黄砂実態解明調査
中間報告書

－平成２０～２２年度－

平成 24 年 3 月

環　境　省

はじめに

近年、中国、モンゴルからの黄砂の発生が大規模化しており、北東アジア地域において共通の関心事となっている。従来、黄砂は自然現象と理解されてきたが、近年の黄砂の発生頻度及び被害の甚大化は、過放牧や農地転換による土地の劣化等の人為的要因も影響しているとの指摘もある。

また、わが国への黄砂の飛来頻度の増加に伴い、黄砂の環境影響への関心が高まっている。物質循環に関連する黄砂の影響は、科学的に明らかでない部分が多く、特に黄砂粒子が大気汚染物質を吸着し輸送する現象等、他の現象との複合効果・影響についてはほとんど解明されていない。黄砂の環境影響を把握するためには、黄砂の物理的性質（粒径分布、粒子の形状、表面構造等）や化学的性質（化学組成、鉱物組成、吸着・付着した酸性物質や農薬等大気汚染物質等）を明らかにする必要がある。

環境省では、平成14 年度から、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、粒径分布や化学成分の分析を行う黄砂実態解明調査などを実施している。本報告書は、平成20年度から平成22年度にかけて実施したこれらの黄砂実態解明調査の結果をとりまとめたものであり、今後とりまとめる平成20年度から平成24年度までの5年間の実態解明調査の中間報告となるものである。

なお、本報告書の作成にあたっては、黄砂問題検討会の指導を仰ぎ、併せてワーキンググループには黄砂実態解明作業に関し、多大なご協力をいただいた。ご指導、ご協力いただいた各委員の皆さま、サンプリング調査を実施いただいた地方公共団体の皆さま、その他関係者の皆さまにお礼を申し上げる。

平成24 年3月

環境省水・大気環境局

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	金沢大学 サイエンスフロンティア機構　特任教授
委員	植松　光夫	東京大学　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　准教授
委員	西川　雅高	独立行政法人　国立環境研究所 環境計測研究センター　環境計測化学研究室長
委員	三上　正男	気象庁　気象研究所 環境・応用気象研究部長
委員	吉川　賢	岡山大学　大学院環境学研究科 森林生態学　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 取締役　環境・食品本部　本部長　兼　研究開発部長
座長	西川　雅高	独立行政法人　国立環境研究所 環境計測研究センター　環境計測化学研究室長
委員	早崎　将光	富山大学大学院 理工学研究部　研究員
委員	森　育子	財団法人　東京都環境整備公社　東京都環境科学研究所

報告書の要旨

1. 概　要

環境省では、平成 14 年度から、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 20 年度から平成 22 年度にかけて飛来してきた黄砂についてその状況をとりまとめたものである。

2. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

平成 15（2003）年度から 22（2010）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 13(2001)年から 22(2010)年の黄砂観測日の観測地点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を地図上で示した。さらに、平成 15(2003)年度から 22(2010)年度の日別の黄砂の規模を示すために、観測地点の都道府県における SPM 平均濃度に観測都道府県数を乗じたものを算出した。

2.2.　成分分析調査

2.2.1. 調査期間

平成 20 年度から平成 22 年度までの黄砂飛来シーズン（2 月から 6 月）

2.2.2.　調査地点

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

なお、農薬成分の分析に係るサンプリングは、巻、富山、松江の 3 地点

2.2.3.　エアロゾル捕集方法

以下の 3 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）
目的：浮遊粉じん濃度、エアロゾル中の主に金属成分の分析

2）二段型ローボリウムサンプラー（LV）
目的：2.5μｍで分級したエアロゾル中の主にイオン成分の分析

3）ハイボリウムサンプラー（ポリウレタンフォーム、活性炭繊維をろ紙後段に装着したもの）
目的：エアロゾルに吸着した農薬成分の分析

2.2.4. 分析項目

浮遊粉じんの重量を測定したほか、金属成分 1 項目（HV）、イオン成分 5 項目（LV）、農薬成分 9 項目（異性体を含めると 17 種類）（HV）を分析した。

2.3. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴を解析し分類を行うために、気圧配置、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS 予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係、硫酸イオン濃度時間値、$PM_{2.5}$／SPM 比などのデータを集約した。

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 22(2010)年度までの黄砂日観測数の経年変化では、2007 年度まで年々増加していたが、2008、2009 年度と減り、2010 年度再び増加している。この間の経月変化では 3～5 月の飛来が顕著であった。地域的には、九州、山陰への飛来回数が上位を占めていた。

3.2.黄砂日の SPM 濃度

SPM 平均濃度と黄砂日数ともに西日本で高い傾向がみられた。2008 年から 2010 年の 3 年間では、2009 年には全体的に低い傾向がみられたが、2010 年には西日本で高い傾向であった。

3.3.黄砂日の黄砂規模

黄砂飛来日の黄砂の規模を、観測された都道府県での SPM 平均濃度に観測地点都道府県数を乗じて算出した。その値が、1000（$\mu g/m^3$×都道府県数）を超える大規模な黄砂は、2003 年度から 2010 年度で全黄砂日のうち 14%を占めていた。

4.成分分析結果

4.1.　黄砂採取状況

4.1.1.　浮遊粉じん（TSP）濃度

採取した試料のうち、黄砂を観測したものは 27 件あり、その TSP 濃度の平均は 86 $\mu g/m^3$ で、全試料の平均濃度 56 $\mu g/m^3$ の 1.5 倍となっていた。

4.2. 黄砂の化学分析結果

アルミニウム（Al）の分析結果は、黄砂の影響がみられる件体では（黄砂が観測され且つ TSP が 100 $\mu g/m^3$ 以上あるもの 5 件)、3.7～7.4 $\mu g/m^3$ の値で平均は 5.5 $\mu g/m^3$（組成 4.6%）であった。これは、黄砂の影響がみられない件体の平均 1.2 $\mu g/m^3$（組成 2.5%）と比べると大きな値となっていた。

二段型 LV により捕集した粒径 2.5 μm 以下(微小粒子($PM_{2.5}$))中のイオン成分分析結果では、黄砂の影響が見られる件体で硫酸イオン濃度は、3.0～7.4 $\mu g/m^3$（平均 5.5 $\mu g/m^3$）となっていた。

農薬の分析結果では、各物質とも大気管理参考濃度よりもかなり低かった。また、検出された農薬は日本でも使用されており、大陸からの飛来の影響をみることはできなかった。

5.　黄砂の特徴と分類

5.1　分類の方法

黄砂の特徴をみるために、気圧配置、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS、ライダー黄砂消散係数、消散係数と SPM 濃度の同期の有無、硫酸イオン濃度時間値、$PM_{2.5}$／SPM 比などを集約した。これらのデータを基に、単純黄砂、硫酸塩エアロゾル、これらの混在したものの大きく 3 つのパターンに分類することを試みた。黄砂飛来の把握には、アジア中央部での黄砂の発生状況、日本南岸に前線が位置する気圧配置、モンゴルからの方向を示す後方流跡線、ライダーでの黄砂消散係数と SPM 濃度の同時上昇、小さな $PM_{2.5}$／SPM 比などがその判断として有効と思われた。また、硫酸塩エアロゾルの飛来については、硫酸イオン濃度上昇、中国沿岸部からの方向を示す後方流跡線、大きな $PM_{2.5}$／SPM 比などをもとに判断した。

5.2.黄砂事例の特徴

平成 20(2008)～22(2010)年度の 3 年間の黄砂日を中心に合計 30 事例について、気圧配置、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数と SPM 濃度の同期の有無、硫酸イオン濃度時間値、$PM_{2.5}$／SPM 比などのデータを各事例毎に整理して特徴付けを行った。

5.3. 分類結果

30 事例について、単純黄砂、硫酸塩エアロゾル、硫酸塩エアロゾルとの混在黄砂の 3 つに分類を行った。その中で、特徴が明確であった単純黄砂 4 事例、硫酸塩エアロゾル 3 事例、混在黄砂 8 事例を抽出した。混在黄砂については、硫酸塩エアロゾルが黄砂と同時に飛来しているケース、硫酸塩エアロゾルが先に飛来しその後黄砂が来るケース、さらに、南に硫酸塩エアロゾル北に黄砂と地域で分かれるケースに分類できるような特徴がみられた。(以下事例の期日毎の括弧は事例番号)

単純黄砂

(15)平成 22（2010）年 3 月 16 日～17 日

九州から山陰を中心に SPM が上昇しており、中規模の黄砂で、硫酸イオンの濃度も低く硫酸塩エアロゾルの影響は少ない。

(26)平成 22（2010）年 12 月 11 日～12 日

九州・中国へ飛来してきた黄砂。

(17)平成 22（2010）年 4 月 2 日～3 日

北日本に飛来してきた黄砂で、3 日には九州へも来ている。硫酸エアロゾル飛来の様子はない。

(9)平成 21（2009）年 4 月 25 日～26 日

沖縄を中心に飛来してきた黄砂。

(29)平成 23（2011）年 3 月 20 日

東北地方を中心に飛来してきた黄砂。

混在黄砂

（同時飛来）

(22)平成 22（2010）年 5 月 20 日～22 日

全国的に広がり濃度も高い黄砂であるが、同時に九州には濃い硫酸塩エアロゾルも飛来している。

(4)平成 21（2009）年 2 月 11 日～13 日

九州・中国・関西まで広範囲に黄砂が飛来している。同時に福岡での硫酸イオン濃度も非常に高い。

(8)平成 21（2009）年 3 月 16 日～19 日

大きな黄砂であるが、硫酸塩エアロゾルの上昇もみられる。中国、韓国で PM_{10} が高濃度を示し。更にソウルでは 17 日に Haze と黄砂を観測している。

(25)平成 22（2010）年 12 月 3 日～4 日

3 日は、福岡で SPM の上昇と同時に硫酸イオンも上昇している。黄砂とともに到来したと考えられる。

（硫酸塩エアロゾル先行）

(16)平成 22（2010）年 3 月 20 日～24 日

硫酸イオンは 19 日 21 時に 19.6$\mu g/m^3$ となり、20 日に次第に減少した後、20 日 18 時頃から、過去最大級の黄砂（最高 800$\mu g/m^3$ 超）が飛来している。その後、SPM 高濃度は北上し北海道まで広がった。濃度のピークは 2 時間毎に北に移動し、21 日 18 時頃に千葉県付近を最後に終了している。

(24)平成 22（2010）年 11 月 12 日～15 日

黄砂飛来直前に 10$\mu g/m^3$ を超える硫酸イオンが飛来し、その後は黄砂のみと考えられる。

(13)平成 21（2009）年 12 月 26～27 日

関東や東北など全国的に広がった黄砂。硫酸イオンの上昇は 20 日の夜中の 1 時までででその後減少した。中国及び韓国で高濃度の PM_{10} が観測されており、韓国では 25 日に Haze が観測されている。

（地域分離）

(11)平成 21（2009）年 5 月 19 日

東北を中心に飛来した小さな黄砂。九州で硫酸塩エアロゾル飛来の様子がある。

硫酸塩エアロゾル

(28)平成 23（2011）年 2 月 4 日～9 日

東アジア全域で Haze が観測され、SPM 濃度も最高で 400 $\mu g/m^3$ を超す地点があり、全国的に広がる大規模な煙霧であり、硫酸イオン濃度も高い。

(2)平成 20（2008）年 5 月 22 日～23 日

東北・北海道は黄砂の可能性があるが、全体としては硫酸塩エアロゾルの影響が大きい。

(10)平成 21（2009）年 5 月 8 日

松江で夜に黄砂の痕跡はみられるが、オキシダント（Ox）も大きく上昇しており、硫酸イオンの上昇から主に九州地方に影響を与えた硫酸塩エアロゾルが中心である。

6. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検討

気象台の黄砂の観測は主に目視によって行われているが、これとは別に黄砂飛来を確認するために、ライダー黄砂消散係数をベースに検出する方法を検討した。黄砂時にライダー消散係数と SPM 時間値の変化が同期するケースが多いことから、両者の相関係数や SPM 濃度などの条件を設定し、黄砂飛来の可能性のある日を抽出した。そのうち、気象台の観測した黄砂日でない日は 3 年間で 28 日あり、これらの事例について天気図、後方流跡線などのデータをもとに黄砂の飛来について検証した。その結果、概ねその飛来を確認でき、気象台の黄砂日でない日に検出された黄砂は、夜間に飛来していることが多く、全体的な黄砂飛来把握の方法として有効と思われた。

黄砂飛来状況報告書　目次

1. 調査目的 1

2. 調査方法 1

2.1. 黄砂の飛来状況 1

2.2. 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. 黄砂の特徴と分類 5

3. 黄砂の飛来状況 6

3.1. 気象台発表の黄砂日 6

3.2. 黄砂日の SPM 濃度 7

3.3. 黄砂日の黄砂規模 11

4. 成分分析結果 12

4.1. 黄砂採取状況 12

4.2. 黄砂の化学分析結果 13

4.2.1. 金属とイオン 13

4.2.2. 農薬成分 15

5. 黄砂の特徴と分類 16

5.1. 黄砂の分類 16

5.2. 黄砂事例の特徴 20

(1) 平成 20（2008）年 4 月 26 日～27 日 22

(2) 平成 20（2008）年 5 月 22 日～23 日 24

(3) 平成 20（2008）年 5 月 31 日～6 月 1 日 27

(4) 平成 21（2009）年 2 月 11 日～13 日 30

(5) 平成 21（2009）年 2 月 15 日 33

(6) 平成 21（2009）年 2 月 20 日～22 日 35

(7) 平成 21（2009）年 3 月 10 日 38

(8) 平成 21（2009）年 3 月 16 日～19 日 40

(9) 平成 21（2009）年 4 月 25 日～26 日 43

(10) 平成 21（2009）年 5 月 8 日 46

(11) 平成 21（2009）年 5 月 19 日 48

(12) 平成 21（2009）年 10 月 19 日～22 日 50

(13) 平成 21（2009）年 12 月 26～27 日 53

(14) 平成 22（2010）年 3 月 13 日～14 日 55

(15) 平成 22（2010）年 3 月 16 日～17 日 57
(16) 平成 22（2010）年 3 月 20 日～24 日 59
(17) 平成 20（2010）年 4 月 2 日～3 日 63
(18) 平成 20（2010）年 4 月 27 日～5 月 2 日 66
(19) 平成 22（2010）年 5 月 2 日～9 日 71
(20) 平成 22（2010）年 5 月 9 日 75
(21) 平成 22（2010）年 5 月 11 日～12 日 77
(22) 平成 22（2010）年 5 月 20 日～22 日 79
(23) 平成 22（2010）年 5 月 24 日～26 日 82
(24) 平成 22（2010）年 11 月 12 日～15 日 85
(25) 平成 22（2010）年 12 月 3 日～4 日 89
(26) 平成 22（2010）年 12 月 11 日～12 日 92
(27) 平成 22（2010）年 12 月 23 日～24 日 95
(28) 平成 23（2011）年 2 月 4 日～9 日 98
(29) 平成 23（2011）年 3 月 20 日 103
(30) 平成 23（2011）年 3 月 22 日 105
5.3. 分類結果 107
6. ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂の検出 111
7. まとめ 116
8. 今後の課題 117

参考文献 118
資料編 119
用語解説 132

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発生しており、その影響等に対する関心が高まっている。日本への黄砂飛来状況は、その回数に年ごとに変動はあるものの上昇傾向にある。

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

このため、本報告書は、わが国における黄砂エアロゾルの飛来状況を科学的に把握するとともに、わが国に飛来した黄砂の実態解明に資することを目的として、平成 20～22 年度の結果をまとめたものである。

2. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

浮遊粒子状物質(SPM)濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために、平成 13(2001)年から平成 22(2010)年にかけて、気象台が発表している黄砂観測日について、その推移について整理した。

また、黄砂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て、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した。

更に、黄砂日を観測した都道府県での SPM 平均濃度に都道府県数を乗じて、黄砂日における規模を示す量的指標とした。

2.2. 成分分析

2.2.1. 調査期間と調査地点

黄砂における成分調査は、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、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。（平成 20 年度は全国 9 地点で調査を実施。）

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。

農薬成分分析に係るエアロゾル捕集は、巻、富山及び松江の 3 地点において実施した。

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）
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ地点	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	長崎県大村市池田 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

2.2.2. エアロゾル捕集方法[i]

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 3 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の分析等を主な目的とする。
2) 二段型ローボリウムサンプラー（LV）
   粗大粒子及び微小粒子の二段に分級したエアロゾルのイオン成分の分析等を主な目的とする。
3) ハイボリウムサンプラー（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もの）
   ガス状を含めた農薬成分の捕集を主な目的とする。

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) サンプリング終了後、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±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 2.5μm）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) サンプリング終了後、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±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、47㎜、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。

ウ．ハイボリウムサンプラー（農薬成分分析用：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）

採取方法は「化学物質環境実態調査実施の手引き（平成 20 年度版）」（平成 21 年 3 月、環境省総合環境政策局環境安全課）に準拠する。

1) 洗浄後、それぞれ専用のステンレス製の容器に保存されている石英ろ紙、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトを使用する。なお、これらの捕集材はサンプリング直前まで開封せず、冷蔵保存する。

[i] エアロゾル捕集方法は、調査年度により異なる。

2）ハイボリウムサンプラー（POPs 試料採取用）の流量設定は 700L/分を基準とし、エアロゾルを捕集する。
3）サンプリング終了後、速やかにろ紙、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトを実験室に持ち帰る。
4）ろ紙は捕集面を内側に合わせ 2 つ折りにし、アルミ箔で包み、専用のマイラーバッグに入れ、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトは、サンプリング前の保存時に包んでいたアルミ箔で包み、専用のステンレス製容器に移し替える。
なお、捕集後のろ紙、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトについては速やかに密封することを最優先とし、秤量は行わない。
5）冷蔵庫内など 5℃冷暗所にて保存する。
6）分析に際しては、低温宅配便にて所定の分析機関へ 1 週間以内に送付する。
7）ブランクは、トラベルブランクとする。

2.2.3. 分析項目[ii]

試料については、捕集したエアロゾルの重量（浮遊粉じん濃度）を測定したほか、金属成分 1 項目、イオン成分 5 項目、農薬成分 9 項目（異性体を含めると 17 種類）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)	
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^+)	
農薬	ジクロルボス	高分解能ガスクロマトグラフ質量分析法（HRGC/HRMS）
	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	

[ii]分析項目は、調査年度により異なる。

2.3. 黄砂の特徴と分類

黄砂現象を総合的に捉えるため、平成 20～22 年度の各黄砂事例を対象に、黄砂観測地点、気象概況（天気図・大陸における砂塵嵐の発生）、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS（Chemical weather FORecasting System）の予測結果、ライダー観測結果、$PM_{2.5}$／SPM 比、硫酸イオン濃度経時変化などを併せて考察した。

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測したと発表した地点を示した。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。

気象概況（天気図）は、気象庁のホームページから天気図と天気概況を引用した。また、世界気象資料を基に、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表示した。気象コード 33,34,35 を Severe duststorm、30,31,32 を Slight duststorm、07,08,09 を dust 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[iii]。

CFORS は、九州大学応用力学研究所の鵜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）による黄砂イベント当時に予測された黄砂等土壌性ダストと硫酸塩の高度 0～1km における平均重量濃度の推定分布を表示している。

ライダー観測結果は、国立環境研究所公開のライダー観測結果でみることができる。国立環境研究所ではライダー観測結果から消散係数を算出し、そのデータと画像を公開している。画像は 1 ヶ月毎に非球形粒子（黄砂）と球形粒子（大気汚染性エアロゾル）の消散係数の大きさが高度 6km まで示されている。これは、黄砂モニタリングのため 532nm の偏光解消度を利用して、非球形の黄砂と球形の大気汚染性エアロゾルを分離して、それぞれの散乱への寄与を推定したものである。数値データとして示されている消散係数（/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。必要に応じて、球形粒子の係数（以下「球形消散係数」）についても同様の検討を行った。

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）。

$PM_{2.5}$・SPM 濃度及び $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化をグラフで表し、粗大粒子と微小粒子の比をみることで、黄砂の影響を観察した。$PM_{2.5}$ 濃度は、環境省が全国 15 カ所で測定しているものを使用した。（機種：TEOM 1400a 又は 1405-DF Thermo Fisher Scientific 社）。

[iii]表示した計算結果のうち、地表付近のみを経由する流跡線については、解析に用いなかった。

3. 黄砂の飛来状況

3.1 気象台発表の黄砂日

平成 15（2003）年度から平成 22（2010）年度までの気象台発表の黄砂日について、その年間合計日数を図 3-1-1 に示している。2003 年度から 2006 年度まで増加傾向がみられ、その後 2008 年度、2009 年度と減少したが、2010 年度には再び増加している。

図 3-1-2 には、平成 15(2003)年度から平成 22(2010)年度までの黄砂日数と観測地点数を乗じたものの経月変化を示している。3～5 月に圧倒的に多いことが分かる。

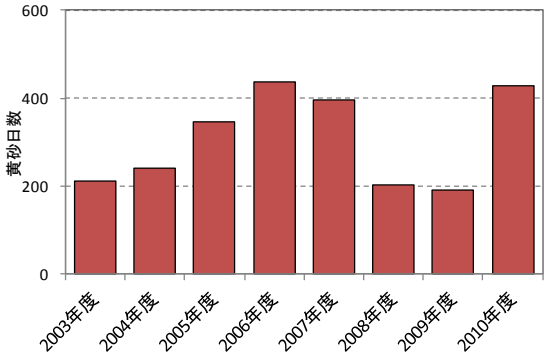


図 3-1-1　気象台発表黄砂日数の経年変化

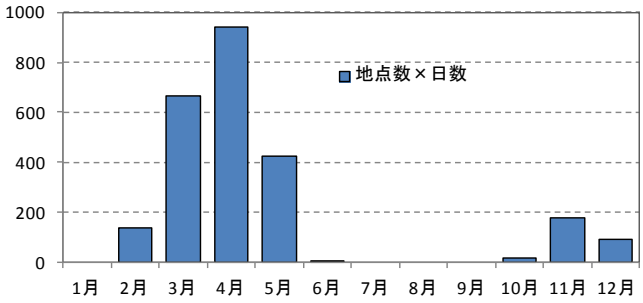


図 3-1-2　地点数×日数の経月変化

2003 年度から 2010 年度の観測地点毎の黄砂日数を、図 3-1-3 に多い順で示している。上位 10 地点は九州 5（名瀬も含む）、山陰山陽 4、四国 1 で、九州、中国地方への黄砂の影響の大きさを示している。8 年間 2922 日のうち、いずれかの地点で黄砂が観測されたのは 220 日で全体の 7.5%になる。気象台の黄砂観測地点は全国に 67 ヶ所あり、1 地点当たりの黄砂日数は 36.8 日になる。平均より黄砂日が多い観測地点は西日本に集中しており、一番多い熊本の 101 日は全国平均黄砂観測日数の 2.7 倍である。

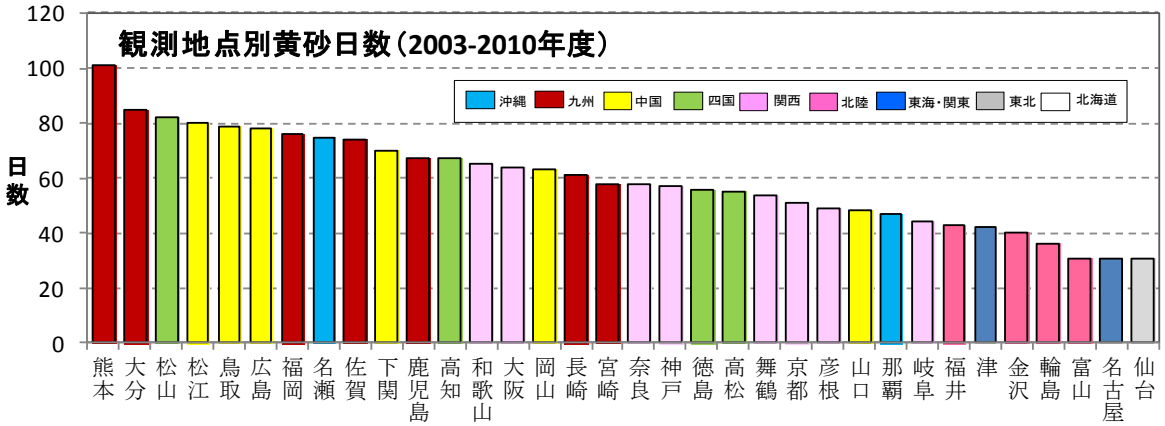


図 3-1-3(1)　黄砂日の地点別日数　上位 34 地点

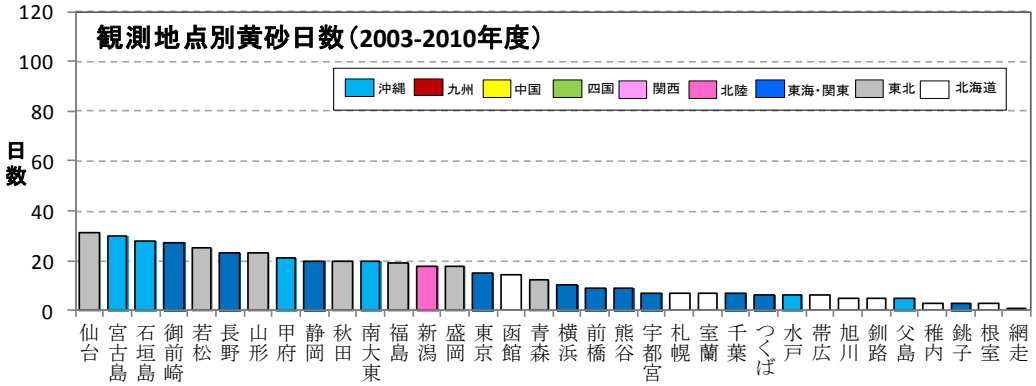


図 3-1-3(2)　黄砂日の地点別日数　下位 34 地点

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、2001(平成 13)年から 2010(平成 22)年にかけて、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 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。黄砂日数と SPM 平均濃度の積算値も、SPM 平均濃度の傾向と同様に、西日本の方が高いことがわかる。2008 年から 2010 年の 3 年間では、2009 年に SPM 平均濃度では低い傾向がみられたが、2010 年は黄砂日数と SPM 平均濃度の積算値で、西日本で高くなっていた。

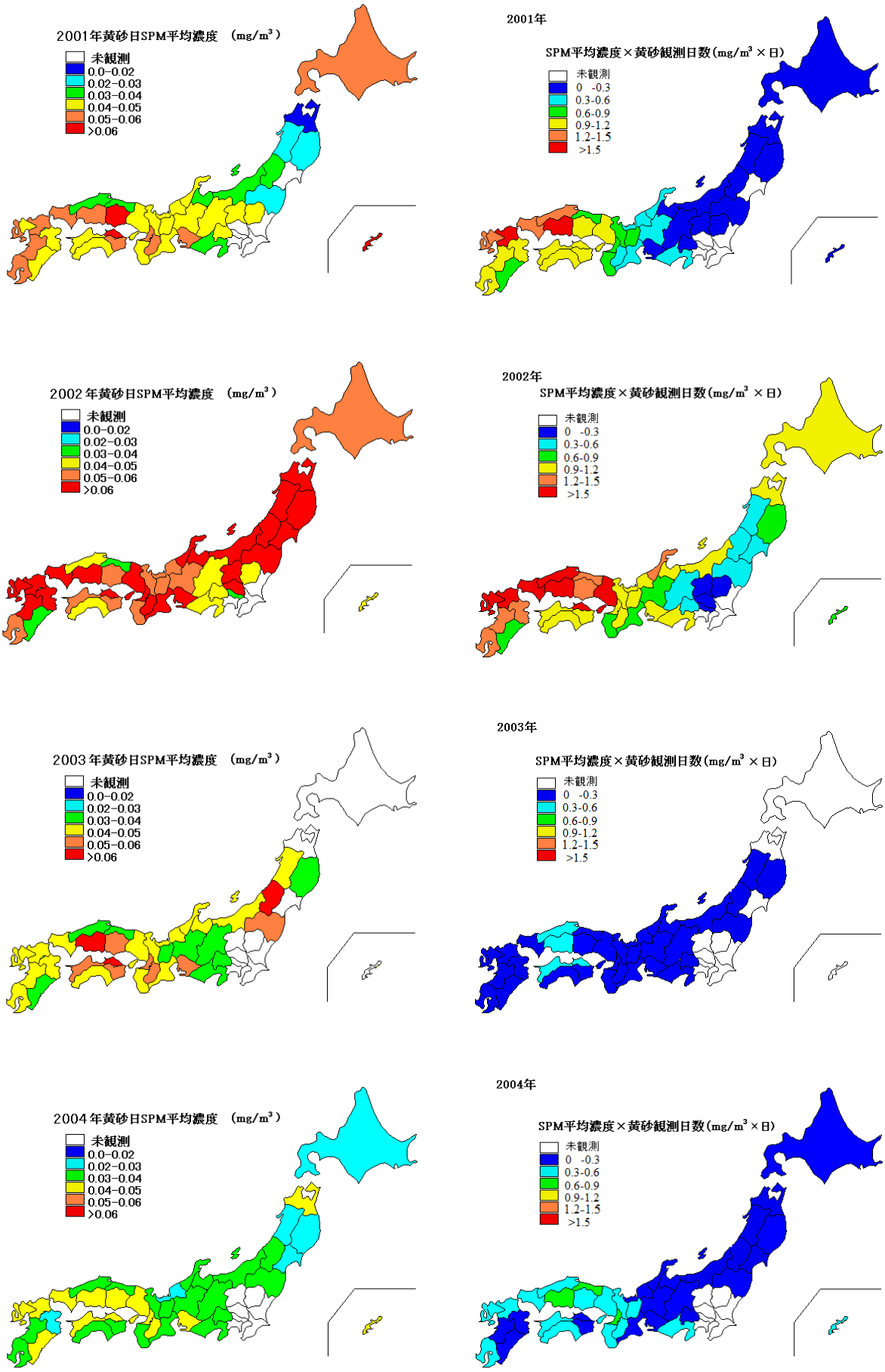


図 3-2-1(1)　黄砂日の SPM 平均濃度（左）と観測日数との積算値（右）

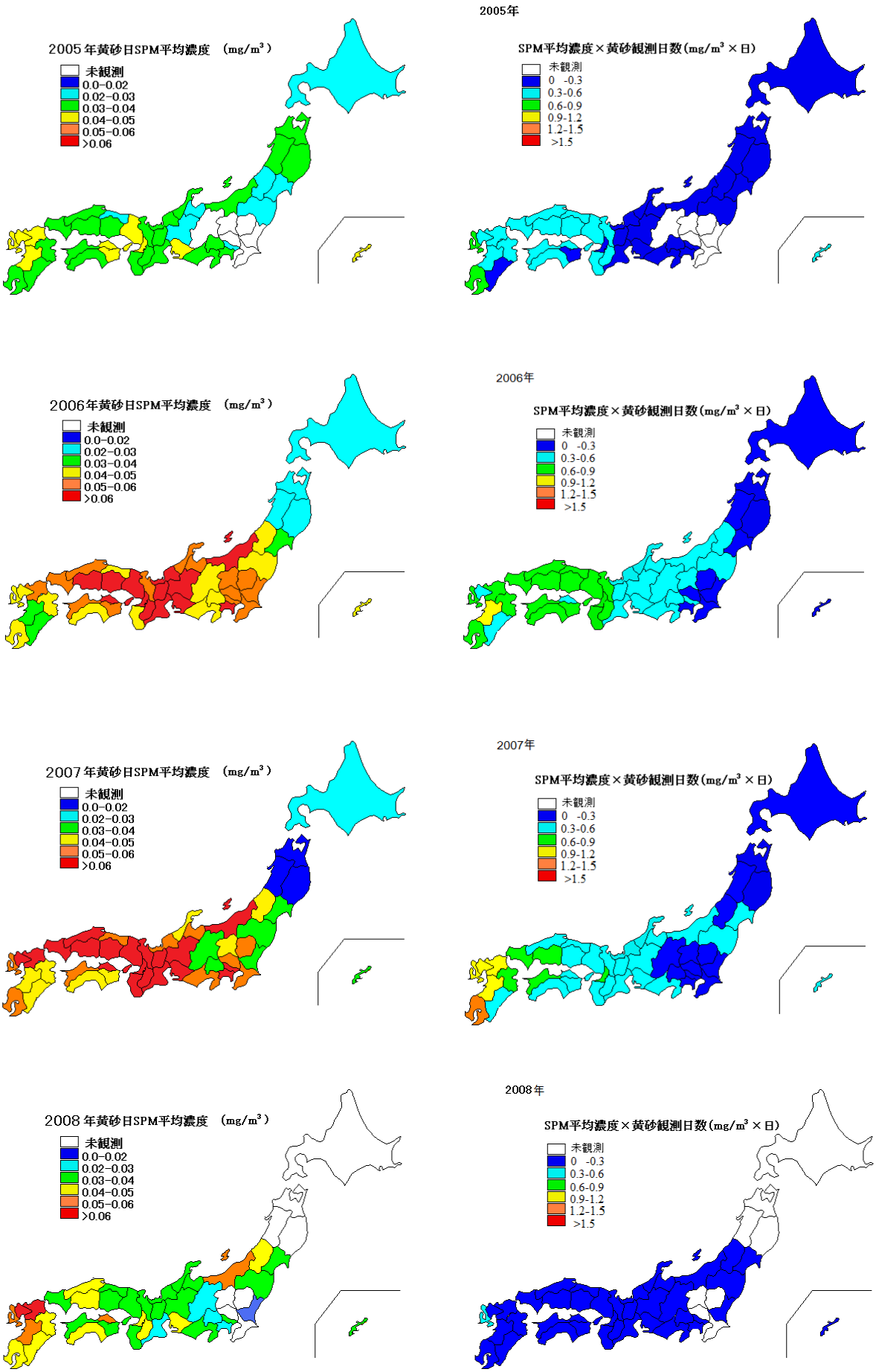
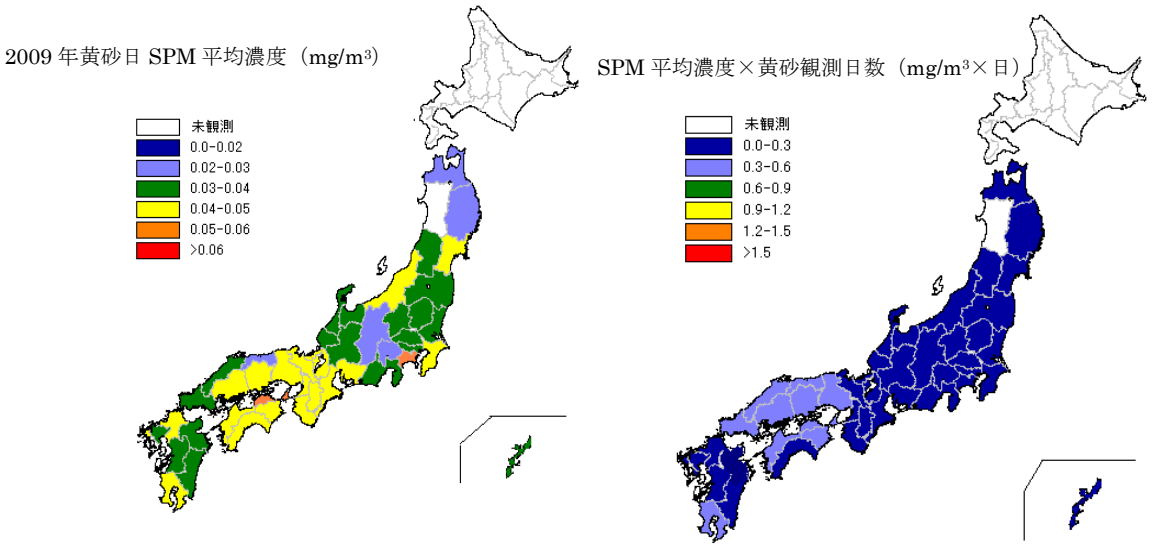


