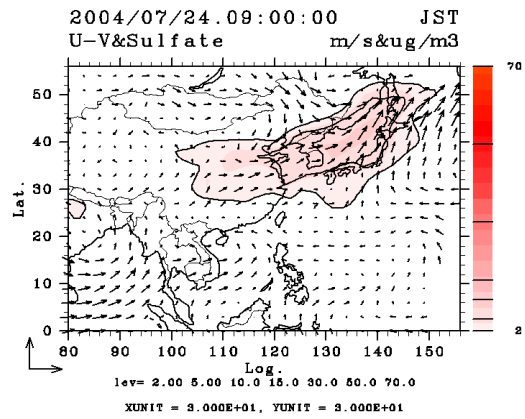


図 5-3-7-6 CFORS(sulfate) 予測結果

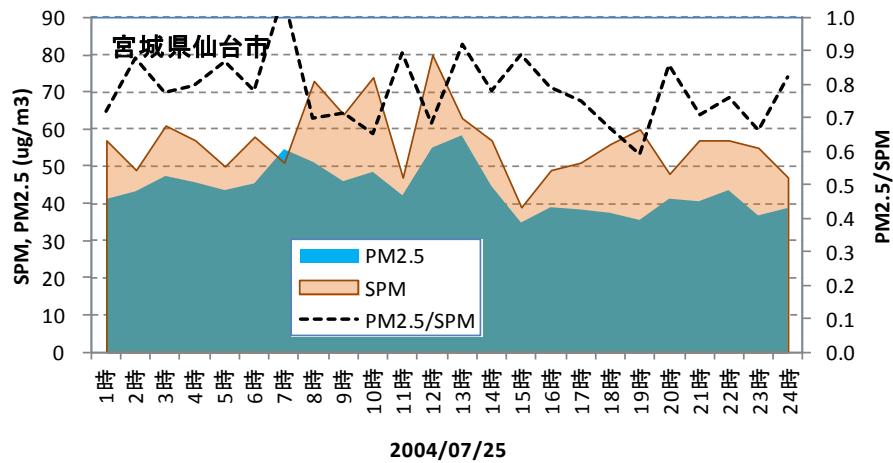


図 5-3-7-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

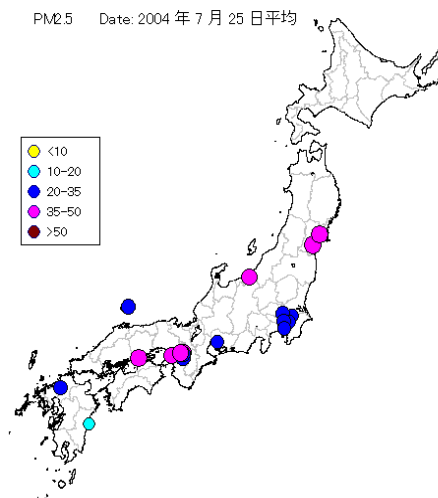


図 5-3-7-8 PM_{2.5} 日平均值全国分布

(8)平成 16 (2004) 年 6 月 23 日～24 日 (事例 E02)

煙霧は本州、九州の 31 か所で広く観測されている。SPM は、中国四国から東北までの広範囲で最高 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超す局が多数みられる。東アジアでの Haze (煙霧) の観測はみられない。後方流跡線は中国沿岸部よりの流れを示している。CFORS は中国大陸から主に日本北部への飛来を予測している。PM_{2.5} は関西と宮城で高く、前項の(7)事例 E03 と似た状況を示している。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2004 年 6 月 24 日

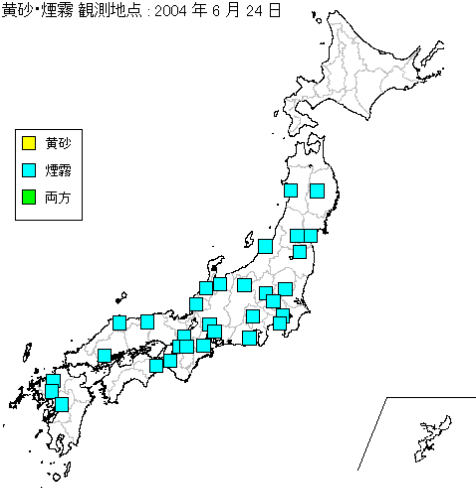
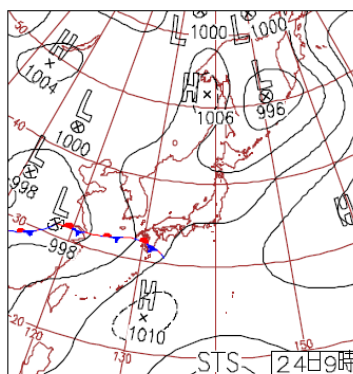


図 5-3-8-1 煙霧観測地点



24日(木)九州北部で激しい雨
九州で梅雨前線の活動が活発化。長崎有川町で9時に47m/hの激しい雨。日雨量は長崎県の平戸市で123.5mm、佐賀県の伊万里市で102mm。奄美で平年より4日早い梅雨明け。

図 5-3-8-2 天気図

SPMB Date: 2004 年 6 月 24 日 15 時

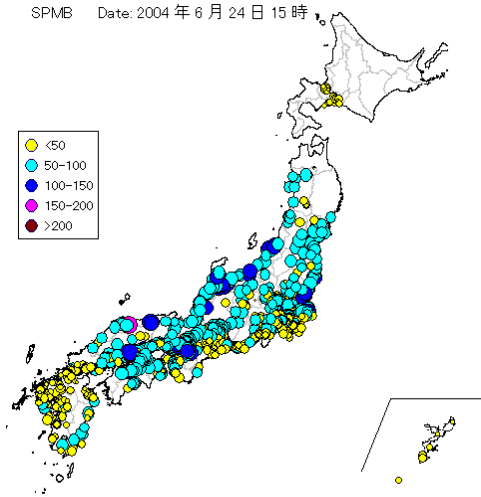
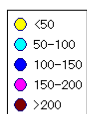


図 5-3-8-3 SPM 濃度全国分布

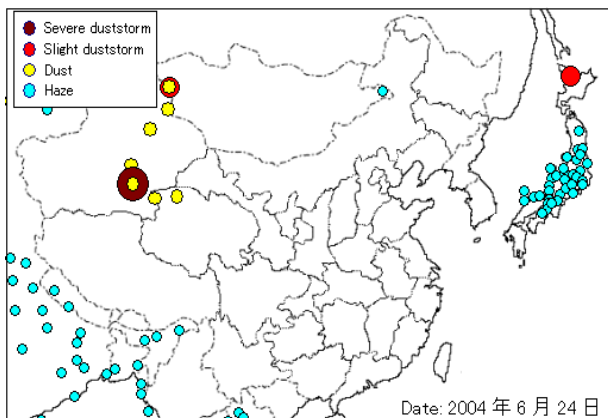


図 5-3-8-4 煙霧観測状況

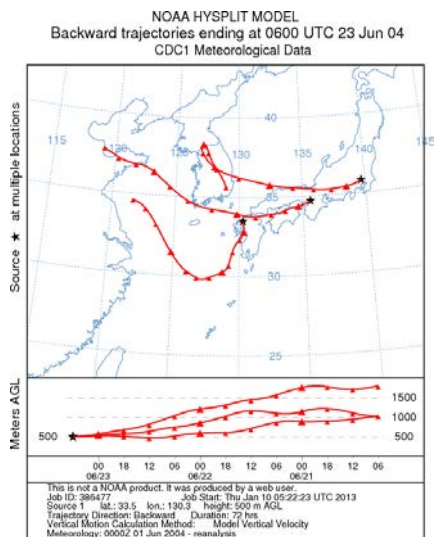


図 5-3-8-5 後方流跡線

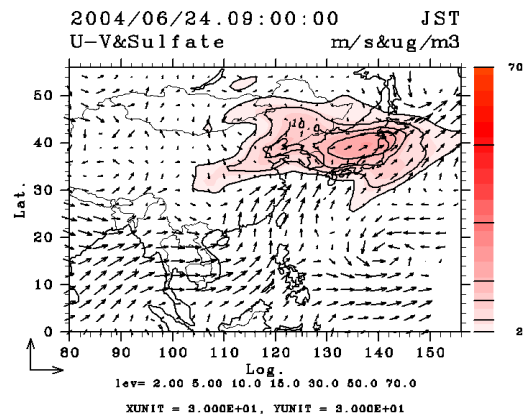


図 5-3-8-6 CFORS (sulfate) 予測結果

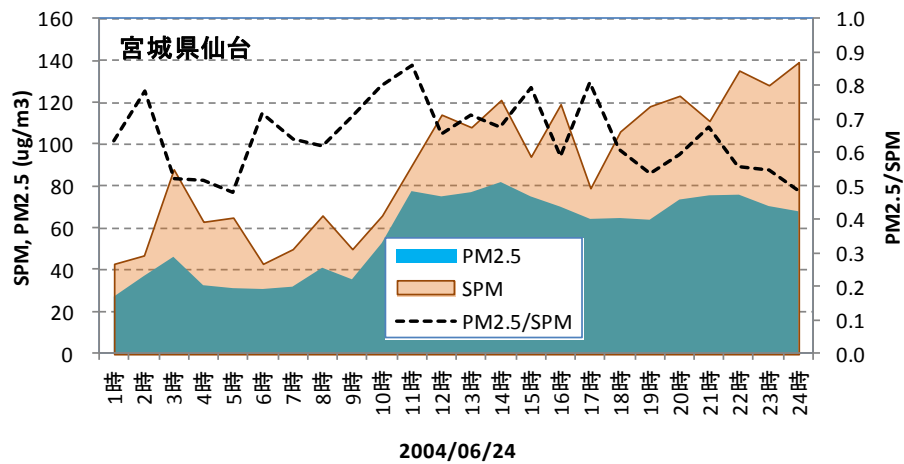


図 5-2-8-7 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

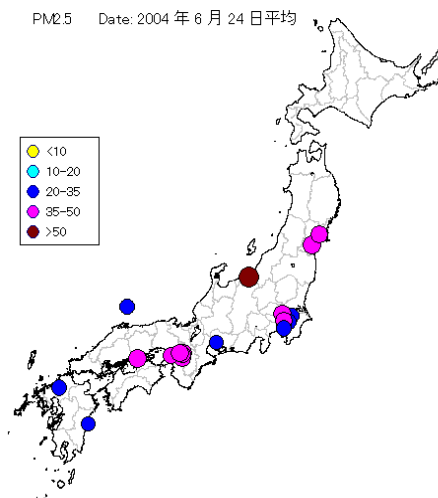


図 5-3-8-8 PM_{2.5} 日平均値全国分布

(9) 平成 15 (2003) 年 5 月 21 日～25 日 (事例 E01)

北海道を含む全国 33 地点で煙霧を観測している。この期間、日本全体が移動性高気圧に覆われている。SPM は西日本を中心に最高 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える局が多数存在している。Haze (煙霧) が珍しくロシアで多く観測されている。これは、この時期に発生したシベリヤでの大規模な森林火災のためと思われる。後方流跡線は福岡で韓国方向からの流れを示している。PM_{2.5} は西日本で高い。福岡での硫酸イオン濃度は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超し、高い時は $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。

黄砂・煙霧 観測地点 : 2003 年 5 月 23 日

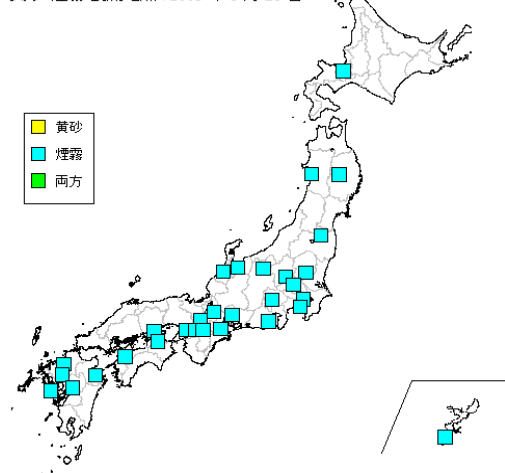
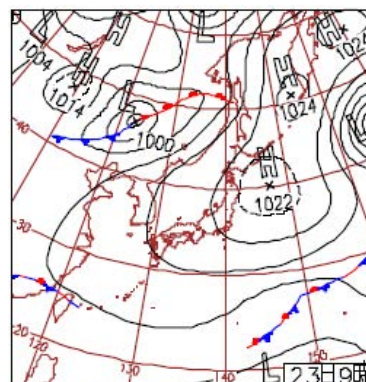


図 5-3-9-1 煙霧観測地点



23日(金) 静岡県で激しい雨
東北の東海上に移動した高気圧が広く日本を覆い、北日本を中心に晴れ。上空に寒気は入り、近畿から東海では不安定となり、静岡県鍵穴で15時まで1時間57mmの強雨。

図 5-3-9-2 天気図

SPMB Date: 2003 年 5 月 23 日 9 時

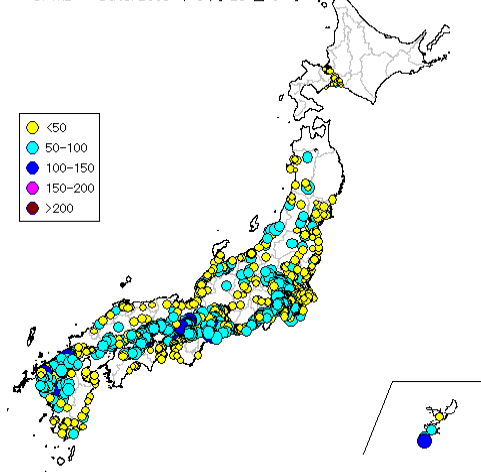


図 5-3-9-3 SPM 濃度全国分布

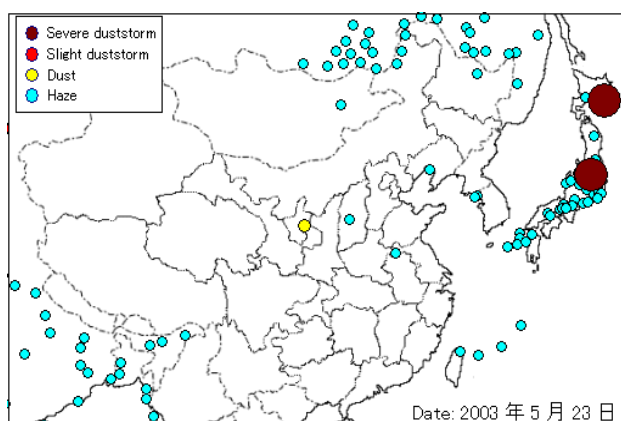


図 5-3-9-4 煙霧観測状況

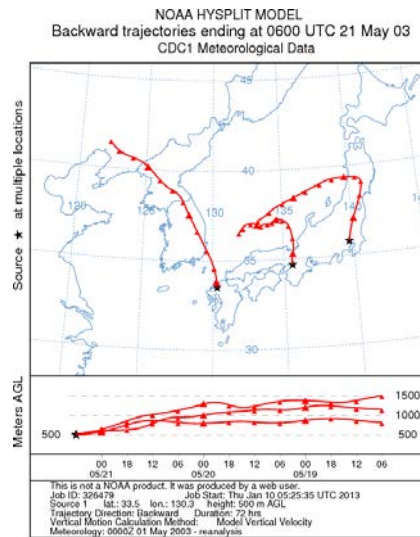


図 5-3-9-5 後方流跡線

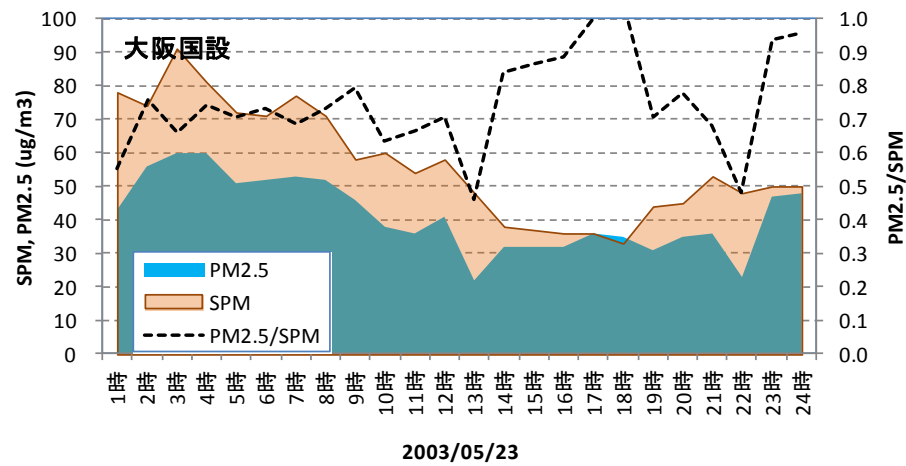


図 5-3-9-6 SPM, PM_{2.5} 濃度と PM_{2.5}/SPM

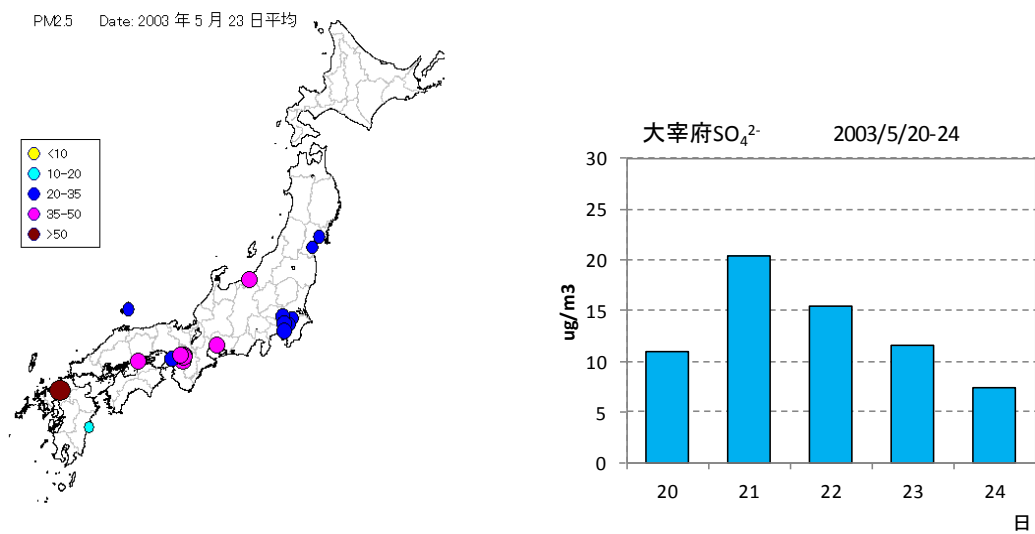


図 5-3-9-7 PM_{2.5} 日平均値全国分布

図 5-3-9-8 太宰府市での硫酸イオン濃度(日値)