図 3-2-1(2)　黄砂日の SPM 平均濃度（左）と観測日数との積算値（右）

2009 年



2010 年

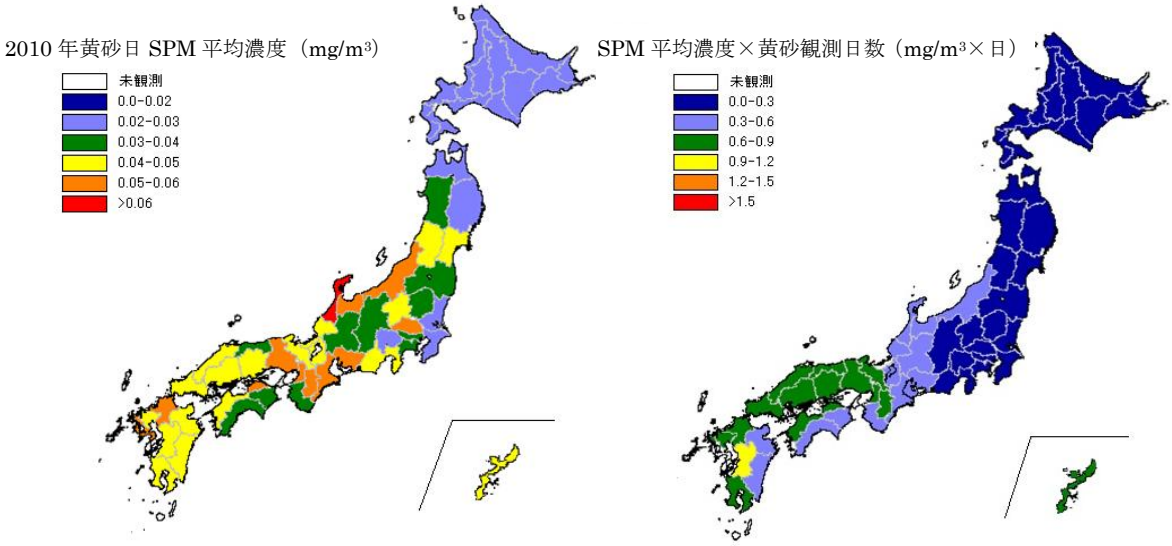


図 3-2-1(3)　黄砂日の SPM 平均濃度（左）と観測日数との積算値（右）

3.3. 黄砂日の黄砂規模

黄砂が観測された都道府県での SPM 日平均濃度に観測地点都道府県数を乗じて算出し、黄砂日毎の規模を示す量的な指標とした。図 3-3-1 にこの指標の合計値の経年変化を示している。概ね黄砂日数と対応した変化を示しているが、日数とは若干の違いもみられている。

図 3-3-2 に、2003～2010 年度における規模の大きさ別日数の頻度割合を示している。1000（$\mu g/m^3$・都道府県数）より大きい日が全体の 14%、500～1000 の日が 15%、100～500 が 37%、100 未満が 34%となっている。

なお、第 5 章において、参考として、この値を用いて各事例の黄砂の規模を表現した。

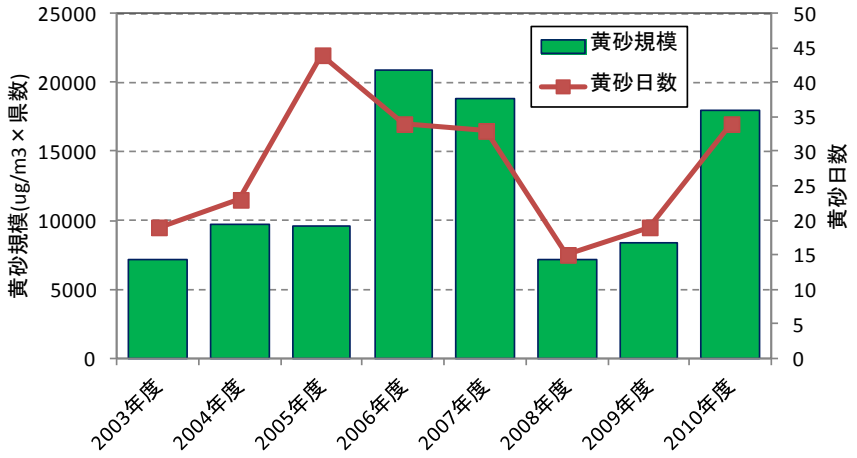


図 3-3-1　黄砂観測日数の経年変化及び黄砂観測都道府県での SPM 平均濃度と観測都道府県数の積算値の経年変化

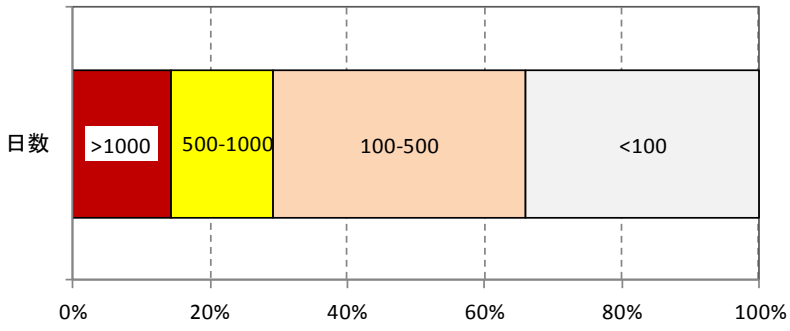


図 3-3-2　黄砂観測都道府県での SPM 平均濃度と観測都道府県数の積算値の大きさ別日数の頻度割合

4. 成分分析結果

4.1. 黄砂採取状況

平成 20(2008)年度～22(2010)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により採取した浮遊粉じん（TSP）濃度の最大値及び平均値を、表 4-1-1 に示す。

このうち、黄砂を観測した地点については、黄色で色分けしているが、27（日・地点）で TSP 濃度の平均は 86μg/m^3 と全平均 56μg/m^3 の 1.5 倍となっていた。

調査日毎では、2009 年 3 月 17 日が富山 148μg/m^3、つくば 144μg/m^3 と高く、全国に配置された全地点の平均でも 100μg/m^3 を超えていた。

3 年間継続的に調査されている長崎、太宰府、松江、富山、巻の 5 地点を横断的にみると、平均には大きな差はみられなかった。

表 4-1-1　浮遊粉じん（TSP）濃度

［μg/m^3］

調査日	長崎	太宰府	松江	金沢	富山	巻	犬山	つくば	札幌	平均値	最大値
2008/04/26	103	83	81	55	53	38	28	51	92	65	103
2008/04/27	63	71	53	47	52	43	49	50	32	51	71
2008/05/22	58	78	81	42	47	52	61	57	62	60	81
2008/05/23	35	45	65	60	85	43	65	58	84	60	85
2008/05/31	135	115	76	31	30	22	17	15	36	53	135
2008/06/01	65	59	70	88	110	90	36	35	8	62	110
2009/03/17	97	125	106	75	148	106	94	144	91	110	148
2009/03/18	23	74	51	82	109	72	78	93	83	74	109
2009/06/04	32	30	24		45	36				33	45
2009/06/05	30	31	22		48	22				31	48
2010/03/21	47	48	31		22	50				40	50
2010/03/22	74	58	28		43	30				47	74
2010/03/23	19	27	30		37	39				30	39
2010/03/24	15	19	25		35	20				23	35
2010/04/27	128	99	51		13	50				68	128
2010/04/28	81	67	58		40	20				53	81
2011/03/20	0	11	22		51					21	51
2011/03/21	42	25	29		43					35	43
平均	58	59	50	60	56	46	54	63	61	56	63
最大	135	125	106	88	148	106	94	144	92	115	148

：黄砂が観測された地点及び日

4.2. 黄砂の化学分析結果

4.2.1. 金属とイオン

(1) HV による捕集（浮遊粉じん、金属等）

平成 20(2008)～22(2010)年度における調査日ごとの HV 捕集での浮遊粉じん(TSP)、金属等の分析結果を表 4-2-1 に示す。

黄砂が観測され､かつTSPが100μg/m³以上ある件体を黄砂の影響が見られる事例として抽出すると、120 件のうち 9 件である。このうち、Al が分析されている 5 事例では、Al 濃度は、3.7～7.4μg/m³の値（平均 5.5μg/m³）で、組成は 3.4～5.2%（平均 4.6%）となる。黄砂日でなく TSP が 100μg/m³以下（50 件）の平均 1.2μg/m³（組成 2.5%）と比べると大きな値となっている。

表 4-2-1　TSP、Al、Fe、イオン成分の分析結果　　[μg/m³]

年度	地点名	開始日時				終了日時			TSP	Al	Fe	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	備考
		年:	月	日	時	月:	日	時									
2008	長崎	2008	4	26	10:18	4	27	10:18	103								黄砂日
	太宰府	2008	4	26	10:00	4	27	9:00	83								
	松江	2008	4	26	10:00	4	27	9:30	81	2.3	1.5	1.9	13.3	3.9	1.7	0.5	
	金沢	2008	4	26	10:00	4	27	10:00	55								
	富山	2008	4	26	10:00	4	27	9:30	53	1.2	0.8	2	7.9	2.0	1.7	0.3	
	巻	2008	4	26	10:50	4	27	10:39	38	0.9	0.6	0.6	6.1	1.1	<0.1	0.2	
	犬山	2008	4	26	10:20	4	27	10:20	28								
	つくば	2008	4	26	10:00	4	27	10:00	51								
	札幌	2008	4	26	10:00	4	27	9:55	92								
	長崎	2008	4	27	10:22	4	28	10:22	63								
	太宰府	2008	4	27	9:10	4	28	10:00	71								
	松江	2008	4	27	10:00	4	28	10:00	53	0.7	0.5	0.8	9.8	0.9	2.9	0.3	
	金沢	2008	4	27	10:05	4	28	10:05	47								
	富山	2008	4	27	10:00	4	28	10:00	52	1.3	0.8	1.4	7.7	1.9	1.4	0.3	
	巻	2008	4	27	10:53	4	28	10:23	43	1.1	0.7	1.2	4.9	3.2	0.6	0.2	
	犬山	2008	4	27	10:35	4	28	10:35	49								
	つくば	2008	4	27	10:03	4	28	10:03	50								
	札幌	2008	4	27	10:00	4	28	10:00	32								
	長崎	2008	5	22	16:40	5	23	16:40	58								
	太宰府	2008	5	22	16:00	5	23	16:00	78								
	松江	2008	5	22	16:30	5	23	16:24	81								
	金沢	2008	5	22	16:00	5	23	16:00	42								
	富山	2008	5	22	16:00	5	23	15:50	47								
	巻	2008	5	22	16:00	5	23	15:58	52								
	犬山	2008	5	22	15:48	5	23	15:48	61								
	つくば	2008	5	22	15:50	5	23	15:50	57								
	札幌	2008	5	22	17:00	5	23	16:55	62								
	長崎	2008	5	23	16:43	5	24	16:43	35								
	太宰府	2008	5	23	16:10	5	24	16:10	45								
	松江	2008	5	23	16:37	5	24	16:37	65								
	金沢	2008	5	23	16:04	5	24	16:04	60								
	富山	2008	5	23	16:00	5	24	16:00	85								
	巻	2008	5	23	16:35	5	24	16:35	43								
	犬山	2008	5	23	15:54	5	24	15:54	65								
	つくば	2008	5	23	16:00	5	24	16:00	58								
	札幌	2008	5	23	17:00	5	24	17:00	84								
	長崎	2008	5	31	10:10	6	1	10:10	135								黄砂日
	太宰府	2008	5	31	10:00	6	1	10:00	115								
	松江	2008	5	31	10:00	6	1	9:30	76	5.0	2.9	1.1	6.3	0.4	1.2	<0.1	黄砂日
	金沢	2008	5	31	10:00	6	1	10:00	31								
	富山	2008	5	31	10:00	6	1	9:30	30	1.8	1.0	0.8	2.7	0.3	0.7	<0.1	
	巻	2008	5	31	10:06	6	1	10:00	22	1.5	0.7	0.7	1.7	0.5	<0.2	<0.1	
	犬山	2008	5	31	9:55	6	1	9:55	17								
	つくば	2008	5	31	10:00	6	1	10:00	15								
	札幌	2008	5	31	10:00	6	1	9:55	36								
	長崎	2008	6	1	10:15	6	2	10:15	65								黄砂日
	太宰府	2008	6	1	10:06	6	2	10:06	59								
	松江	2008	6	1	10:00	6	2	10:00	70	4.3	2.5	1.9	4.5	0.8	1.0	0.5	
	金沢	2008	6	1	10:02	6	2	10:02	88								黄砂日
	富山	2008	6	1	10:00	6	2	10:00	110	6.5	3.7	4.2	6.0	1.0	1.3	0.7	
	巻	2008	6	1	10:10	6	2	10:02	90	5.5	3.1	2.5	4.2	1.5	0.4	0.4	
	犬山	2008	6	1	10:03	6	2	10:03	36								
	つくば	2008	6	1	10:04	6	2	10:04	35								
	札幌	2008	6	1	10:00	6	2	10:00	<10								
	長崎	2009	3	17	11:15	3	18	11:15	97								
	太宰府	2009	3	17	10:00	3	18	10:00	125								黄砂日
	松江	2009	3	17	12:30	3	18	12:00	106	5.0	3.0	5.1	10	2.0	1.0	3.6	黄砂日
	金沢	2009	3	17	11:00	3	18	11:00	75								黄砂日
	富山	2009	3	17	11:00	3	18	10:30	148	7.4	4.4	5.7	9.3	1.5	1.5	3.4	黄砂日
	巻	2009	3	17	11:20	3	18	11:05	106	5.5	3.1	4.4	9.7	1.5	1.6	2.3	黄砂日
	犬山	2009	3	17	11:53	3	18	11:53	94								黄砂日
	つくば	2009	3	17	9:17	3	18	9:13	144								黄砂日
	札幌	2009	3	17	11:30	3	18	11:30	91								
	長崎	2009	3	18	11:30	3	19	11:30	23								
	太宰府	2009	3	18	10:10	3	19	10:10	74								
	松江	2009	3	18	12:10	3	19	12:10	51	1.6	1.1	2.2	7.6	1.2	1.5	1.3	黄砂日
	金沢	2009	3	18	11:05	3	19	11:05	82								黄砂日
	富山	2009	3	18	11:00	3	19	11:00	109	3.7	2.2	4.7	7.4	1.0	1.7	2.4	黄砂日
	巻	2009	3	18	11:20	3	19	11:20	72	3.3	1.9	2.8	5.2	1.3	1.0	1.8	黄砂日
	犬山	2009	3	18	11:58	3	19	11:58	78								黄砂日
	つくば	2009	3	18	9:20	3	19	9:20	93								黄砂日
	札幌	2009	3	18	11:30	3	19	11:30	83								

年度	地点名	開始日時				終了日時			TSP	Al	備考
		年:	月	日	時	月:	日	時			
2009	長崎	2009	6	4	9:50	6	5	9:50	32	0.40	
	太宰府	2009	6	4	10:00	6	5	10:00	30	0.35	
	松江	2009	6	4	10:05	6	5	9:40	24	0.30	
	富山	2009	6	4	10:00	6	5	9:50	45	0.79	
	巻	2009	6	4	10:00	6	5	9:57	36	0.65	
	長崎	2009	6	5	10:02	6	6	10:02	47	0.32	
	太宰府	2009	6	5	10:05	6	5	10:05	48	0.54	
	松江	2009	6	5	10:00	6	5	10:00	31	0.14	
	富山	2009	6	5	10:00	6	5	10:00	22	0.50	
	巻	2009	6	5	10:10	6	5	10:02	50	0.50	
	長崎	2010	3	21	10:00	3	22	10:00	47	2.20	黄砂日
	太宰府	2010	3	21	10:00	3	22	10:00	48	1.97	黄砂日
	松江	2010	3	21	10:00	3	22	9:30	31	0.77	黄砂日
	富山	2010	3	21	10:00	3	22	9:42	22	0.24	黄砂日
	巻	2010	3	21	10:20	3	22	10:20	50	1.43	黄砂日
	長崎	2010	3	22	10:06	3	23	10:02	74	2.39	黄砂日
	太宰府	2010	3	22	10:00	3	23	10:00	58	2.07	
	松江	2010	3	22	10:00	3	23	10:00	28	0.84	
	富山	2010	3	22	10:00	3	23	9:50	43	1.14	
	巻	2010	3	22	10:42	3	23	10:16	30	0.70	
	長崎	2010	3	23	10:05	3	24	10:00	19	0.17	
	太宰府	2010	3	23	10:00	3	24	10:00	27	0.40	
	松江	2010	3	23	11:25	3	24	10:55	30	1.12	
	富山	2010	3	23	10:00	3	24	9:50	37	1.14	
	巻	2010	3	23	10:31	3	24	10:12	39	1.00	
	長崎	2010	3	24	10:03	3	25	10:05	15	0.17	
	太宰府	2010	3	24	10:00	3	25	10:00	19	0.55	
	松江	2010	3	24	11:40	3	25	11:40	25	1.17	
	富山	2010	3	24	10:00	3	25	10:00	35	0.49	
	巻	2010	3	24	10:25	3	25	10:21	20	0.43	
2010	長崎	2010	4	27	10:00	4	28	10:01	128	5.92	黄砂日
	太宰府	2010	4	27	10:00	4	28	10:00	99	4.85	黄砂日
	松江	2010	4	27	11:14	4	28	10:44	51	3.70	黄砂日
	富山	2010	4	27	10:00	4	28	9:30	13	1.11	
	巻	2010	4	27	10:00	4	28	10:02	50	0.51	
	長崎	2010	4	28	10:02	4	29	10:01	81	3.67	
	太宰府	2010	4	28	10:10	4	29	10:00	67	2.76	
	松江	2010	4	28	11:14	4	29	11:14	58	2.59	
	富山	2010	4	28	10:00	4	29	14:00	40	0.93	
	巻	2010	4	28	10:22	4	29	14:00	20	0.38	
	長崎	2011	3	20	9:30	3	21	9:30	<10	0.05	
	太宰府	2011	3	20	9:30	3	21	9:30	11	0.14	
	松江	2011	3	20	8:45	3	21	8:27	22	0.71	
	富山	2011	3	20	9:30	3	21	9:20	51	1.16	
	長崎	2011	3	21	9:34	3	22	9:34	42	1.45	
	太宰府	2011	3	21	9:40	3	22	9:40	25	1.06	
	松江	2011	3	21	8:45	3	22	8:45	29	1.49	
	富山	2011	3	21	9:30	3	22	9:30	43	1.62	

(2) 二段型 LV による捕集（イオン成分等）

二段型 LV により捕集した粒径 2.5μm 以下(微小粒子($PM_{2.5}$))中のイオン成分等の分析結果を表 4-2-2 に示す。

黄砂が観測され、かつ TSP が 100μg/m³以上ある地点・日を黄砂の影響が見られる事例として抽出すると、この時の硫酸イオン濃度は、3.0～7.4μg/m³で平均は 5.5μg/m³となる。硫酸イオン濃度が 10μg/m³近い値となった 2008 年 4 月 27・28 日、2009 年 3 月 17・18 日の松江、2009 年 4 月 27 日の太宰府などは、後述の事例で示しているように、後方流跡線はその日の気塊が中国沿岸部上空を通過してきたことを示していた。

表 4-2-2　微小粒子（<2.5μm）中の Al、Fe、イオン成分分析結果

[μg/m³]

年度	地点名	開始日時				終了日時			粉じん濃度	Al	Fe	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	備考
		年	月	日	時	月	日	時									
2008	長崎	2008	4	26	10:18	4	27	10:18	45								黄砂日
	太宰府	2008	4	26	10:00	4	27	9:00	39								
	松江	2008	4	26	10:00	4	27	9:30	41	<0.1	0.5	<0.2	13.3	0.59	4.3	<0.1	
	金沢	2008	4	26	10:00	4	27	10:06	17								
	富山	2008	4	26	10:00	4	27	9:30	24	<0.1	0.2	0.6	6.4	<0.2	2.3	<0.1	
	巻	2008	4	26	10:50	4	27	10:39	0	<0.1	<0.1	<0.2	3	<0.2	1.1	<0.1	
	犬山	2008	4	26	10:20	4	27	10:20	25								
	つくば	2008	4	26	10:00	4	27	9:56	28								
	札幌	2008	4	26	10:00	4	27	9:55	43								
	長崎	2008	4	27	10:22	4	28	10:22	45								
	太宰府	2008	4	27	9:10	4	28	10:00	40								
	松江	2008	4	27	10:12	4	28	10:18	41	<0.1	0.2	<0.2	10.3	<0.2	3.6	<0.1	
	金沢	2008	4	27	10:12	4	28	10:12	16								
	富山	2008	4	27	10:00	4	28	10:00	30	0.5	0.3	1.1	6.6	0.3	2.4	<0.1	
	巻	2008	4	27	10:53	4	28	10:23	18	<0.1	0.1	0.4	3.5	0.39	1.3	<0.1	
	犬山	2008	4	27	10:35	4	28	10:35	39								
	つくば	2008	4	27	10:00	4	28	10:00	25								
	札幌	2008	4	27	10:00	4	28	10:00	11								
	長崎	2008	5	22	16:40	5	23	16:40	35								
	太宰府	2008	5	22	16:00	5	23	16:00	54								
	松江	2008	5	22	16:25	5	23	16:25	71								
	金沢	2008	5	22	16:05	5	23	16:05	20								
	富山	2008	5	22	16:00	5	23	15:50	33								
	巻	2008	5	22	16:00	5	23	15:58	28								
	犬山	2008	5	22	15:48	5	23	15:48	40								
	つくば	2008	5	22	15:50	5	23	15:50	37								
	札幌	2008	5	22	17:00	5	23	16:55	20								
	長崎	2008	5	23	16:43	5	24	16:43	23								
	太宰府	2008	5	23	16:10	5	24	16:10	24								
	松江	2008	5	23	16:35	5	24	16:37	56								
	金沢	2008	5	23	16:07	5	24	16:08	32								
	富山	2008	5	23	16:00	5	24	16:00	61								
	巻	2008	5	23	16:35	5	24	16:35	35								
	犬山	2008	5	23	15:54	5	24	15:54	105								
	つくば	2008	5	23	16:00	5	24	16:00	35								
	札幌	2008	5	23	17:00	5	24	17:00	33								
	長崎	2008	5	31	10:10	6	1	10:10	39								黄砂日
	太宰府	2008	5	31	10:00	6	1	10:00	44								
	松江	2008	5	31	10:02	6	1	9:34	34	0.4	0.2	0.5	6.7	<0.2	2	<0.1	黄砂日
	金沢	2008	5	31	10:00	6	1	10:00	<10								
	富山	2008	5	31	10:00	6	1	9:30	15	0.1	0.07	0.2	2.2	<0.2	0.8	<0.1	
	巻	2008	5	31	10:06	6	1	10:00	<10	<0.1	<0.1	0.2	1.4	<0.2	0.4	<0.1	
	犬山	2008	5	31	9:55	6	1	9:55	11								
	つくば	2008	5	31	10:00	6	1	9:56	11								
	札幌	2008	5	31	10:00	6	1	9:55	10								
	長崎	2008	6	1	10:15	6	2	10:15	49								黄砂日
	太宰府	2008	6	1	10:06	6	2	10:06	23								
	松江	2008	6	1	10:10	6	2	10:12	35	0.4	0.2	0.6	4.3	<0.2	1.3	<0.1	黄砂日
	金沢	2008	6	1	10:00	6	2	10:01	22								
	富山	2008	6	1	10:00	6	2	10:00	35	0.4	0.3	0.9	4.9	<0.2	1.5	<0.1	
	巻	2008	6	1	10:10	6	2	10:02	21	0.2	0.1	0.4	3.2	<0.2	1	<0.1	
	犬山	2008	6	1	10:03	6	2	10:03	24								
	つくば	2008	6	1	10:00	6	2	10:00	22								
	札幌	2008	6	1	10:00	6	2	10:00	<10								
	長崎	2009	3	17	11:15	3	18	11:15	<10								黄砂日
	太宰府	2009	3	17	10:00	3	18	10:00	64								黄砂日
	松江	2009	3	17	11:45	3	18	11:50	40	1.5	1	0.7	7.4	0.53	1.8	0.9	黄砂日
	金沢	2009	3	17	11:05	3	18	11:20	37								黄砂日
	富山	2009	3	17	11:00	3	18	10:30	59	2.9	1.8	2.1	6.1	0.58	1.6	1.2	黄砂日
	巻	2009	3	17	11:20	3	18	11:05	29	0.8	0.6	0.8	5	0.2	1.7	0.2	黄砂日
	犬山	2009	3	17	11:53	3	18	11:53	49								黄砂日
	つくば	2009	3	17	9:13	3	18	9:09	67								黄砂日
	札幌	2009	3	17	11:30	3	18	11:30	30								
	長崎	2009	3	18	11:30	3	19	11:30	10								
	太宰府	2009	3	18	10:10	3	19	10:10	20								
	松江	2009	3	18	11:53	3	19	11:55	24	0.6	0.4	0.4	6.9	0.29	2.2	0.4	黄砂日
	金沢	2009	3	18	11:20	3	19	11:20	36								黄砂日
	富山	2009	3	18	11:00	3	19	11:00	42	1.4	0.9	0.9	5.9	0.32	1.8	0.7	黄砂日
	巻	2009	3	18	11:20	3	19	11:20	24	0.5	0.4	0.5	2	0.16	0.6	0.3	黄砂日
	犬山	2009	3	18	11:58	3	19	11:58	49								黄砂日
	つくば	2009	3	18	9:14	3	19	9:16	40								黄砂日
	札幌	2009	3	18	11:30	3	19	11:30	29								

年度	地点名	開始日時				終了日時			粉じん濃度	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	備考
		年	月	日	時	月	日	時							
2009	長崎	2009	6	4	9:50	6	5	9:50		0.4	3.2	0.1	1.1	<0.1	
	太宰府	2009	6	4	10:02	6	5	10:00		1.6	6.6	0.1	2.9	0.1	
	松江	2009	6	4	10:00	6	5	9:40		0.1	6.6	0.2	2.3	<0.1	
	富山	2009	6	4	10:06	6	5	9:50		2.0	7.2	0.1	3.3	<0.1	
	巻	2009	6	4	10:05	6	5	9:57		1.1	6.2	0.1	2.6	<0.1	
	長崎	2009	6	5	10:03	6	6	10:02		0.2	4.6	0.1	1.7	<0.1	
	太宰府	2009	6	5	10:00	6	6	10:00		1.0	5.8	0.1	2.4	0.2	
	松江	2009	6	5	10:00	6	6	10:00		0.0	5.0	0.2	1.8	<0.1	
	富山	2009	6	5	10:00	6	6	10:00		2.9	9.2	0.1	4.5	<0.1	
	巻	2009	6	5	10:00	6	6	10:02		0.3	3.9	0.1	1.5	<0.1	
	長崎	2010	3	21	10:00	3	22	10:00		0.7	1.1	0.7	0.4	0.1	黄砂日
	太宰府	2010	3	21	10:00	3	22	10:00		1.4	2.7	0.9	0.9	0.2	黄砂日
	松江	2010	3	21	10:05	3	22	9:30		0.4	3.6	0.8	1.1	0.1	黄砂日
	富山	2010	3	21	10:00	3	22	9:42		0.4	4.3	0.6	1.4	0.1	黄砂日
	巻	2010	3	21	10:00	3	22	10:20		0.4	2.1	0.9	0.5	0.1	黄砂日
	長崎	2010	3	22	10:00	3	23	10:06		0.7	1.0	0.8	0.4	0.1	
	太宰府	2010	3	22	11:25	3	23	10:00		3.7	3.4	0.6	1.9	0.3	
	松江	2010	3	22	11:40	3	23	10:00		0.4	3.0	0.6	0.9	0.1	
	富山	2010	3	22	10:00	3	23	9:50		1.1	3.2	0.7	1.2	0.2	
	巻	2010	3	22	10:00	3	23	10:16		0.7	2.6	0.7	1.0	0.1	
	長崎	2010	3	23	10:00	3	24	10:00		1.0	1.2	0.3	0.7	0.1	
	太宰府	2010	3	23	10:00	3	24	10:00		3.8	2.9	0.4	2.0	0.1	
	松江	2010	3	23	10:00	3	24	10:55		0.3	4.6	0.7	1.4	0.2	
	富山	2010	3	23	10:00	3	24	9:50		1.2	3.6	0.5	1.5	0.1	
	巻	2010	3	23	10:00	3	24	10:12		1.1	4.0	0.7	1.5	0.1	
	長崎	2010	3	24	10:10	3	25	10:05		1.0	0.9	0.4	0.6	0.1	
	太宰府	2010	3	24	10:20	3	25	10:00		2.9	3.3	0.5	1.8	0.1	
	松江	2010	3	24	10:42	3	25	11:40		0.3	3.4	0.6	1.0	0.1	
	富山	2010	3	24	10:31	3	25	10:00		4.5	4.7	0.5	2.8	0.1	
	巻	2010	3	24	10:25	3	25	10:21		0.7	2.0	0.5	0.9	0.0	
2010	長崎	2010	4	27	10:00	4	28	10:01	<10	0.9	3.0	0.3	0.8	<0.5	黄砂日
	太宰府	2010	4	27	10:02	4	28	10:00	41	1.7	6.9	0.4	1.9	0.6	黄砂日
	松江	2010	4	27	9:30	4	28	11:17	<10	0.2	4.0	0.4	1.0	<0.5	黄砂日
	富山	2010	4	27	9:34	4	28	9:30	<10	0.3	1.9	0.2	0.7	<0.5	
	巻	2010	4	27	10:00	4	28	10:00	44	0.3	1.4	0.1	0.5	<0.5	
	長崎	2010	4	28	10:10	4	29	10:00	16	0.9	2.5	0.3	0.7	<0.5	
	太宰府	2010	4	28	9:30	4	29	10:10	41	1.1	4.6	0.3	1.3	<0.5	
	松江	2010	4	28	9:40	4	29	11:22	20	0.7	4.8	0.5	1.2	<0.5	
	富山	2010	4	28	11:22	4	29	14:00	16	1.4	4.6	0.5	1.5	<0.5	
	巻	2010	4	28	11:22	4	29	14:00	10	0.5	2.7	0.3	0.9	<0.5	
	長崎	2011	3	20	8:45	3	20	9:30		0.0	0.6	0.1	<0.5	<0.5	
	太宰府	2011	3	20	8:45	3	20	9:30	<10	0.7	2.1	0.1	<0.5	<0.5	
	松江	2011	3	20	10:00	3	20	8:27	13	0.4	3.5	0.4	<0.5	<0.5	
	富山	2011	3	20	10:00	3	20	9:20	30	2.1	6.8	0.1	2.9	<0.5	
	巻	2011	3	21	9:30	3	22	9:34		0.7	1.5	0.1	0.6	<0.5	
	太宰府	2011	3	21	9:30	3	22	9:40	14	1.5	3.5	0.1	2.5	<0.5	
	松江	2011	3	21	10:00	3	22	8:45	14	0.4	3.8	0.3	1.1	<0.5	
	富山	2011	3	21	10:17	3	22	9:30	15	0.7	3.8	0.3	1.5	<0.5	

4.2.2. 農薬成分

平成20(2008)～22(2010)年度調査におけるHVとポリウレタンフォーム＋活性炭素繊維フェルト(ACF)で捕集したエアロゾルとガスの農薬成分の合計したものの分析結果を、表 4-2-3 に示す。

ジクロルボス、ダイアジノン、フェニトロチオン及びクロルピリホスは、各物質とも大気管理参考濃度 （ジクロルボス：0.1mg/m^3 (=1.0×10^{8}pg/m^3)、ダイアジノン： 0.29μg/m^3 (=2.9×10^{5}pg/m^3)、フェニトロチオン： 1mg/m^3 (=1.0×10^{9}pg/m^3)、クロルピリホス： 0.1μg/m^3 (=1.0×10^{5}pg/m^3)) よりもかなり低かった。HCH、エンドリン、DDE、DDD 及び DDT は、環境省の POPs モニタリング調査結果と比較しても、同程度又はその値よりも低濃度であった。

なお、分析した農薬のうち、検出された農薬はいずれも日本で使用されている農薬であり、また、DDT 類等の POPs は日本で既に農薬としての使用が中止されているが、POPs の残留性からまだ日本の土壌中に含まれているものと考えられる。したがって、検出された農薬が、直ちに大陸から飛来したものと断定することはできなかった。

表4-2-3　農薬成分分析結果　　[pg/m^3]