5.4. 黄砂・煙霧の特徴

過去の調査^{5), 19)}でまとめられた黄砂日の特徴は以下の通りである。

- 後方流跡線がモンゴル上空を通過する
- 気圧配置で、日本南岸に前線が延びる
- ライダーの黄砂消散係数と SPM 濃度が同時に上昇する
- SPM 濃度が地域の複数の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)

また、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挙げられている。

- 後方流跡線が中国沿岸部を通過する
- 気圧配置で、移動性高気圧が日本を通過している
- ライダー球形消散係数と硫酸イオンに同時上昇の傾向がみられる
- 硫酸イオンの濃度が上昇する
- CFORS の「硫酸塩エアロゾル (大気汚染物質)」(sulfate) の予想分布で、硫酸塩の移流が予測されている
- PM_{2.5}/SPM 比が大きい (粗大粒子の割合が小さい)

さらに、黄砂と長距離移流による煙霧とは、日本へ到達する時に混在した形を取ることも多いと考えられるため、これらを混在黄砂として分類してきた。大規模な黄砂・煙霧の事例解析においても、このような特徴はおおむね共通していた。

以下、(1)後方流跡線の経路、(2)黄砂発生と Haze (煙霧) の観測、(3)PM_{2.5} と SPM の比、(4)ライダー黄砂消散係数と SPM の関係について整理した。

(1) 後方流跡線の経路

大規模黄砂・煙霧時の後方流跡線の経路について整理した。図 5-4-1 は大規模黄砂 17 事例の後方流跡線の経路をまとめたものである。同様に、図 5-4-2 は大規模煙霧 9 事例をまとめたものである。

この二つの図から、黄砂が主にモンゴル及び中国内陸部を通過するものが中心であり、大規模煙霧は中国沿岸部及び韓国を通過するケースが多いことがわかる。

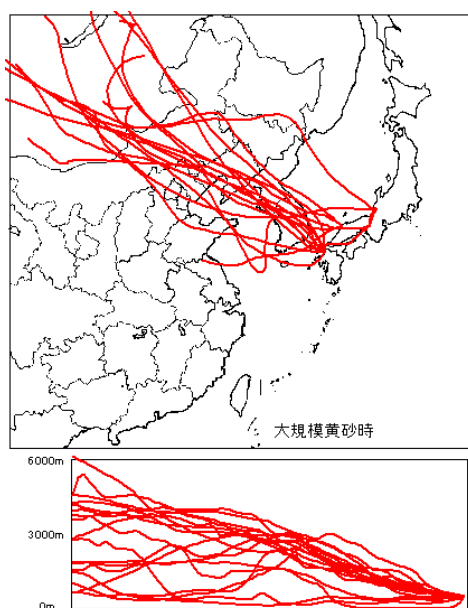


図 5-4-1 大規模黄砂時の後方流跡線の経路

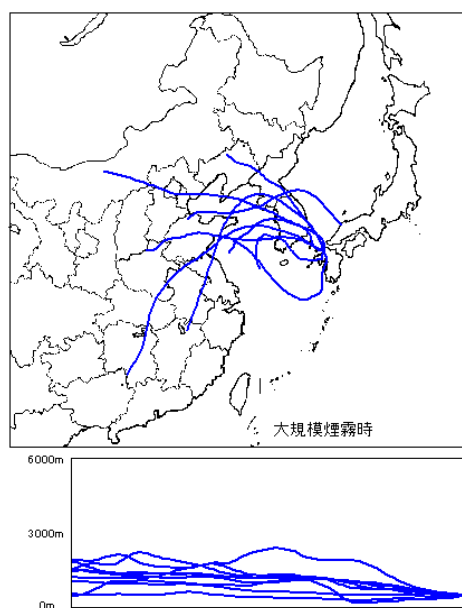


図 5-4-2 大規模煙霧時の後方流跡線の経路

さらに、後方流跡線の軌跡を詳細にみるために、通過する位置を図 5-4-3 のように緯度 5°×経度 10° のメッシュ（メッシュ 7 のみ緯度 5°×経度 5°）に分けて算出した。図 5-4-4 は、大規模黄砂と大規模煙霧に分けてその通過回数を示したものである。大規模黄砂が主に地域 1～4 の内陸部から地域 6～7 の沿岸部を経由していることが分かる。一方、大規模煙霧は地域 6～8 の中国沿岸部と韓国経由がほとんどである。図 5-4-5 は、黄砂を単純と混在に分類したときの通過割合（単純 7 事例、混在 10 事例）を示している。主な経由地域は似たようなものであるが、混在においては中国沿岸部の工業地帯である地域 8 が加わっている。

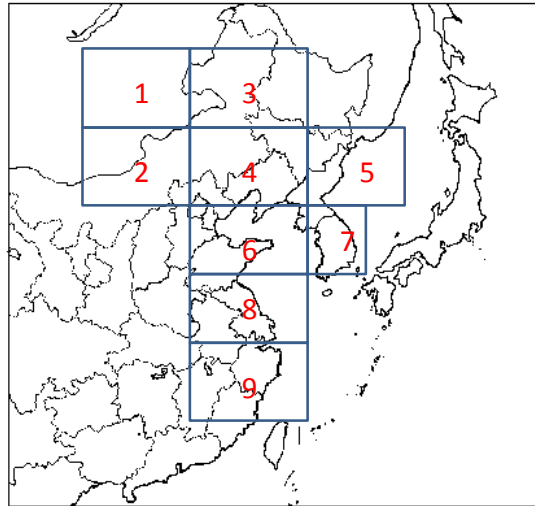


図 5-4-3 東アジアでの地域メッシュ

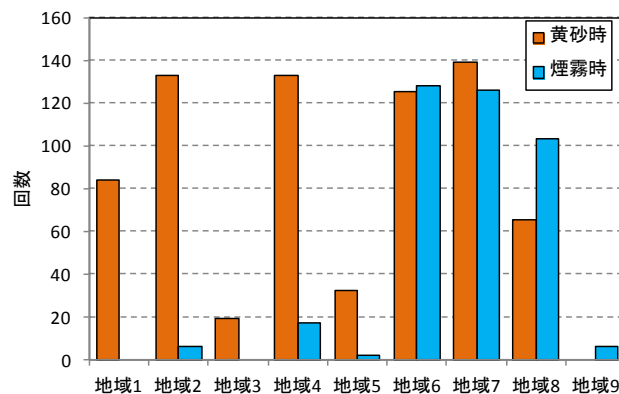


図 5-4-4 大規模黄砂・煙霧時の地域別メッシュ通過数

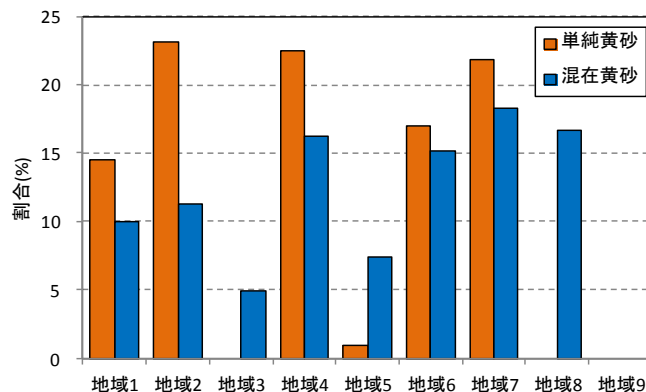


図 5-4-5 大規模黄砂時の混在・単純別地域メッシュ通過割合

(2) 黄砂発生と Haze(煙霧)の観測

大規模黄砂が日本で観測された時に、それ以前、どの地域で砂塵嵐が発生したかをまとめたものが、図 5-4-6 である。砂塵嵐の発生地域は、モンゴル全域、ゴビ砂漠を含めた内モンゴル高原地域など中国大陸の内陸部を広く占めている。

同様に、大規模煙霧が日本で観測された時に、それ以前を含めて東アジア地域で観測された Haze（煙霧）を図 5-4-7 にまとめて示している。韓国、中国沿岸部で同じ時期に Haze（煙霧）が観測された事例が多い。なお、シベリヤで広く観測されたケースは平成 15(2003)年 5 月 21～23 日の森林火災の影響である。

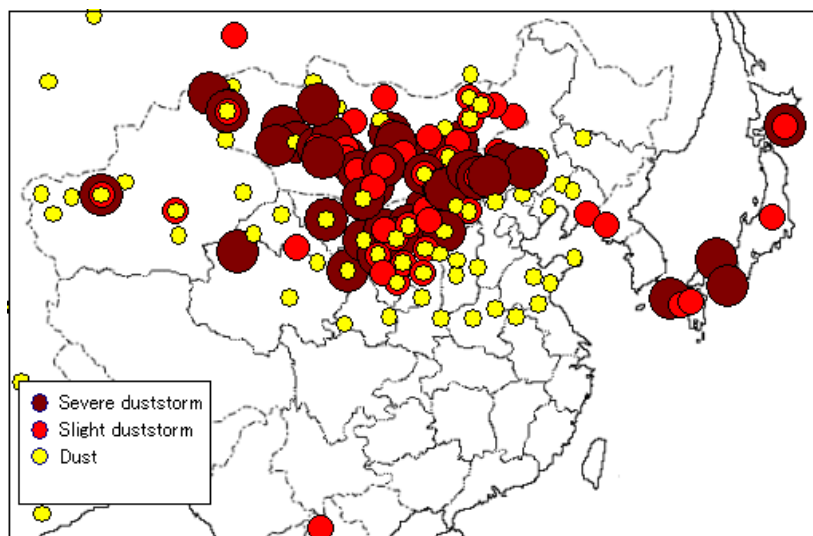


図 5-4-6 日本への大規模黄砂時の黄砂発生地域集約(2003～2012 年度 17 事例)

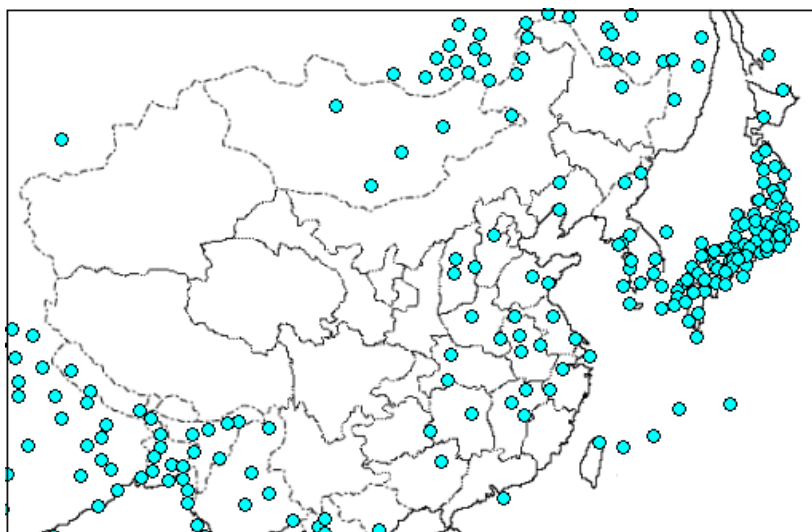


図 5-4-7 日本への大規模煙霧時の Haze 観測地域集約(2003～2012 年度 9 事例)

(3) PM_{2.5} と SPM の比

大規模黄砂と大規模煙霧として整理したイベントについて、特に高濃度の SPM が観測された地点の PM_{2.5}/SPM について、表 5-4-1 と表 5-4-2 にそれぞれ示す。黄砂時は平均で 0.50 であるが、規模が大きいものでは 0.3 近くまで下がっている²⁷⁾。また、単純黄砂（表中の黄色）は、混在黄砂（表中の緑色）と比べ低い傾向がみられる。

煙霧時の PM_{2.5}/SPM は平均 0.79 で、値の幅も大きくない。一方黄砂時では、大きな差がみられる。黄砂時と煙霧時の代表的な事例の両者の経時変化と比を図 5-4-8 に示す。

表 5-4-1 大規模黄砂時の PM_{2.5}/SPM

No.	事例番号	地点	年	月	日	最大値		日平均		
						SPM	PM2.5	SPM	PM2.5	PM2.5/SPM
1	K08	大阪府堺市	2007	4	2	320	83.6	215	59.2	0.28
2	K12	新潟県上越市	2010	3	21	611	152	121	41	0.34
3	K15	福岡県福岡市	2011	5	2	257	128	198	94.8	0.48
4	K05	岡山県倉敷市	2006	4	8	260	148	133	77.2	0.58
5	K07	福岡県福岡市	2006	4	24	233	76.7	146	50.1	0.34
6	K09	福岡県福岡市	2007	5	26	174	81.9	108	61.4	0.57
7	K14	福岡県福岡市	2010	11	12	299	104	190	71	0.37
8	K06	新潟県上越市	2006	4	18	151	78.4	97	48.2	0.50
9	K11	新潟県上越市	2009	3	17	98	44.8	58	27	0.47
10	K17	山口県小野田市	2013	3	9	95	89	75	66	0.88
11	K03	大阪府堺市	2004	4	22	110	63.5	78	51.1	0.66
12	K10	福岡県福岡市	2008	3	3	271	121	123	63	0.51
13	K13	岡山県倉敷市	2010	5	5	132	70.5	83	48	0.58
14	K16	福岡県北九州市	2011	5	13	134	49	54	29	0.54
15	K01	岡山県倉敷市	2003	4	13	108	42.7	64	26.5	0.41
16	K04	福岡県福岡市	2005	4	21	79	64.5	27.5	51	0.54
17	K02	福岡県福岡市	2004	3	11	117	45.2	25.3	52	0.49
平 均										0.50

表 5-4-2 大規模煙霧時の PM_{2.5}/SPM

No.	事例番号	地点	年	月	日	最大値		日平均		
						SPM	PM2.5	SPM	PM2.5	PM2.5/SPM
1	E08	兵庫県神戸市	2008	3	12	133	110.1	93	76.3	0.82
2	E09	福岡県福岡市	2011	2	5	105	70.9	71	50.0	0.70
3	E04	宮城県仙台市	2005	6	25	87	68.4	63	50.5	0.80
4	E07	埼玉県蓮田市	2007	7	26	104	72.5	62	51.2	0.83
5	E05	兵庫県尼崎市	2006	3	8	104	82.0	69	58.7	0.85
6	E06	福岡県福岡市	2006	10	13	89	75.1	55	44.7	0.81
7	E03	宮城県仙台市	2004	7	25	80	58.1	57	43.7	0.77
8	E02	福岡県福岡市	2004	6	23	123	97.2	79	59.4	0.75
9	E01	福岡県福岡市	2003	5	21	92	70.4	48.9	66.0	0.74
平 均										0.79

(μg/m³)

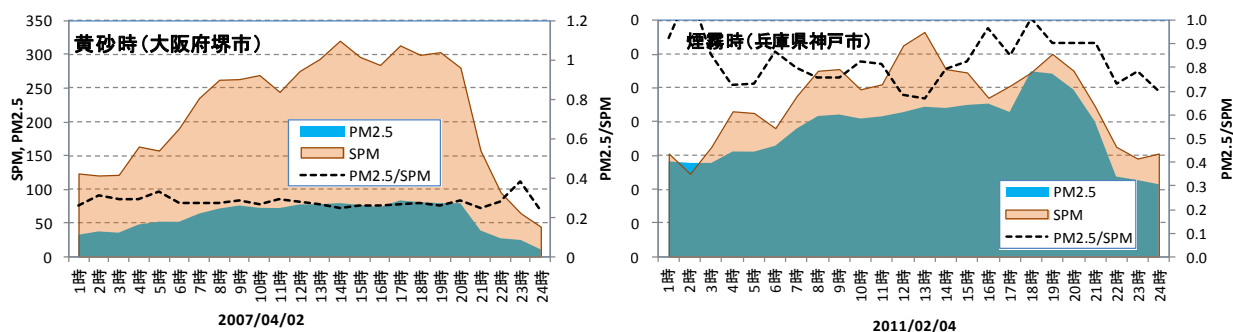


図 5-4-8 大規模黄砂時と煙霧時の PM_{2.5}/SPM 事例

(4) ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度

ライダーの黄砂消散係数と SPM 濃度の相関関係を集計²⁰⁾し、表 5-4-3 に示す。相関係数はいずれも高く、傾きは平均 307 で比較的似通った値となっていた²⁷⁾。これは、大規模黄砂の場合、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係がおおむね均一で、ライダー消散係数によって SPM 濃度の予測がある程度可能であることを示している。大きな黄砂事例として平成 18(2006)年 4 月 24～27 日の松江、平成 22(2010)年 3 月 20～21 日の長崎での消散係数と SPM の経時変化を図 5-4-9 に示す。

表 5-4-3 大規模黄砂時の黄砂消散係数と SPM 濃度の関係

	日時	地点	傾き	切片	r^2	r	黄砂消散 max	SPM- max	SPM/黄 砂消散
K05	2006.04.01-10	松江	372	6.9	0.838	0.915	1.487	616	414
K06	2006.04.17-21	長崎	221	12	0.487	0.698	0.208	105	505
K07	2006.04.24-27	松江	380	4.4	0.934	0.966	0.565	241	426
K08	2007.04.01-03	長崎	317	13	0.881	0.939	1.227	402	328
K09	2007.05.26-27	松江	288	9	0.834	0.913	0.527	164	311
K10	2008.03.02-03	長崎	324	18	0.802	0.896	0.677	259	383
K11	2009.03.16-18	松江	107	18	0.580	0.762	0.552	77	139
K12	2010.03.20-24	長崎	439	45	0.854	0.924	1.852	898	485
K13	2010.05.03-06	長崎	355	28	0.473	0.687	0.114	81	708
K14	2010.11.12-15	長崎	241	35	0.771	0.878	0.758	240	317
K15	2011.05.01-05	長崎	413	51	0.659	0.812	0.605	292	483
K16	2011.05.13-14	富山	217	12	0.774	0.880	0.670	184	275
K17	2013.03.08-11	松江	313	12	0.715	0.845	0.226	71	314
平均			307	20	0.739	0.855	0.728	279	391

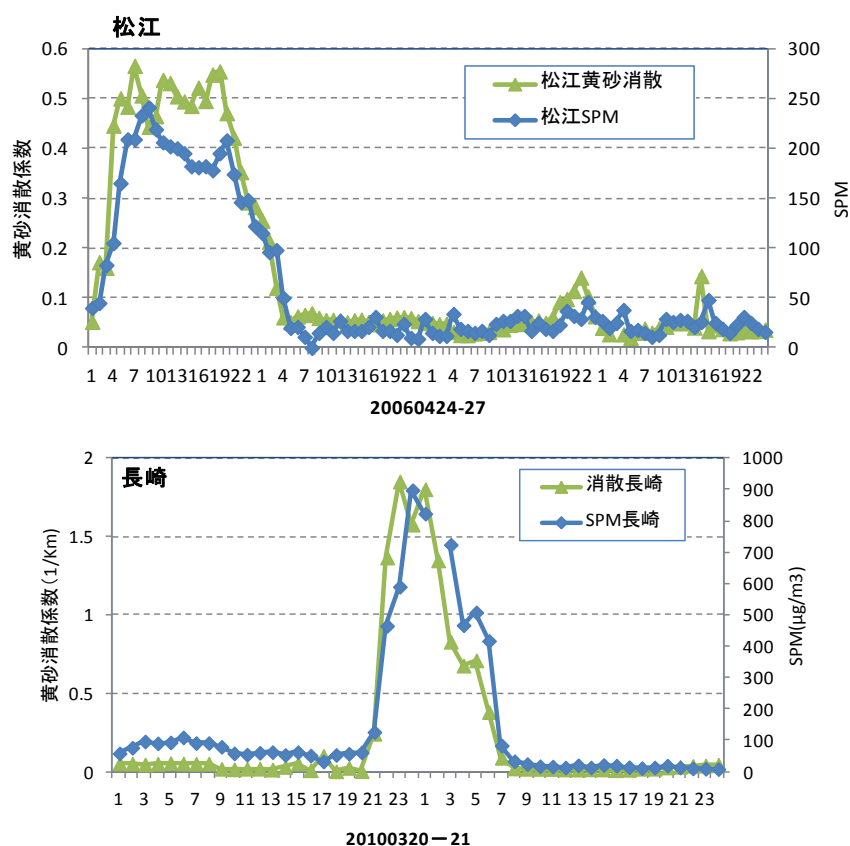


図 5-4-9 黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化事例

6. 黄砂・煙霧時の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おり、また、越境による煙霧も、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と考えられる。そこで、平成15(2003)年度から平成24(2012)年度までの黄砂、煙霧の観測から、黄砂・煙霧とPM_{2.5}濃度との関係を検討した。

6.1. 黄砂時・煙霧時におけるPM_{2.5}日平均値35μg/m³の超過

黄砂及び煙霧の時にPM_{2.5}の濃度がどのような挙動を示しているかをみるために、平成15(2003)～平成24(2012)年度に環境省及び自治体が測定した時間値を集約した。平成15(2003)～平成21(2009)年度は環境省が全国14局で測定していたが、環境基準設定の後、平成22(2010)年度からは都道府県での測定が開始された。現在、各自治体のPM_{2.5}測定局は整備過程にあり、都道府県により設置台数が大きく異なる。そこで、黄砂・煙霧時の全国的なPM_{2.5}濃度の上昇の状況をみるために、年間を通して測定されている局を中心に、各都道府県より1局ずつ抽出し比較した。したがって平成15(2003)～平成21(2009)年度は13局、平成22(2010)年度は30局、平成23(2011)年度は34局、平成24(2012)年度は45局での比較となっている。抽出した局は表6-1-1の通りである。

表6-1-1 評価対象測定局一覧

No	都道府県	測定局			
		2003年度-2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
1	北海道	札幌市西*	札幌市西*	篠路	篠路
2	青森	-	根岸小学校	五所川原第三中	五所川原第三中
3	岩手	-	竹山町	盛岡市津志田	竹山町
4	宮城	仙台市長町*	仙台市長町*	榴岡	榴岡
5	秋田	-	-	-	将軍野
6	山形	-	酒田若浜	酒田若浜	酒田光ヶ丘
7	福島	-	-	白河	白河
8	茨城	取手市役所*	取手市役所*	-	鹿島宮中
9	栃木	-	-	河内	矢板市役所
10	群馬	-	-	前橋局	衛生環境研究所
11	埼玉	蓮田市蓮田*	蓮田市蓮田*	さいたま市役所	さいたま市役所
12	千葉	市川市真間小*	市川市真間小*	寒川小学校	寒川小学校
13	東京	板橋区氷川*	板橋区氷川*	練馬区練馬	練馬区練馬
14	神奈川	-	生活文化会館	青葉台	泉区総合庁舎
15	新潟	上越市深谷*	上越市深谷*	亀田	-
16	富山	-	-	小杉太閤山	小杉太閤山
17	石川	-	-	七尾	七尾
18	福井	-	-	福井	福井
19	山梨	-	衛公研	大月	衛公研
20	長野	-	松本	松本	松本
21	岐阜	-	-	岐阜南部	岐阜南部
22	静岡	-	島田市役所	千代田小学校	千代田小学校
23	愛知	名古屋市鳴海*	名古屋市鳴海*	国設名古屋*	上下水道北営業所
24	三重	-	久居立成小	-	桑名上野浄水場
25	滋賀	-	-	-	長浜
26	京都	-	福知山	福知山	福知山
27	大阪	堺市金岡*	堺市金岡*	国設大阪*	国設大阪*
28	兵庫	神戸市垂水*	神戸市垂水*	国設尼崎*	加古川市役所
29	奈良	-	天理	天理	天理
30	和歌山	-	-	湊小学校	湊小学校
31	鳥取	-	-	-	鳥取保健所
32	島根	-	国設松江*	-	国設松江*
33	岡山	倉敷市玉島*	倉敷市玉島*	茂平	茂平
34	広島	-	曙小学校	井口小学校	井口小学校
35	山口	-	周南市役所	-	環境保健センター
36	徳島	-	-	-	徳島
37	香川	-	-	-	丸亀市役所
38	愛媛	-	西条	垣生小学校	垣生小学校
39	高知	-	伊野合同庁舎	-	伊野合同庁舎
40	福岡	福岡市吉塚*	福岡市吉塚*	元岡	元岡
41	佐賀	-	湊	-	-
42	長崎	-	-	-	諫早
43	熊本	-	-	-	宇土運動公園
44	大分	-	東大分小学校	東大分小学校	東大分小学校
45	宮崎	日向市保健所*	日向市保健所*	日向市保健所	延岡保健所
46	鹿児島	-	-	国分中央公園	国分中央公園
47	沖縄	-	-	沖縄	沖縄

*はTEOMIによる測定

各測定局で平成 15(2003)～平成 24(2012)年度に日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数について、全ての測定局分を合計した延べ日数（ Σ （ある測定局で 2003～2012 年度に日平均が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数））は 3016 日で、全体 73438 日の 4.1%である。図 6-1-1 に、全体と黄砂日および煙霧日での $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度（図中▲）と日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過率（棒グラフ）を示す。各測定局の 2003～2012 年度の黄砂観測日について全ての測定局分を合計した延べ日数は 858 日、平均濃度は $33.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数は 344 日あり黄砂観測日のうちの 40.1%になる。一方、各測定局の 2003～2012 年度の煙霧観測日について全ての測定局分を合計した延べ日数は 5492 日、平均濃度は $29.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち、日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数は 1543 日あり、煙霧観測日の 28.1%である。

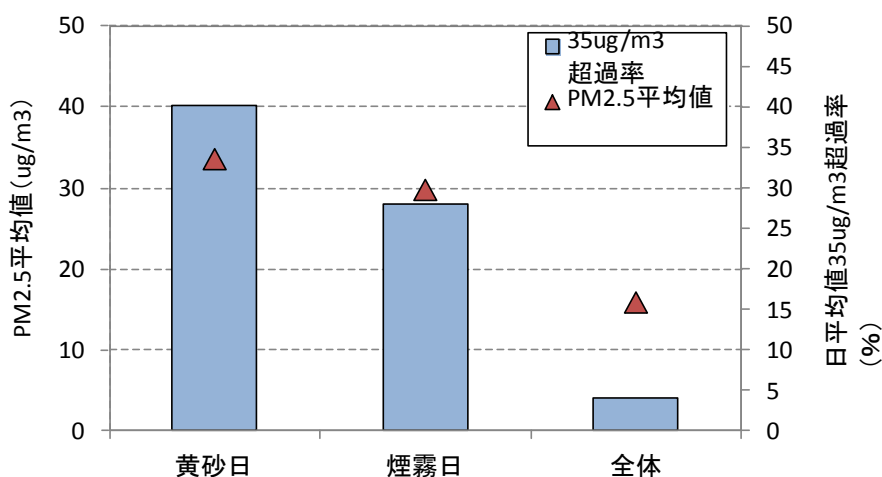


図 6-1-1 黄砂日、煙霧日の $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度と日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた割合

年度別に $\text{PM}_{2.5}$ 平均値と、黄砂・煙霧観測日数（1局あたり）の経年変化を、図 6-1-2 に示す。黄砂観測日数は年度別に増減の傾向はあまり見られないが、煙霧は急激な減少傾向であり、平成 15(2003)年度に 1局・1年あたり 50 日程度観測されていたものが、平成 24(2012)年度には 10 日以下まで減少している。 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度も減少傾向であり、平成 24(2012)年度は $14.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

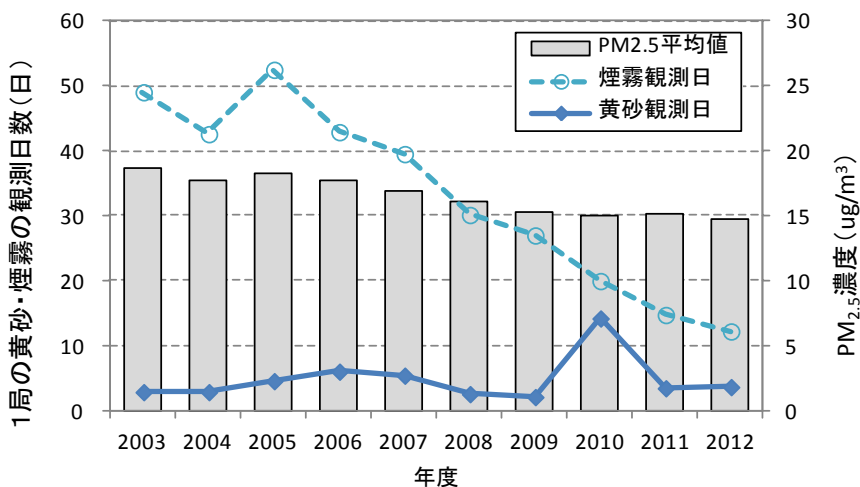


図 6-1-2 $\text{PM}_{2.5}$ 平均値と黄砂・煙霧観測日数の推移

図 6-1-3 は、PM_{2.5} の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数を年度別に 1 局あたりの数で示し、そのうちの黄砂・煙霧が観測された日を色分けしたものである。日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過日は年平均値と併せて減少傾向であり、煙霧時の超過日が減っている様子がみられている。一方、黄砂時の超過日は大きく変わっておらず、年による違いが大きい。

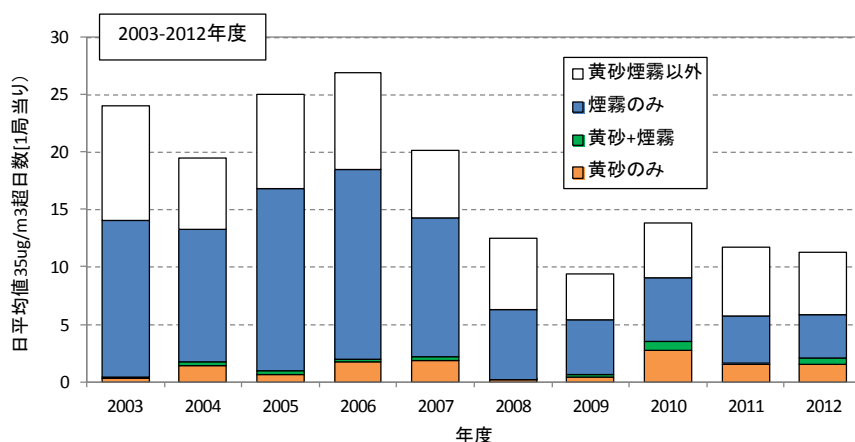
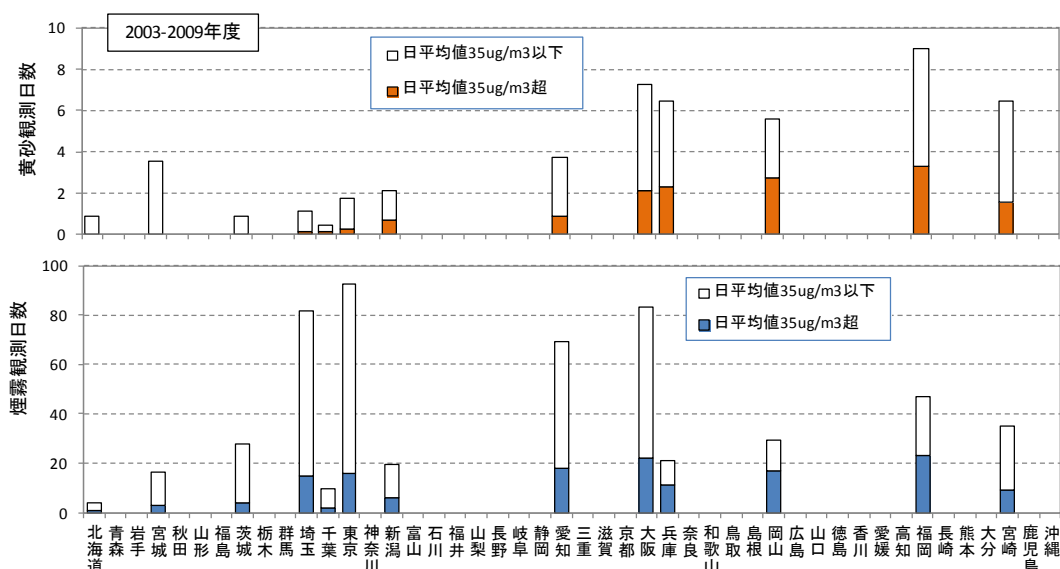


図 6-1-3 PM_{2.5} 日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数の推移

地点別に黄砂・煙霧観測日数と、黄砂・煙霧日の PM_{2.5} 日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過日数を 1 年あたりで、図 6-1-4 に示す。平成 22(2010)年度から平成 24(2012)年度にかけて全国で測定器の設置が普及していることから、平成 15(2003)年度～平成 21(2009)年度のデータと、平成 22(2010)年度から平成 24(2012)年度のデータを分けて解析を行った。黄砂日数は、いずれの期間も西日本で多いこと、黄砂日のうち PM_{2.5} 日平均値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過日が 50%を超える地点も多いことが分かる。煙霧については、平成 21(2009)年度以前に比べると、近年は多くの県で観測日数が減っていることがうかがえる。また、西日本では東日本に比べて煙霧時に PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える頻度が高いことが特徴となっている。

図 6-1-5 に、PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数（1 年あたり）を地点別に示している。この図から、関東以西で日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるケースが多いことが分かる。



図

6-1-4(1) 地点別の黄砂・煙霧日数と PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数（2003～2009 年度）

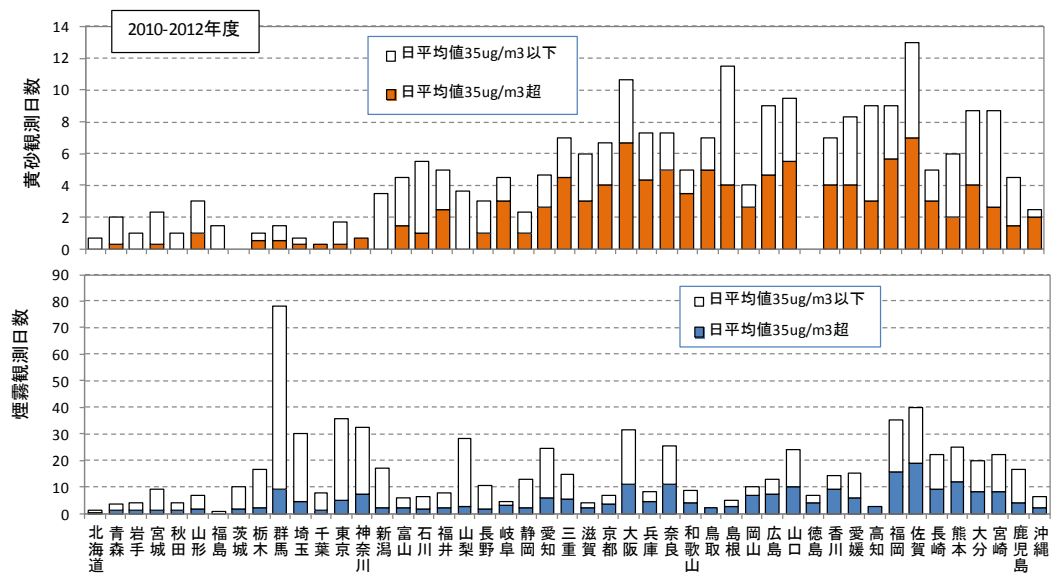


図 6-1-4(2) 地点別の黄砂・煙霧日数と PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35µg/m³ を超えた日数(2010～2012 年度)