年度	地点	年	月	日始	日終	ｼﾞｸﾛﾙﾎﾞｽ	α－HCH	β－HCH	γ－HCH	δ－HCH	ﾀﾞｲｱｼﾞﾉﾝ	ｸﾛﾛﾀﾛﾆﾙ	ﾌｪﾆﾄﾛﾁｵﾝ	ｸﾛﾙﾋﾟﾘﾎｽ	op'-DDE	pp'-DDE	ﾌﾟﾛﾁｵﾎｽ	ｴﾝﾄﾞﾘﾝ	op'-DDD	pp'-DDD	op'-DDT	pp'-DDT	分類
2008	松江	2008	4	26	27	12	41.09	2.6	12	1	1.2	33	4.1	0.5	0.96	4.7	<0.1	<0.1	0.2	0.1	1.9	1.6	
	富山	2008	4	26	27	187	32.09	2.6	9.4	0.8	20.7	63	13.7	5.1	0.47	4.5	1.2	0.1	<0.1	<0.1	1.2	1.3	
	巻	2008	4	26	27	36	47.11	3.7	11.1	1.1	2319	340	64	19	0.65	9.9	8	0.9	0.5	0.6	3.1	7.3	
	松江	2008	4	27	28	36	44.07	2.3	13	1.1	3.5	16.2	270	3.1	0.5	3	<0.1	<0.1	0.1	0.1	1.2	1.5	
	富山	2008	4	27	28	138	37.09	2.5	11	1	11	43	12.8	1.6	0.46	2.2	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	1	0.8	
	巻	2008	4	27	28	3	33.11	2	7.9	0.9	28.9	26.6	7.8	1.4	0.33	3.1	0.9	0.2	0.3	0.3	1.1	2.8	
	松江	2008	5	31	1	90	41.3	1.9	15.2	1	3.9	13	114	14.9	0.31	2.9	13.5	0.1	0.1	0.1	1.2	1.7	黄砂日
	富山	2008	5	31	1	336	36	2.2	11	0.8	5.6	17.5	205	31.6	0.33	3.9	5.5	0.1	<0.1	<0.1	1.2	1.4	
	巻	2008	5	31	1	224	52.11	3.6	12.1	1.2	56	92.8	830	9.6	0.33	6.1	331	0.6	0.2	0.1	1.6	3.4	
	松江	2008	6	1	2	1411	46.08	2.7	16	1.5	27.5	30.9	299	28	0.29	3.3	9.1	0.2	0.1	0.2	1.3	2.1	
	富山	2008	6	1	2	3710	43.09	3.9	11	0.9	420	70.2	2340	7.9	0.35	6.3	1.8	0.1	0.1	<0.1	1.4	2.1	
	巻	2008	6	1	2	1624	51.09	2.3	11	0.9	29.3	560.8	161	2.5	0.24	2.7	36	0.1	0.1	<0.1	1.1	2	
	松江	2009	3	17	18	53	20	1.3	5.2	0.3	1.5	87	26.1	7.3	0.81	2.4	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	0.9	1.5	黄砂日
	富山	2009	3	17	18	285	22.09	1.7	6.2	0.3	1	22	10	4.1	0.38	0.3	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.9	黄砂日
	巻	2009	3	17	18	18	31.07	1.7	7.7	0.4	5.7	9.7	4.6	0.7	0.53	2.8	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	1	1.5	黄砂日
	松江	2009	3	18	19	70	16.12	1.1	4.8	0.3	0.7	12.7	14.4	4.9	1.9	2.5	0.4	<0.1	0.1	0.1	0.9	1.2	黄砂日
	富山	2009	3	18	19	170	21	1.6	6.2	0.4	2.3	17.8	6.5	2.1	0.54	1.6	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.9	黄砂日
	巻	2009	3	18	19	26	61.15	2.5	16.1	0.5	33.6	8.3	6.5	1	0.45	3	2	0.1	0.1	0.1	0.9	1.8	黄砂日
2009	松江	2010	3	21	22	48	9.97	0.5	2.7	0.1	1.2	8	2.6	2.1	0.18	0.9	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.4	黄砂日
	富山	2010	3	21	22	42	14	0.8	3.2	0.2	0.1	6	1.2	0.2	0.25	1.3	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.4	黄砂日
	巻	2010	3	21	22	2	12.17	0.5	2.8	0.3	4.7	3	2.1	0.6	0.17	0.9	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2	黄砂日
	松江	2010	3	22	23	31	12	0.7	2.9	0.2	4	9	8.6	2.1	0.25	1.4	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.5	
	富山	2010	3	22	23	68	15.09	0.9	3.5	0.2	3.3	11	16.3	4.1	0.17	1.5	0	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.5	
	巻	2010	3	22	23	8	17.12	0.7	4.6	0.3	6	6	5.5	0.5	0.13	1.3	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.5	
	松江	2010	3	23	24	57	13.07	1.1	3.8	0.3	2.2	13	3.9	2.7	0.28	2	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	1.4	
	富山	2010	3	23	24	59	16.08	1.3	3.8	0.4	3.5	8	10.7	1.4	0.23	1.5	0	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.6	
	巻	2010	3	23	24	13	21.12	1.1	5.2	0.3	4.7	16	3.2	0.4	0.19	1.7	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.8	
	松江	2010	3	24	25	6	11	0.6	2.6	0.2	0.9	<2	3	2.4	0.17	1	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.5	
	富山	2010	3	24	25	49	17	0.9	3.7	0.3	1.6	<2	14	4	0.24	1.9	0	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.6	
	巻	2010	3	24	25	27	15.09	0.9	3.3	0.2	41	6	14.2	5.7	0.14	1.7	0.2	0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.8	
2010	松江	2010	4	27	28	3.4	15	0.8	2.8	0.2	0.2	0.1	1.1	0.2	0.41	1.7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.6	黄砂日
	富山	2010	4	27	28	21.4	17	1	3.6	0.3	0.3	0.8	1.5	0.8	0.22	3.6	0.2	17	<0.1	<0.1	0.7	0.7	
	巻	2010	4	27	28	12.2	41	3.7	9.8	0.6	24.2	5.9	14.6	7.3	0.24	5.4	0.4	0.48	0.1	0.3	1.4	4.3	
	松江	2010	4	28	29	18.2	16	1.1	3.4	0.2	1.2	1.8	3.9	0.4	0.31	2.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	0.9	
	富山	2010	4	28	29	31.3	17	1.3	4.1	0.4	0.2	0.4	2.8	0.4	0.31	3.5	1.2	17	<0.1	<0.1	0.7	0.9	
	巻	2010	4	28	29	9.1	36	1.4	8.3	0.3	31	<0.1	4.8	1.3	0.29	3	0.6	0.15	0.1	<0.1	0.8	1.3	

5. 黄砂の特徴と分類

黄砂の特徴は、個々の事例によって、発生位置、経路、広がり、濃さ、成分など様々な形態が考えられる。平成 20(2008)～22(2010)年度の 3 年間に、気象台が観測した黄砂は合計 68 日で、連続した日を 1 つの黄砂とすると 28 事例となる。これらはそれぞれ異なった様相を呈しており特徴にも違いがみられることから、それぞれの特徴から共通性を抽出し、分類を試みた。

5.1. 黄砂の分類

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

(1) 黄砂

気象庁では黄砂とは「主として、大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂の粒子が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象」と定義しており、目視により黄砂現象を判断している。以前は、視程が 10km 未満となるような黄砂現象を記録していたが、1989 年以降、視程が 10km 以上であっても明らかな黄砂は記録されている。

一般に、日本へ飛来してくる黄砂は、大陸の黄土地帯で低気圧が発生し巻き上げられた砂が、日本付近にある前線の東への移動に伴って地上付近へ降下し視程の低下をもたらしているケースが多い。

これまでの調査から、気象台の黄砂日には概ね次のような特徴がみられている。

○後方流跡線がモンゴル付近を起点とする（図 5-1-1 参照）
○気圧配置で、日本南岸に前線が延びる
○ライダーの黄砂消散係数と SPM 濃度が同時に上昇する
○SPM 濃度が地域で同時に上昇する
○CFORS の「土壌性ダスト（黄砂）」(dust)の予想分布で黄砂の飛来が予測されている
○$PM_{2.5}$／SPM の比が小さくなる（粗大粒子の割合が大きくなる）

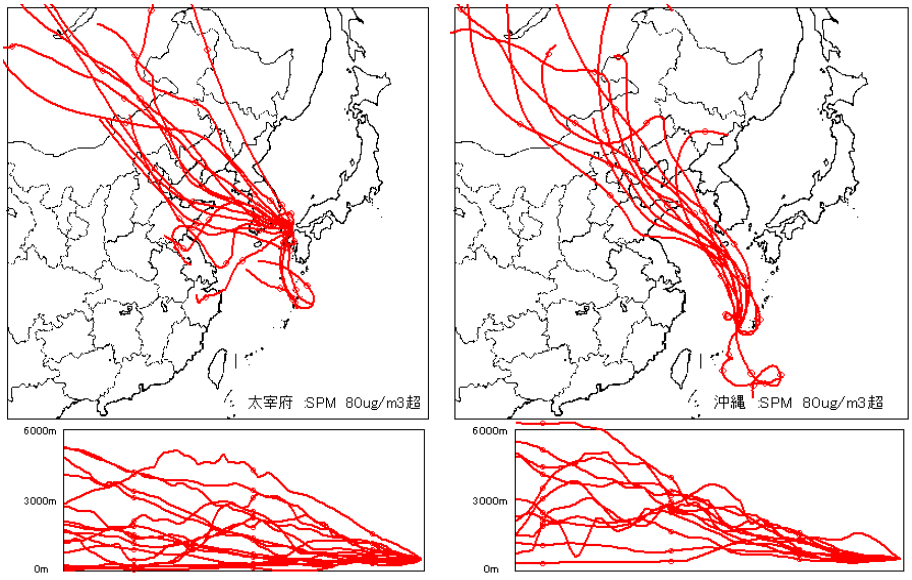


図 5-1-1　　黄砂時の後方流跡線（左図：福岡、右図：沖縄）

(2) 煙霧

黄砂と同様に、粒子の影響で視程の低下をもたらしているものに煙霧がある。気象庁での煙霧の定義は、「乾いた微粒子によって視程が 10km 未満となった場合で、乾いたとは湿度 75%未満」としている。図 5-1-2 に平成 20(2008)～22(2010)年度の長崎、福岡、松江で煙霧が観測された日数を年度毎に示している。長崎が年平均 24 日、福岡が 34 日、松江が 7 日と福岡での観測日数が多くなっている。図 5-1-3 に煙霧と黄砂の月別の日数 (2008～2010 年度合計) を示している。黄砂に比べ煙霧の観測日は 5 倍多く、月別推移では 5,6,7 月と 11～2 月の二山になっている。

2008 年度の福岡での煙霧観測日 37 日について、後方流跡線の方向を 8 方位で分けると図 5-1-4 のようになり、WSW～NNW 方向の頻度が高いことが分かる。

また、2008 年度に福岡県太宰府市で自動計測された硫酸イオン濃度との関係では、煙霧日でない通常の日最高値の平均は 9.8μg/m^3 であるのに対し、37 日の煙霧日の日最大値の平均が 20.5μg/m^3 で、最高値が 20μg/m^3 以上ある日が 16 日 (43%)、15μg/m^3 以上が 26 日 (70%)、10μg/m^3 以上が 34 日 (92%) と煙霧時の硫酸イオンの上昇を如実に表している。図 5-1-4 には煙霧日で硫酸イオンの濃度が 15μg/m^3 以上になった日の後方流跡線をまとめて示している。このように硫酸塩エアロゾルが有意に高くなる煙霧は中国沿岸部からの影響を強く受けていることをみることができる。

これらの結果は、福岡で観測される煙霧が大陸から移流してきた硫酸アンモニウム粒子によって引き起こされた可能性が高いことを示している。

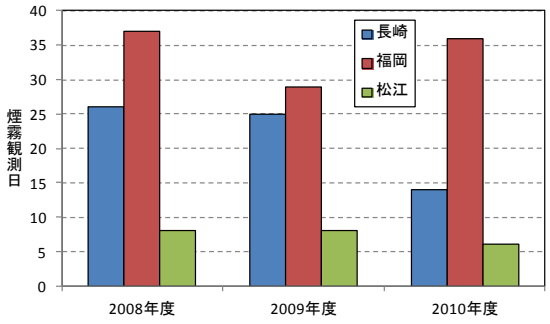


図 5-1-2　長崎、福岡、松江での煙霧観測日の経年変化

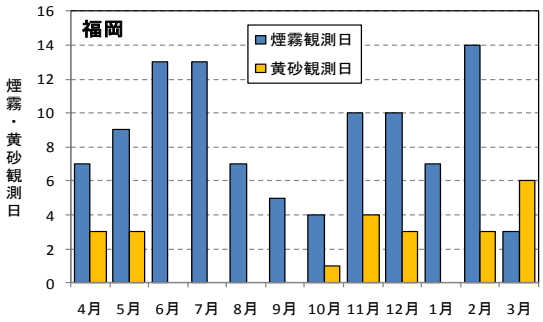


図 5-1-3　煙霧・黄砂日の月変化（福岡）

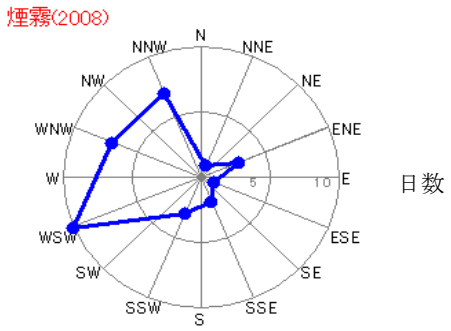


図 5-1-4　　福岡での煙霧日の後方流跡線方位（2008 年）

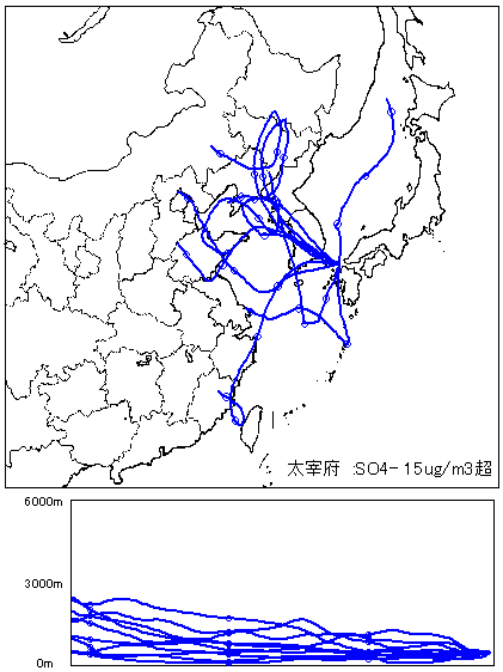


図 5-1-5　　煙霧日の後方流跡線（福岡）

長距離移流を原因とした煙霧の特徴としては、概ね次のようなことが考えられる。

○硫酸イオンの濃度が上昇する
○後方流跡線が中国沿岸部を起点とする
○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
○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
○気圧配置で、移動性高気圧が日本を通過している
○PM2.5／SPM 比が大きい（粗大粒子の割合が小さい）

(3)黄砂と煙霧の混在

黄砂と煙霧とは、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することとした。

気象台が定義している煙霧は、必ずしも移流による汚染物質を含有しているとは限らない。したがって、汚染物質の大陸からの移流現象によって生じる煙霧のうち、硫酸アンモニウム濃度が高い煙霧現象をここでは「硫酸塩エアロゾル」と表現することとした。

平成 20（2008）年度～平成 22（2010）年度の気象庁が黄砂とした日を中心に、それぞれ気象状況、SPM 濃度全国分布、黄砂の発生状況、後方流跡線、CFORS 予測結果、ライダー消散係数と SPM 濃度の関係、$PM_{2.5}$ と SPM の比率、硫酸イオン濃度などのデータを比較し、飛来状況を解析した。本報告書においては、これらのデータを基に、各事例を(1)単純黄砂、(2)混在黄砂、(3)硫酸塩エアロゾルの飛来に分類することを試みた。

①単純黄砂

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

②混在黄砂

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

③硫酸塩エアロゾル

黄砂現象時以外の硫酸イオン濃度が上昇する現象を示す。硫酸塩エアロゾルの上昇する現象は、気象庁のいう煙霧のような状態となることが多いが、気象庁のいう煙霧の判定条件には大気中の硫酸イオン濃度は無関係である。ここでは気象庁の煙霧と区別して直接的に硫酸塩エアロゾルと表現することにする。

5.2. 黄砂事例の特徴

平成 20(2008)～22（2010）年度の 3 年間に気象台が日本国内のいずれかの地点で黄砂を観測した日は合計で 68 日である。連続した日を 1 つの黄砂事象とすると 28 事例になる。これらの日に、黄砂日ではなかったが、黄砂日と予測して成分分析のための採取を実施した 2008 年 5 月 22～23 日と、大きな煙霧が日本全体を覆った 2011 年 2 月 4～9 日を加え、合計 30 事例を解析対象とした。表 5-2-1～表 5-2-3 に年度毎の対象日について黄砂観測地域別地点数、及び観測都道府県の SPM 平均濃度と観測都道府県数、更にそれらの積算値をそれぞれ日毎に示している。以下、事例毎にその特徴を示す。

表 5-2-1　　平成 20（2008）年度の黄砂観測日

黄砂事例数	黄砂日数	期日				成分濃度測定	黄砂日														
							気象台発表												黄砂の規模			
		年度	年	月	日		有無	地点数	沖縄	九州	山陰	山陽	四国	関西	北陸	東海	関東	東北	北海道	SPM平均濃度（μg/m^3）	県数	SPM積算	SPM積算合計
1	1	2008	2008	4	26	○	黄砂日	2		2										41	2	82	82
		2008	2008	4	27	○																	
2		2008	2008	5	22	○																	
		2008	2008	5	23	○																	
3	2	2008	2008	5	31	○	黄砂日	3		2	1									57	3	171	250
	3	2008	2008	6	1	○	黄砂日	2		1					1					40	2	79	
4	4	2008	2009	2	11		黄砂日	13		4	2	3	4			1				37	10	371	
	5	2008	2009	2	12		黄砂日	19		6	3	3	4	2		1				59	18	1057	1670
	6	2008	2009	2	13		黄砂日	5			2		2	1						48	5	242	
5	7	2008	2009	2	15		黄砂日	3			2				1					18	3	55	55
6	8	2008	2009	2	20		黄砂日	11		5	2	3	1							27	10	265	
	9	2008	2009	2	21		黄砂日	23	1	6	2	4	4	4	1		1			33	20	668	933
	10	2008	2009	2	22		黄砂日	1						1						33	1	33	
7	11	2008	2009	3	10		黄砂日	1		1										25	1	25	25
8	12	2008	2009	3	16		黄砂日	27		1	4	2	4	8	4	4				30	20	596	
	13	2008	2009	3	17	○	黄砂日	46		7	2	4	4	7	5	5	9	2		47	40	1872	4134
	14	2008	2009	3	18	○	黄砂日	41		4	2	3	3	7	6	6	7	3		42	36	1516	
	15	2008	2009	3	19		黄砂日	4								1	1	2		38	4	150	

表 5-2-2　　平成 21（2009）年度の黄砂観測日

黄砂事例数	黄砂日数	期日				成分濃度測定	黄砂日														
							気象台発表												黄砂の規模			
		年度	年	月	日		有無	地点数	沖縄	九州	山陰	山陽	四国	関西	北陸	東海	関東	東北	北海道	SPM平均濃度（μg/m^3）	県数	SPM積算	SPM積算合計
9	16	2009	2009	4	25		黄砂日	9	3	6										19	6	113	134
	17	2009	2009	4	26		黄砂日	2	2											21	1	21	
10	18	2009	2009	5	8		黄砂日	2		2										42	2	84	84
11	19	2009	2009	5	19		黄砂日	1										1		28	1	28	28
12	20	2009	2009	10	19		黄砂日	6		3	3									31	5	156	
	21	2009	2009	10	20		黄砂日	3	3											39	1	39	294
	22	2009	2009	10	21		黄砂日	2			2									25	2	50	
	23	2009	2009	10	22		黄砂日	2			2									25	2	50	
13	24	2009	2009	12	26		黄砂日	29		8	4	2	4	7	2	1				48	24	1162	1188
	25	2009	2009	12	27		黄砂日	1			1									27	1	27	
14	26	2009	2010	3	13		黄砂日	14		1	4	2	2	3	1					33	13	424	558
	27	2009	2010	3	14		黄砂日	5					3	2						27	5	135	
15	28	2009	2010	3	16		黄砂日	27		8	3	2	4	4	2					33	25	820	876
	29	2009	2010	3	17		黄砂日	3					2	1						19	3	56	
16	30	2009	2010	3	20		黄砂日	5		4	1									66	5	330	
	31	2009	2010	3	21	○	黄砂日	63	4	8	4	3	4	6	5	3	9	6	6	99	47	4639	
	32	2009	2010	3	22	○	黄砂日	6	3	1										59	2	118	5198
	33	2009	2010	3	23	○	黄砂日	6	3	1										89	1	89	
	34	2009	2010	3	24	○	黄砂日	4	3	1										23	1	23	

表 5-2-3　　平成 22（2010）年度の黄砂観測日

黄砂事例数	黄砂日数	期日				成分濃度測定	気象台発表												黄砂の規模			
		年度	年	月	日		有無	地点数	沖縄	九州	山陰	山陽	四国	関西	北陸	東海	関東	東北	北海道	SPM平均濃度（μ g/m^3）	県数	SPM積算	SPM積算合計
17	35	2010	2010	4	2		黄砂日	9										2	6	34	3	102	218
	36	2010	2010	4	3		黄砂日	5		2								1	2	29	4	116	
18	37	2010	2010	4	27	○	黄砂日	13	1	7	1	2	1							26	12	312	1592
	38	2010	2010	4	28	○	黄砂日	5	2			1	1							27	3	81	
	39	2010	2010	4	29		黄砂日	6	3		1				1					26	3	78	
	40	2010	2010	4	30		黄砂日	23	3	7	2	3	4	4						34	21	714	
	41	2010	2010	5	1		黄砂日	11	1	2		2	1	3						37	10	370	
	42	2010	2010	5	2		黄砂日	1	1											37	1	37	
19	43	2010	2010	5	3		黄砂日	11		6	2	1	1							47	10	470	3743
	44	2010	2010	5	4		黄砂日	32		5	2	3	4	7	4	6		1		51	31	1581	
	45	2010	2010	5	5		黄砂日	27		4	2	3	2	7	3	4		2		57	26	1482	
	46	2010	2010	5	6		黄砂日	6			1	1	2		1			1		35	6	210	
20	47	2010	2010	5	9		黄砂日	2		1				1						27	2	54	54
21	48	2010	2010	5	11		黄砂日	1		1										19	1	19	97
	49	2010	2010	5	12		黄砂日	3		2		1								26	3	78	
22	50	2010	2010	5	20		黄砂日	2		2										73	2	146	2620
	51	2010	2010	5	21		黄砂日	24		1	2	3	3	7	2	2		3		61	23	1403	
	52	2010	2010	5	22		黄砂日	22			2		3	7	2	4	1			51	21	1071	
23	53	2010	2010	5	24		黄砂日	4		3										47	3	141	1023
	54	2010	2010	5	25		黄砂日	21	1	2			4	5		4	1			42	20	840	
	55	2010	2010	5	26		黄砂日	3	2				1							21	2	42	
24	56	2010	2010	11	12		黄砂日	37		7	2	3	4	7	4	6	1	3		63	36	2268	6934
	57	2010	2010	11	13		黄砂日	30		7	2	3	4	7	4	3				88	29	2552	
	58	2010	2010	11	14		黄砂日	29		5	2	3	4	7	3	2	2	1		65	28	1820	
	59	2010	2010	11	15		黄砂日	14	1	2		2	4	4		1				21	14	294	
25	60	2010	2010	12	3		黄砂日	30	4	7	2	3	4	4	1	1				23	25	575	611
	61	2010	2010	12	4		黄砂日	5	4											21	1	21	
	62	2010	2010	12	5		黄砂日	1	1											15	1	15	
26	63	2010	2010	12	11		黄砂日	13	7	2	3	1								35	13	455	484
	64	2010	2010	12	12		黄砂日	1		1										29	1	29	
27	65	2010	2010	12	23		黄砂日	6		1	2	1	2							31	6	186	255
	66	2010	2010	12	24		黄砂日	3		1				1		1				23	3	69	
28		2010	2011	2	4																		
		2010	2011	2	5																		
		2010	2011	2	6																		
		2010	2011	2	7																		
		2010	2011	2	8																		
		2010	2011	2	9																		
29	67	2010	2011	3	20		黄砂日	2										2		69	2	138	138
30	68	2010	2011	3	22		黄砂日	10		6	3		1							22	10	220	220

(1)　平成 20（2008）年 4 月 26 日～27 日

黄砂の観測は九州の 2 地点であり、SPM 全国濃度分布でも九州に高い地域がみられる。SPM 最高濃度は 100 μg/m^3 以下でさほど高濃度を示してはいない。27 日は福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、九州西岸に移動性高気圧が位置しており、後方流跡線は、気塊が中国沿岸部や韓国上空を通過してきたことを示していた。硫酸イオンが 26 日の 23 時に 17 μg/m^3 でピークを示し、27 日にかけて 12 μg/m^3 以上の高濃度で推移していた。この期間、HV、LV で TSP と微小粒子（<2.5 μm）の粉じんが採取されており、金属成分とイオン成分が分析されている。TSP での Al は、松江で 2.3 μg/m^3 とやや高い値を示し、微小粒子中の硫酸イオンは同じく松江で 10 μg/m^3 を超えていた。福岡市(吉塚)での $PM_{2.5}$/SPM 比も、26 日においては 0.7～0.8 で推移しており微小粒子が多い構成となっていた。

一方、砂塵嵐は 24 日（2 日前）にモンゴル北部で発生している様子がみられ、CFORS において、Dust の低濃度帯が日本全土を覆っている結果を示した。

本事例は、九州への弱い黄砂の飛来と、西日本への中国沿岸部からの硫酸塩エアロゾルの影響を受けたと思われる。

表 5-2-1-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点		SPM平均	県数	積算
2008/4/26	2	長崎	熊本	41	2	82

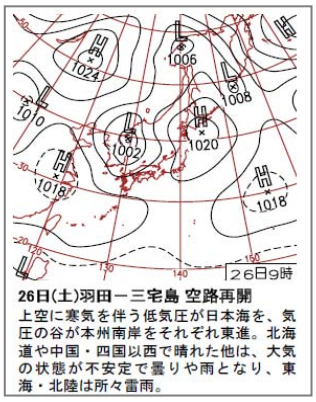


図 5-2-1-1　天気図

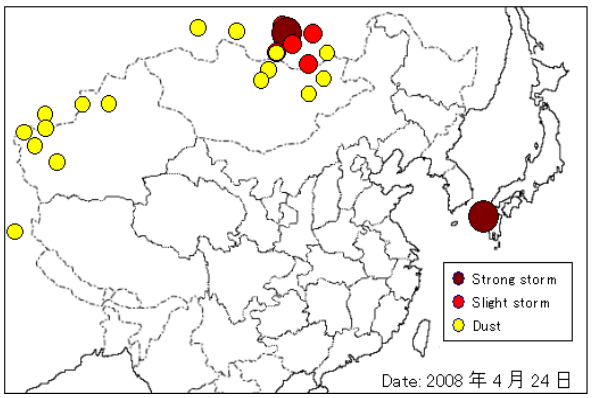


図 5-2-1-2　砂塵嵐発生状況

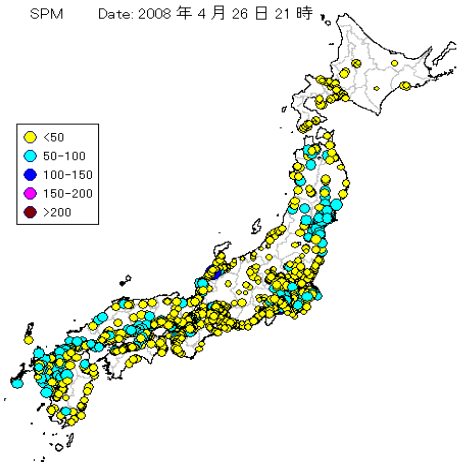


図 5-2-1-3　SPM 濃度全国分布

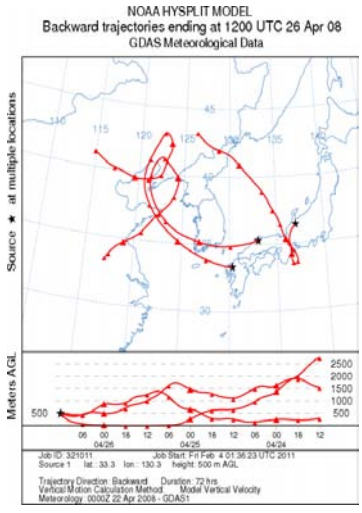


図 5-2-1-4　後方流跡線

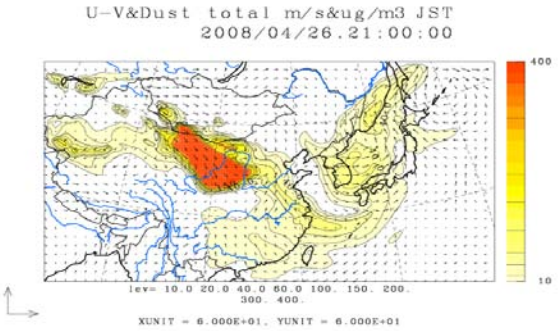


図 5-2-1-5　　CFORS(dust)予測結果

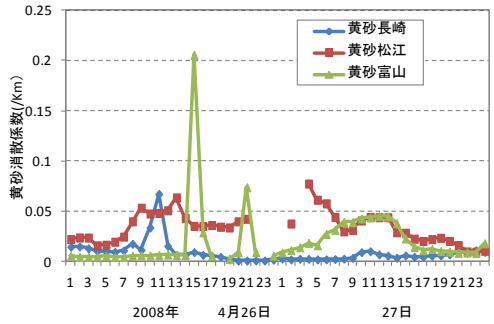


図 5-2-1-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

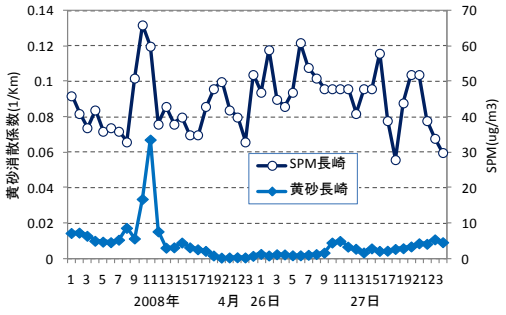


図 5-2-1-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

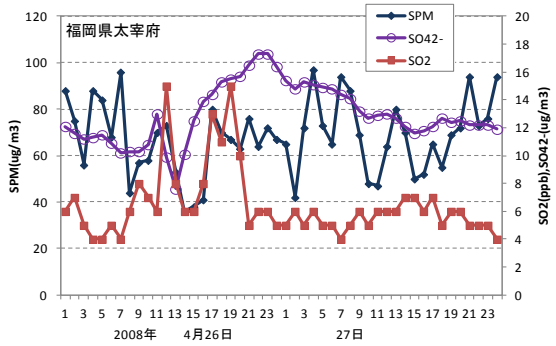


図 5-2-1-8　硫酸イオン等の経時変化

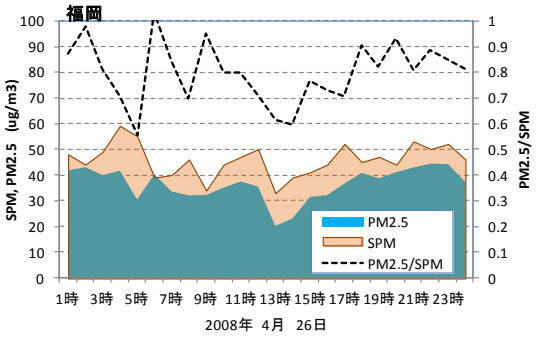


図 5-2-1-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度の経時変化

(2)　平成 20（2008）年 5 月 22 日～23 日

黄砂の観測はなされていないが、黄砂実態調査で粉じんの採取が実施されているため、解析対象とした。SPM 濃度の全国分布状況は、九州北部、山陽、山陰、近畿、関東と 50 μ g/m^3 を超える地域が広く存在している。22 日、23 日の両日、松江で煙霧が観測されている。

気圧配置は、東シナ海で前線が形成されるものの、全国的には本州東方海上の高気圧に覆われており、各地で晴天となった。後方流跡線では、この時、中国沿岸部や韓国からの気塊であることがみられる。CFORS は、日本北部に低濃度の dust 帯が存在していたこと、sulfate が日本全土を覆っていることを示していた。福岡では、22 日の 16 時に硫酸イオンが急増し、21 時まで 30 μ g/m^3 前後の濃度が継続して観測され、23 日の早朝まで 20 μ g/m^3 以上の高濃度で推移している。また、$PM_{2.5}$/SPM 比も、0.9 以上であり SPM の殆どが微小粒子であることを示している。ライダーの結果を併せて観察すると、長崎の球形消散係数と福岡の硫酸イオン濃度に類似の挙動が見られ、二次生成粒子の存在をうかがわせている。

20 日（2 日前）にモンゴル北部で砂塵嵐が観測され、東北・北海道で黄砂の可能性があり、また松江でも黄砂消散係数で 22 日夜中に黄砂の飛来が少しみられるが、全体としては硫酸塩エアロゾルの影響が大きいものである。