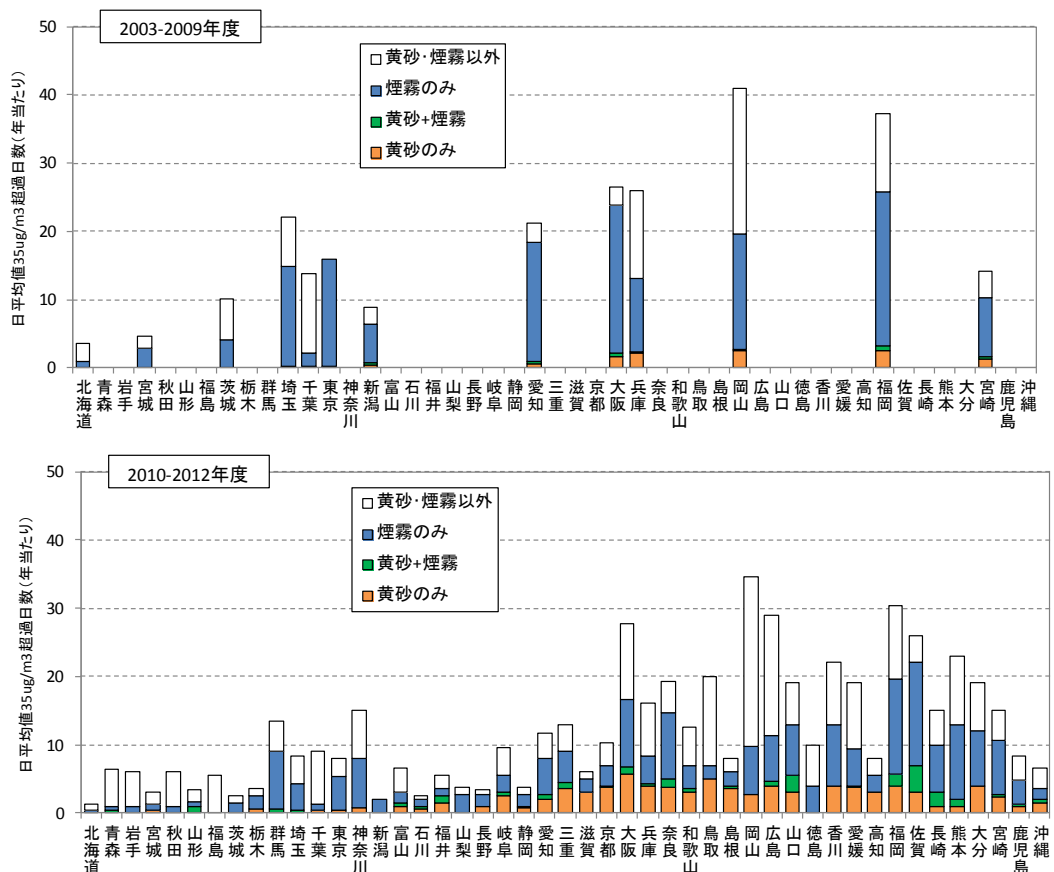


図 6-1-5 PM_{2.5} 濃度の日平均値が 35µg/m³ を超えた日数に占める黄砂と煙霧の地点別での割合

6.2. 黄砂・煙霧時における PM_{2.5} 成分濃度による発生要因の検討

(1) 使用データ

環境省が実施してきた PM_{2.5} 成分濃度全国調査の結果をもとに、黄砂・煙霧時の PM_{2.5} 環境基準超過の要因を検討した²²⁾。

対象としたデータは、全国 14 地点（北海道札幌市、宮城県仙台市、新潟県上越市、茨城県取手市、埼玉県蓮田市、千葉県市川市、東京都板橋区、愛知県名古屋市、大阪府守口市、大阪府堺市、兵庫県神戸市、岡山県倉敷市、福岡県福岡市、宮崎県日向市）で、平成 15(2003)年度から平成 22(2010)年度までの 8 年間、四季に 2 週間単位で 24～74 時間採取したものである。データは全部で 3648 件あるが、このうち当該都道府県での气象台による黄砂・煙霧の観測日を抽出すると 681 件である。抽出したデータを地点、年度別に表 6-2-1 にまとめた。使用した項目は、PM_{2.5} 重量濃度、EC、OC、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、金属項目の代わりに PM_{2.5} 重量から成分合計量を差し引いて others とした計 12 項目である。計算には、アメリカ EPA の PMF3.0 を使用した。図 6-2-1 に、当該 8 年間の全国での黄砂・煙霧観測日数と解析に使用したサンプル件数を示す。解析に使用したサンプル数は、年間 80 件程度で平均して採取されている。

表 6-2-1 黄砂・煙霧時の成分濃度調査件数（地点別・年度別）

	地点名	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	合 計
1	北海道札幌市	1	0	0	0	1	0	0	1	3
2	宮城県仙台市	2	4	5	2	1	4	2	4	24
3	新潟県上越市	0	4	7	7	1	0	0	9	28
4	茨城県取手市	2	8	5	6	3	5	2	3	34
5	埼玉県蓮田市	16	12	12	9	10	7	4	4	74
6	千葉県市川市	0	1	4	1	0	0	1	1	8
7	東京都板橋区	13	6	12	16	10	16	8	14	95
8	愛知県名古屋市	6	9	10	11	15	7	6	0	64
9	大阪府守口市	11	15	19	10	12	12	0	0	79
10	大阪府堺市	11	15	19	9	13	10	5	10	92
11	兵庫県神戸市	2	3	6	4	6	4	1	6	32
12	岡山県倉敷市	0	6	5	4	5	1	0	7	28
13	福岡県福岡市	9	6	9	6	5	7	7	15	64
14	宮崎県日向市	0	5	15	10	7	2	5	12	56
	合 計	73	94	128	95	89	75	41	86	681

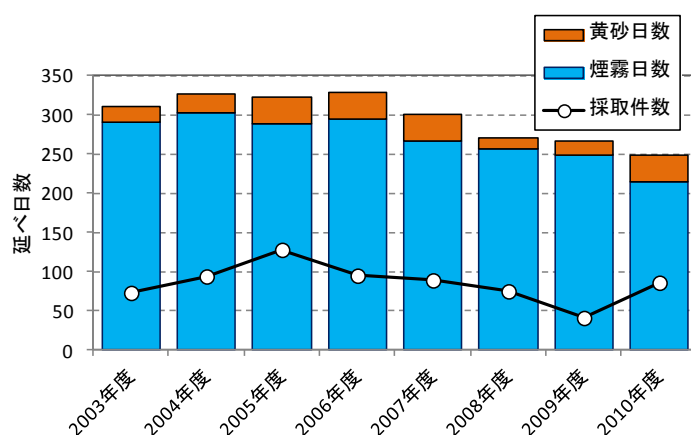


図 6-2-1 黄砂・煙霧観測日数と成分調査採取件数

(2) 成分濃度について

黄砂・煙霧時の成分間の相関を表 6-2-2 に示す。相関係数 0.6 以上を太字で示しているが、PM_{2.5} と相関が高いのは、OC、SO₄²⁻、NH₄⁺である。この相関行列から、おおむね OC、EC、NO₃⁻、Cl⁻のグループ、NH₄⁺、SO₄²⁻のグループ、Ca²⁺と others のグループなどに分けられることがわかる。

なお、黄砂のみのデータ (99 件) での相関行列を下段に示している。PM_{2.5} とは、SO₄²⁻、NH₄⁺に代わって、K⁺、Mg²⁺、others の係数が高くなっている。

表 6-2-2 黄砂・煙霧時の成分間相関

全体												
	PM _{2.5}	OC	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	others
PM _{2.5}	1											
OC	0.702	1										
EC	0.479	0.623	1									
Cl ⁻	0.414	0.541	0.603	1								
NO ₃ ⁻	0.599	0.612	0.621	0.745	1							
SO ₄ ²⁻	0.607	0.161	-0.003	-0.188	0.008	1						
Na ⁺	0.074	-0.090	-0.110	0.007	-0.113	0.079	1					
NH ₄ ⁺	0.816	0.506	0.389	0.353	0.603	0.779	-0.067	1				
K ⁺	0.564	0.371	0.125	0.105	0.221	0.475	0.087	0.445	1			
Ca ²⁺	0.340	0.146	-0.051	0.011	-0.013	0.079	0.373	-0.006	0.137	1		
Mg ²⁺	0.319	0.045	-0.082	-0.022	-0.056	0.220	0.514	0.048	0.618	0.521	1	
others	0.547	0.197	-0.076	-0.020	-0.016	0.155	0.230	0.057	0.312	0.632	0.505	1

黄砂時 n=99												
	PM _{2.5}	OC	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	others
PM _{2.5}	1											
OC	0.610	1										
EC	0.358	0.405	1									
Cl ⁻	0.249	0.202	0.361	1								
NO ₃ ⁻	0.381	0.346	0.663	0.644	1							
SO ₄ ²⁻	0.503	0.164	0.307	-0.115	0.246	1						
Na ⁺	0.319	0.012	-0.145	0.205	-0.006	0.035	1					
NH ₄ ⁺	0.448	0.208	0.486	0.142	0.527	0.921	-0.096	1				
K ⁺	0.690	0.526	0.398	-0.036	0.357	0.688	0.070	0.628	1			
Ca ²⁺	0.589	0.255	-0.126	0.004	-0.065	0.067	0.601	-0.137	0.234	1		
Mg ²⁺	0.646	0.200	-0.093	0.110	0.026	0.187	0.703	0.002	0.349	0.858	1	
others	0.719	0.319	-0.118	0.115	-0.086	-0.115	0.410	-0.253	0.210	0.721	0.699	1

このように、状況によって成分濃度に違いが出てくることが予想できるが、図 6-2-2 に全体での成分組成と黄砂時の平均成分組成を示す。黄砂時は主に金属類で構成されている others の割合が増えていることがわかる。また、煙霧時の成分構成についても、サンプルによってその構成に違いが出ている。図 6-2-3 に、関東（茨城、埼玉、千葉、東京）と九州（福岡、宮崎）の煙霧時のそれぞれの平均組成を示しているが、九州では SO₄²⁻が多くなっているのに比べ、関東では NO₃⁻、OC、EC が多いというように煙霧での組成の違いが出ている。

なお、黄砂時、煙霧時以外の日も含めて、平成 15(2003)～平成 22(2010)年度に分析された全ての件体での NO₃⁻と SO₄²⁻の地点別の平均濃度を図 6-2-4 に、季節変化を図 6-2-5 に示している。地点別のグラフから、NO₃⁻は茨城、埼玉、千葉、東京といった関東地方で高く、SO₄²⁻は西にいくほど高くなるという特徴をみることができる。

粒子中の硫酸イオンと硝酸イオンの長距離輸送時の挙動は、畠山ら²³⁾が示している。また、山神ら²⁴⁾は、平成 23(2011)年 2 月の全国的な煙霧による PM_{2.5} 濃度の上昇について考察し、NO₃⁻/SO₄²⁻比は地域によって偏りがみられ、関東では平均 1.3 と高く、宮崎では 0.19 と低くなることを示すと同時に、都市汚染の影響が小さく越境汚染の影響が明瞭な時は平均で 0.22 と低くなっていたとしている。今回調査での黄砂・煙霧時に PM_{2.5} 重量濃度が 35μg/m³を超えた件体 (198 件) の NO₃⁻/SO₄²⁻比について、その比が 1 を超える件数と、0.3 未満になる件数を地点別に、図 6-2-6 に示す。ここでも関東地域と九州で大きく状況が異なっていることがわかる。しかし、図 6-2-5 の全体の季節変動にみられるように、NO₃⁻は、生成分解反応が温度に依存しているため、夏に濃度が低くなることが多い。従って、夏季における地域的な差は明確には出てこない可能性もあると思われる。

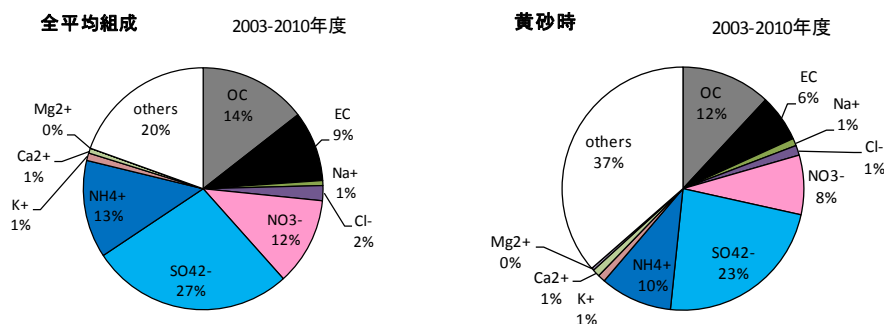


図 6-2-2 全体及び黄砂時の平均成分構成

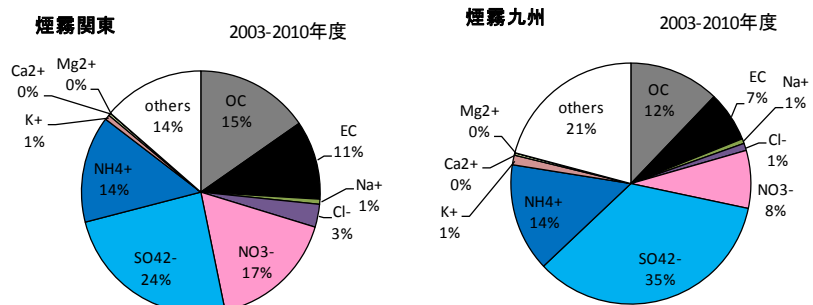


図 6-2-3 関東と九州の煙霧時の平均成分構成

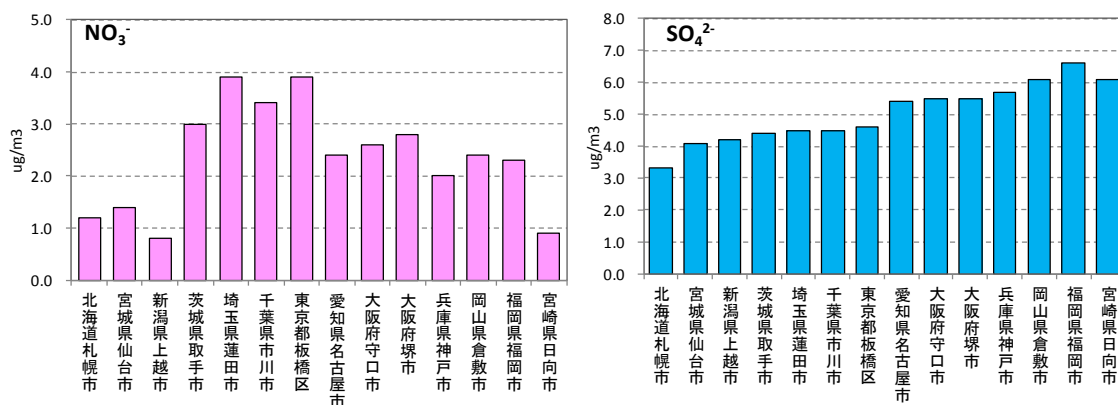


図 6-2-4 全体での NO₃⁻と SO₄²⁻の地点別平均値

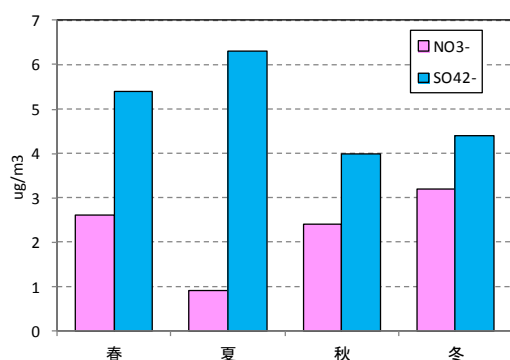


図 6-2-5 全体での NO₃⁻と SO₄²⁻の季節変化

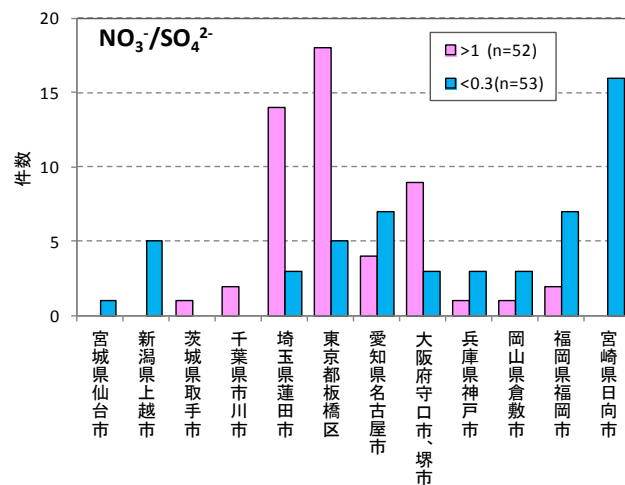


図 6-2-6 NO₃⁻/SO₄²⁻比 (>1 と <0.3) の地点別件数

(3) PMF 法による計算結果 [試算]

PMF 法での発生源数は、不適切な因子を含まなかった 4 を設定した。この時の因子プロファイルの結果を、図 6-2-7 に示す。Factor 1 は、OC、EC で高く炭素系粒子、Factor 2 は others や Ca^{2+} で高く土壌系（主に黄砂）とみなすことができる。また、Factor 3 は NO_3^- 、 Cl^- で高く、硝酸塩系二次粒子と称することにする。さらに Factor 4 は SO_4^{2-} 、 NH_4^+ で高く、硫酸塩系二次粒子と呼ぶこととする。

黄砂・煙霧時の全体 (681 件) での発生源寄与は、図 6-2-8 のようになり、最も寄与が大きいのが Factor 4（硫酸塩系二次粒子）で 37%、続いて Factor 1 の炭素系粒子と Factor 2 の土壌系（黄砂）が同程度で 23%と 22%、Factor 3（硝酸塩系二次粒子）が 18%となっている。

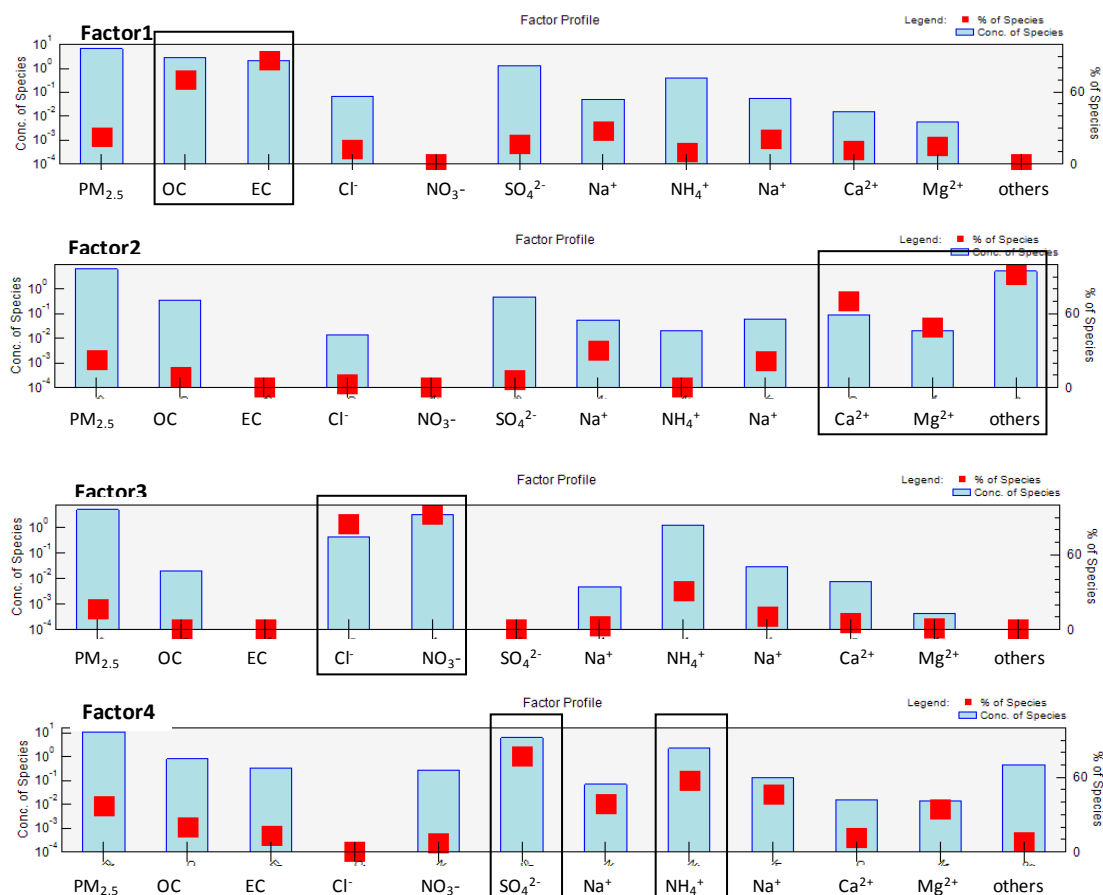


図 6-2-7 PMF 法による発生源プロフィール

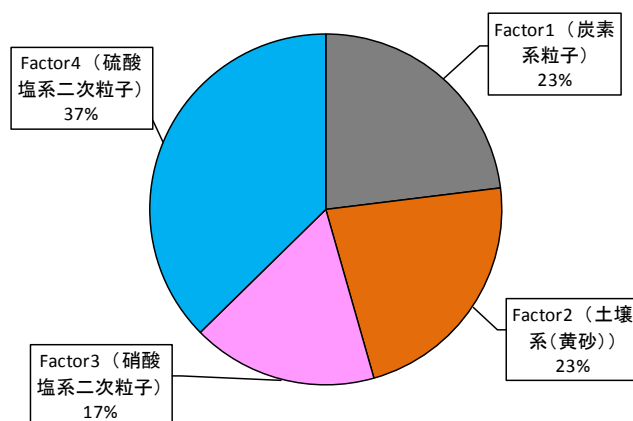


図 6-2-8 全体での推定寄与割合

図 6-2-9 に、黄砂・煙霧時で $PM_{2.5}$ 濃度が $35\mu g/m^3$ を超えた日（198 件）の各因子平均濃度の経年変化を示す。この図から、このような状況では、Factor1（炭素系粒子）が年々減少傾向にあること、Factor4（硫酸塩系二次粒子）が 2007 年以降上昇していること、Factor2（土壌系（黄砂））は年によって濃度が大きく変わることなどをみることができる。

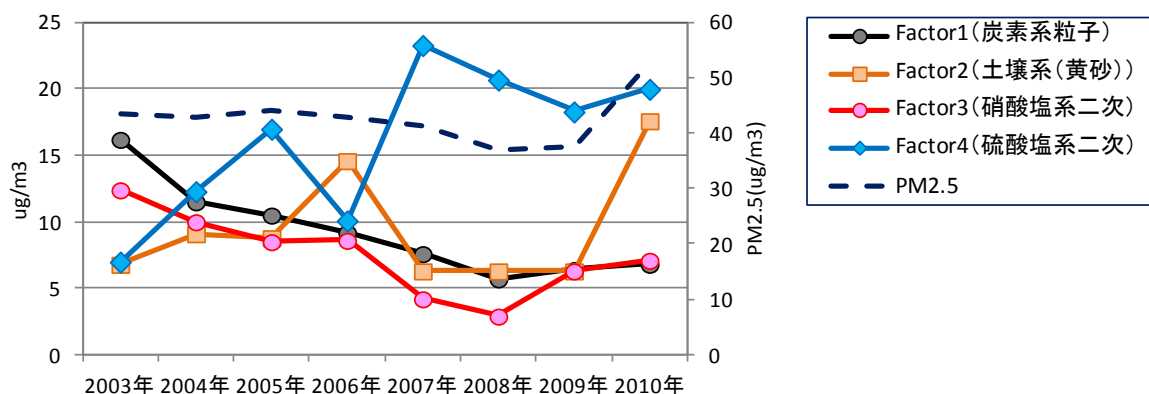


図 6-2-9 PMF 法による発生因子別寄与の経年変化

図 6-2-10 には、 $PM_{2.5}$ 実測濃度(obs)と因子合計量(cal)を始め、因子中の主要な成分の濃度と因子ごとの濃度を散布図でそれぞれ示す。いずれも、両者に良好な相関関係がみられており、これらが因子を代表する成分であると見做すことが出来る。

また黄砂・煙霧時の成分濃度調査(681 件)における $PM_{2.5}$ 濃度の採取日毎の寄与濃度を、年度別に図 6-2-11 に示す。因子は、下から Factor1（炭素系粒子）、Factor 3（硝酸塩系二次粒子）、Factor4（硫酸塩系二次粒子）、Factor2（土壌系（黄砂））の順に示されている。事例によって、発生源の種類に特徴がみられている。

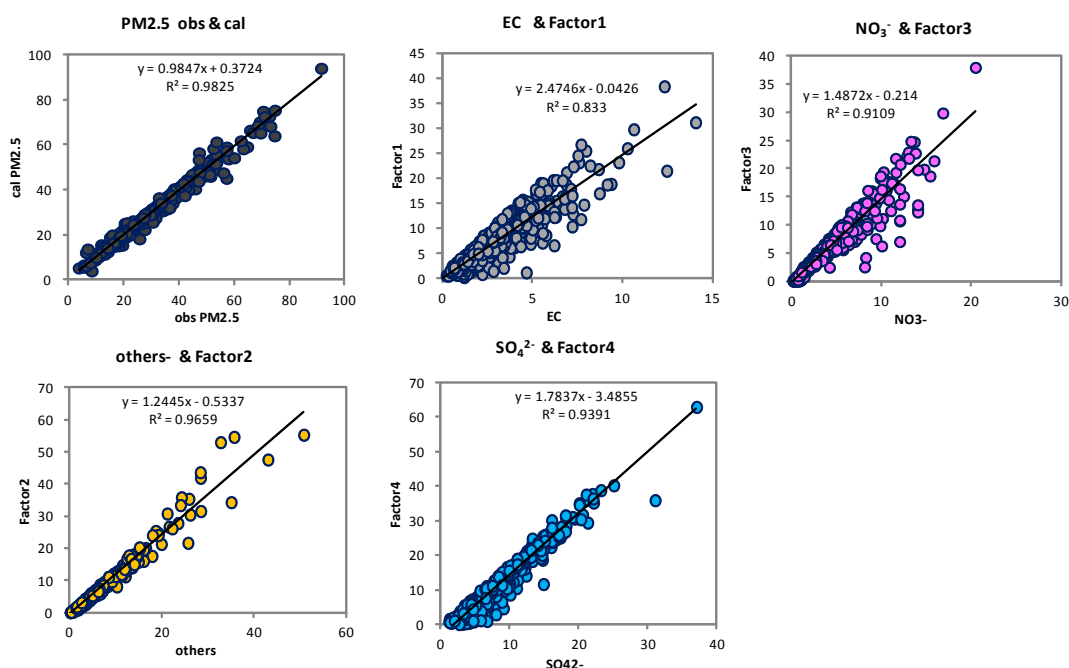


図 6-2-10 因子と成分濃度の相関



図 6-2-11 PMF 法による発生源寄与一覽

複数地点または複数日に黄砂・煙霧時で $\text{PM}_{2.5}$ 重量濃度が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたのは、この期間 29 事例である（図 6-2-11 の番号付き日時）。このうち代表的ないくつかの事例（図 6-2-11 の赤字）についてその詳細を示す。

平成 18(2006)年 4 月 24 日～26 日の PMF 法の結果を図 6-2-12 に示す。この期間、全国 44 地点で観測された大きな黄砂が飛来している（5.2. 大規模黄砂の事例 (5) K07 p. 66 参照）。砂塵嵐の発生、後方流跡線の方角、CFORS の予測、ライダー黄砂消散係数の上昇などから、分類は単純黄砂とされている。PMF の結果でも、新潟をはじめ各地で Factor2（土壌系（黄砂））の寄与が 70～80%になっている。

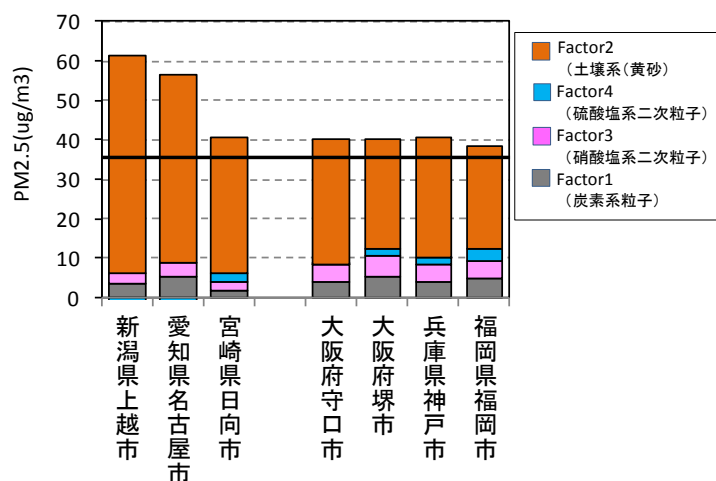


図 6-2-12 PMF 法による地点別発生源寄与（2006 年 4 月 24 日～26 日）

平成 23(2011)年 2 月 4 日～9 日の結果を図 6-2-13 に示している。規模の大きな煙霧が飛来し、マスコミ等で話題になった時のものである（5.3. 大規模煙霧の事例 (2) E09 p. 94 参照）。この寄与グラフから、西日本で Factor4（硫酸塩系二次粒子）の影響が大きくなっているのが分かる。また、2 月 6～7 日には埼玉、東京で Factor3（硝酸塩系二次粒子）と Factor1（炭素系粒子）の寄与の増加がみられ、国内の影響も付加されて高濃度になった様子がうかがえる²⁴⁾。

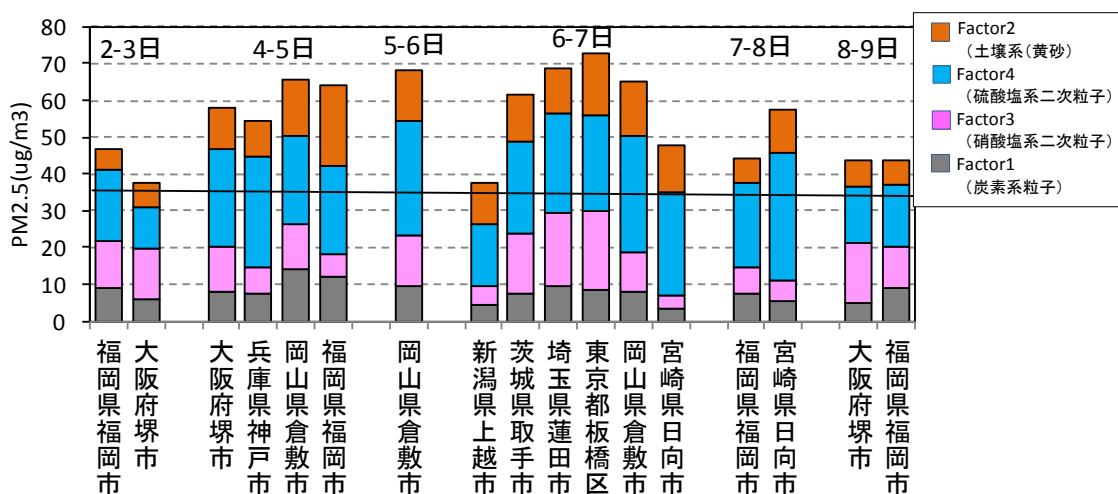


図 6-2-13 PMF 法による地点別発生源寄与（2011 年 2 月 4 日～9 日）

平成 22(2010)年 5 月 20 日～22 日の PMF 法の結果を図 6-2-14 に示す。図 6-2-15 に、この時の状況をまとめているが、24 地点で黄砂が観測され、同時に煙霧も 15 地点で観測されている。砂塵嵐の発生や後方流跡線の軌跡、ライダー黄砂消散係数の上昇など黄砂の飛来は明らかであるが、PM_{2.5} の高濃度や硫酸イオン濃度が 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超すなど硫酸塩エアロゾルの寄与が大きな混在黄砂として評価される。PMF 結果でも Factor2 (黄砂) の割合が低く、Factor4 (硫酸塩系二次粒子) が圧倒的に高いことが分かる。

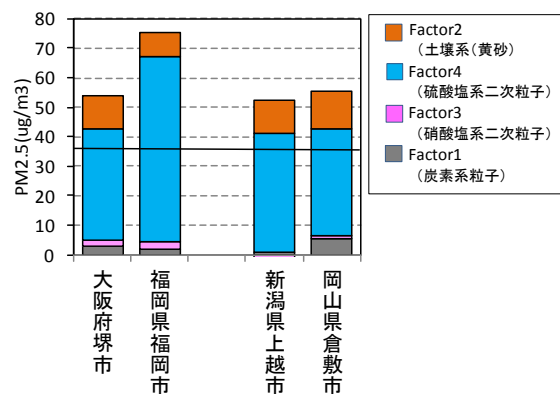


図 6-2-14 PMF 法による地点別発生源寄与 (2010 年 5 月 20 日～22 日)