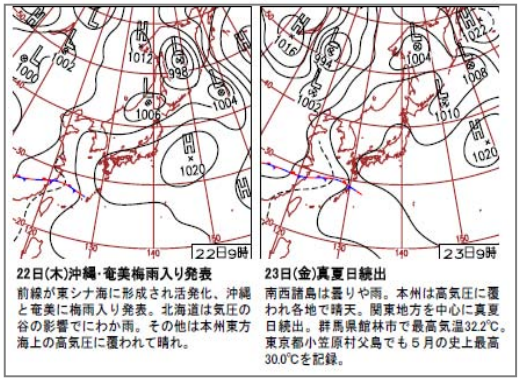


図 5-2-2-1　　天気図

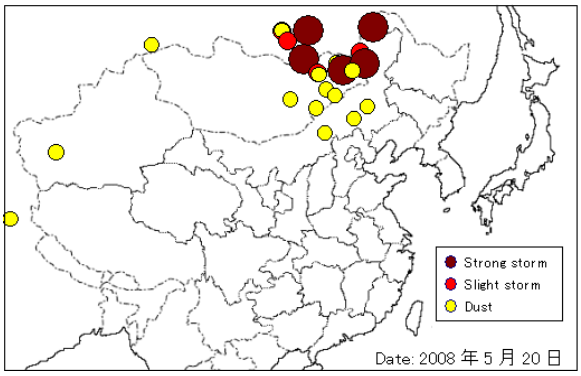


図 5-2-2-2　砂塵嵐発生状況

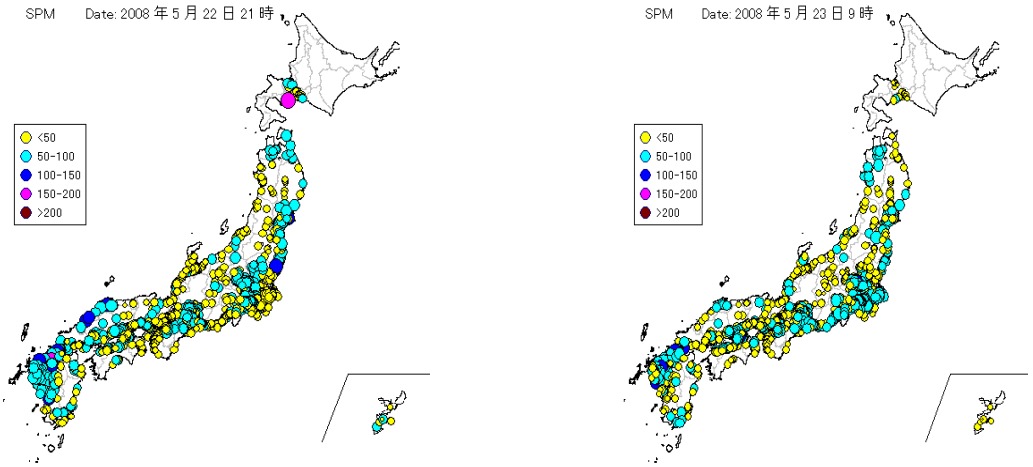


図 5-2-2-3　　SPM 濃度全国分布

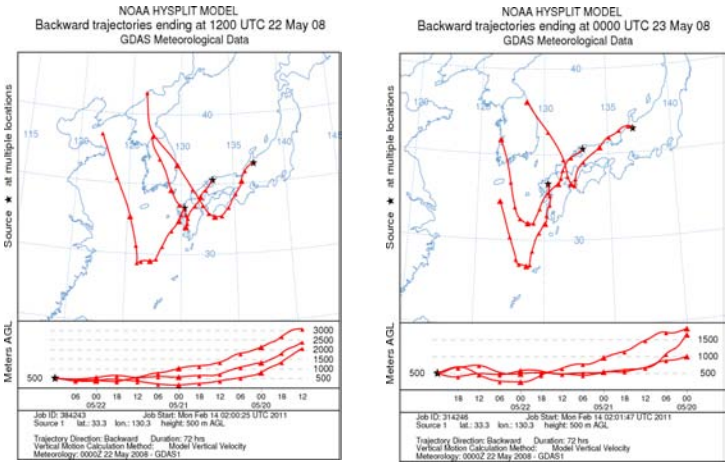


図 5-2-2-4　　後方流跡線

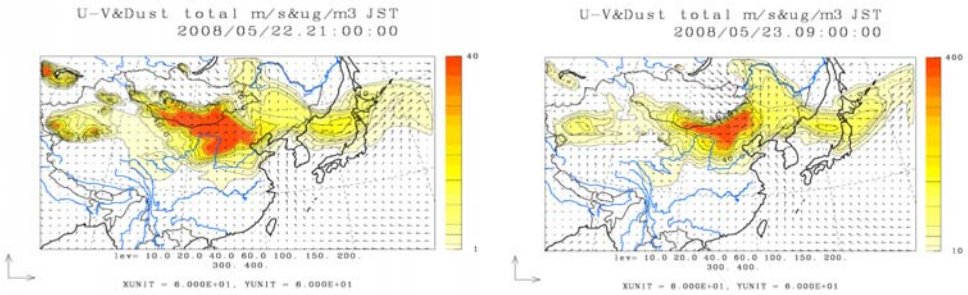


図 5-2-2-5(1)　　CFORS(dust)予測結果

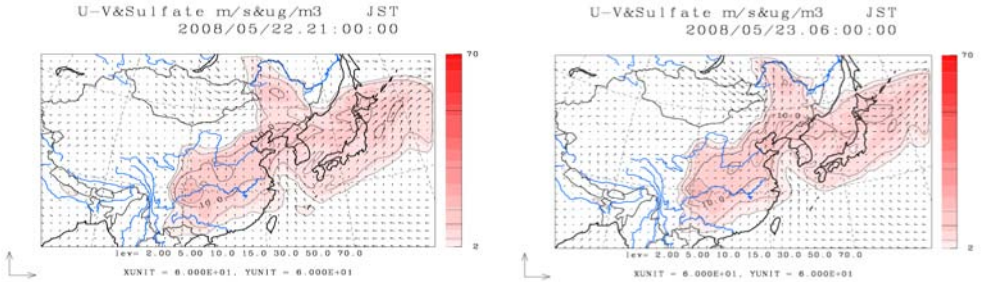


図 5-2-2-5(2)　　CFORS(sulfate)予測結果

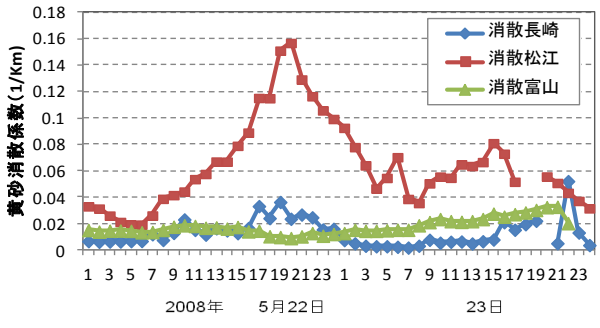


図 5-2-2-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

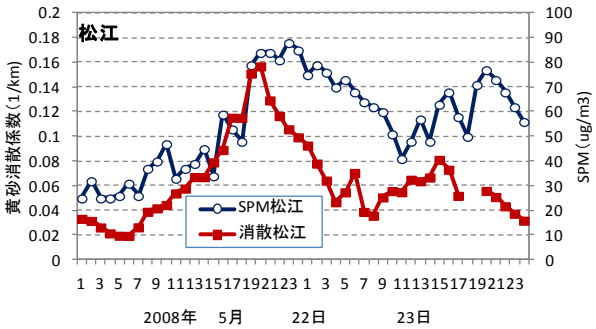


図 5-2-2-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

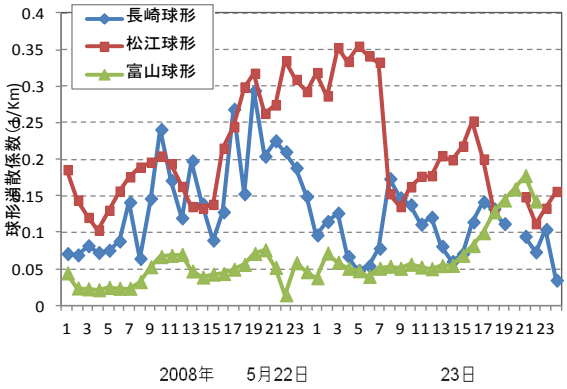


図 5-2-2-8　球形消散係数の経時変化

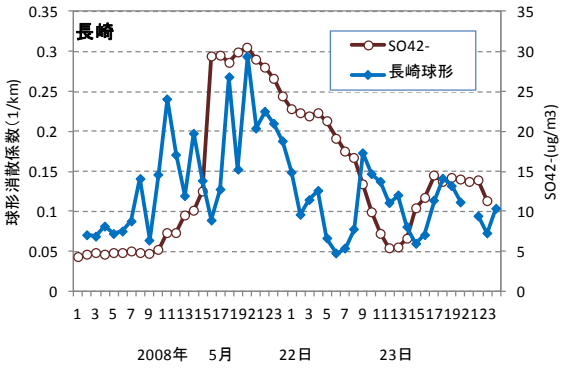


図 5-2-2-9　球形消散係数と SO_4^{2-}の経時変化

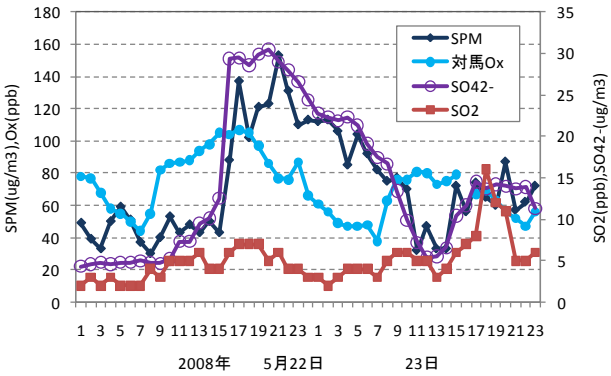


図 5-2-2-10　硫酸イオン等の経時変化

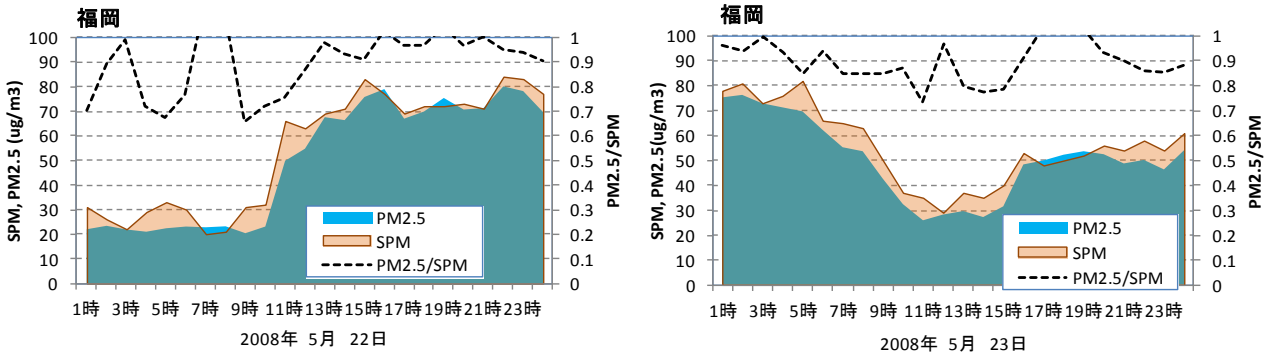


図 5-2-2-11　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(3)　平成 20（2008）年 5 月 31 日～6 月 1 日

黄砂の観測は、九州・山陰・北陸の数地点のみで規模は小さい。SPM の全国分布では、50～150 $\mu g/m^3$ の濃度が九州から山陰にかけてみられ、地域的な SPM 濃度の上昇がある。1 日には SPM 高濃度地域が北陸に広がっている。31 日は福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、日本南岸に低気圧とそれに伴う前線が南西に延びた黄砂特有のものであった。26、27 日には、モンゴル東部を中心に砂塵嵐の発生が観測されている。後方流跡線は、九州北部、山陰で砂塵嵐発生地域方向からのものになっている。CFORS では薄い黄砂の流れがみられる。ライダー観測結果をみると、31 日に長崎で SPM 濃度と黄砂消散係数が同期して推移しており、SPM 濃度が黄砂によって影響を受けたと考えられる。また、$PM_{2.5}$/SPM 比においても SPM の高濃度時に比率が 0.3～0.6 と比較的粗大粒子が多い構成である。この期間、TSP の採取も実施されており、松江、富山、新潟で Al が 2.5～3.7 $\mu g/m^3$ と高くなっている。

一方、福岡では煙霧も観測されており、硫酸イオン時間値も最高で 10 $\mu g/m^3$ を少し超過している。また、長崎でのライダー球形消散係数と福岡の硫酸イオンに時間をずらした上昇が観察されている。

以上から、本事例では黄砂の影響が強く反映されているものの規模はそれほど大きくなく、若干の硫酸塩エアロゾルを含んで九州北部から北陸へ移動していたと考えられる。

表 5-2-3-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点			SPM平均	県数	積算
2008/5/31	3	松江	佐賀	長崎	56.9	3	171
2008/6/1	2	輪島	長崎		39.6	2	79

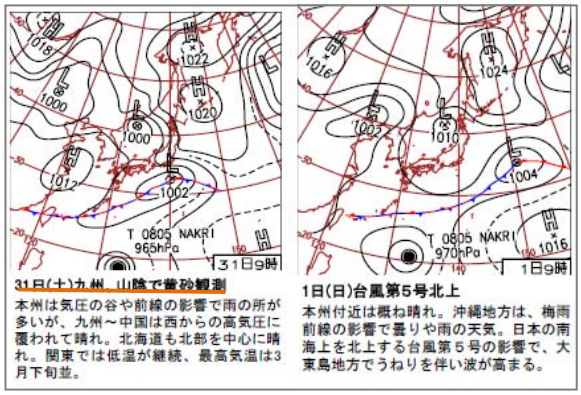


図 5-2-3-1　　天気図

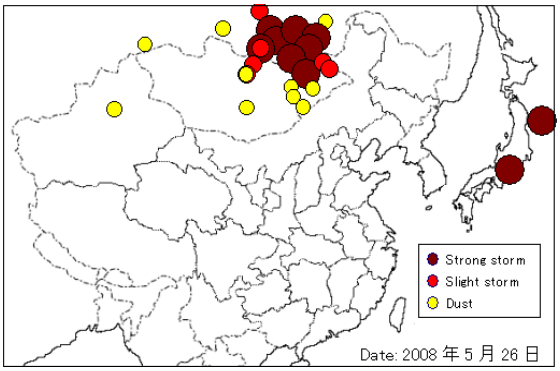


図 5-2-3-2　　砂塵嵐発生状況

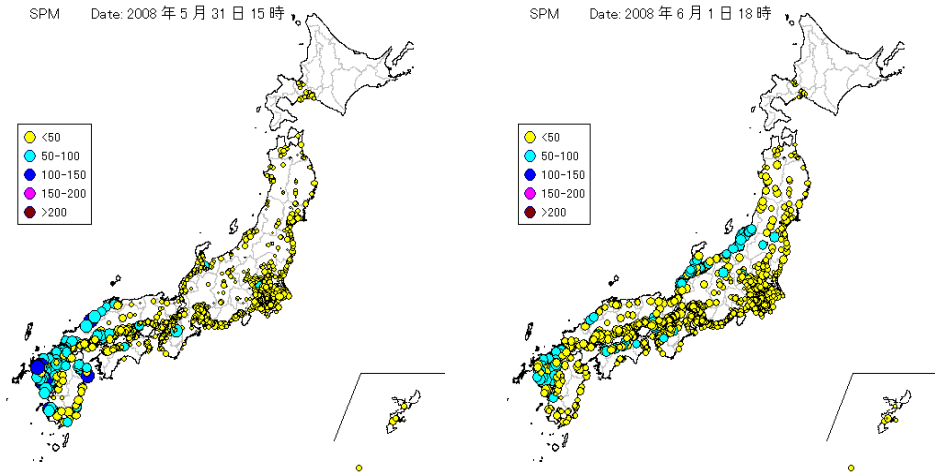


図 5-2-3-3　　SPM 濃度全国分布

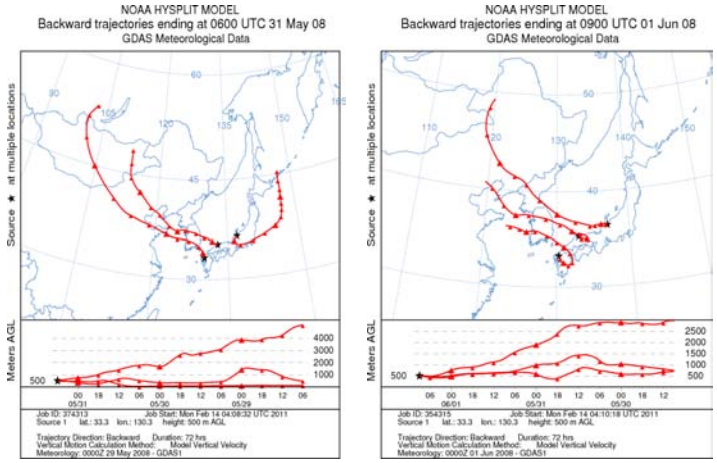


図 5-2-3-4　　後方流跡線

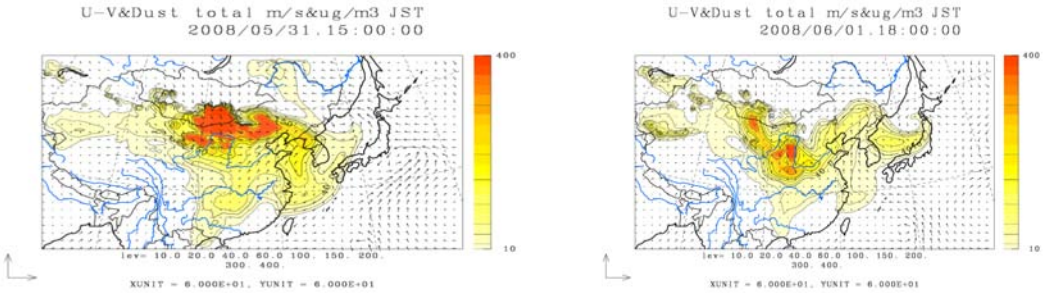


図 5-2-3-5(1)　　CFORS(dust)予測結果

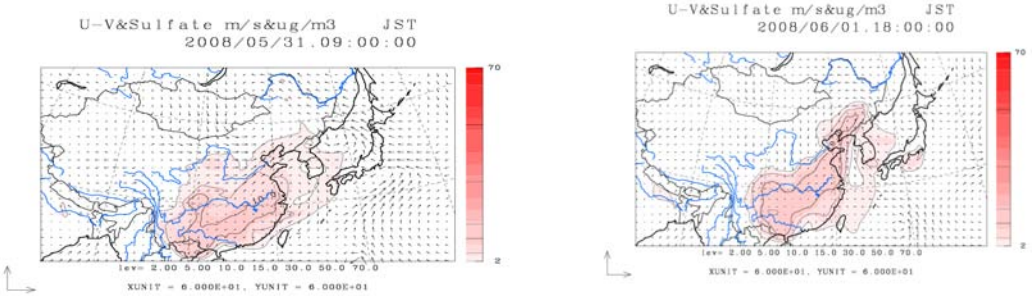


図 5-2-3-5(2)　　CFORS(sulfate)予測結果

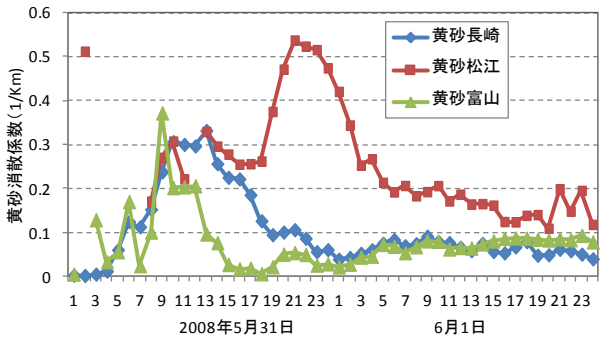


図 5-2-3-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

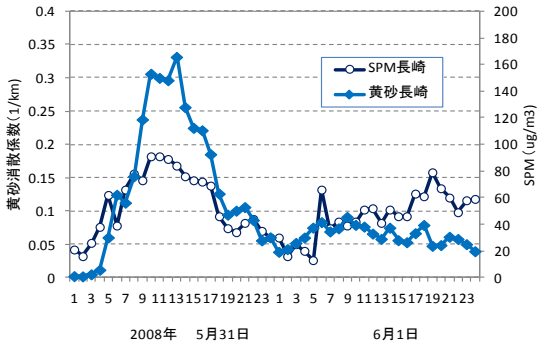


図 5-2-3-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

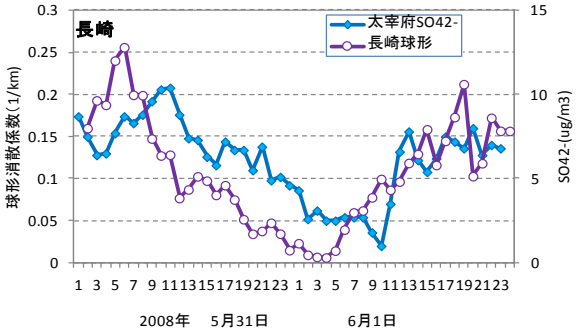


図 5-2-3-8 ライダー球形消散係数と SO_4^{2-} の経時変化

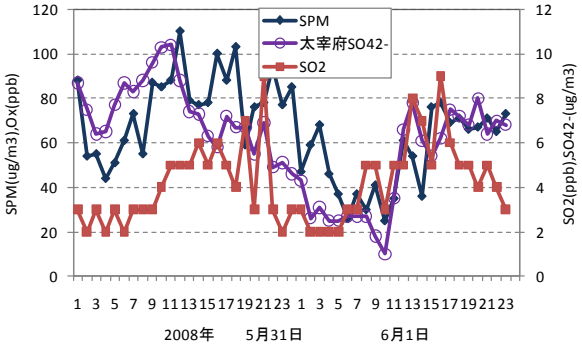


図 5-2-3-9 硫酸イオン等の経時変化

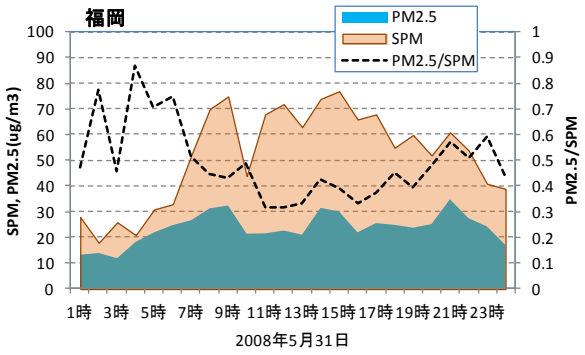


図 5-2-3-10 $PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(4)　平成 21（2009）年 2 月 11 日～13 日

黄砂の観測は、11 日に 13 地点、12 日に 19 地点で、九州・中国・関西まで広範囲にわたっている。SPM の全国分布は､11 日から 13 日にかけて西日本を中心に 50～150 μg/m^3 程度の濃度で広がっていた｡11 日、12 日の両日、福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、11 日に移動性高気圧が日本全土を覆う一方で、中国大陸で発生した低気圧が 12 日には前線を伴い日本へ南下するとともに、日本南岸に新たな前線を形成している。後方流跡線によると 11 日には中国の沿岸部からの気塊であるが、12 日から 13 日にはモンゴルからの気塊に変化していた。11 日にモンゴル北部で砂塵嵐の発生が観測されている。CFORS での dust の予測では、低濃度帯が 12 日に日本を通過することを示している。

硫酸イオン濃度は、20 μg/m^3 を超える高濃度が 11 日の昼から 13 日の昼にかけて長期間続き、特に 11 日の夕方には、40 μg/m^3 を超えるピークが観測された。CFORS の sulfate の予測でも 11 日に西日本全体を覆っている様子がみられる。この事例は、硫酸塩エアロゾルの濃度が非常に高いのが特徴である。

表 5-2-4-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
2009/2/11	13	松江	鳥取	広島	神戸	和歌	大分	熊本	鹿児島	宮崎	松山	37.1	10	371
		高松	高知	徳島										
2009/2/12	19	津	松江	鳥取	下関	広島	岡山	神戸	和歌山	山口	福岡	58.7	18	1057
		佐賀	大分	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島				
2009/2/13	5	松江	鳥取	神戸	高松	徳島						48.4	5	242

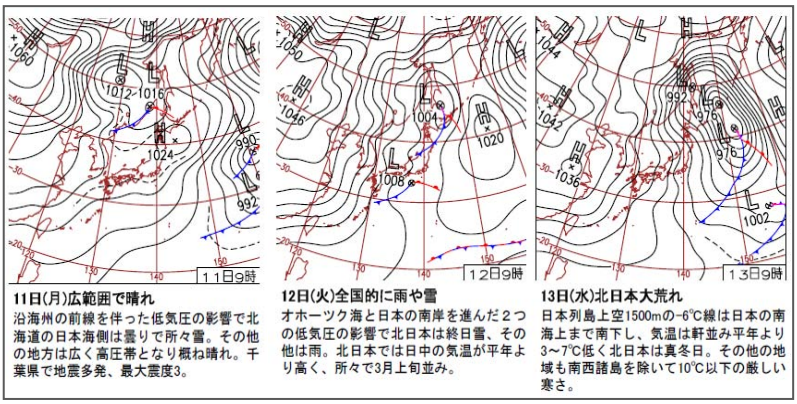


図 5-2-4-1　天気図

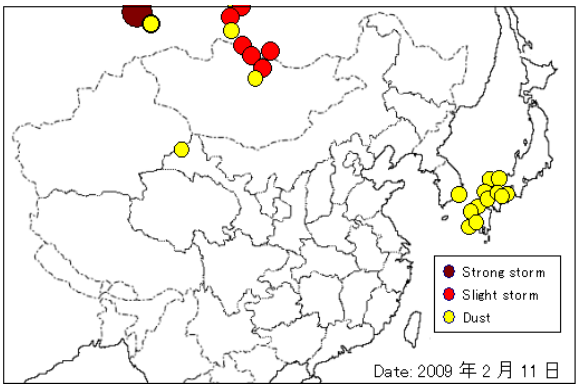


図 5-2-4-2　砂塵嵐発生状況

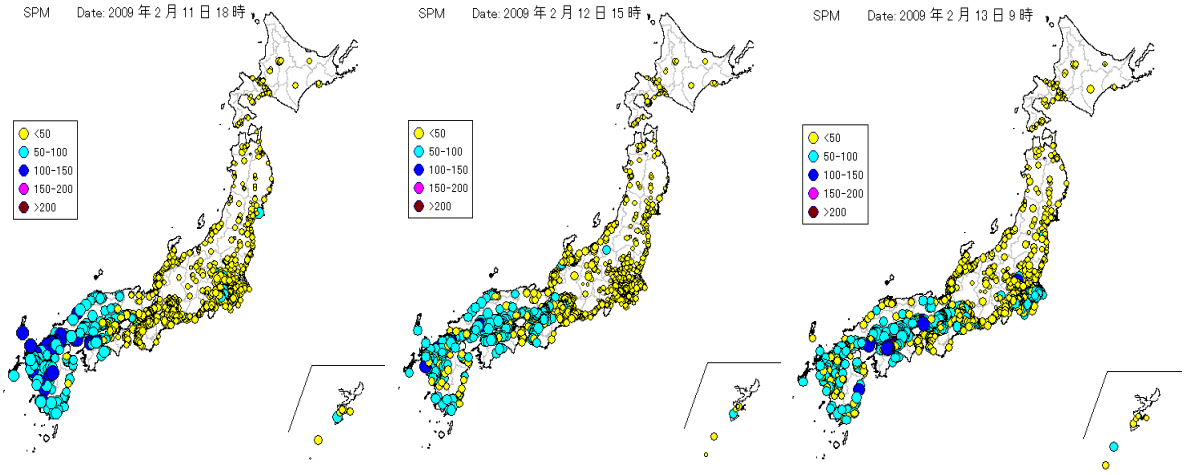


図 5-2-4-3　SPM 濃度全国分布

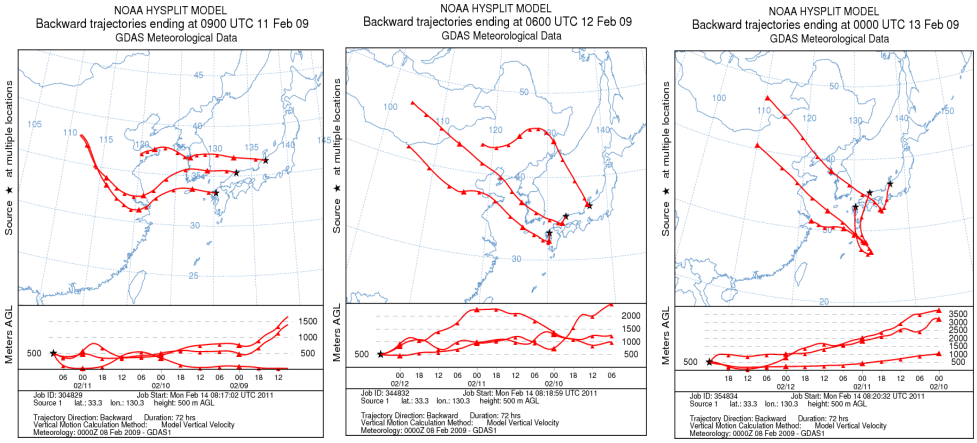


図 5-2-4-4　後方流跡線

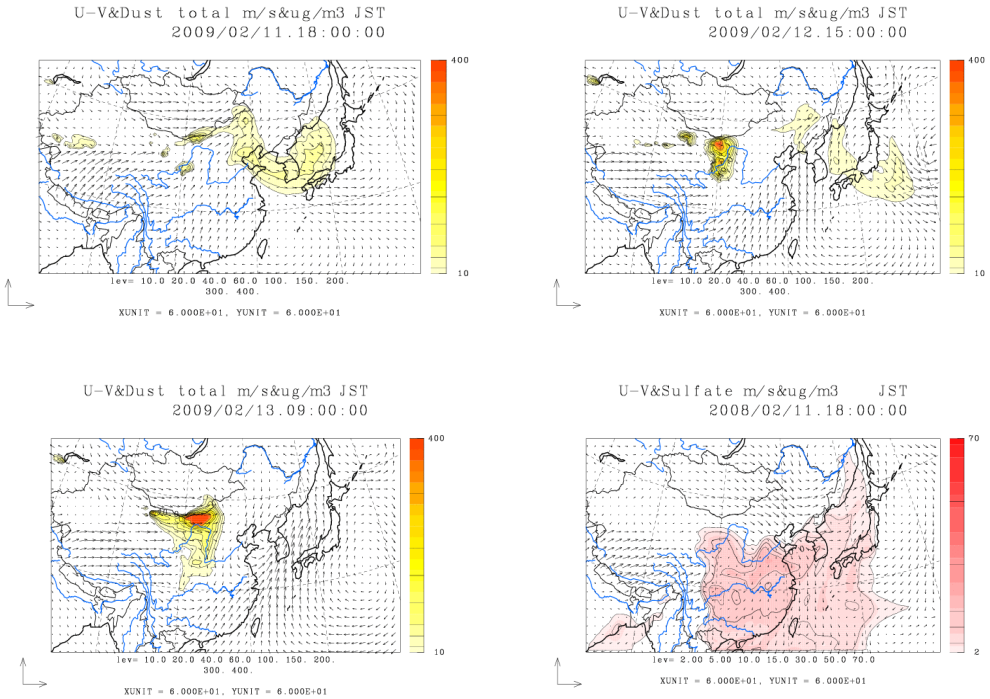


図 5-2-4-5　CFORS(dust・sulfate)予測結果

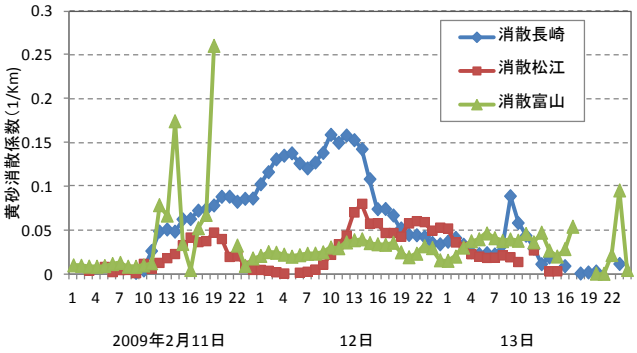


図 5-2-4-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

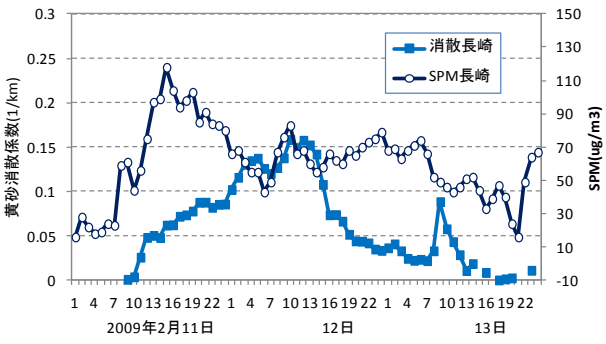


図 5-2-4-7　黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

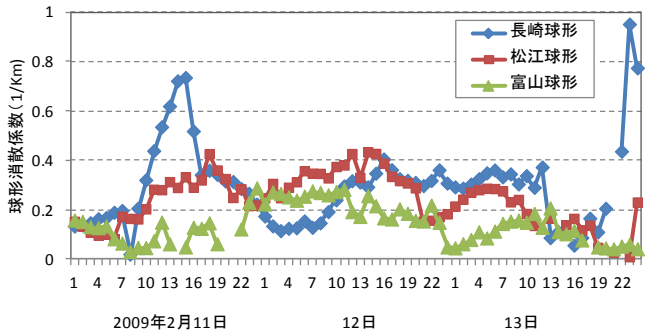


図 5-2-4-8　ライダー球形消散係数の経時変化

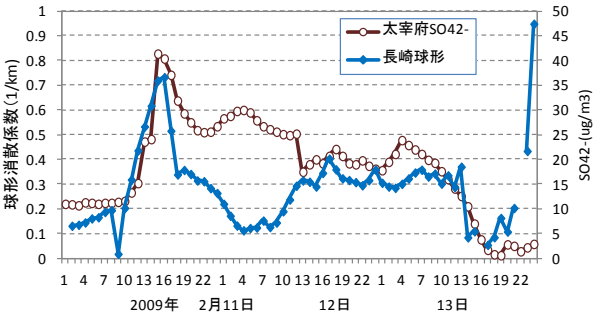


図 5-2-4-9　球形消散係数と SO_4^{2-} の経時変化

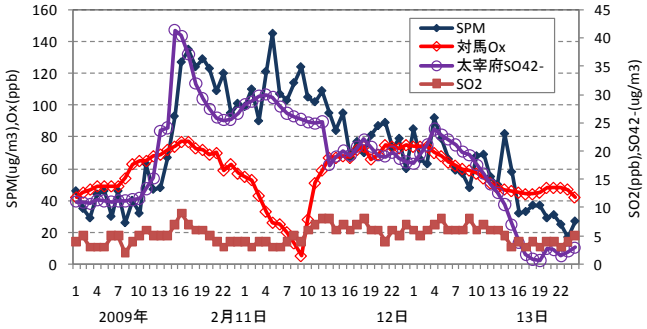


図 5-2-4-10　硫酸イオン等の経時変化

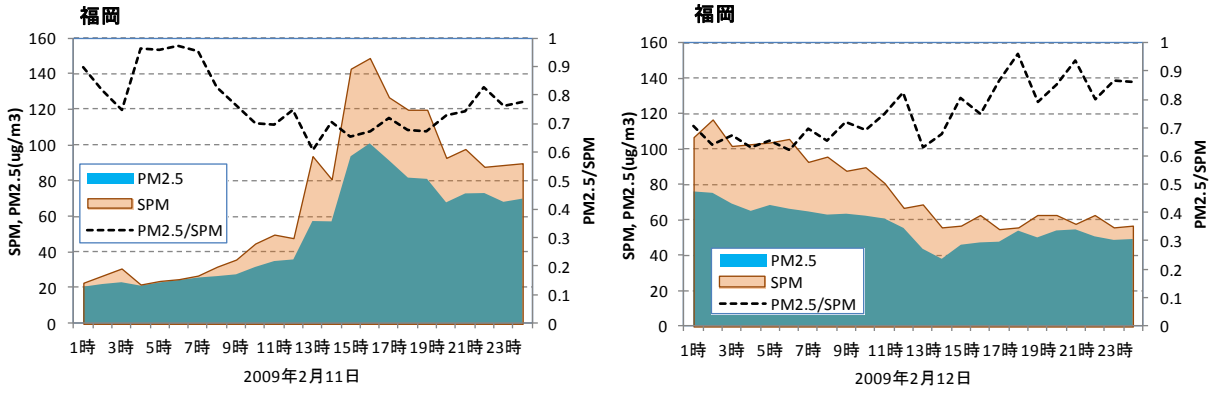


図 5-2-4-11　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(5)　平成 21（2009）年 2 月 15 日

黄砂は、北陸、山陰で観測されているが、SPM 濃度の顕著な上昇はみられない。後方流跡線においては、タクラマカン砂漠方向からの気塊を示すものの、大きな砂塵嵐の発生は観測されていない。規模、濃度ともに小さな黄砂の飛来とみられる。

表 5-2-5-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点			SPM平均	県数	積算
2009/2/15	3	福井	松江	鳥取	18.2	3	55