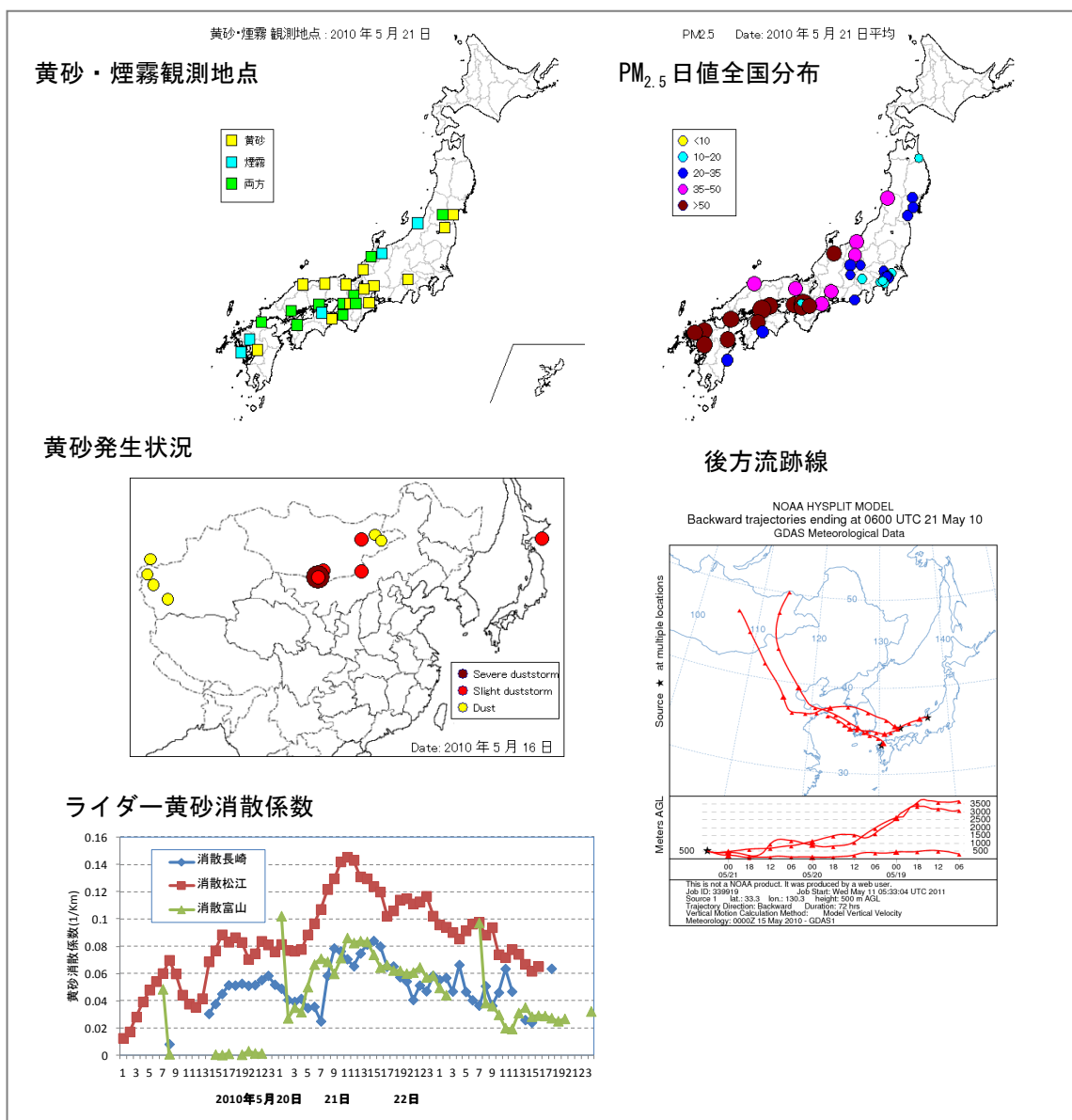


図 6-2-15 黄砂観測時の状況 (2010 年 5 月 20 日～22 日)

平成 16(2004)年 11 月 10 日～12 日の PMF 法の結果を図 6-2-16 に示す。この時の状況を図 6-2-17 でみると、関東を中心に北海道を含めて 24 地点で煙霧が観測されている。PM_{2.5}は主に関東地域で上昇しており、後方流跡線も日本国内での流れを示している。PMF 法の寄与結果も、茨城、埼玉、東京の関東地域で Factor1（炭素系粒子）と Factor3（硝酸塩系二次粒子）の割合が非常に高く、国内の影響が大きいことを表わしている。

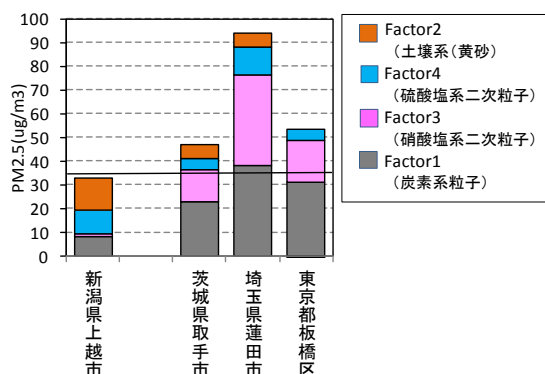


図 6-2-16 PMF 法による地点別発生源寄与（2004 年 11 月 10 日～12 日）

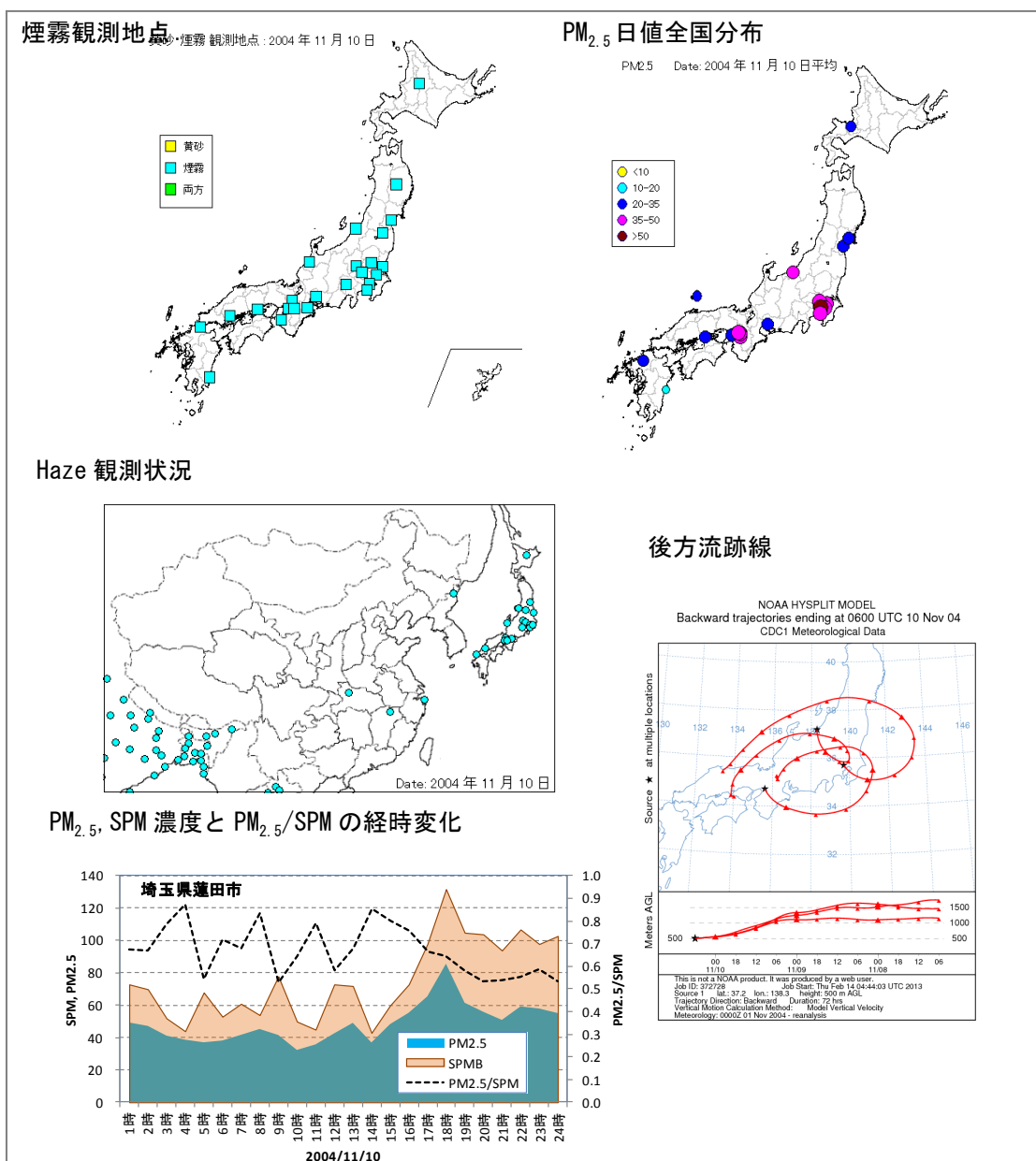


図 6-2-17 煙霧観測時の状況（2004 年 11 月 10 日～12 日）

平成 18(2006)年 1 月 25 日～31 日の PMF 法の結果を図 6-2-18 に示す。図 6-2-19 にこの時の状況をまとめている。期間初めは西日本を中心に 25 地点で煙霧を観測しているが、後半は関東地域を中心に 10 地点の煙霧観測になっている。PMF の結果も加味すると、前半は後方流跡線や東アジアでの Haze (煙霧) の観測状況や CFORS などからも大陸の影響が大きく、後半は東京、大阪などの大都市では国内の影響を強く受けたことが推察される。

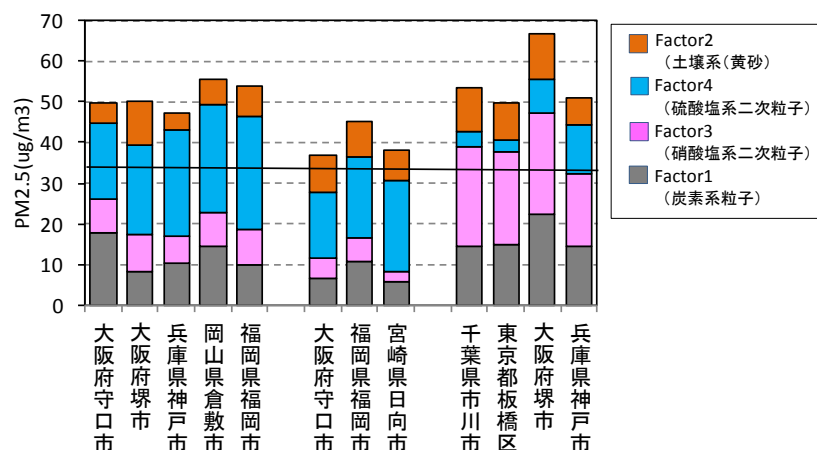


図 6-2-18 PMF 法による地点別発生源寄与 (2006 年 1 月 25 日～31 日)

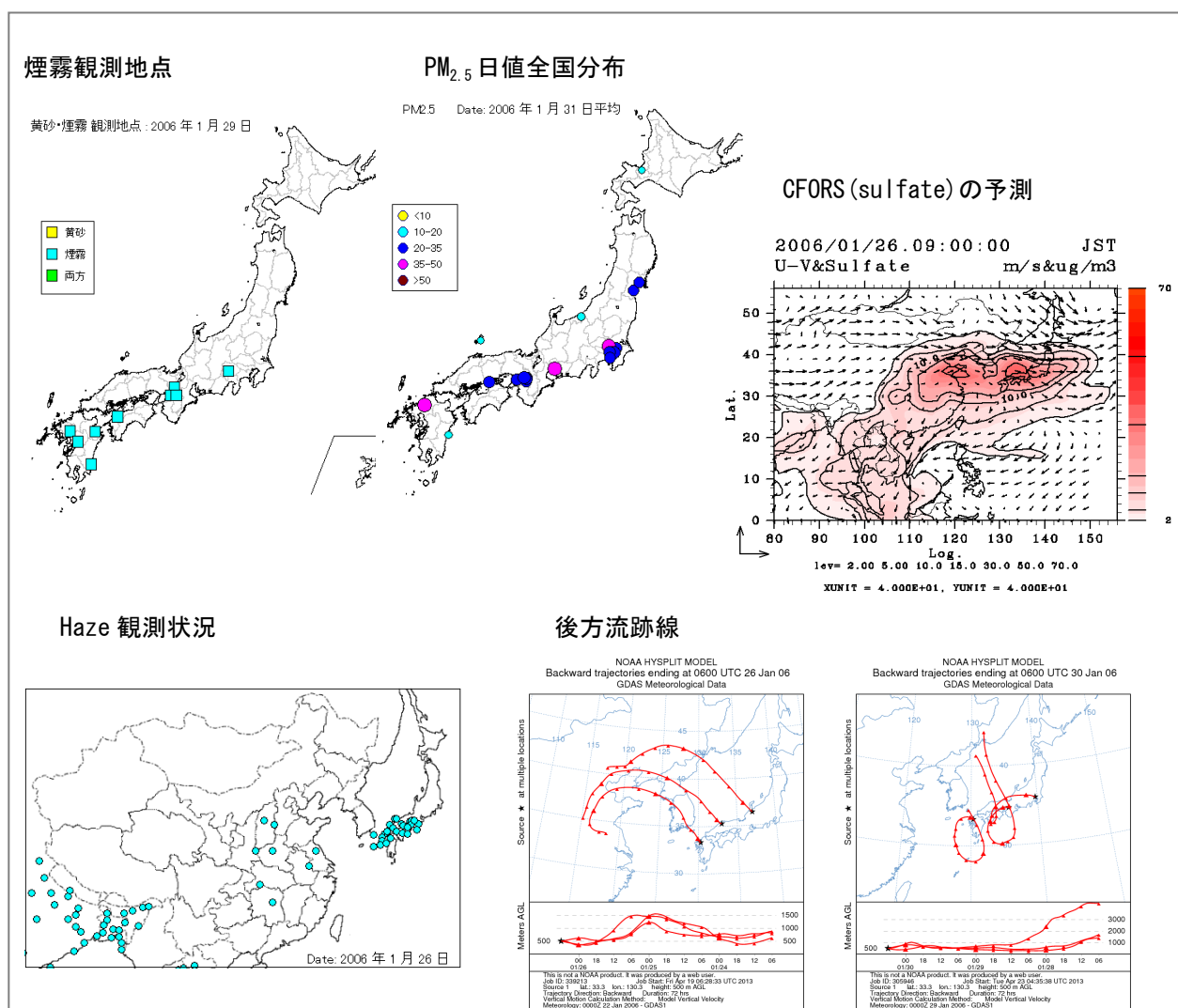


図 6-2-19 煙霧観測時の状況 (2006 年 1 月 25 日～31 日)

複数地点または複数日に黄砂・煙霧時でPM_{2.5}重量濃度が35 μ g/m³を超えた29事例について、PMF法による寄与推定を加えて分類を行っている。黄砂及び煙霧が31地点以上で観測された事例については、「5.2. 大規模黄砂の事例」、「5.3. 大規模煙霧の事例」の中でその状況を詳細に示している。それ以外の事例についても同様のデータを集約し、分類を行った結果、土壌系（黄砂）が主なものは単純黄砂、土壌系（黄砂）と硫酸塩系二次粒子の両者が伴に寄与しているものは混在黄砂に分類すると、表6-2-3のようになる。

表 6-2-3 PMF 法を加味した分類結果

No.	年度	年	月	日	日数	黄砂 地点 数	煙霧 地点 数	PM _{2.5} 時間最高値		PMF法を加味した分類	詳細参照
								地点 名	濃度		
1	2003	2003	4	13-19	7	31	19	埼玉	52.7	単純黄砂	5.2 (15)K01
2		2003	8	20-22	3		10	名古屋	51.5	硝酸塩系二次粒子	
3		2003	11	7-9	3		17	東京	45.7	硝酸塩系二次粒子	
4		2004	2	1-3	3		14	埼玉	53.7	硝酸塩系二次粒子	
5	2004	2004	4	12-24	13	34	18	名古屋	51.4	混在黄砂	5.2 (11)K03
6		2004	11	10-12	3		24	埼玉	91.6	硝酸塩系二次粒子	
7		2005	1	24-30	7		11	東京	46.8	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
8		2005	4	13-17	5	28	25	宮崎	47.5	混在黄砂	
9	2005	2005	7	29-31	3		23	大阪	53.1	硝酸塩系二次粒子	
10		2005	8	4-6	3		16	仙台	43.9	硝酸塩系二次粒子	
11		2005	11	11-15	5		12	大阪	48.0	硝酸塩系二次粒子	
12		2005	11	21-25	5		14	千葉	72.3	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
13		2006	1	25-31	7		26	大阪	65.9	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
14	2006	2006	4	18-19	2	43	18	新潟	70.5	混在黄砂	5.2 (8)K06
15		2006	4	24-26	3	42	12	新潟	64.8	単純黄砂	5.2 (5)K07
16		2006	8	1-5	5		23	岡山	45.3	硝酸塩系二次粒子	
17		2006	11	10-12	3		7	茨城	39.9	硝酸塩系二次粒子	
18		2007	1	15-19	5		14	福岡	51.8	硝酸塩系二次粒子 硫酸塩系二次粒子	
19		2007	1	21-29	9		13	福岡	49.1	硫酸塩系二次粒子	
20	2007	2007	4	11-13	3		21	名古屋	39.7	硫酸塩系二次粒子	5.3 (4)E07
21		2007	7	25-29	5		34	岡山	50.5	硫酸塩系二次粒子	
22		2007	11	15-17	3		15	福岡	50.8	硫酸塩系二次粒子	
23		2008	8	2-4	3		16	福岡	37.8	硫酸塩系二次粒子	
24	2009	2010	1	30-2/1	3		6	福岡	42.5	硫酸塩系二次粒子	
25	2010	2010	5	20-22	3	24	15	福岡	74.8	混在黄砂	
26		2010	5	24-26	3	22	11	宮崎	41.7	混在黄砂	
27		2010	11	7-8	2		24	東京	51.0	硝酸塩系二次粒子	
28		2010	11	12-15	4	37	10	埼玉	56.2	混在黄砂	5.2 (7)K14
29		2011	2	4-9	6		38	福岡	74.8	硫酸塩系二次粒子	5.3 (2)E09

7. ライダー黄砂・球形消散係数と SPM・PM_{2.5} 濃度の関係

7.1. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度

ライダーによる観測では、気象台が観測した黄砂日（以下気象台黄砂日）でない日にも黄砂粒子の飛来を示唆するデータが見られることから、ライダー観測データによって得られる下層での黄砂消散係数と SPM 時間値との関係を使って黄砂を検出する方法^{16), 17)}について検討した。期間は平成 20(2008)～平成 24(2012)年度の 5 年間で、長崎、松江、富山の 3 地点を対象とした。使用したデータは、3 地点の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。黄砂の飛来によって、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度には、相関関係の存在が予想されることから、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た^{5), 20)}。

- ① 1 日のデータが 12 時間以上揃ったものであること
- 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 0.7 以上であること
- ③ SPM 濃度の日最大値が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であること
- ④ 黄砂消散係数が日最大値 0.05/km 以上であること

表 7-1-1 に、3 地点で抽出した日を示す。3 年間で、長崎 61 日、松江 29 日、富山 26 日となった。このうち、当該地域でも他の地点でも黄砂は観測されていない日に抽出されたのは、長崎で 33 日、松江で 15 日、富山で 13 日とおおよそ 5 割を占めている。

黄砂の観測が他地点を含めてない日に検出され、SPM 最大値が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた長崎の平成 21(2009)年 1 月 19 日の例を、図 7-1-1 に示す。長崎周辺で SPM 濃度が上昇し、CFORS の予測、後方流跡線の軌跡などが黄砂の飛来を示している。このように、気象台による黄砂の観測がなされていない場合でも、黄砂の飛来を把握できる可能性がある。

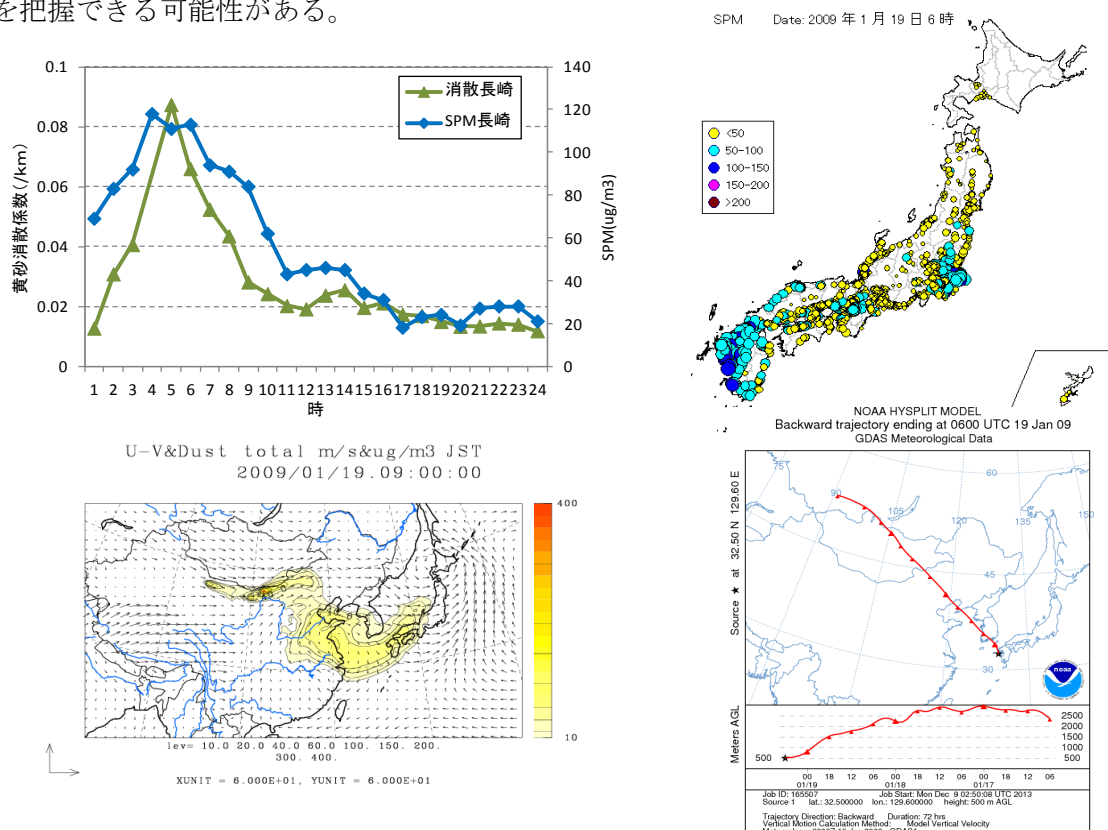


図 7-1-1 ライダーによる黄砂検出の例（2009 年 1 月 19 日）

表 7-1-1(1) 黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値の相関等の条件による抽出日

長崎県長崎市

	年度	地点	年	月	日	時間 数	黄砂消 散最大	黄砂消 散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係 数	傾き	切片	気象台 黄砂日	地点黄 砂日
1	2008	長崎	2008	5	31	24	0.331	0.142	91	55	0.915	203	27	○	◎
2	2008	長崎	2008	11	2	24	0.093	0.018	68	40	0.693	364	33		
3	2008	長崎	2008	12	30	24	0.059	0.020	64	27	0.911	952	8		
4	2008	長崎	2009	1	19	23	0.087	0.027	113	54	0.853	1417	15		
5	2008	長崎	2009	1	21	18	0.481	0.039	67	34	0.618	76	31		
6	2008	長崎	2009	1	29	16	0.518	0.104	60	39	0.705	60	32		
7	2008	長崎	2009	2	14	14	0.244	0.073	125	44	0.881	385	16		
8	2008	長崎	2009	2	20	17	0.284	0.138	59	36	0.678	99	22	○	◎
9	2008	長崎	2009	3	17	24	0.115	0.048	70	40	0.662	239	29	○	
10	2009	長崎	2009	10	17	24	0.065	0.019	72	39	0.784	501	29		
11	2009	長崎	2009	10	19	24	0.067	0.022	89	38	0.828	1019	15	○	◎
12	2009	長崎	2009	12	26	20	0.105	0.062	114	69	0.966	973	9	○	◎
13	2009	長崎	2009	12	30	21	0.097	0.030	86	34	0.629	500	20		
14	2009	長崎	2010	1	29	24	0.051	0.034	73	52	0.864	902	21		
15	2009	長崎	2010	2	18	23	0.118	0.018	82	24	0.695	515	15		
16	2009	長崎	2010	3	16	24	0.215	0.084	130	57	0.943	609	5	○	◎
17	2009	長崎	2010	3	19	24	0.051	0.017	60	28	0.774	611	18		
18	2009	長崎	2010	3	20	24	1.852	0.176	590	109	0.990	290	58	○	◎
19	2009	長崎	2010	3	21	23	1.802	0.277	898	182	0.960	552	29	○	◎
20	2010	長崎	2010	4	30	24	0.103	0.054	76	39	0.889	500	12	○	◎
21	2010	長崎	2010	5	1	24	0.056	0.027	57	26	0.831	809	4	○	
22	2010	長崎	2010	5	2	24	0.095	0.049	64	37	0.842	417	16	○	
23	2010	長崎	2010	5	5	22	0.105	0.067	69	51	0.760	266	33	○	
24	2010	長崎	2010	5	7	19	0.178	0.025	87	31	0.680	363	22		
25	2010	長崎	2010	5	10	13	0.231	0.040	53	28	0.647	123	23		
26	2010	長崎	2010	5	12	24	0.073	0.038	50	33	0.876	490	14	○	
27	2010	長崎	2010	7	10	17	0.053	0.025	89	43	0.751	1852	-3		
28	2010	長崎	2010	9	15	17	0.151	0.032	52	41	0.629	119	37		
29	2010	長崎	2010	11	11	22	0.256	0.050	148	52	0.686	253	39		
30	2010	長崎	2010	11	15	24	0.208	0.050	86	28	0.908	356	10	○	
31	2010	長崎	2010	12	6	24	0.057	0.013	66	25	0.913	933	13		
32	2010	長崎	2010	12	11	22	0.152	0.054	110	49	0.929	585	17	○	◎
33	2010	長崎	2010	12	18	24	0.076	0.058	57	44	0.836	387	22		
34	2010	長崎	2010	12	23	23	0.082	0.052	62	46	0.939	533	18	○	
35	2010	長崎	2010	12	24	22	0.083	0.016	88	30	0.949	968	14	○	
36	2010	長崎	2011	2	5	22	0.102	0.071	103	69	0.892	665	21		
37	2010	長崎	2011	2	6	24	0.108	0.059	93	74	0.640	257	59		
38	2010	長崎	2011	2	25	20	0.216	0.063	66	38	0.709	188	26		
39	2010	長崎	2011	3	22	23	0.096	0.038	75	33	0.805	491	14	○	◎
40	2011	長崎	2011	5	1	18	0.412	0.249	210	116	0.796	423	10	○	◎
41	2011	長崎	2011	5	2	24	0.605	0.406	292	217	0.736	371	66	○	◎
42	2011	長崎	2011	5	6	24	0.059	0.022	52	32	0.682	408	23		
43	2011	長崎	2011	5	13	24	0.294	0.151	83	55	0.782	170	29	○	◎
44	2011	長崎	2011	5	16	24	0.055	0.033	76	53	0.787	932	22	○	
45	2011	長崎	2011	10	7	24	0.060	0.034	101	59	0.757	864	29		
46	2011	長崎	2012	3	15	24	0.087	0.040	69	48	0.679	363	33		
47	2012	長崎	2012	4	10	24	0.087	0.023	60	34	0.652	399	25	○	
48	2012	長崎	2012	4	23	19	0.092	0.045	86	62	0.877	598	35	○	
49	2012	長崎	2012	5	10	24	0.050	0.025	58	47	0.660	359	38		
50	2012	長崎	2012	5	18	24	0.059	0.019	50	35	0.655	390	27		
51	2012	長崎	2012	5	28	15	0.055	0.032	61	48	0.735	463	33		
52	2012	長崎	2012	9	20	24	0.054	0.033	56	39	0.631	539	22		
53	2012	長崎	2012	12	4	24	0.058	0.018	75	20	0.791	827	5	○	
54	2012	長崎	2012	12	7	21	0.099	0.028	64	26	0.795	358	16		
55	2012	長崎	2013	1	2	24	0.108	0.059	82	46	0.689	392	23	○	
56	2012	長崎	2013	2	22	24	0.059	0.027	64	41	0.607	522	27		
57	2012	長崎	2013	3	4	19	0.086	0.027	78	41	0.874	803	19		
58	2012	長崎	2013	3	5	17	0.109	0.052	80	44	0.801	536	16		
59	2012	長崎	2013	3	9	15	0.145	0.067	103	70	0.839	379	44	○	◎
60	2012	長崎	2013	3	19	24	0.263	0.125	83	49	0.841	155	30	○	◎
61	2012	長崎	2013	3	29	24	0.058	0.021	59	44	0.602	381	36		

[注] 気象台黄砂日：全国のいずれかの地点で黄砂が観測された日 地点黄砂日：当該地点も黄砂日

表 7-1-1 (2) 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

島根県松江市

	年度	地点	年	月	日	時間 数	黄砂消 散最大	黄砂消 散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係 数	傾き	切片	気象台 黄砂日	地点黄 砂日
1	2008	松江	2008	5	18	23	0.111	0.057	82	36	0.625	495	8		
2	2008	松江	2008	5	22	24	0.157	0.066	88	46	0.921	456	16		
3	2008	松江	2008	6	9	23	0.154	0.047	56	33	0.657	177	25		
4	2008	松江	2008	8	15	17	0.762	0.065	50	15	0.616	50	11		
5	2008	松江	2008	9	18	20	0.063	0.025	56	21	0.662	593	6		
6	2008	松江	2008	11	5	24	0.063	0.037	60	21	0.782	1170	-22		
7	2008	松江	2009	2	13	15	0.053	0.026	63	43	0.752	495	30	○	◎
8	2008	松江	2009	2	21	23	0.851	0.140	58	31	0.644	49	24	○	◎
9	2009	松江	2009	5	20	24	0.073	0.059	78	36	0.756	1959	-80		
10	2009	松江	2009	6	2	24	0.251	0.081	59	33	0.815	216	16		
11	2009	松江	2009	6	26	24	0.105	0.055	52	31	0.866	394	10		
12	2009	松江	2009	10	19	23	0.239	0.044	77	21	0.913	278	9	○	◎
13	2009	松江	2009	10	21	23	0.101	0.054	60	21	0.910	422	-2	○	◎
14	2009	松江	2009	10	30	24	0.060	0.038	72	36	0.717	975	-1		
15	2009	松江	2009	12	26	24	0.252	0.148	64	42	0.878	144	21	○	◎
16	2009	松江	2010	3	16	23	0.183	0.098	50	22	0.934	282	-6	○	◎
17	2009	松江	2010	3	21	24	1.768	0.406	362	88	0.964	200	7	○	◎
18	2010	松江	2010	11	12	24	0.534	0.296	140	81	0.872	224	14	○	◎
19	2010	松江	2010	12	1	24	0.054	0.037	55	21	0.847	1504	-35		
20	2010	松江	2010	12	11	24	0.189	0.063	53	23	0.694	205	10	○	◎
21	2010	松江	2011	2	4	24	0.108	0.051	85	50	0.602	594	20		
22	2010	松江	2011	2	7	22	0.058	0.024	91	48	0.861	1229	19		
23	2011	松江	2011	5	1	22	0.393	0.158	82	34	0.924	185	5	○	◎
24	2011	松江	2011	5	4	22	0.172	0.079	75	36	0.959	365	7	○	◎
25	2012	松江	2012	4	23	24	0.053	0.025	66	34	0.811	1289	1	○	◎
26	2012	松江	2012	10	14	24	0.052	0.020	65	26	0.876	936	7		
27	2012	松江	2013	3	4	18	0.061	0.028	58	28	0.889	979	1		
28	2012	松江	2013	3	10	16	0.123	0.036	55	25	0.897	321	13	○	◎
29	2012	松江	2013	3	20	21	0.150	0.070	73	39	0.822	444	8	○	◎
[注] 気象台黄砂日: 全国のいずれかの地点で黄砂が観測された日 地点黄砂日: 当該地点も黄砂日															

表 7-1-1 (3) 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

富山県富山市

	年度	地点	年	月	日	時間 数	黄砂消 散最大	黄砂消 散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係 数	傾き	切片	気象台 黄砂日	地点黄 砂日
1	2008	富山	2008	4	30	24	0.056	0.039	77	32	0.696	1225	-17		
2	2008	富山	2008	6	19	16	0.061	0.008	67	19	0.805	962	11		
3	2008	富山	2008	7	18	19	0.899	0.159	63	22	0.824	54	14		
4	2008	富山	2008	12	10	24	0.163	0.071	80	22	0.823	295	1		
5	2008	富山	2009	2	14	15	0.584	0.061	57	17	0.741	81	12		
6	2008	富山	2009	3	16	24	0.116	0.048	68	22	0.909	578	-6	○	◎
7	2009	富山	2009	6	2	21	0.251	0.119	66	57	0.656	1060	-9		
8	2009	富山	2009	6	23	18	0.195	0.121	53	36	0.633	1358	0		
9	2009	富山	2009	9	22	15	0.308	0.041	52	31	0.642	426	11		
10	2009	富山	2009	12	2	16	0.252	0.041	51	22	0.665	807	2		
11	2009	富山	2010	3	21	12	1.768	1.241	378	333	0.836	435	-29	○	◎
12	2010	富山	2010	5	4	24	0.111	0.076	64	48	0.822	337	22	○	
13	2010	富山	2010	5	6	24	0.102	0.046	54	31	0.665	365	14	○	
14	2010	富山	2010	5	22	17	0.097	0.035	72	57	0.670	245	49	○	
15	2010	富山	2010	11	12	24	0.220	0.094	153	68	0.797	593	12	○	◎
16	2010	富山	2010	11	14	23	0.127	0.064	72	43	0.708	373	19	○	◎
17	2011	富山	2011	5	2	24	0.505	0.307	138	80	0.747	196	20	○	◎
18	2011	富山	2011	5	4	21	0.325	0.127	86	44	0.891	198	18	○	◎
19	2011	富山	2011	5	13	22	0.670	0.288	184	79	0.854	204	20	○	◎
20	2011	富山	2011	5	14	24	0.199	0.107	73	34	0.778	223	10	○	
21	2011	富山	2011	5	17	24	0.523	0.064	70	43	0.669	90	38		
22	2011	富山	2011	5	22	14	1.320	0.290	67	17	0.900	31	8		
23	2011	富山	2011	7	1	22	0.595	0.043	52	22	0.683	53	20		
24	2011	富山	2011	10	5	18	0.259	0.041	58	24	0.624	141	18		
25	2012	富山	2013	3	8	16	0.091	0.058	65	45	0.727	618	9	○	
26	2012	富山	2013	3	10	17	0.345	0.068	55	29	0.650	126	20	○	
[注] 気象台黄砂日: 全国のいずれかの地点で黄砂が観測された日 地点黄砂日: 当該地点も黄砂日															

7.2. ライダー球形消散係数と PM_{2.5} 濃度

ライダーでは、黄砂消散係数と同じように球形消散係数も計算されている。ライダーによって算出される球形消散係数は、大気汚染性のエアロゾルとの関連が深いと思われるため、PM_{2.5} 濃度との関係について検討した。

使用したデータは、大阪に設置されているライダーの観測データで、PM_{2.5}、SPM のデータは国設大阪局のものである。

図 7-2-1 に平成 22(2010)年 11 月 11～15 日の黄砂飛来時の経時変化を示す。この時の黄砂は西日本全体を覆う大きなものであった（5.2. 大規模黄砂の事例 (7) K14 p. 70 参照）。黄砂消散係数と SPM 濃度の上昇がほぼ同期し黄砂の影響を示しているが、PM_{2.5} は球形消散係数とともに異なる挙動をしており、黄砂の飛来による上昇とは同一でないことを示唆している。

図 7-2-2 には、大阪で黄砂が観測された平成 24(2012)年 4 月 22～25 日の変化を示している。この時は煙霧も多く多くの地点で観測されており（3.4. 平成 24 年度の黄砂飛来状況 (3) p. 16 参照）、大阪では黄砂のみの観測にもかかわらず、球形消散係数と PM_{2.5} の上昇が顕著であり、大気汚染によるエアロゾルの影響の方が大きいと思われる。