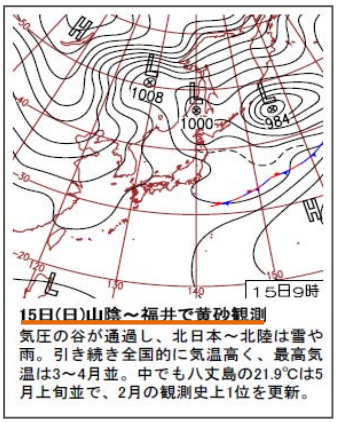


図 5-2-5-1　天気図

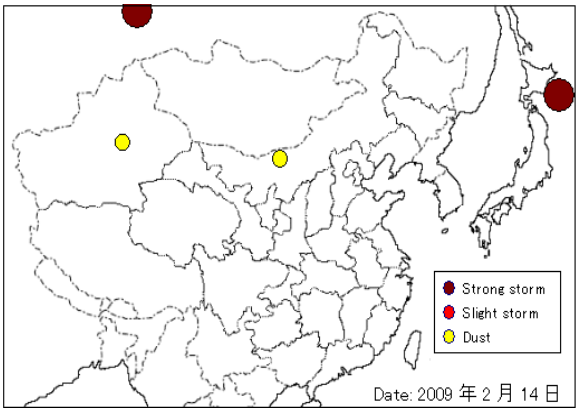


図 5-2-5-2　砂塵嵐発生状況

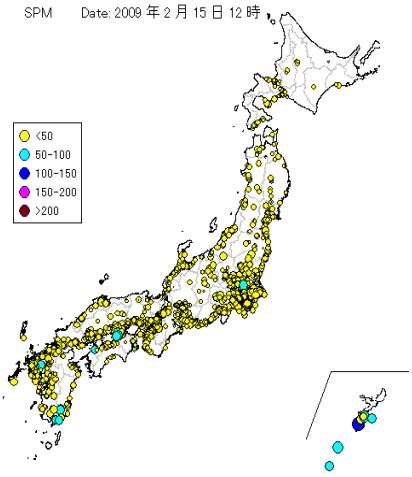


図 5-2-5-3　SPM 濃度全国分布

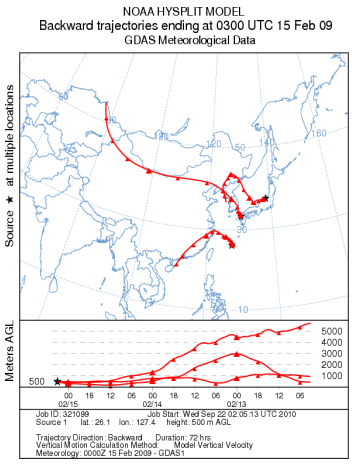


図 5-2-5-4　後方流跡線

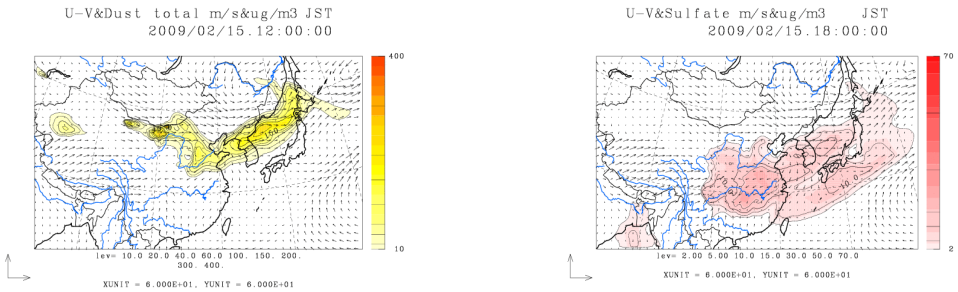


図 5-2-5-5　　CFORS(dust・sulfate)予測結果

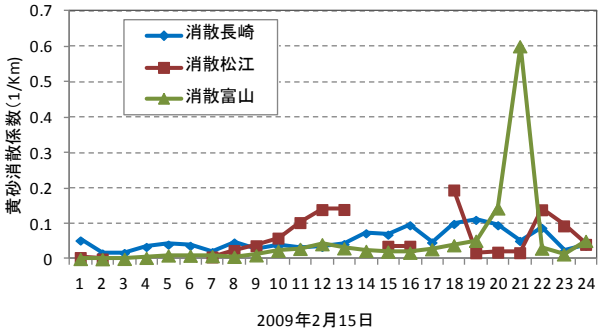


図 5-2-5-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

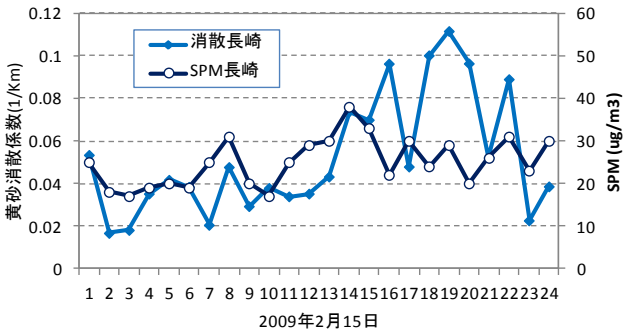


図 5-2-5-7　黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

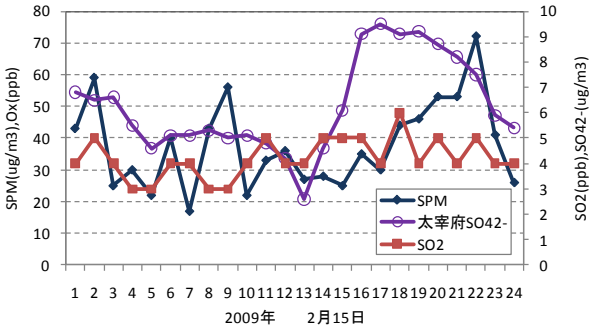


図 5-2-5-8　硫酸イオン等の経時変化

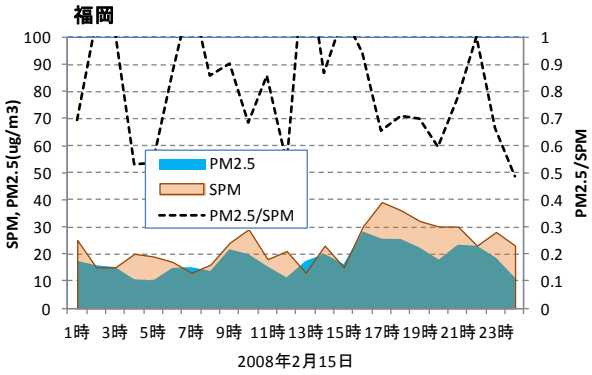


図 5-2-5-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(6)　平成 21（2009）年 2 月 20 日～22 日

黄砂は、20 日に 11 地点、21 日には 23 地点で、九州・中国・関西・関東までと広く観測されており、SPM 濃度もそれらの地域で 50 μ g/m^3 を超えるエリアがみられる。

気圧配置は、中国大陸で発達した低気圧が、20 日に前線を伴い日本へ南下後、21 日に日本東方で活発な低気圧が新たに発達し、日本南岸へ向けた長い前線が形成されている。20 日は、後方流跡線が中国の沿岸部からの気塊を示し、21 日からは中国内陸部以北からとなっている。硫酸イオン濃度は最高で 17 μ g/m^3 と高く、ライダーの球形消散係数も硫酸イオンと同時に上昇するなど硫酸塩エアロゾルの影響も示している。21 から 22 日においては後方流跡線が中国大陸内陸部の砂漠地帯からの流れを示すとともに、長崎のライダー黄砂消散係数と SPM の濃度が同時に上昇するなど黄砂の影響がみられた。

硫酸イオンの上昇から、まず硫酸塩エアロゾルが九州に飛来し、その後、黄砂が飛来した事例と考えられる。

表 5-2-6-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観　測　地　点										SPM平均	県数	積算
2009/2/20	11	松江	鳥取	下関	広島	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	26.5	10	265
		松山												
2009/2/21	23	福井	東京	松江	鳥取	舞鶴	下関	広島	岡山	神戸	大阪	33.4	20	668
		奈良	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	松山	高松			
		高知	徳島	那覇										
2009/2/22	1	大阪										32.9	1	33

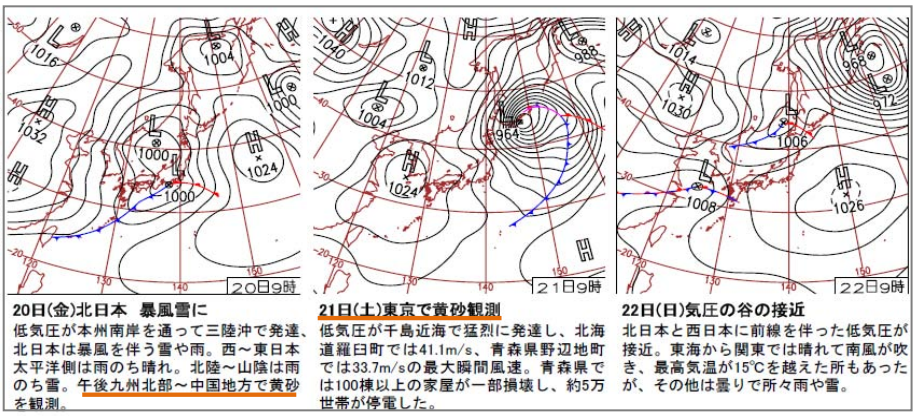


図 5-2-6-1　天気図

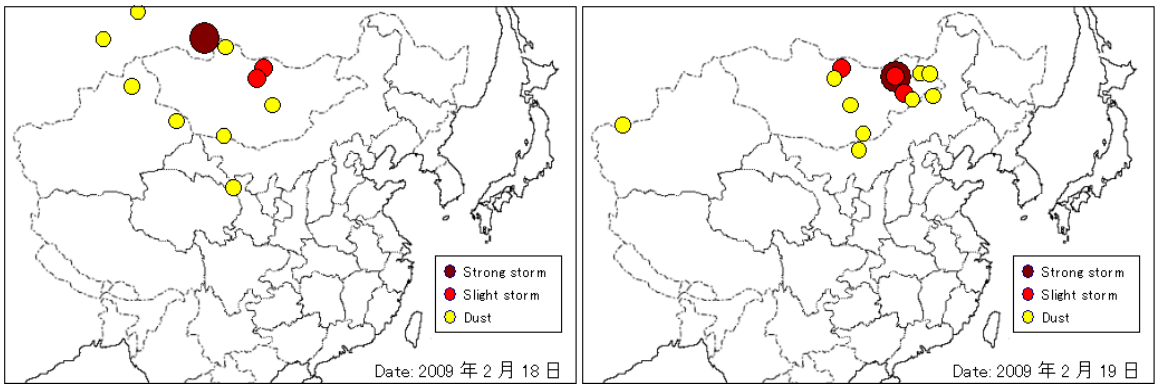


図 5-2-6-2　砂塵嵐発生状況

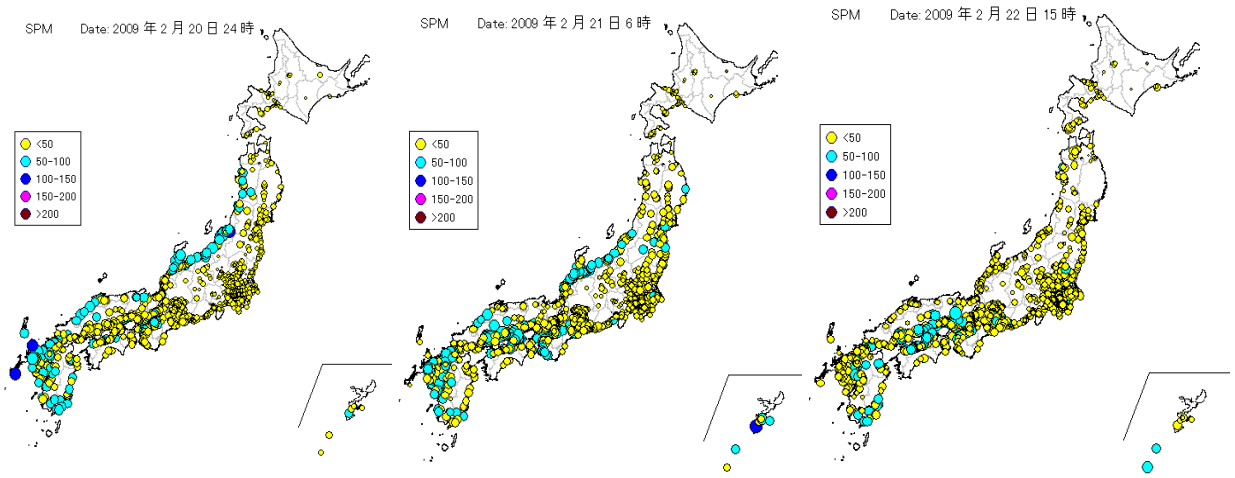


図 5-2-6-3　SPM 濃度全国分布

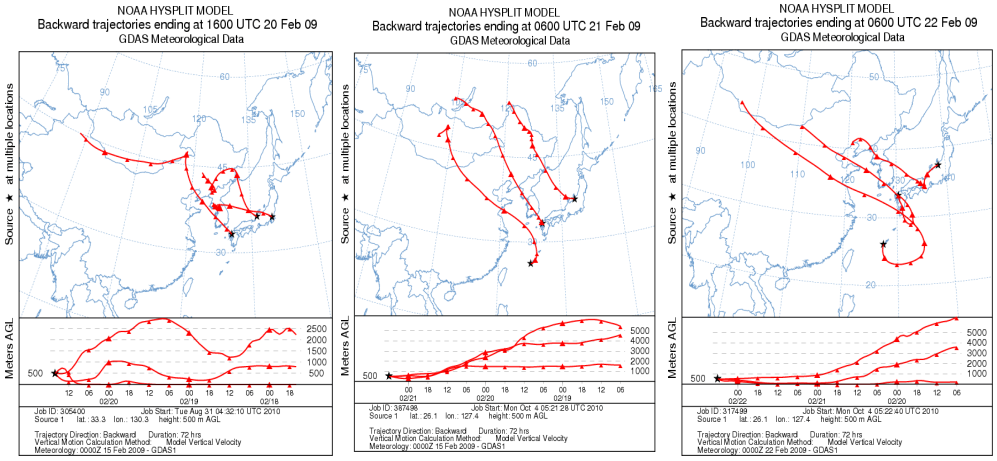


図 5-2-6-4　後方流跡線

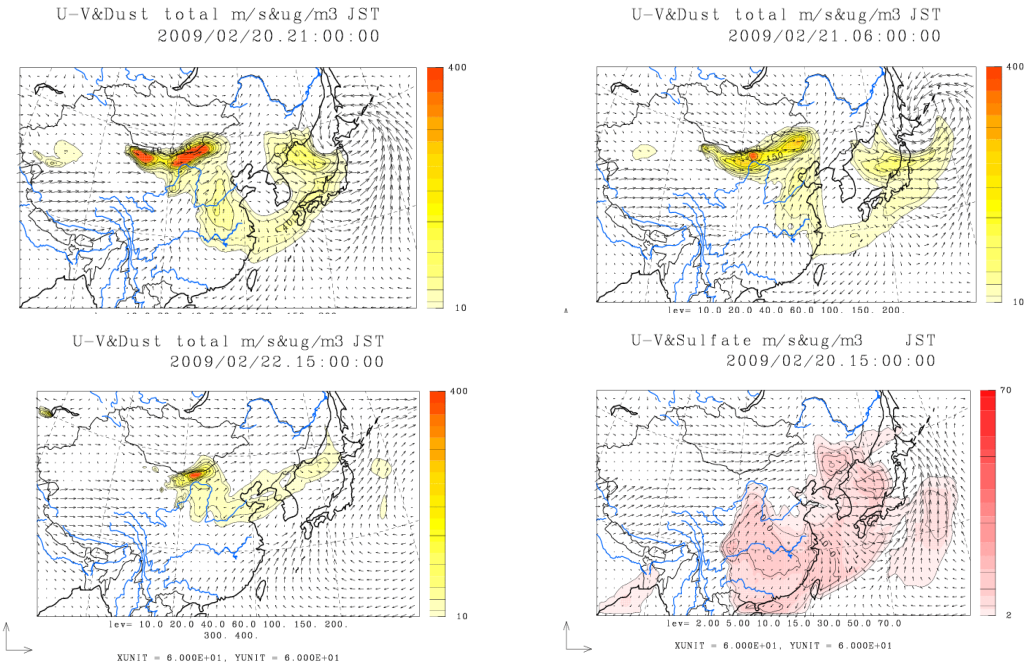


図 5-2-6-5　CFORS(dust･sulfate)予測結果

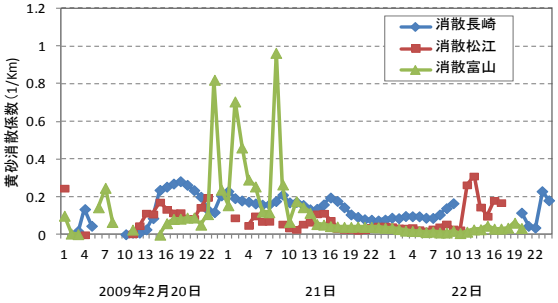


図 5-2-6-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

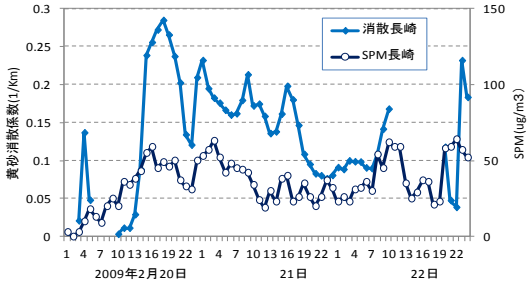


図 5-2-6-7 黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

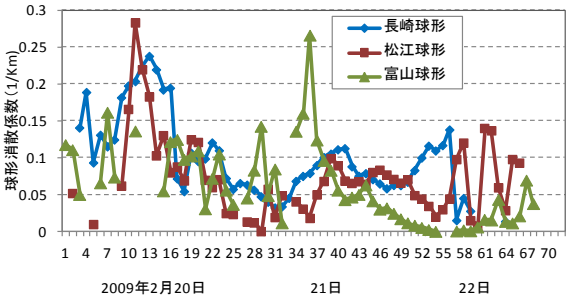


図 5-2-6-8 ライダー球形消散係数の経時変化

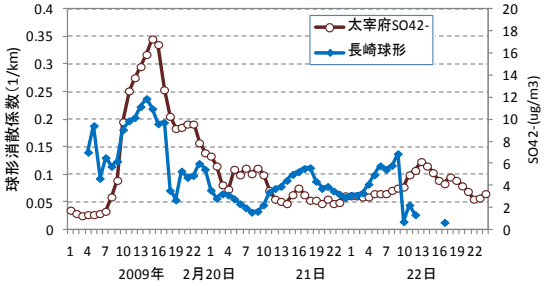


図 5-2-6-9 球形消散係数と SO_4^{2-} の経時変化

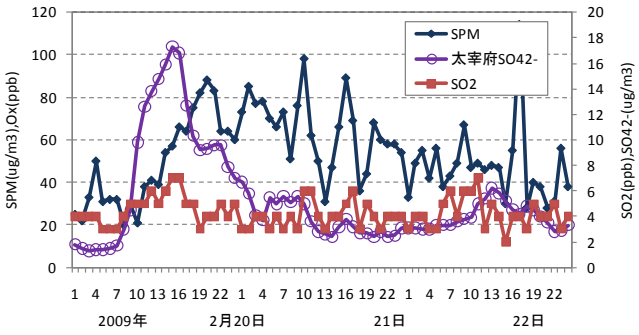


図 5-2-6-10 硫酸イオン等の経時変化

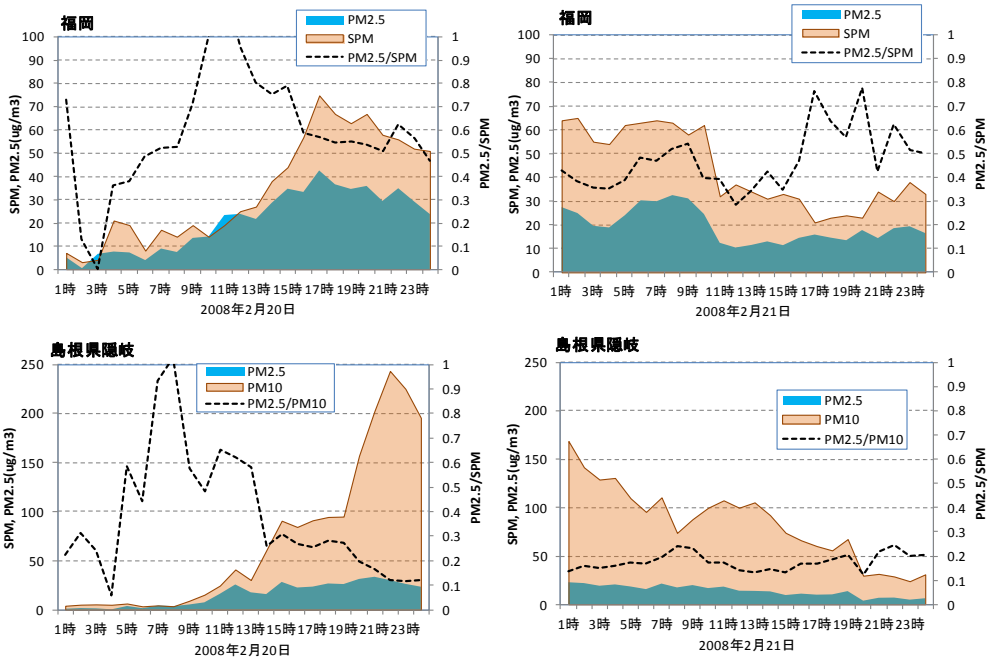


図 5-2-6-11 $PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(7)　平成 21（2009）年 3 月 10 日

黄砂は、大分で観測されており、SPM 濃度の全国分布では九州北部及び瀬戸内海沿岸部で 50～100 μg/m^3 の濃度を観測した程度で、全国的にみると非常に低濃度の分布であった。

気圧配置では、日本の南方に低気圧を伴った前線が展開している。後方流跡線は九州で中国沿岸部からの影響を示しており、中国内陸部からはみられていない。硫酸イオンは、10 日の 14 時から 16 時にかけて 10 μg/m^3 を少し超える濃度が観測されている。

SPM の濃度上昇は小さく、黄砂の影響を明確には観測できていないが、硫酸塩エアロゾルの弱い飛来はあったと思われる。

表 5-2-7-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点	SPM平均	県数	積算
2009/3/10	1	大分	24.9	1	25

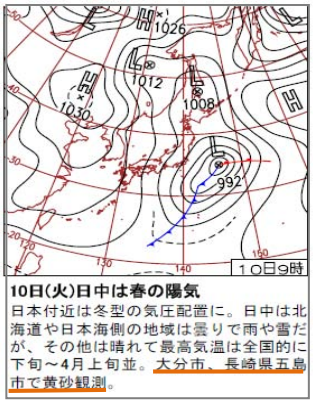


図 5-2-7-1　天気図

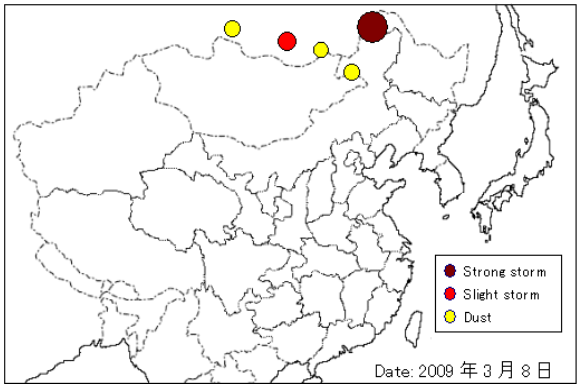


図 5-2-7-2　砂塵嵐発生状況

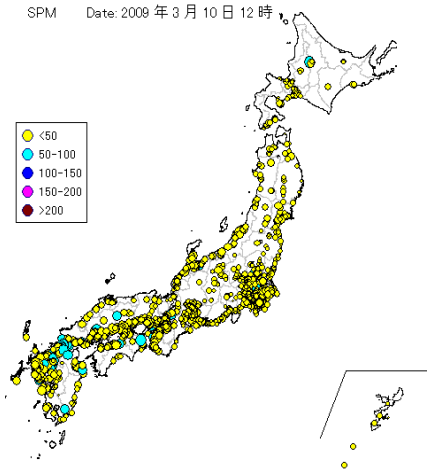


図 5-2-7-3　SPM 濃度全国分布

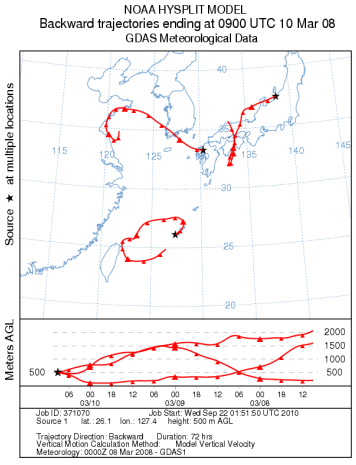


図 5-2-7-4　後方流跡線

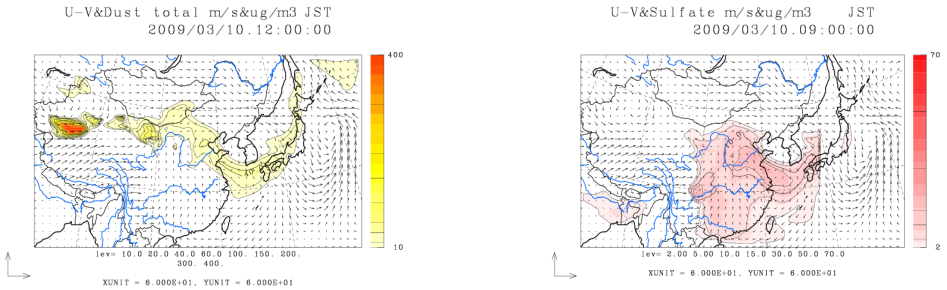


図 5-2-7-5　　CFORS(dust・sulfate)予測結果

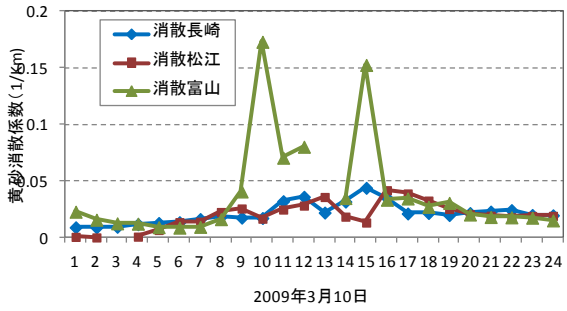


図 5-2-7-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

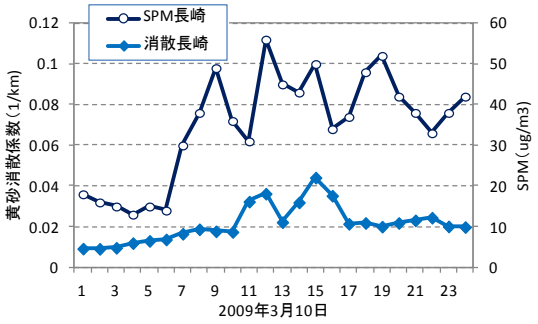


図 5-2-7-7　　黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

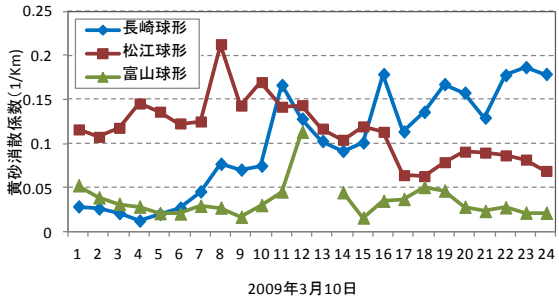


図 5-2-7-8　ライダー球形消散係数の経時変化

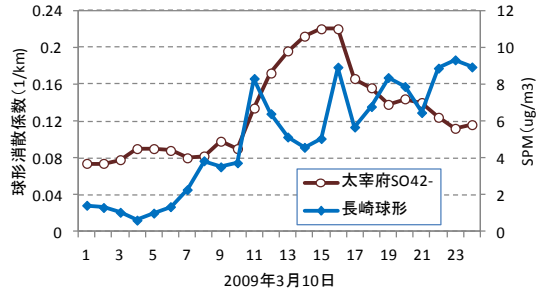


図 5-2-7-9　　球形消散係数と SO_4^{2-} の経時変化

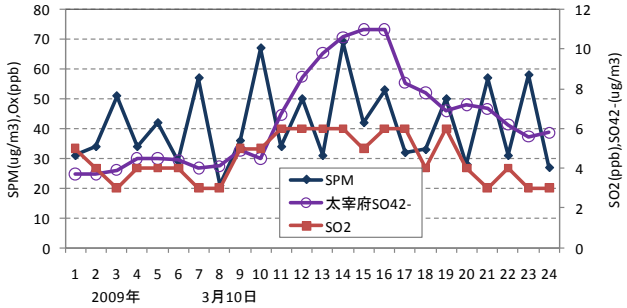


図 5-2-7-10　　硫酸イオン等の経時変化

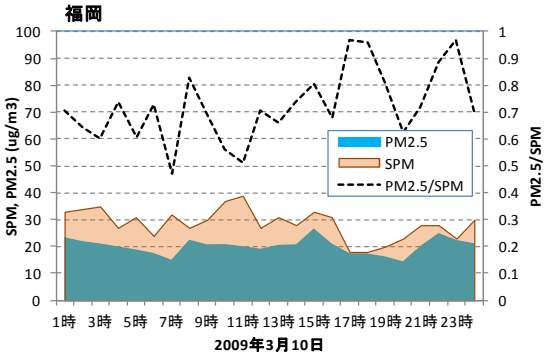


図 5-2-7-11　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(8)　平成 21（2009）年 3 月 16～19 日

黄砂は、16 日に 27 地点、17～18 日には 40 地点以上と広範囲に観測されており、高濃度の SPM 濃度も中国・関西・北陸・関東と広い範囲でみられている。

気圧配置は黄砂時によく見られる日本南岸に前線が存在するようなものではなく、大陸からの移動性高気圧が日本の南を通過するパターンになっている。また、後方流跡線も黄砂特有の中国内部からの直線的な経路ではなく、中国沿岸部からに近い。しかし、CFORSでは黄砂の日本への移流を示しており、ライダーの消散係数でも松江へ比較的大規模な黄砂の飛来と、富山、長崎への弱い黄砂を示している。黄砂は3日間広い範囲で継続されており、大規模な黄砂の飛来と考えられる。一方、10μg/m^{3}程度であるが硫酸イオン濃度が上昇していること、SO_2が全国的にやや高めであること、CFORSの硫酸イオンで日本への流れが予測されていること、後方流跡線が気塊の中国沿岸部の通過を示すなど、硫酸塩エアロゾルとの同時飛来も否定できない。成分濃度調査では、粉じん濃度の上昇と伴にAlの上昇があり、また硫酸イオン濃度も10μg/m^{3}近くまでになっている。また、この時期中国（Wulatezhongqi）で14日12時にPM_{10}が3087μg/m^3、韓国（Sokcho）で16日15時に539μg/m^{3}を示している。ソウルでは17日がHazeと黄砂、18日は黄砂のみと解析されている[iv]。

表 5-2-8-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
2009/3/16	27	輪島	金沢	富山	福井	岐阜	名古屋	津	御前崎	静岡	松江	29.8	20	596
		鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山			
		奈良	山口	大分	松山	高松	高知	徳島						
2009/3/17	46	若松	盛岡	輪島	新潟	金沢	富山	宇都宮	福井	前橋	熊谷	46.8	40	1872
		水戸	岐阜	名古屋	甲府	つくば	銚子	津	御前崎	静岡	東京			
		横浜	千葉	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山			
		神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本			
		鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島							
2009/3/18	41	若松	山形	仙台	輪島	新潟	金沢	富山	長野	宇都宮	福井	42.1	36	1516
		熊谷	水戸	岐阜	名古屋	甲府	つくば	津	御前崎	静岡	東京			
		横浜	千葉	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山			
		神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	大分	鹿児島	宮崎	高松	高知			
		徳島												
2009/3/19	4	若松	仙台	つくば	御前崎							37.6	4	150

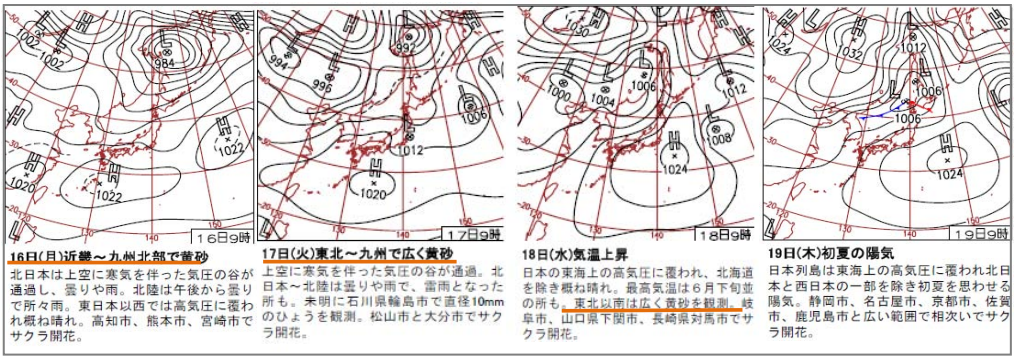


図 5-2-8-1　天気図

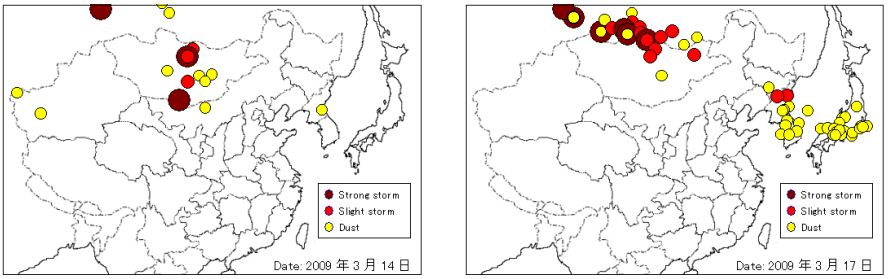


図 5-2-8-2　砂塵嵐発生状況

[iv] 第 4 回日中韓黄砂共同研究ワーキンググループⅠ会合（2011.11：北京）資料より

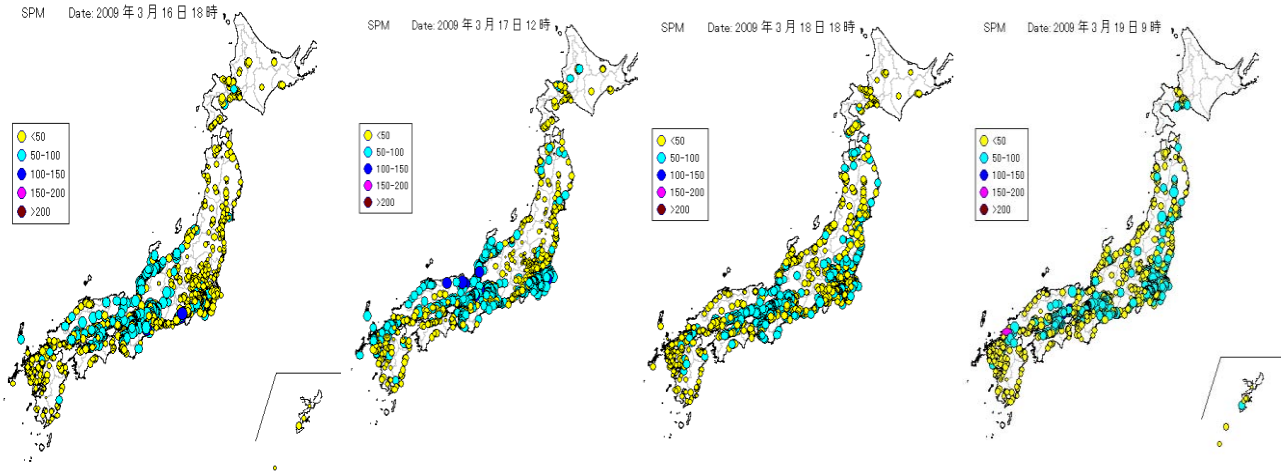


図 5-2-8-3　SPM 濃度全国分布

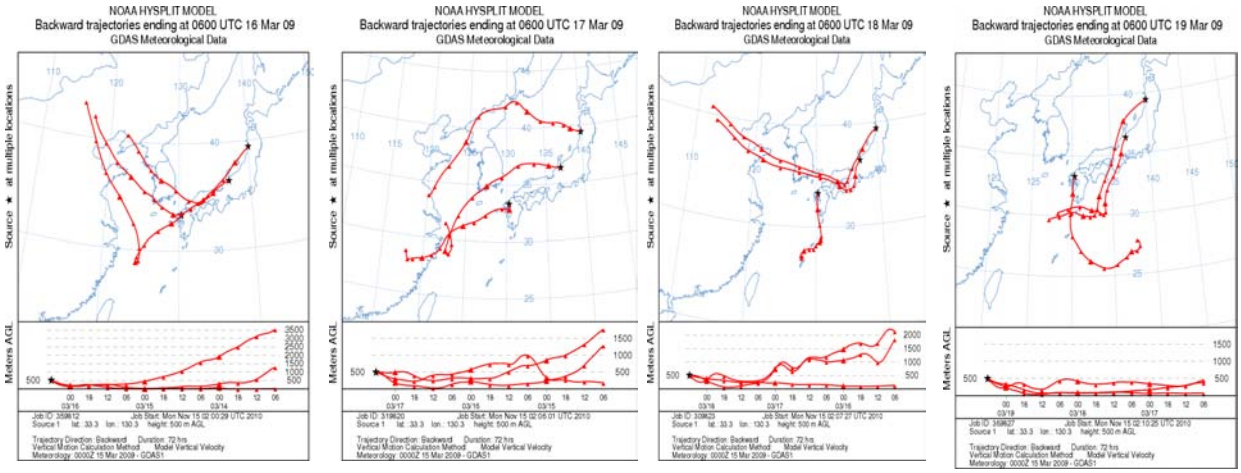


図 5-2-8-4　後方流跡線

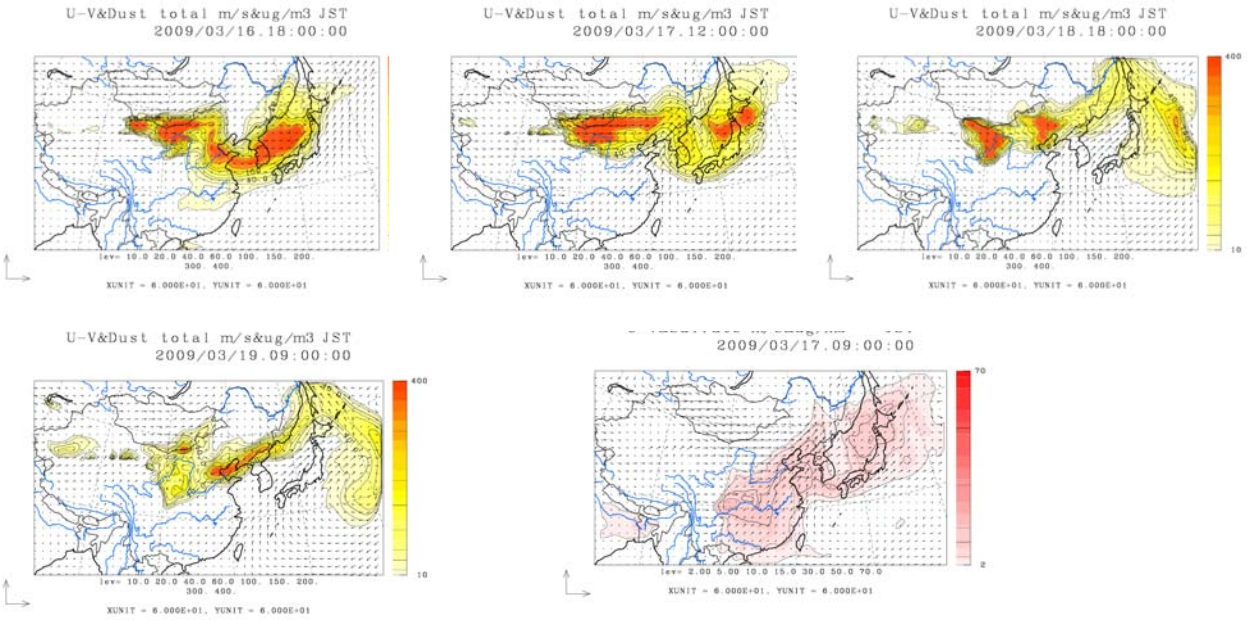


図 5-2-8-5　CFORS(dust･sulfate)予測結果

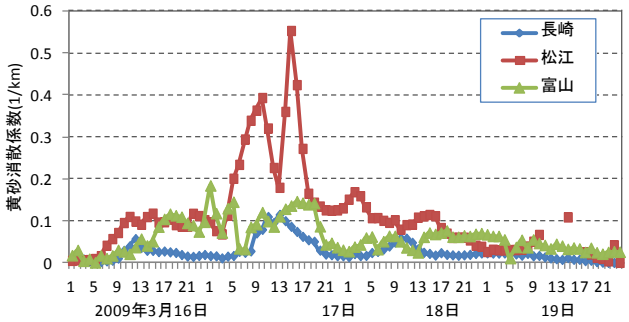


図 5-2-8-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

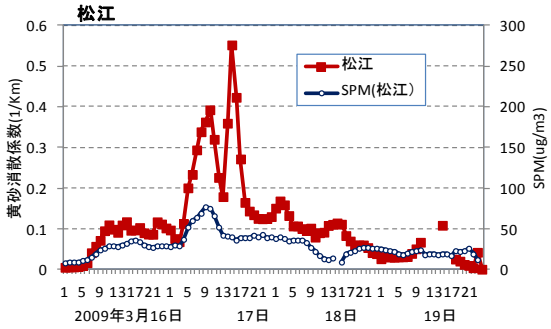


図 5-2-8-7　黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

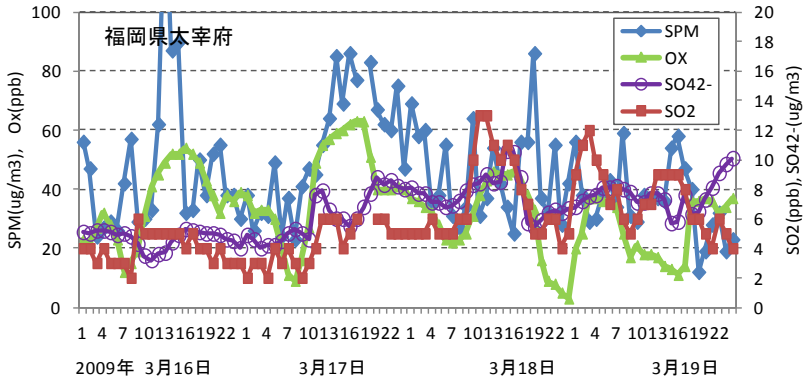


図5-2-8-8　硫酸イオン等の経時変化

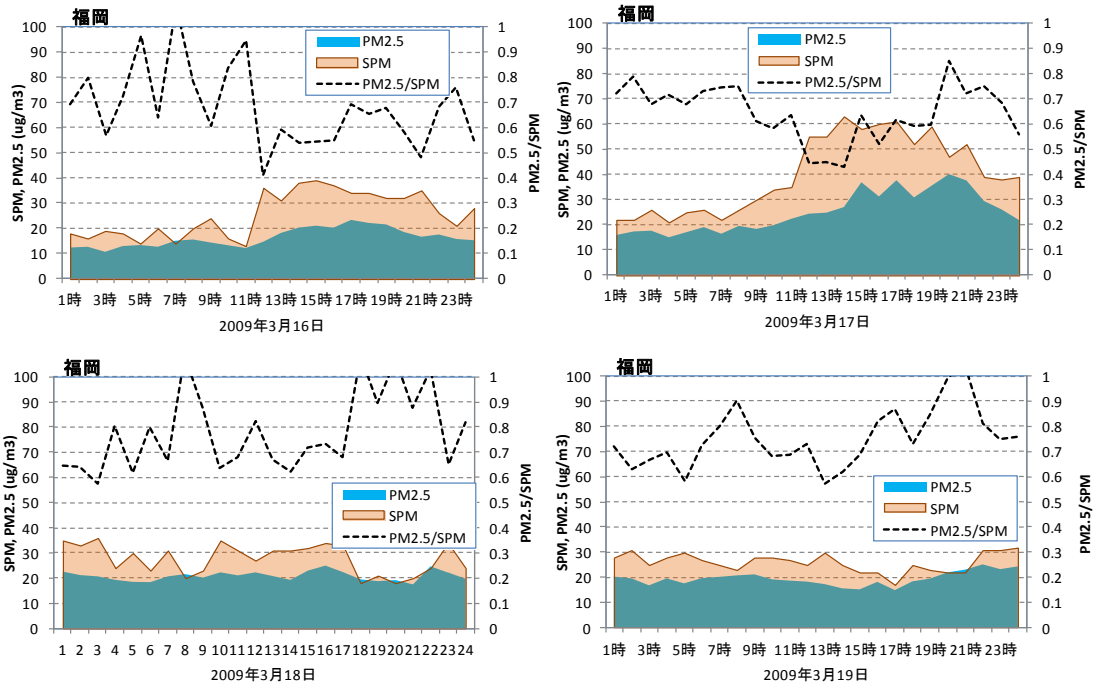


図 5-2-9-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(9)　平成 21（2009）年 4 月 25 日～26 日

黄砂の観測は、25 日が九州・沖縄で 26 日は沖縄のみであり、沖縄では SPM が最高で 200 μ g/m^3 を超える高濃度となっている。気圧配置は、九州に低気圧があり、それから南西方向に沖縄付近まで前線が延びている。この時、沖縄での後方流跡線はモンゴル付近からのものとなっており、その黄砂の影響を顕著に受けたことが予想される。22～23 日にモンゴル全域で砂塵嵐も観測されている。また、CFORS によると、沖縄が黄砂分布の中心により近い位置にあったため、より高濃度の黄砂に晒されたことを示唆している。沖縄より北部に位置する九州から山陰地方にかけては、黄砂分布の中心部から大きく外れたものの黄砂の低濃度帯が通過することによって、SPM 濃度が 50 μ g/m^3 を超える程度に上昇したと考えられる。福岡での硫酸イオン濃度は 10 μ g/m^3 以下と低い。

以上より、この期間、沖縄をはじめ九州、山陰が黄砂の影響を受けたものと判断される。

表 5-2-9-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点									SPM平均	県数	積算
2009/4/25	9	佐賀	大分	熊本	鹿児島	宮崎	名瀬	石垣島	宮古島	那覇	18.8	6	113
2009/4/26	2	石垣島	宮古島								21.3	1	21

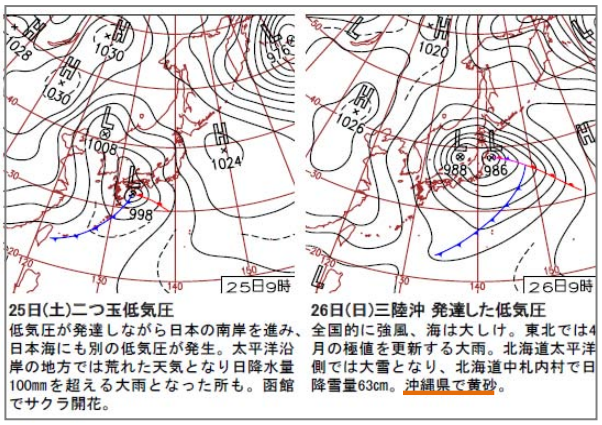


図 5-2-9-1　天気図

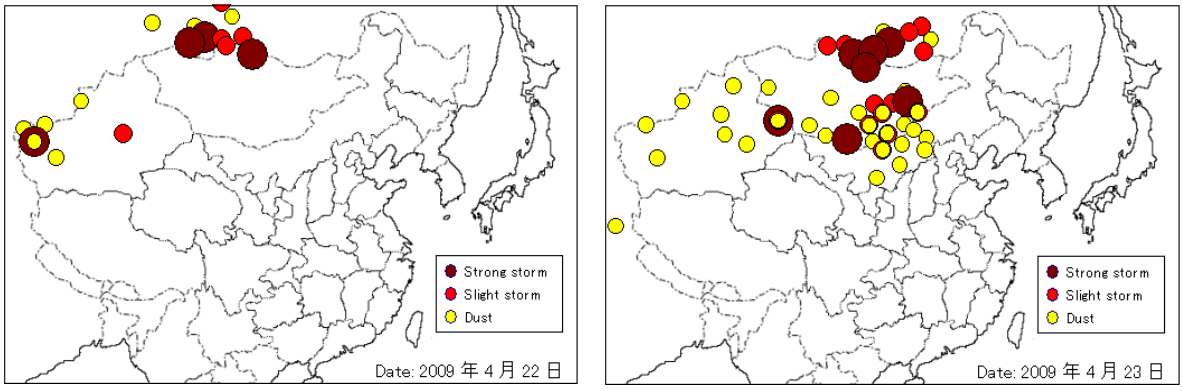


図 5-2-9-2　砂塵嵐発生状況

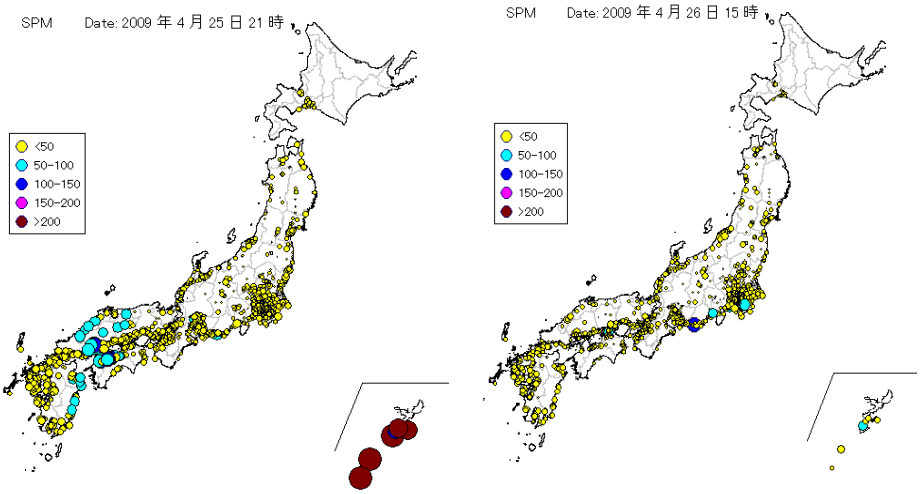


図 5-2-9-3　SPM 濃度全国分布

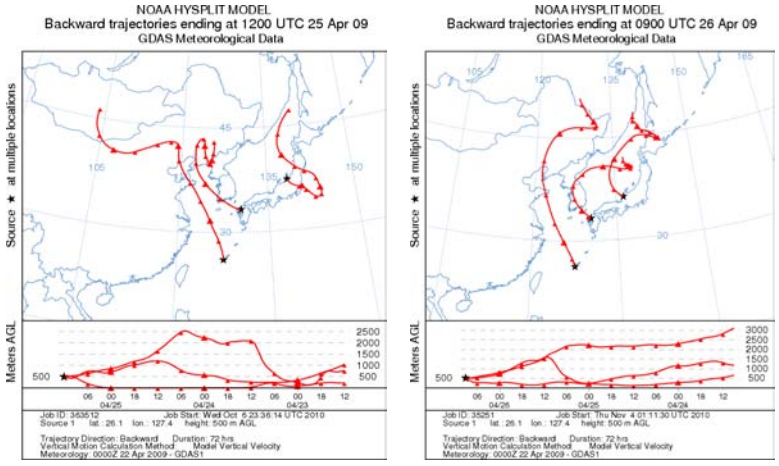


図 5-2-9-4　後方流跡線

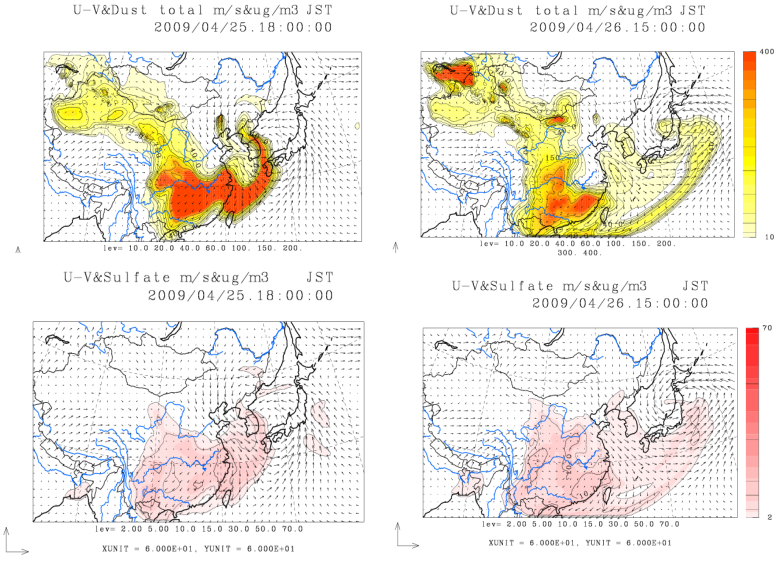


図 5-2-9-5　CFORS(dust･sulfate)の予測結果

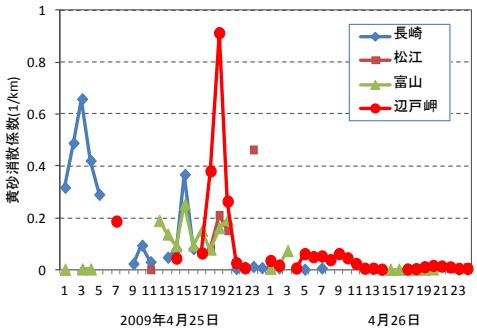


図 5-2-9-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

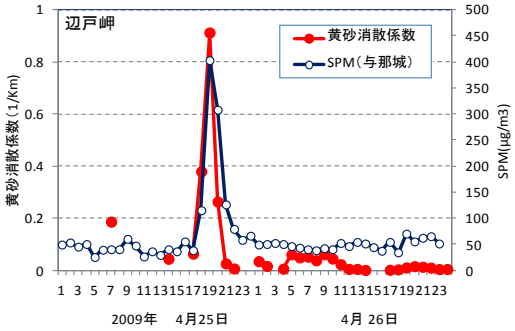


図 5-2-9-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

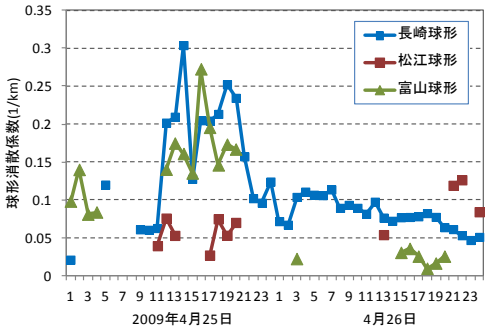


図 5-2-9-8　ライダー球形消散係数の経時変化

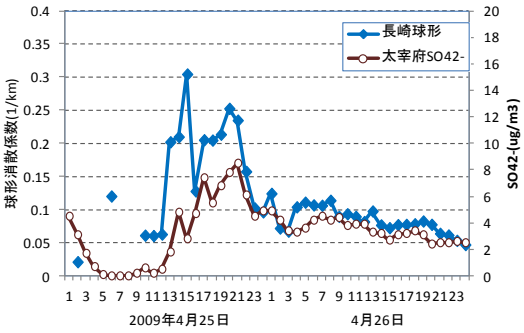


図 5-2-9-9　球形消散係数と SO_4^{2-}の経時変化

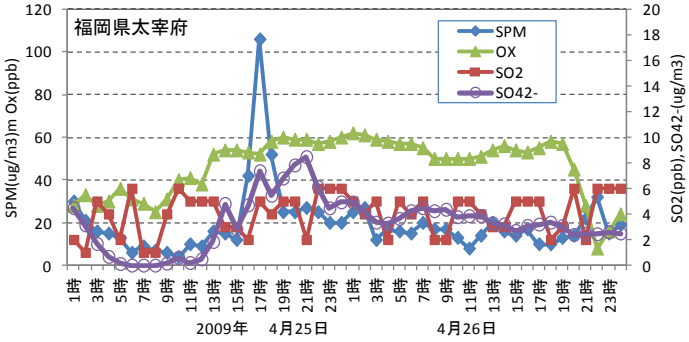


図 5-2-9-10　硫酸イオン等の経時変化

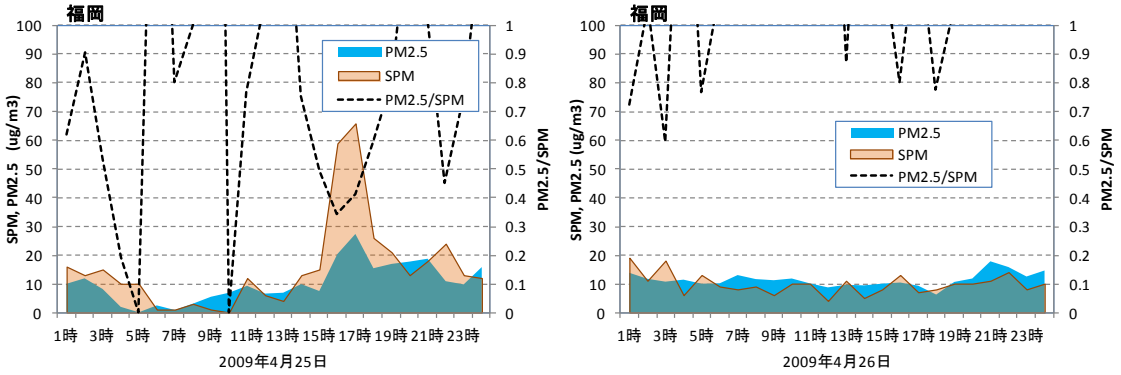


図 5-2-9-11　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(10)　平成 21（2009）年 5 月 8 日

黄砂は、九州の 2 ヶ所で観測されているのみであるが、SPM 濃度の上昇は九州北西部全体で顕著である。この日、九州地方は全域でオキシダント（Ox）の高濃度を示し、29 の観測局で 120ppb を超えており各地で注意報が発令されている。また、太宰府において硫酸イオンをはじめとする大気汚染物質濃度が SPM 濃度と同時に上昇し、硫酸イオン濃度は最高 24.5 μ g/m^3 まで達している。CFORS(sulfate)の予測結果では、低濃度帯が九州を通過している。さらに、$PM_{2.5}$/SPM 比も 1 前後であり、微小粒子の存在割合の大きさを示している。

気圧配置は、九州地方を移動性高気圧が通過する様子がみられ、後方流跡線でも中国沿岸部から韓国を経由して九州に到達している。これらの状況から、SPM 濃度の上昇が、大陸からの移流による硫酸塩エアロゾルの飛来に起因するものと推定される。

表 5-2-10-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点		SPM平均	県数	積算
2009/5/8	2	熊本	鹿児島	41.8	2	84

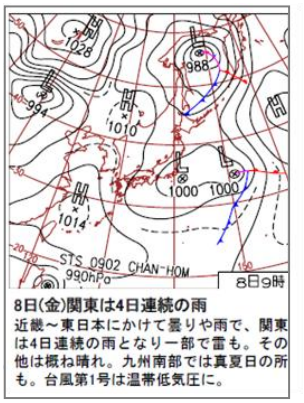


図 5-2-10-1　天気図

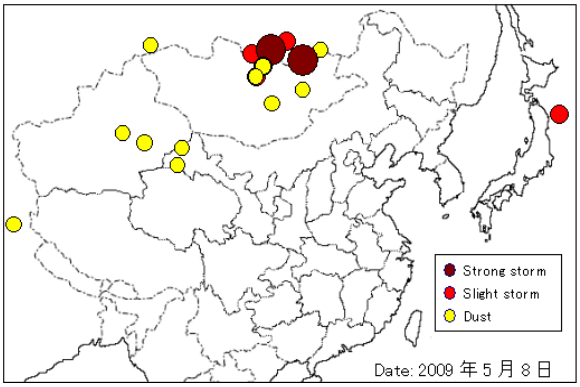


図 5-2-10-2　　砂塵嵐発生状況

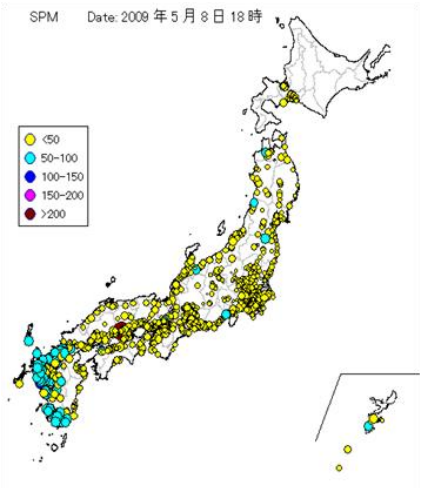


図 5-2-10-3　　SPM 濃度全国分布

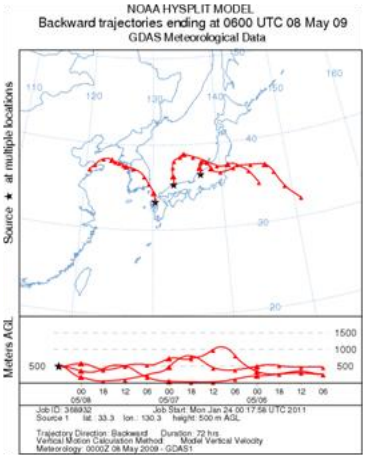


図 5-2-10-4　後方流跡線

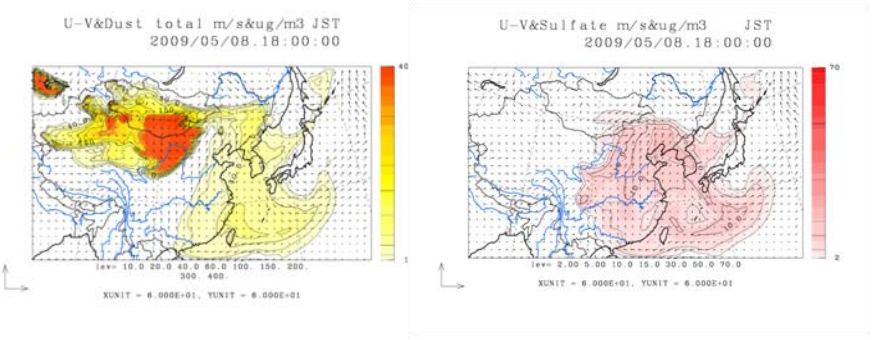


図 5-2-10-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

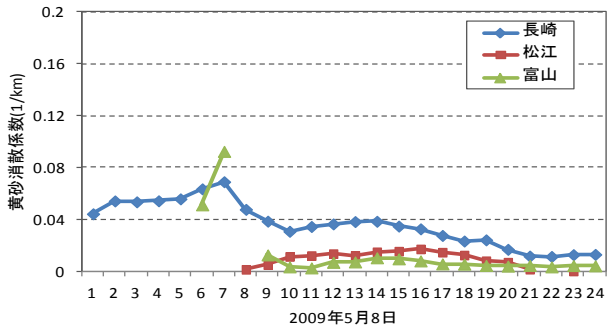


図 5-2-10-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

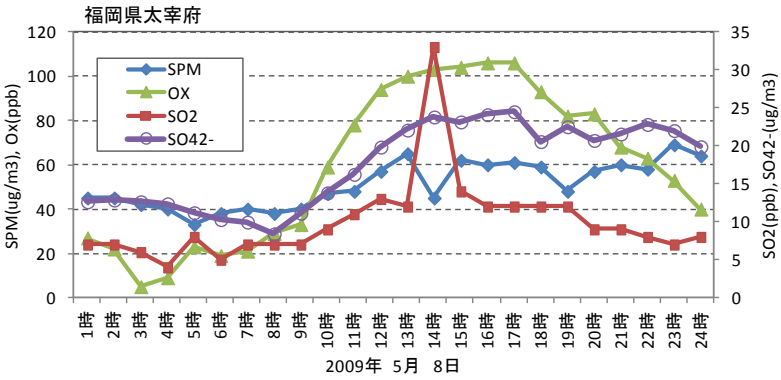


図 5-2-10-7　　硫酸イオン等の経時変化

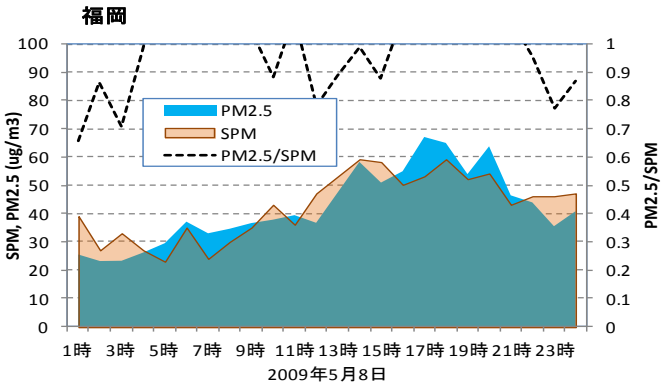


図 5-2-10-8　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(11)　平成 21（2009）年 5 月 19 日

黄砂は青森で観測されている。気圧配置をみると、オホーツク海を低気圧が通過している。後方流跡線はいずれもモンゴル付近からの気塊であることを示しており、CFORS の結果で黄砂の低濃度帯が北日本を中心に日本全土を覆っていることがみられる。ライダーの結果においても札幌で黄砂消散係数の上昇がみられることなどから黄砂の飛来が推定できる。しかし、SPM は 50 μ g/m^3 を超える程度の濃度で全国に分布していることから、規模の小さなものであった。

一方、福岡で硫酸イオン濃度が最高 14 μ g/m^3 となり、また $PM_{2.5}$／SPM 比も 0.8 前後と高く、九州での硫酸塩エアロゾル飛来の気配がみられる。北に黄砂、南に硫酸塩エアロゾルと地域で分離した影響を受けていると考えられる。

表 5-2-11-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点	SPM平均	県数	積算
2009/5/19	1	青森	27.6	1	28

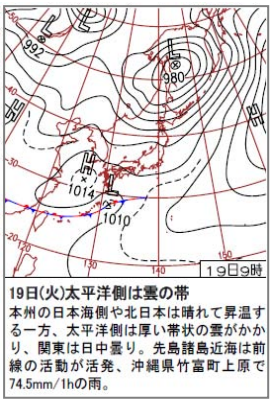


図 5-2-11-1　　天気図

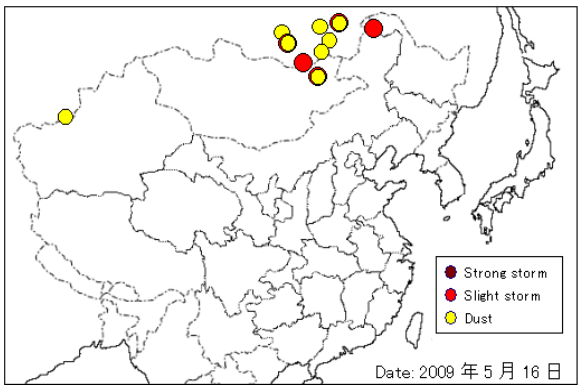


図 5-2-11-2　砂塵嵐発生状況

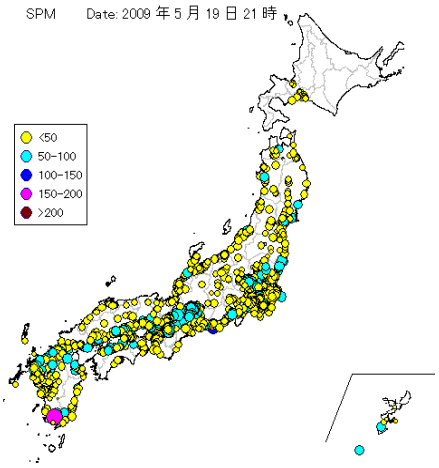


図 5-2-11-3　SPM 濃度全国分布

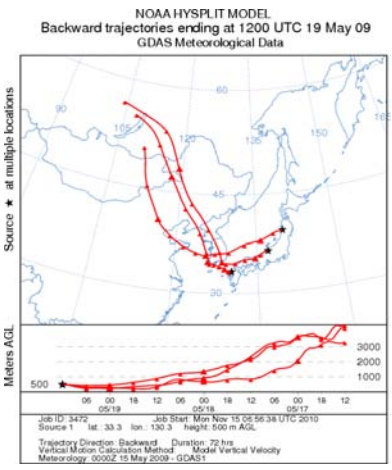


図 5-2-11-4　　後方流跡線

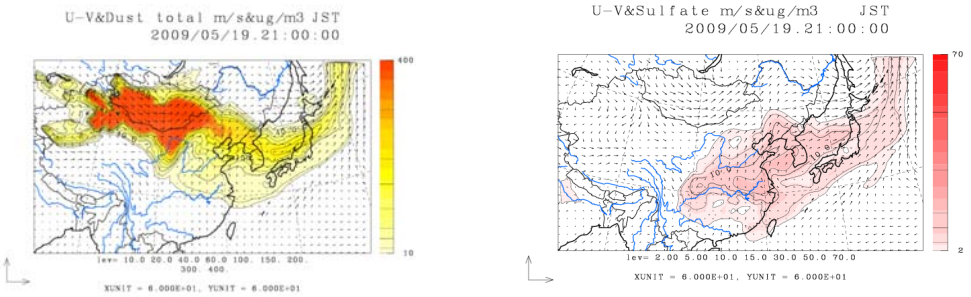


図 5-2-11-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

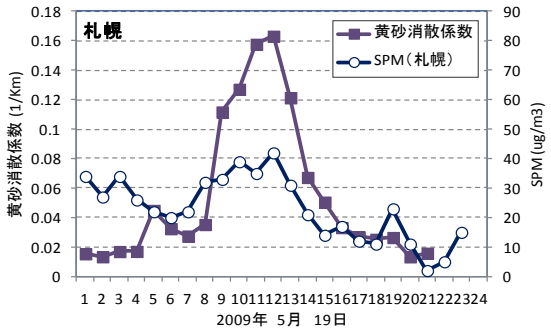


図 5-2-11-6　黄砂消散係数とSPM 濃度の経時変化

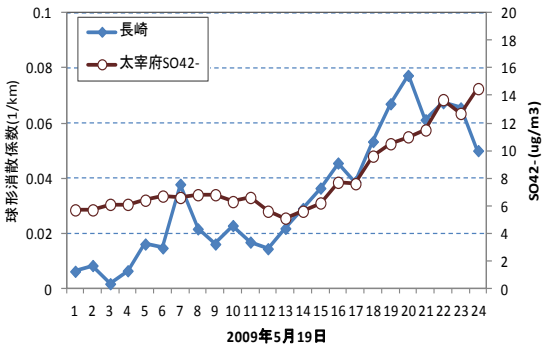


図 5-2-11-7　球形消散係数と硫酸イオンの経時変化

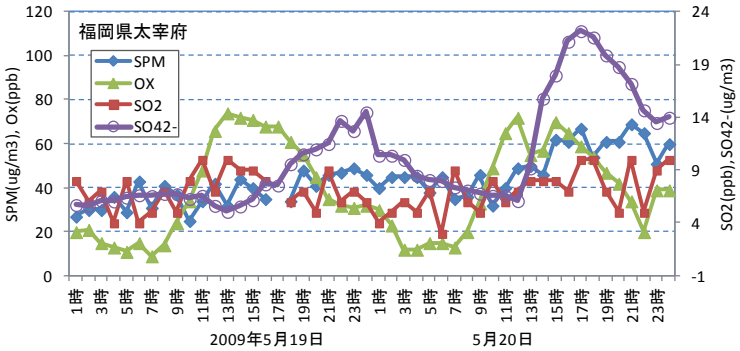


図 5-2-11-8　　硫酸イオン等の経時変化

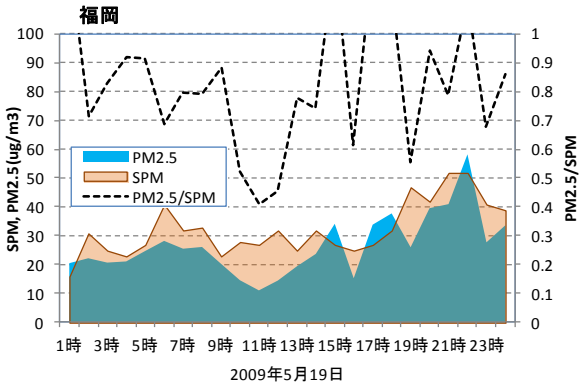


図 5-2-11-9　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(12)　平成 21（2009）年 10 月 19 日～22 日