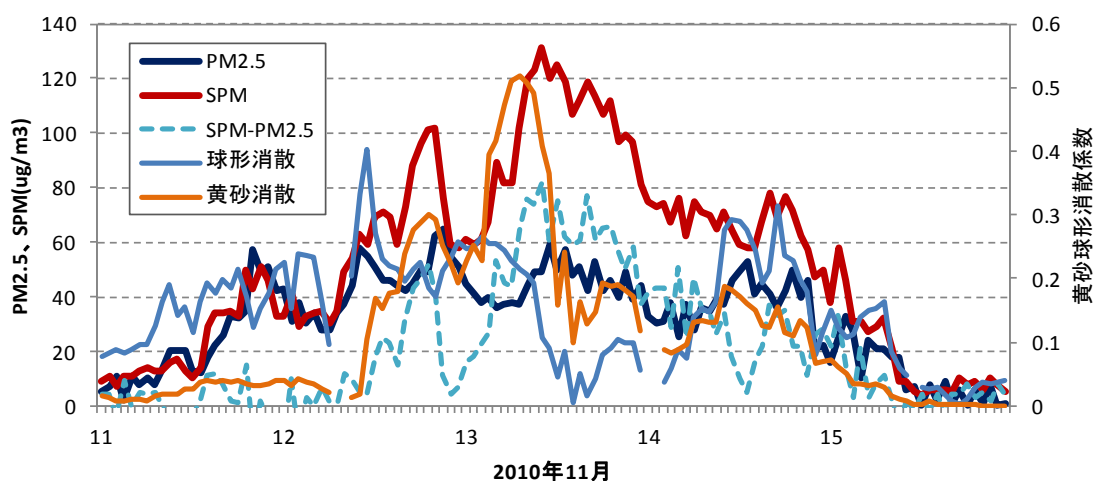


図 7-2-1 黄砂による PM_{2.5} の上昇

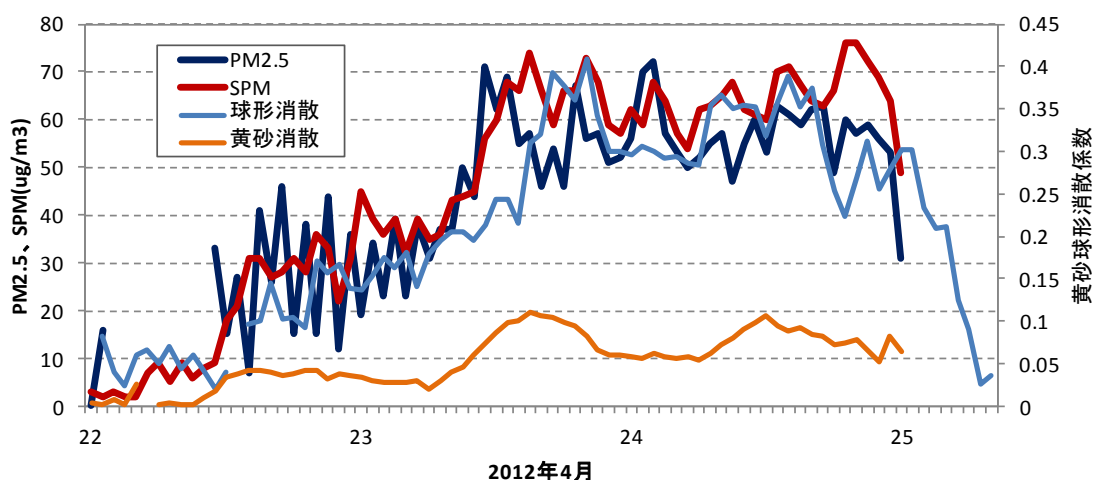


図 7-2-2 煙霧による PM_{2.5} の上昇

8. 今後の課題

- 黄砂の飛来は気象条件や発生源の状況によって大きくその態様が異なるため、特徴や影響を把握することが難しい。本報告書においては、大規模黄砂・大規模煙霧の観測データを気象学的、環境科学的に検討し、それぞれの現象における共通的な特徴や傾向を明らかにした。今後、汚染の混合について、その成分、PM_{2.5}への影響など、さらに多くの事例を解析し、空間的な把握や汚染経路などの詳細を明らかにしていくとともに、汚染の混合や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た。全国において PM_{2.5} の常時監視局の拡大、成分分析データの蓄積を進めることにより、PM_{2.5} 濃度の上昇に対する黄砂の寄与、長距離輸送された気塊による煙霧の寄与を明らかにしていく必要がある。
- 汚染混合型黄砂や PM_{2.5} に関する地域レベルでの地上濃度を予測することが社会的に期待されている。そのような予測に役立つ指標成分や常時監視手法の検討を進める必要がある。
- 現在、日本・中国・韓国でのモニタリング・予測などの黄砂共同研究が進行している。このような研究が、アジア地域全体の黄砂発生源対策、さらには黄砂の汚れ度を低減化できるような技術協力へと進展することが望まれる。

参考文献リスト

1. 「環境省」2007：黄砂実態解明調査中間報告書
2. 「環境省」2009：黄砂実態解明調査報告書
3. 「環境省」2010：黄砂飛来状況報告書
4. 「環境省」2011：平成22年度黄砂飛来状況報告書－平成21年度における黄砂実態解明調査－
5. 「環境省」2012：黄砂実態解明調査中間報告書－平成20～22年度－
6. 「環境省」2013：平成23年度黄砂飛来状況調査報告書
7. 「環境省」HP（環境省大気汚染物質広域監視システム）：<http://soramame.taiki.go.jp/>
8. 「環境省」HP（POPs モニタリング結果）：<http://www.env.go.jp/chemi/pops/index.html>
9. 「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
10. 「気象庁」HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
11. 「気象業務支援センター」：世界気象資料、気象庁月報
12. 「気象庁」HP（過去の気象データ）：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
13. 「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーライダー））：<http://www-lidar.nies.go.jp/>
14. 「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>
15. 「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HP ARL HYSPLIT（後方流跡線）<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajsrc.pl>
16. 清水厚、松井一郎、杉本伸夫：日本国内における黄砂重量濃度とライダー観測による黄砂消散係数との関係、日本気象学会2009年秋季大会要旨集、P351、2009
17. 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
18. 岩本真二：越境汚染－東アジア大気汚染の実態と今後の課題、資源環境対策、47（13）32-39（2011）
19. 後藤隆久、岩本真二、日下部正和：日本に飛来する黄砂の分類について、第53回大気環境学会年会講演要旨集、487（2012）
20. 日下部正和、後藤隆久、岩本真二：ライダー黄砂消散係数とSPM濃度による黄砂検出の検討、第53回大気環境学会年会講演要旨集、488（2012）
21. 日下部正和、岩本真二：黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}の環境基準超過について、第54回大気環境学会年会講演要旨集、491（2013）
22. 岩本真二、日下部正和：黄砂・煙霧時におけるPM_{2.5}の環境基準超過について－PM_{2.5}成分濃度へのPMF法の適用－、第54回大気環境学会年会講演要旨集、492（2013）
23. 畠山史郎他：中国から東シナ海を経て沖縄まで輸送されるエアロゾル中の主要イオンの関係、エアロゾル研究、21、2、147-152（2006）
24. 山神真紀子他：2011年2月上旬に観測された広域的なPM_{2.5}高濃度エピソードの要因解析、大気環境学会誌、48、3、196-205（2013）
25. 米持真一他：2013年1月に中国北京市で採取した高濃度PM_{2.5}、PM₁の特徴、大気環境学会誌、48、3、140-144（2013）
26. U.S.EPA, EPA Positive Matrix Factorization(PMF)3.0 Fundamentals & User Guide, pp.1-70（2008）
27. 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）

資料編

- 平成 24(2012) 年度分析方法
(金属類、イオン類、多環芳香族炭化水素類)

1. 金属成分分析

分析項目

分析項目は、アルミニウム及びその化合物（Al）である。なお、同時測定が可能であったカルシウム及びその化合物（Ca）、鉄及びその化合物（Fe）、マグネシウム及びその化合物（Mg）、マンガン及びその化合物（Mn）、ストロンチウム及びその化合物（Sr）、チタン及びその化合物（Ti）、亜鉛及びその化合物（Zn）を参考として測定した。

分析方法

分析方法は、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル（平成 23 年 3 月）環境省 水・大気環境局 大気環境課」に準拠した。

分析フローを図 1-1、ICP-MS 測定条件を表 1-1 に示す。

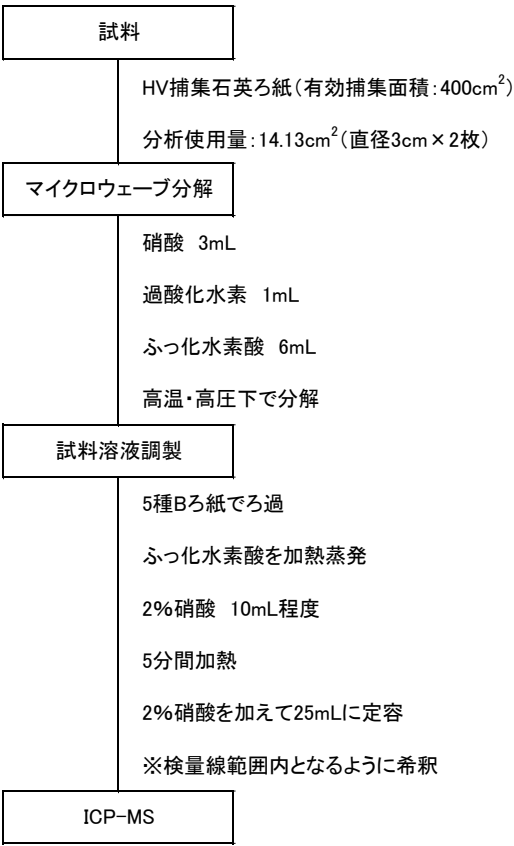


図 1-1 金属成分分析フロー

表 1-1 金属成分 ICP-MS 測定条件

使用機器	ICP質量分析 Agilent 7500i
分析条件	高周波電力 :1400(W)
	プラスズマ流量 :15L/分
	キャリアーガス流量 :1.25L/分
	内部標準 :インジウム 質量数 115
	混合金属標準 :AccuStandard,Inc. U.S.A
	液体アルゴン :99.99%以上
	圧力容器分解装置 :PerkinElmer社製 Multiwave 3000
	硝酸 :関東化学(株) EL純度 5ml
	フッ化水素酸 :関東化学(株) 原子吸光分析用 3ml

2. イオン成分分析

分析項目

分析項目は、ナトリウムイオン (Na^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、アンモニウムイオン (NH_4^+)、硫酸イオン (SO_4^{2-})、及び硝酸イオン (NO_3^-) である。なお、同時測定が可能であった塩化物イオン (Cl^-)、カリウムイオン (K^+)、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) を参考として測定した。

分析方法

分析方法は、「大気中微小粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$) 測定方法暫定マニュアル 改定版 (平成 19 年 7 月) 環境省」に準拠した。

分析フローを図 2-1、イオンクロマトグラフ測定条件を表 2-1 に示す。

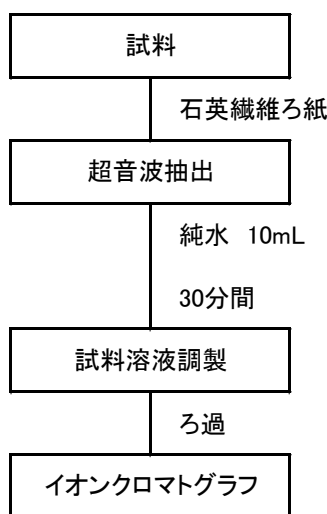


図 2-1 イオン成分分析フロー

表 2-1 イオンクロマトグラフ測定条件

使用機器	イオンクロマトグラフ DIONEX ICS-1500
分析条件	<陰イオン成分> 使用カラム: DIONEX社製 IonPac AS12A: $4 \times 200\text{mm}$ [(基材: エチルビニルベンゼン-ジビニルベンゼンポリマー, 直径: $9\mu\text{m}$) (交換基: 4級アルキルアミン, 直径: 140nm)] 移動相 : 2.7mmol/L炭酸ナトリウム溶液, 0.3mmol/L炭酸水素ナトリウム溶液 流量 : 1.5mL/min 試料注入量: $50\mu\text{L}$ カラム温度: 35°C サプレッサ: 電気透析型 検出器 : 電気伝導率検出器 <陽イオン成分> 使用カラム: DIONEX社製 IonPac CS14: $4 \times 250\text{mm}$ [(基材: エチルビニルベンゼン-ジビニルベンゼンポリマー, 直径: $8.5\mu\text{m}$) (交換基: カルボン酸, グラフト型)] 移動相 : 10mmol/Lメタンサルホン酸溶液 流量 : 1.0mL/min 試料注入量: $50\mu\text{L}$ カラム温度: 35°C サプレッサ: 電気透析型 検出器 : 電気伝導率検出器

3. 多環芳香族炭化水素類 成分分析

分析項目

分析項目は、ベンゾ[a]アントラセン、クリセン、ベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[e]ピレン、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[k]フルオランテン、ジベンゾ[a,h]アントラセン、ジベンゾ[a,c]アントラセン、インデノ[1,2,3-cd]ピレン及びベンゾ[g,h,i]ペリレン、コロネンである。

分析方法

分析方法は、「化学物質環境実態調査実施の手引き（平成 20 年度版）環境省」に準拠した。

分析フローを図 3-1、GC-MS 測定条件を表 3-1 に示す。

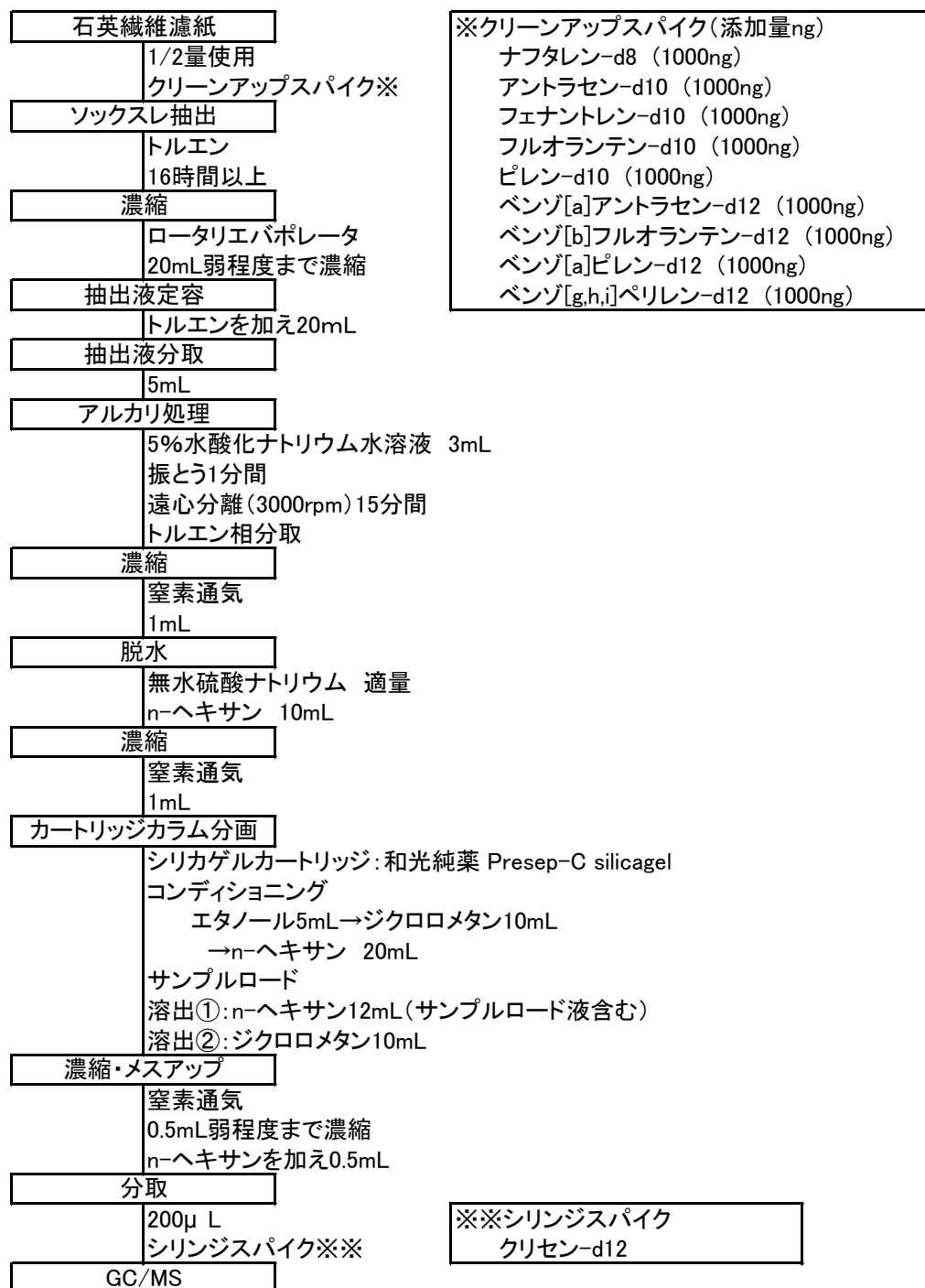


図 3-1 石英繊維ろ紙の分析フロー

表 3-1 GCMS 測定条件

GC	島津製作所 GC-2010
注入法	スプリットレス(1min、高圧注入)
注入口温度	300°C
分離カラム	varian Select-PAH(0.25mm×30m、0.15μm)
オープン温度	70°C(1min)→30°C/min→180°C→3°C/min→230°C(7min)→ 15°C/min→280°C(10min)→14°C/min→350°C(5min)
インタフェース温度	300°C
MS	島津製作所 QP-2010Plus
イオン化法	EI
イオン化電圧	70eV
検出法	SIM

GC-MS 測定条件

対象物質	モニタイオン	対象物質	モニタイオン
ベンゾ[a]アントラセン-d12	240	ベンゾ[a]ピレン-d12	264
ベンゾ[a]アントラセン	228(226,229)	ベンゾ[a]ピレン	252(253,250,126)
クリセン-d12	240	ジベンズ[a,c]アントラセン	278(279)
クリセン	228(226,229)	インデノ[1,2,3-cd]ピレン	276(277,274)
ベンゾ[b]フルオランテン-d12	264	ジベンズ[a,h]アントラセン	278(279)
ベンゾ[b]フルオランテン	252(253,250,126)	ベンゾ[ghi]ペリレン-d12	288
ベンゾ[k]フルオランテン	252(253,250,126)	ベンゾ[ghi]ペリレン	276(277)
ベンゾ[e]ピレン	252(253,250,126)	コロネン	300(150,301)