黄砂の観測は、九州・山陰が中心であるがさほど広い範囲ではない。SPM 濃度の分布でもその地域で 18 日に上昇がみられる。気圧配置は、中国内陸部で発生したと考えられる大きな低気圧が南下し、日本南岸に前線を形成している。後方流跡線は、19 日～22 日の全ての日において、モンゴル方向を示すなど黄砂の飛来の様相を示している。世界気象資料では 18 日にモンゴルにおいて砂塵嵐の発生が観測されている。CFORS では、モンゴル南部の黄砂高濃度帯からの流れが 19 日に九州北部から山陰地方にあり、20 日以降は、日本全土が黄砂の低濃度帯で覆われている様子がみられる。さらに、長崎と松江におけるライダーの結果も、ともに黄砂の飛来を示している。硫酸イオン濃度では、19 日午後に 15 μ g/m^3 を超えており、硫酸塩エアロゾルの飛来もみられている。これは、19 日の福岡での後方流跡線が中国沿岸部を経由していることや CFORS の sulfat の予測からもうかがえる。九州を中心に黄砂が到来し、更に硫酸エアロゾルも同様に飛来したと考えられる。なお、中国（Jyrie）で、18 日 10 時に PM_{10} が 5223 μ g/m^3、韓国（Canghwa）で 20 日 10 時 389 μ g/m^3 を示している[v]。

表 5-2-12-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点						SPM平均	県数	積算
2009/10/19	6	松江	下関	山口	福岡	佐賀	長崎	31.1	5	156
2009/10/20	3	石垣島	宮古島	那覇				38.8	1	39
2009/10/21	2	松江	鳥取					25	2	50
2009/10/22	2	松江	鳥取					25	2	50

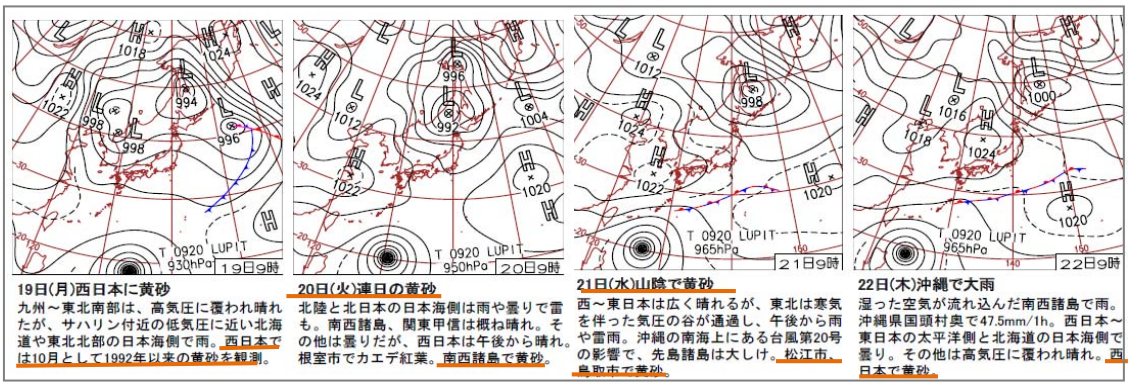


図 5-2-12-1　　天気図

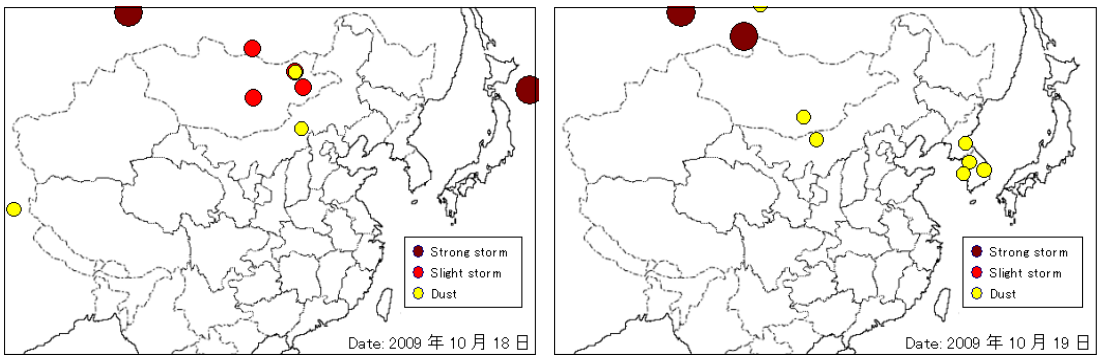


図 5-2-12-2　　砂塵嵐発生状況

[v] 第 4 回日中韓黄砂共同研究ワーキンググループ I 会合（2011.11：北京）資料より

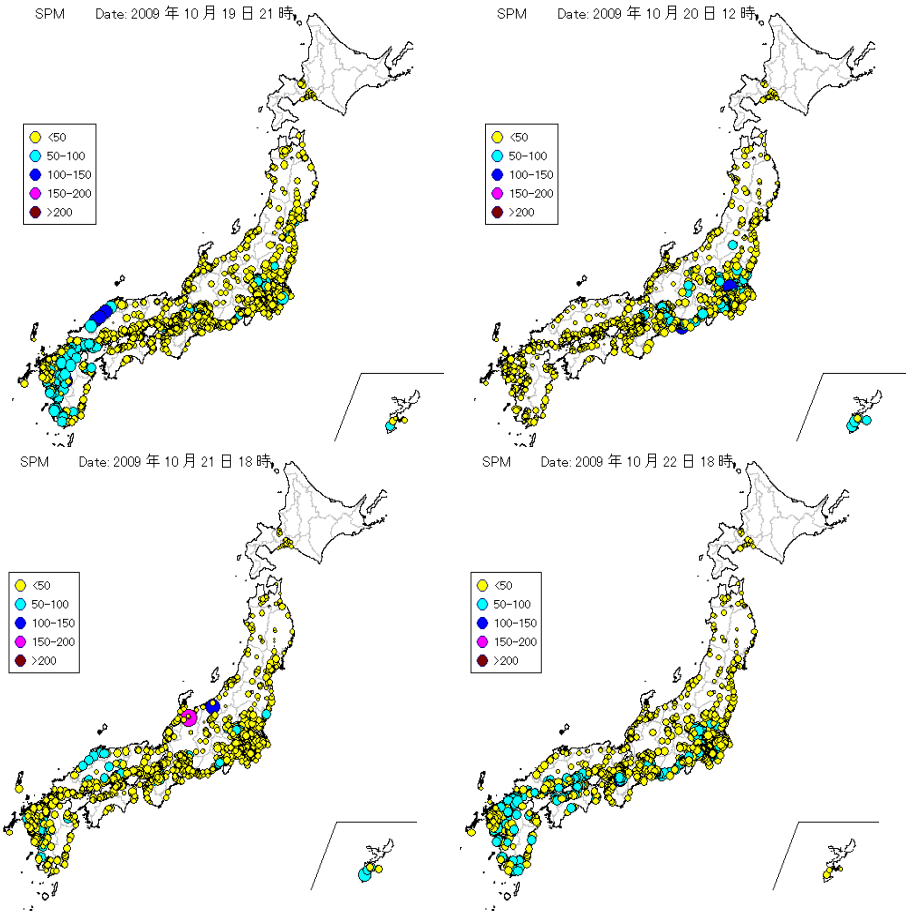


図 5-2-12-3　　SPM 濃度全国分布

S

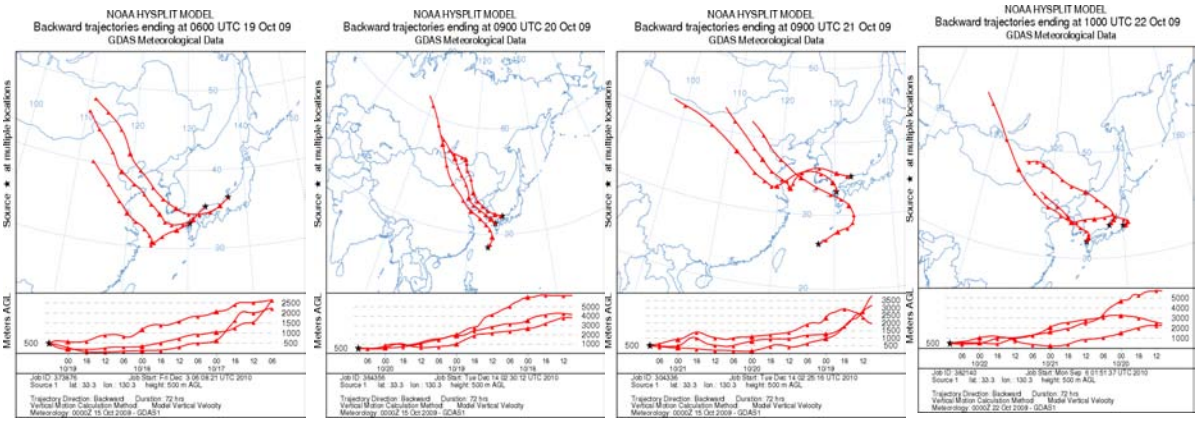


図 5-2-12-4　　後方流跡線

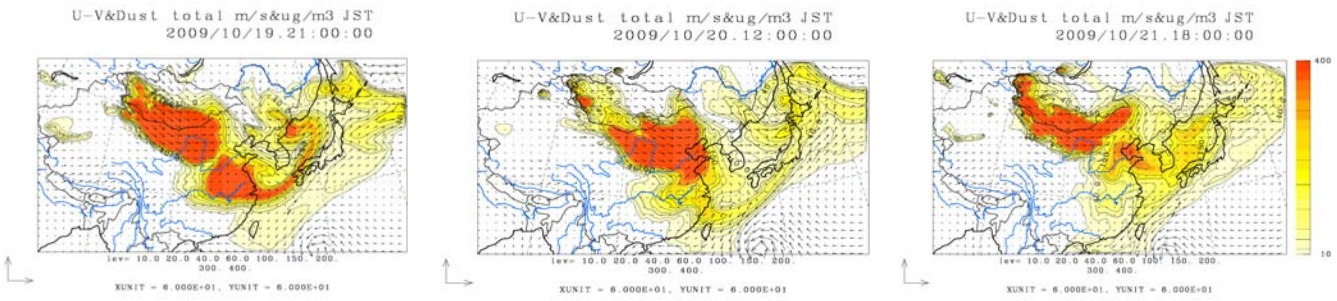


図 5-2-12-5(1)　　CFORS(dust)の予測結果

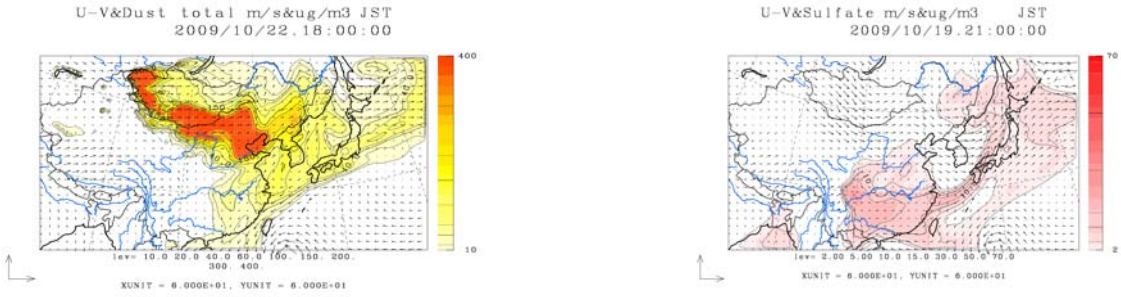


図 5-2-12-5(2)　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

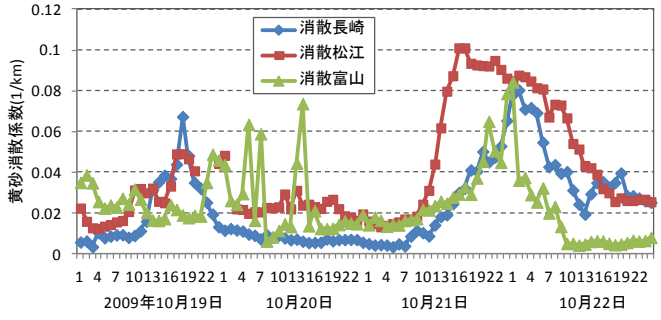


図 5-2-12-6　　ライダー黄砂消散係数の経時変化

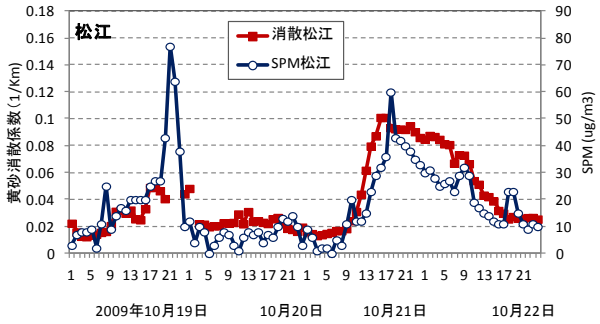


図 5-2-12-7　　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

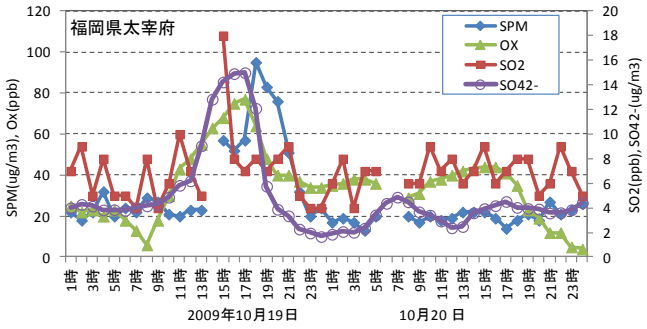


図 5-2-12-8　　硫酸イオン等の経時変化

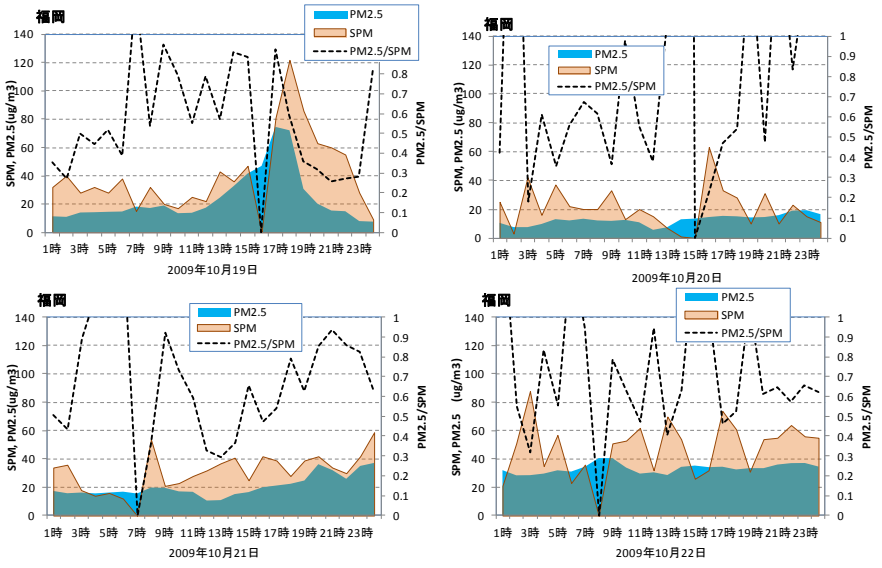


図 5-2-12-9　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(13)　平成 21（2009）年 12 月 26 日～27 日

26 日は、29 地点で黄砂が観測されており、また SPM 濃度でも西日本から関東まで広い範囲で高濃度帯がみられる。気圧配置は、26 日には北海道にある低気圧からの前線が日本の南岸に形成され黄砂の典型事例に近いものである。後方流跡線をみると、前日の 25 日夜は中国沿岸部からの影響を受け、その後モンゴル付近からに変わっていた。硫酸イオンは 26 日の 1 時に 20 μ g/m^3 を超えていたが、その後、急激に減少している。$PM_{2.5}$／SPM 比も 26 日は 0.2 程度で粗大粒子の割合が大きいことを示している。硫酸エアロゾルが飛来した後、黄砂が関東や東北など全国的に広がった現象である。なお、中国（Jurihe）で 25 日 15 時に PM_{10} が 8030 μ g/m^3、韓国（Suwon）で 25 日 22 時に 800 μ g/m^3 を示し、韓国では 25 日に Haze が観測されている[vi]。

表 5-2-13-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
2009/12/26	29	輪島	金沢	福井	津	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	48.4	24	1162
		広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	福岡	佐賀	大分			
		長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬				
2009/12/27	1	輪島										26.6	1	27

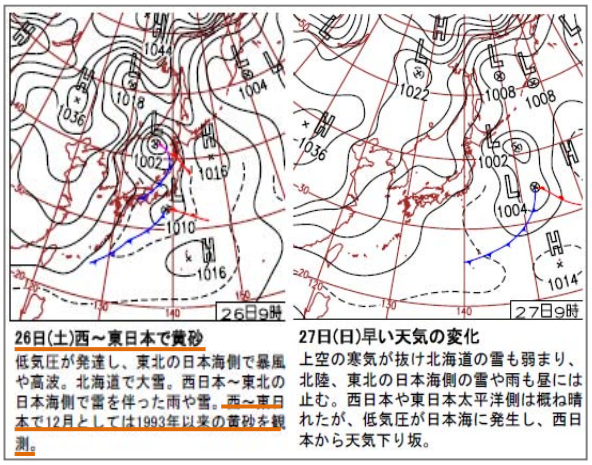


図 5-2-13-1 天気図

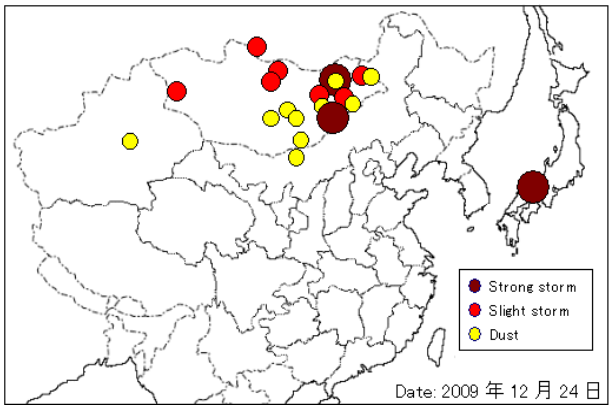
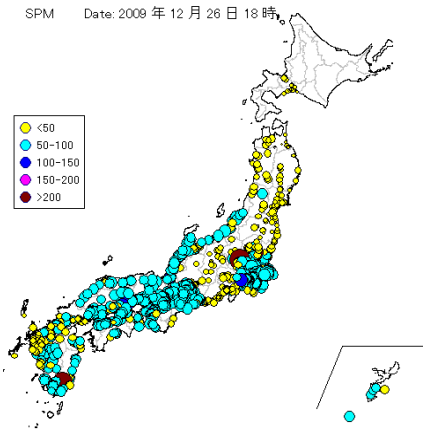


図 5-2-13-2　砂塵嵐発生状況



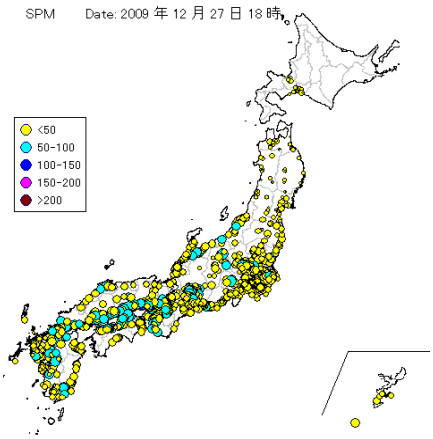


図 5-2-13-3　SPM 濃度全国分布

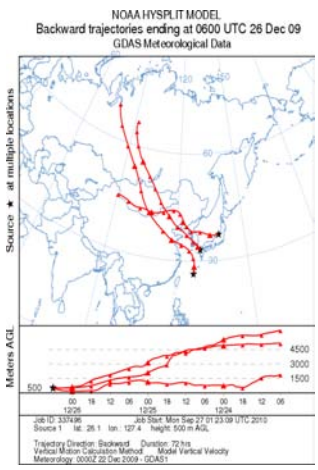


図 5-2-13-4　後方流跡線

[vi] 第 4 回日中韓黄砂共同研究ワーキンググループ I 会合（2011.11：北京）資料より

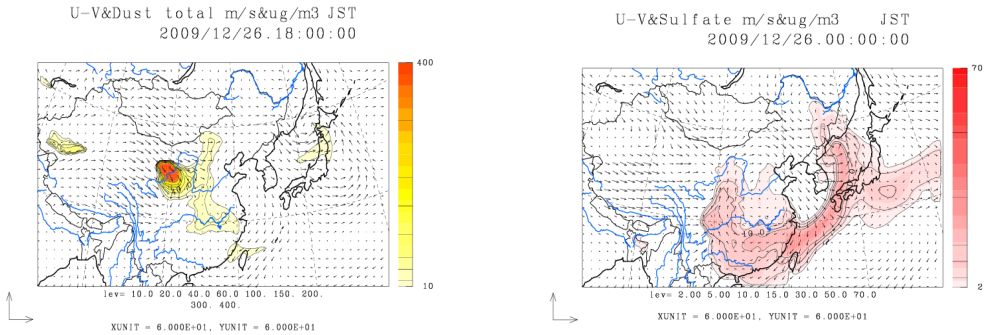


図 5-2-13-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

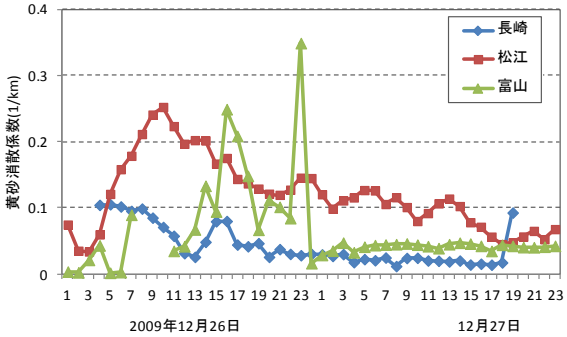


図 5-2-13-6　　ライダー黄砂消散係数の経時変化

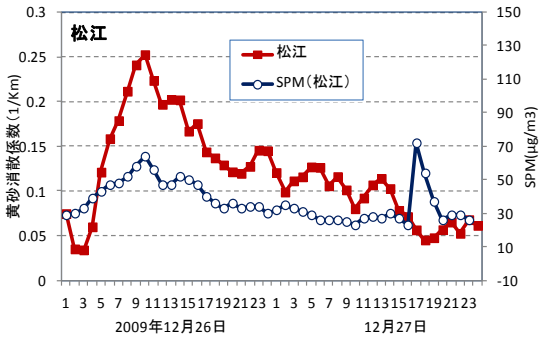


図 5-2-13-7　　黄砂消散係数とSPM 濃度の経時変化

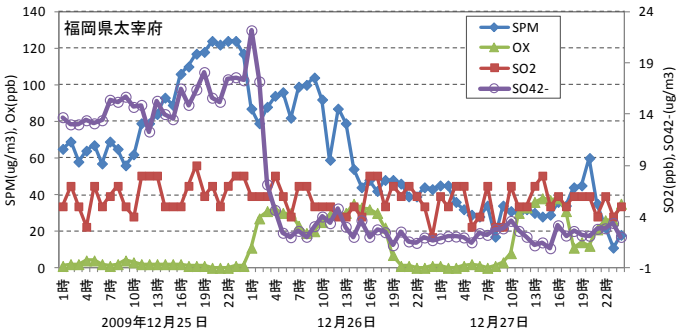


図 5-2-13-8　　硫酸イオン等の経時変化

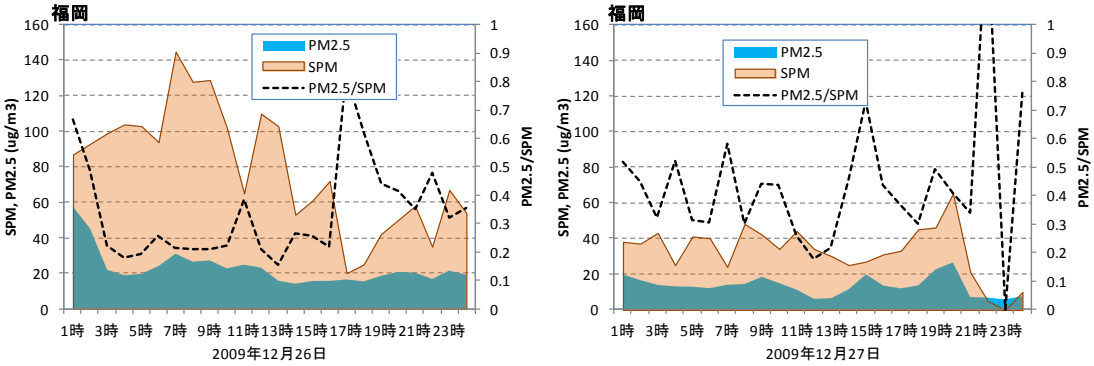


図 5-2-13-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(14)　平成 22（2010）年 3 月 13 日～14 日

黄砂の観測は、関西・中国・四国・九州と比較的広範囲であるが、SPM濃度の分布ではさほど大きな高濃度域はみられない。気圧配置は、日本南岸に前線があることや、中国大陸からの移動性高気圧が通過しているなど、移流の影響を受けやすいものである。後方流跡線は、13日の前半において中国都市部からの気塊を示しており、14日にはモンゴル方向になっている。福岡における硫酸イオン濃度は13日に13 μg/m^{3}まで上がり、その後減少している。九州で弱い硫酸塩エアロゾルの飛来があり、その後小規模な黄砂が到来したものと考えられる。

表 5-2-14-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観 測 地 点										SPM平均	県数	積算
2010/3/13	14	福井	岐阜	松江	鳥取	舞鶴	彦根	下関	広島	岡山	神戸	32.6	13	424
		山口	福岡	松山	高松									
2010/3/14	5	大阪	和歌	松山	高松	高知						26.9	5	135

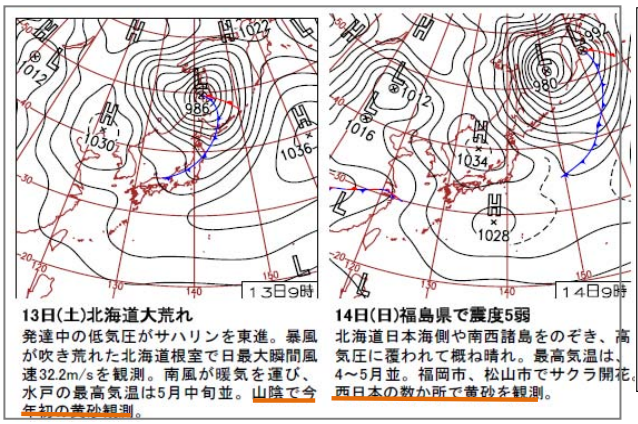


図 5-2-14-1　　天気図

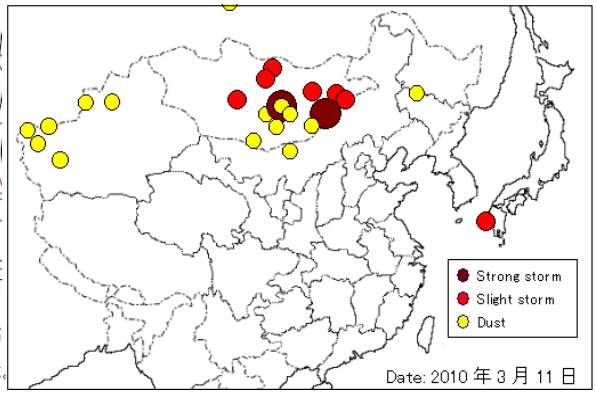


図 5-2-14-2　　砂塵嵐発生状況

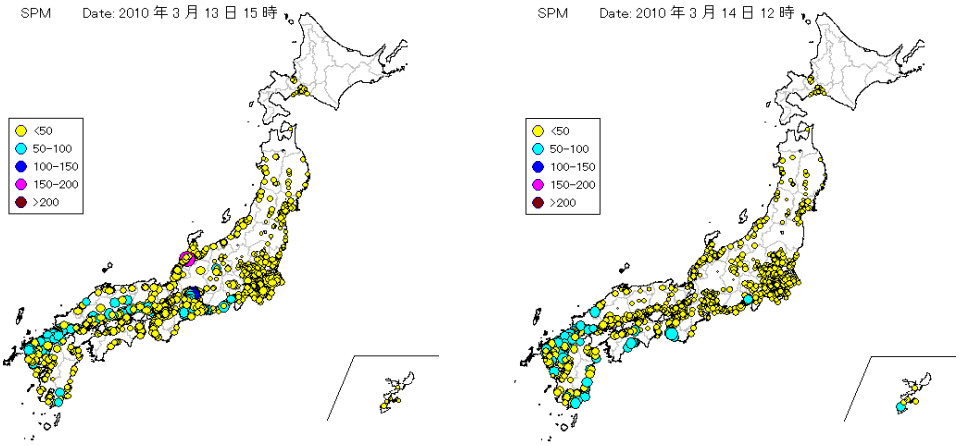


図 5-2-14-3　　SPM 濃度全国分布

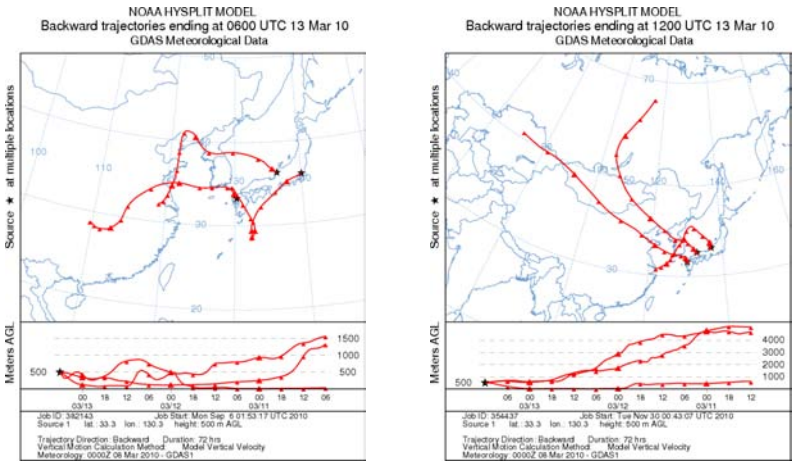


図 5-2-14-4　　後方流跡線

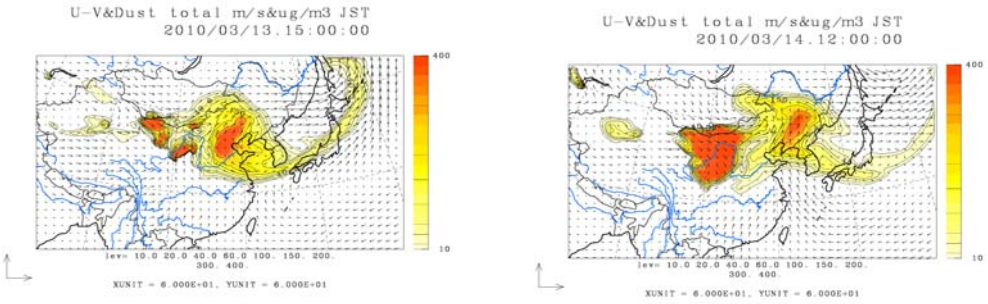


図 5-2-14-5　　CFORS(dust)の予測結果

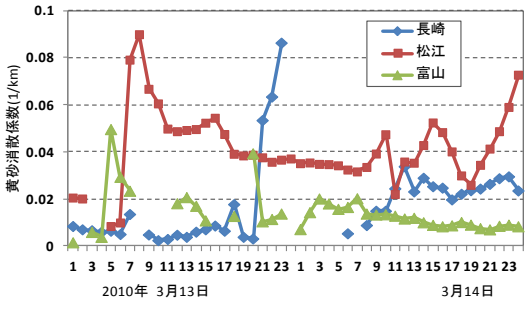


図 5-2-14-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

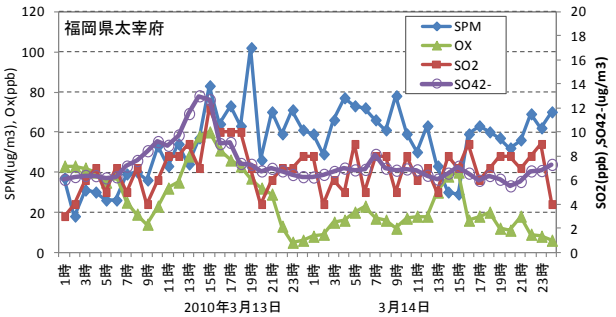


図 5-2-14-7　　硫酸イオン等の経時変化

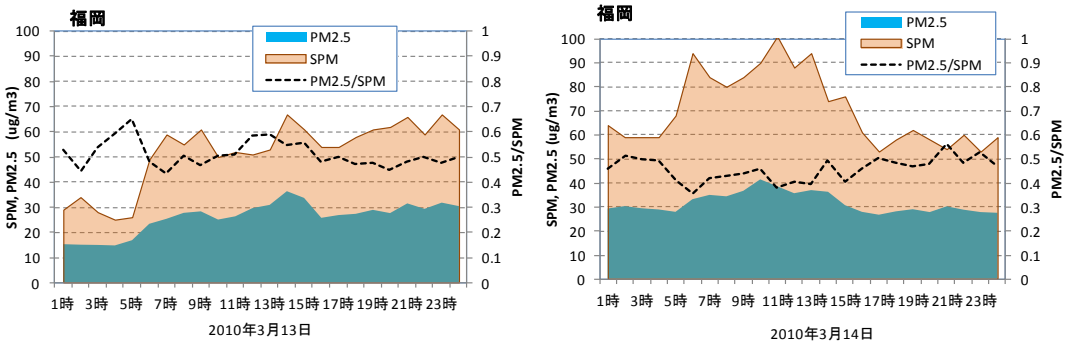


図 5-2-14-8　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(15)　平成22（2010）年3月16日～17日

黄砂の観測は 16 日に 27 ヶ所で、九州・中国・四国・関西に広がっている。SPM 濃度の分布においては九州、中国地方を中心に 50 μg/m^3 を超える濃度の SPM が多くの測定局で観測された。気圧配置は、北海道に低気圧が位置し、そこから三陸沿岸及び日本南岸に前線が形成されており、黄砂時によくみられる気圧配置である。14 日（2 日前）にはモンゴル東北部で砂塵嵐が観測されている。後方流跡線も 16 日はモンゴルを起点としており、黄砂の様相である。 CFORS においても黄砂の低濃度帯が九州から関東地方まで覆っている。ライダーの結果は、長崎及び松江で黄砂消散係数と SPM 濃度との上昇の同期がみられている。太宰府の硫酸イオンの濃度上昇はみられてない。$PM_{2.5}$／SPM 比は SPM 高濃度時 0.2～0.3 で粗大粒子の増加を示している。以上から、黄砂単独による飛来と推定される。

表 5-2-15-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観　測　地　点										SPM平均	県数	積算
2010/3/16	27	福井	岐阜	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山	33	25	820
		神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本			
		鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬						
2010/3/17	3	和歌山	松山	徳島								19	3	56

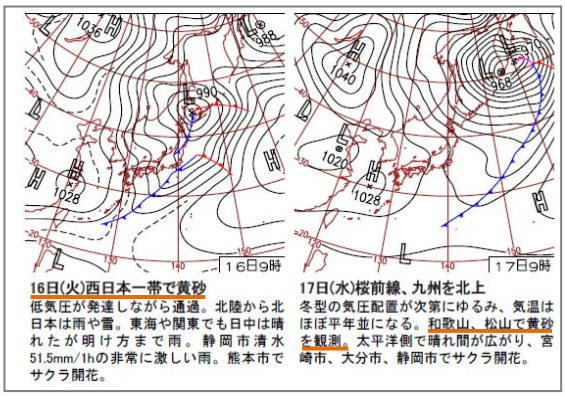


図 5-2-15-1　　天気図

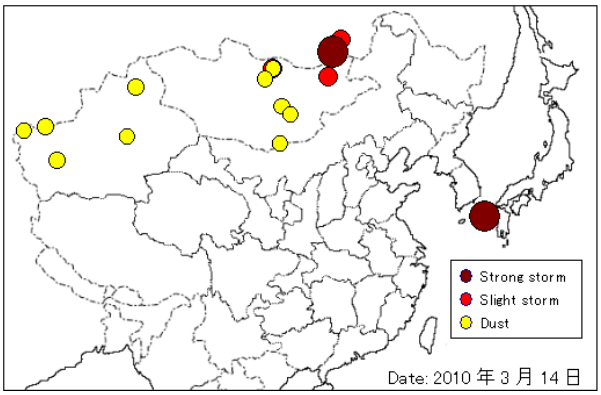


図 5-2-15-2　砂塵嵐発生状況

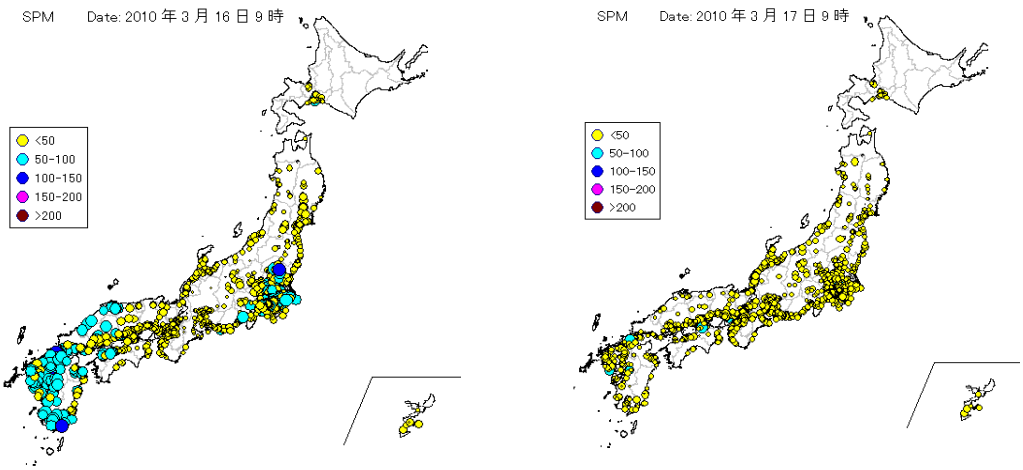


図 5-2-15-3　　SPM 濃度全国分布

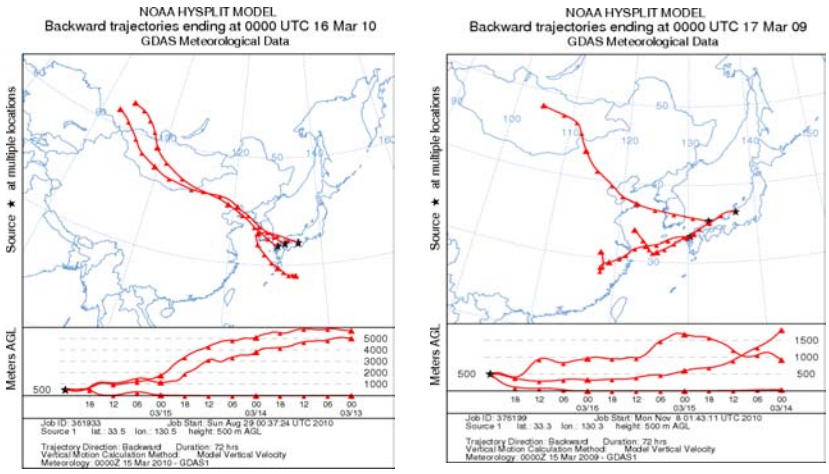


図 5-2-15-4　　後方流跡線

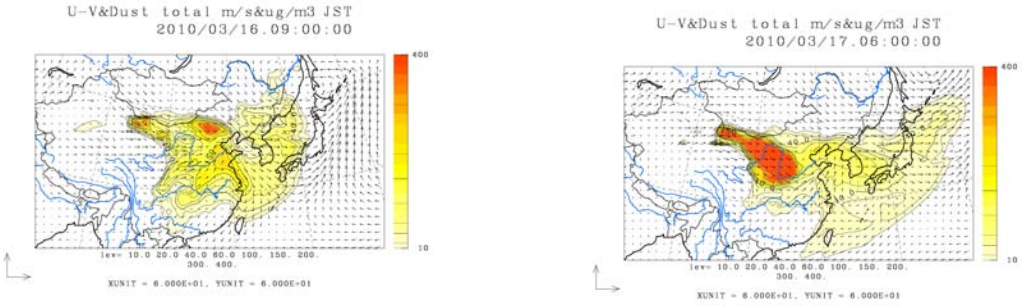


図 5-2-15-5　　CFORS(duste)の予測結果

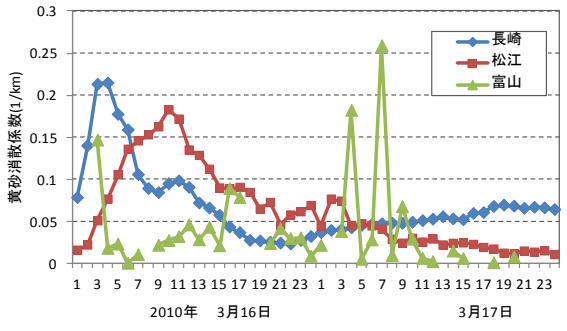


図 5-2-15-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

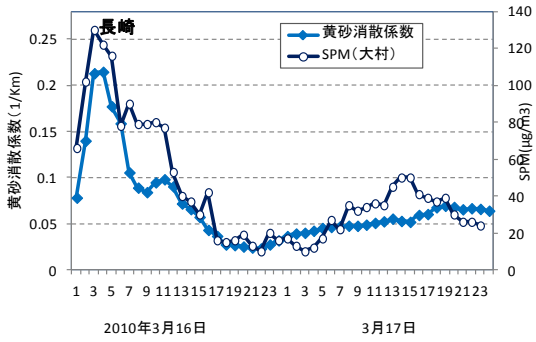


図 5-2-15-7　黄砂消散係数とSPM 濃度の経時変化

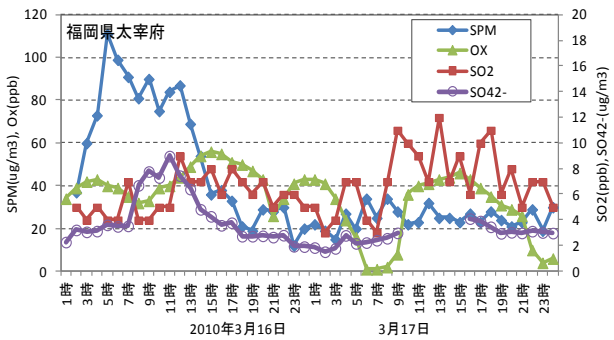


図 5-2-15-8　　硫酸イオン等の経時変化

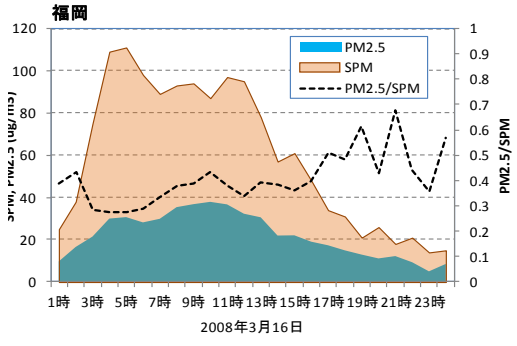


図 5-2-15-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と$PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

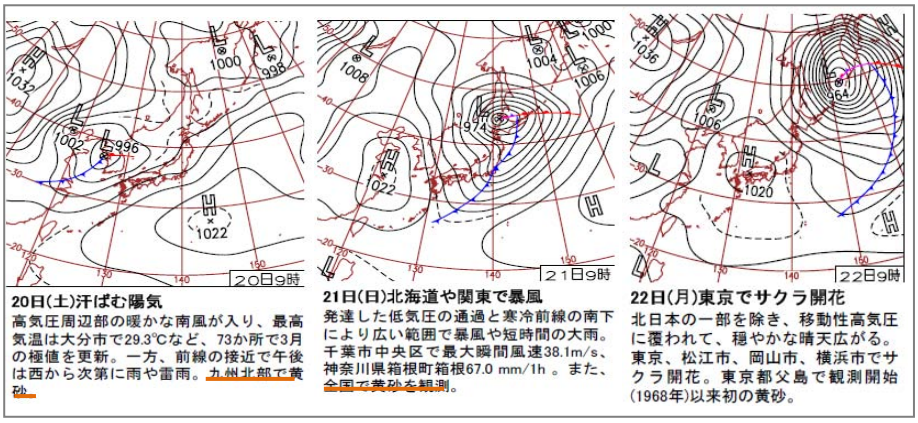
(16)　平成 22（2010）年 3 月 20 日～24 日

本事例は、沖縄から北海道にかけて全国で黄砂が観測され、SPM濃度がピークで800μg/m³を超える測定局があるなど、濃度の高さ、範囲ともにこれまでにない大きな黄砂である。

気圧配置は、20 日、日本海にある前線を伴う低気圧が 21 日に北海道東岸に移動し、日本の東南海上に前線が延びた状態になっている。19 日には、モンゴルで大きな砂塵嵐が観測されている。後方流跡線は 19 日夜中から 20 日早くまで中国沿岸部であるが、21 日にはモンゴル方向に変わっている。CFORS では 21 日強い黄砂の流れが全国を覆うと予測されている。ライダーの黄砂消散係数でも 20 日夜半から 21 日昼頃までにかけて、いずれの地点でも大きな上昇を示し、併せて各地点で SPM 濃度との強い相関がみられた。一方、黄砂到来直前に、福岡で硫酸イオン濃度が 20μg/m³ 近くまで上昇しており、硫酸塩エアロゾルの到来も示している。したがって、硫酸塩エアロゾルと黄砂が短い時間差で到来したものと考えられる。

表 5-2-16-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観　測　地　点										SPM平均	県数	積算
2010/3/20	5	下関	福岡	佐賀	長崎	熊本						66	5	330
2010/3/21	63	稚内	旭川	札幌	帯広	室蘭	函館	若松	青森	秋田	盛岡	98.7	47	4639
		山形	仙台	福島	輪島	新潟	金沢	富山	長野	宇都宮	福井			
		前橋	熊谷	水戸	岐阜	名古屋	甲府	つくば	銚子	津	御前崎			
		静岡	東京	横浜	千葉	松江	鳥取	舞鶴	京都	彦根	下関			
		広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	山口	福岡	佐賀	大分			
		長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬	石垣島			
		宮古島	那覇	南大東										
2010/3/22	6	名瀬	石垣島	宮古島	那覇	南大東	父島					58.9	2	118
2010/3/23	6	名瀬	石垣島	宮古島	那覇	南大東	父島					88.8	1	89
2010/3/24	4	名瀬	那覇	南大東	父島							22.8	1	23



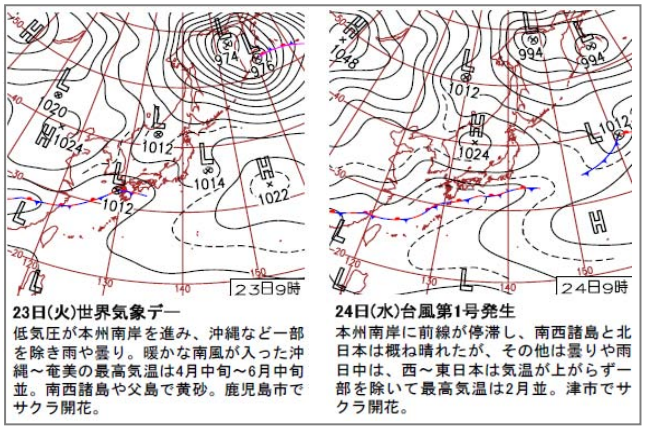


図 5-2-16-1　　天気図

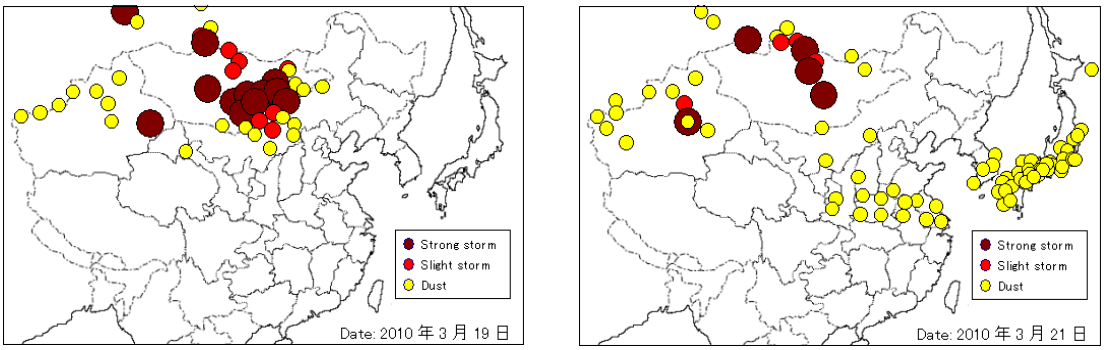


図 5-2-16-2　　砂塵嵐発生状況

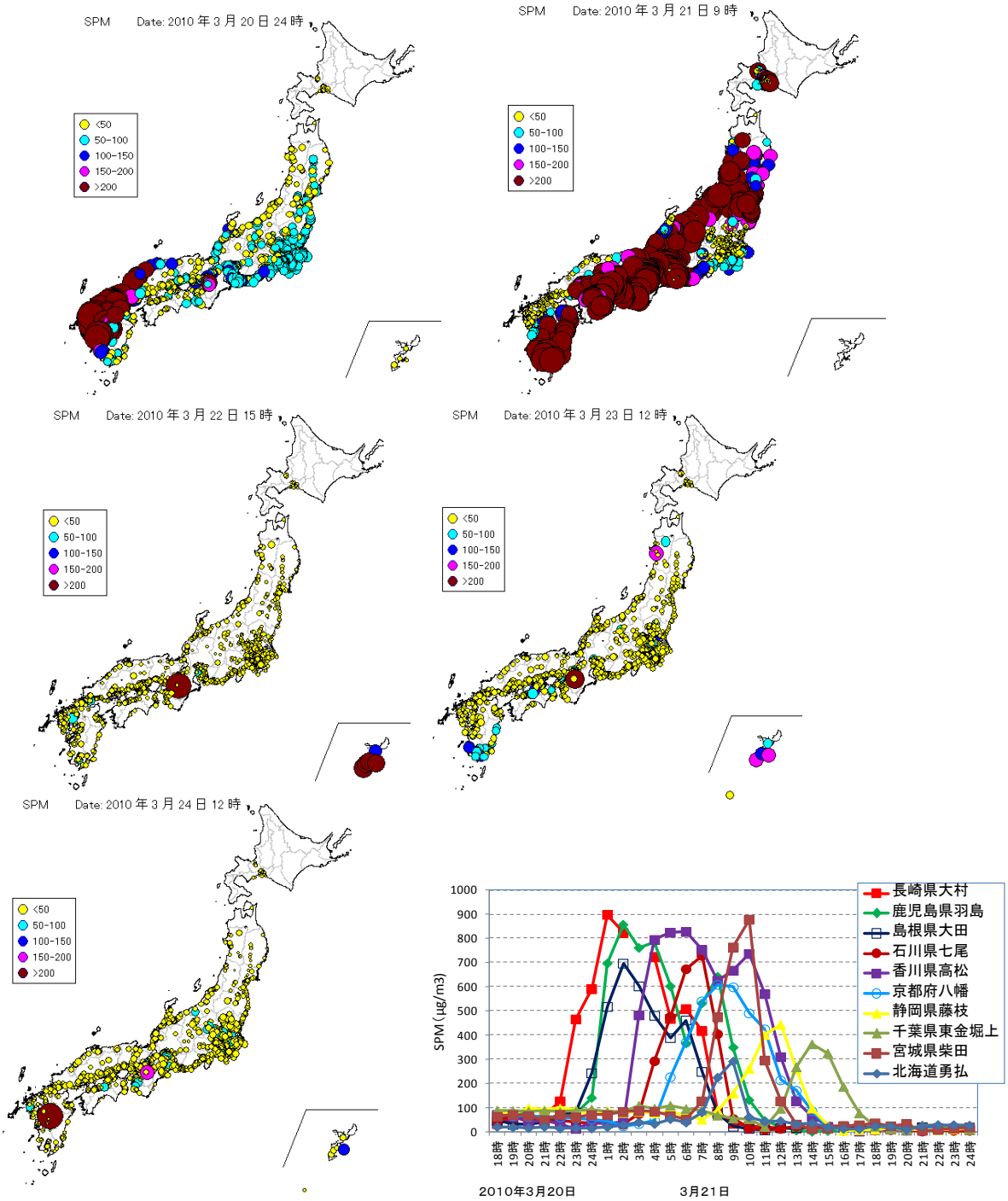


図 5-2-16-3　　SPM 濃度全国分布と主要地点の経時変化

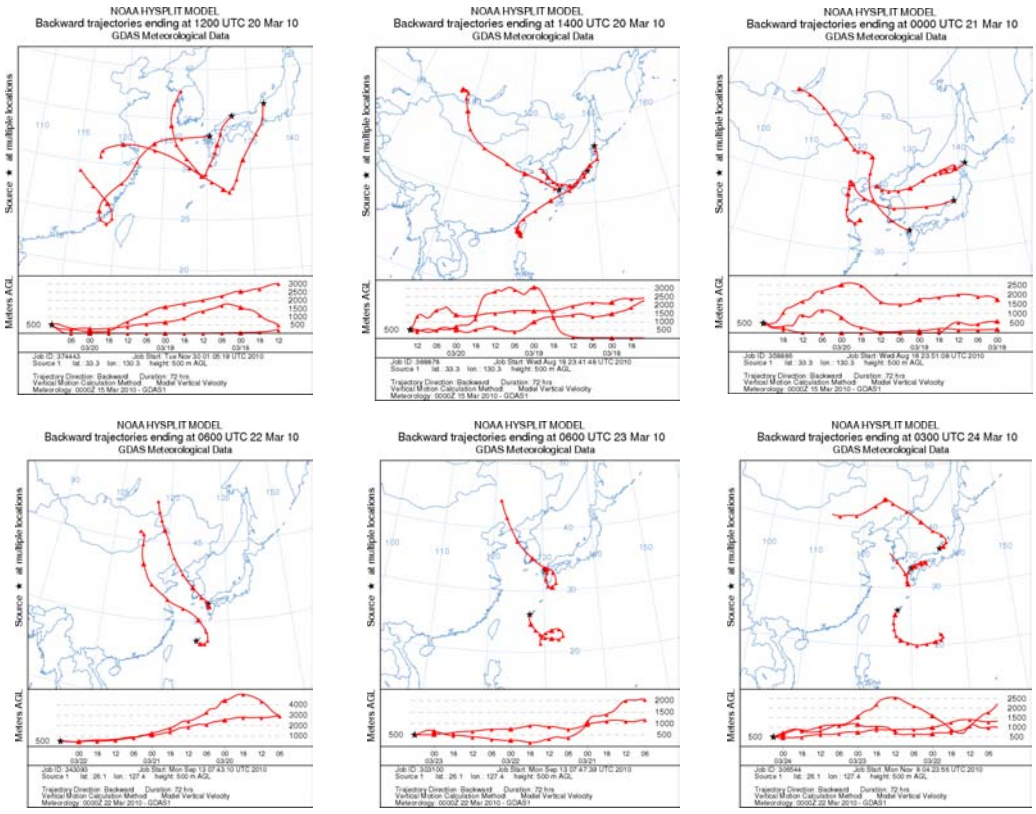


図 5-2-16-4　　後方流跡線

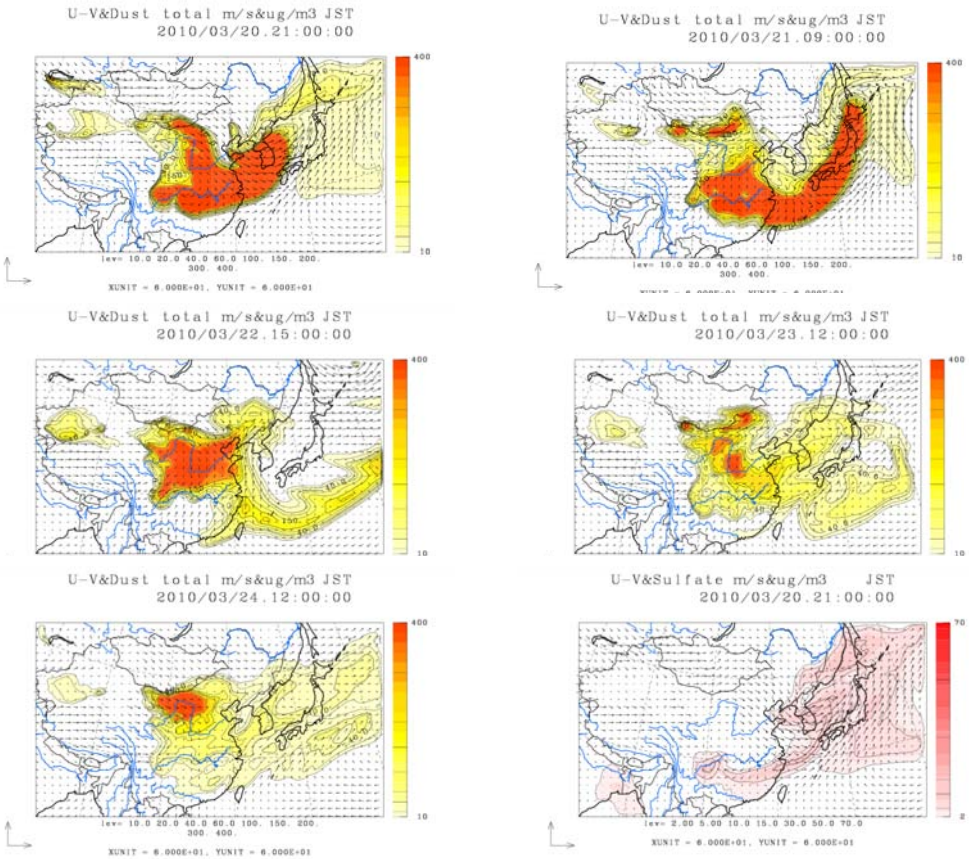


図 5-2-16-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

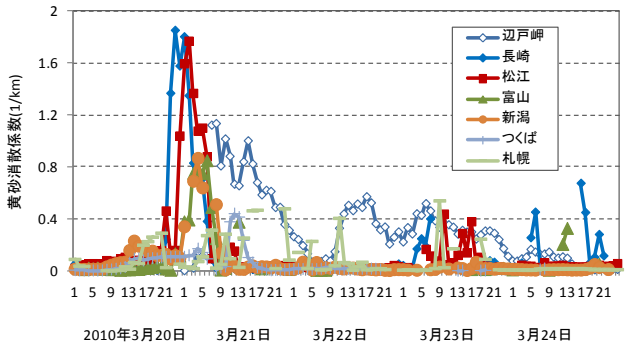


図 5-2-16-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

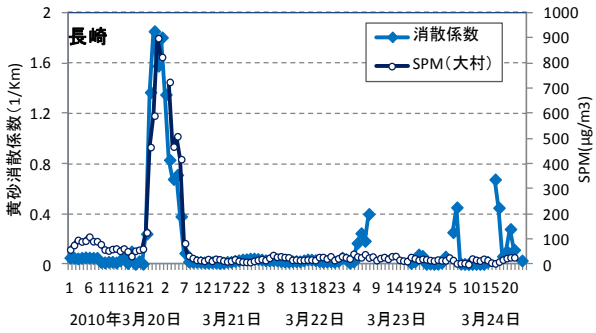


図 5-2-16-7　黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

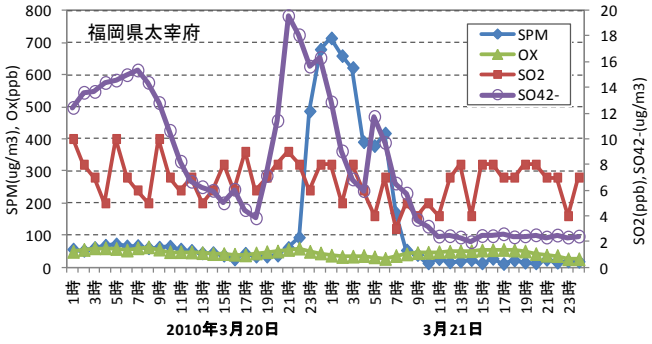


図 5-2-16-8　硫酸イオン等の経時変化

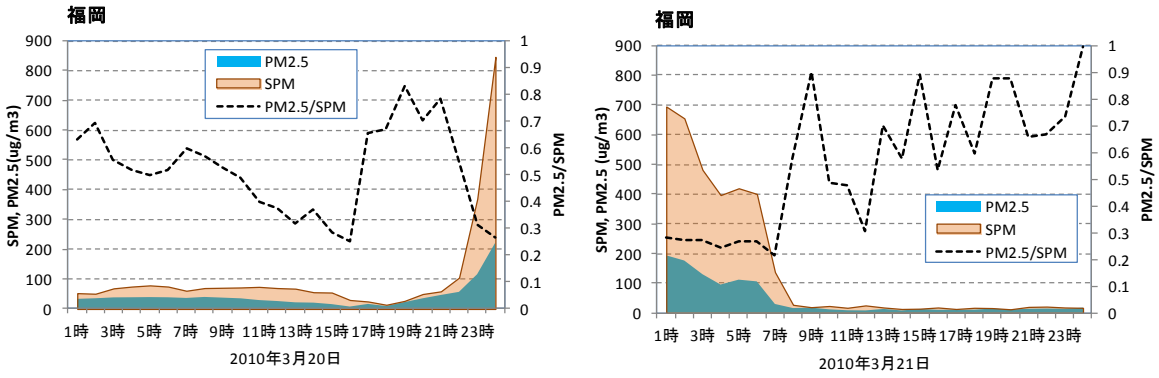


図 5-2-16-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(17)　平成 22（2010）年 4 月 2 日～3 日

2 日は北海道・東北、3 日は北海道・東北と九州で、黄砂が観測されている。SPM 濃度分布では、2 日に北海道・東北で高濃度域がみられ、3 日には九州にもみられている。

気圧配置は、北海道の北方に位置する低気圧から延びる寒冷前線が本州を南下するとともに九州の西方には移動性高気圧が位置している。モンゴルで 3 月 30 日に砂塵嵐の発生がみられている。北海道から東北にかけて黄砂が観測され、後方流跡線によるとその時の気塊はモンゴル方面からのものである。

$PM_{2.5}$／SPM 比の値が低く、また、硫酸イオン濃度も低いことから、黄砂単独の飛来と推定される。

表 5-2-17-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点	観測地点名									SPM濃度	県数	積算
2010/4/2	9	稚内	旭川	札幌	帯広	室蘭	函館	青森	秋田	名瀬	34	3	102
2010/4/3	5	帯広	函館	青森	福岡	熊本					29	4	116

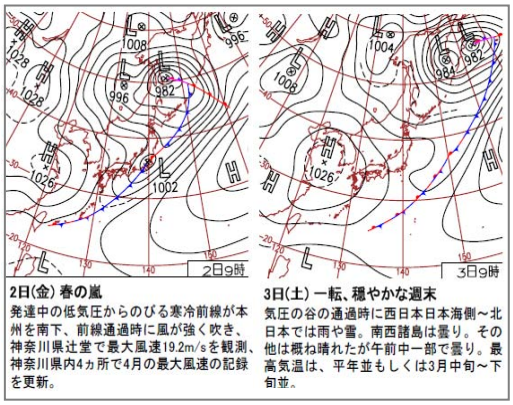


図 5-2-17-1　　天気図

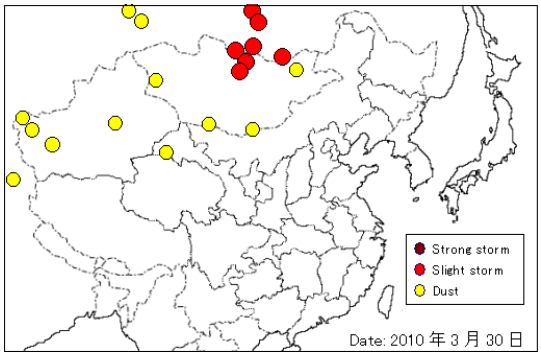


図 5-2-17-2　　砂塵嵐発生状況

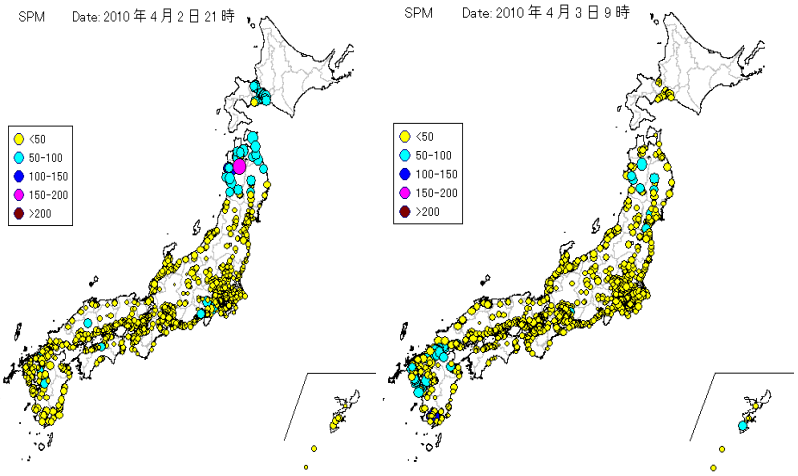


図 5-2-17-3　　SPM 濃度全国分布

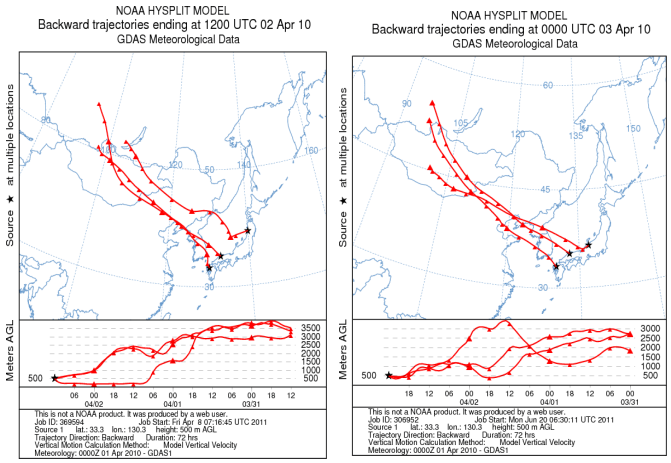


図 5-2-17-4　　後方流跡線

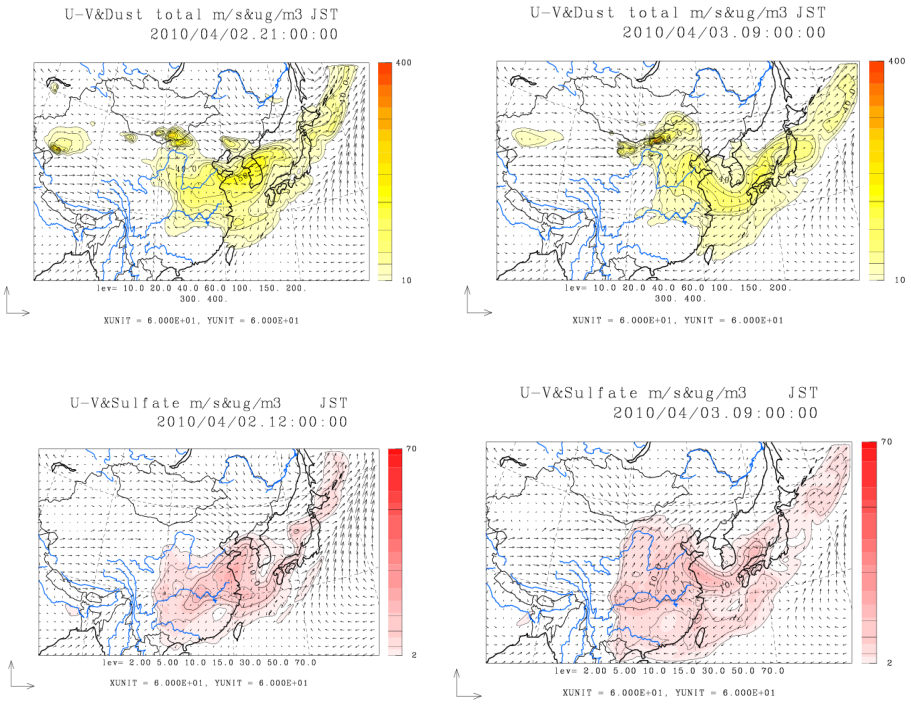


図 5-2-17-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

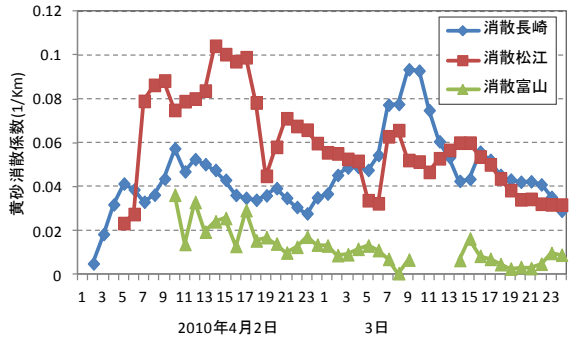


図 5-2-17-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

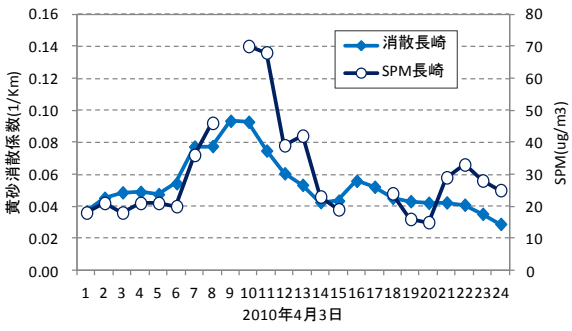


図 5-2-17-7　黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化

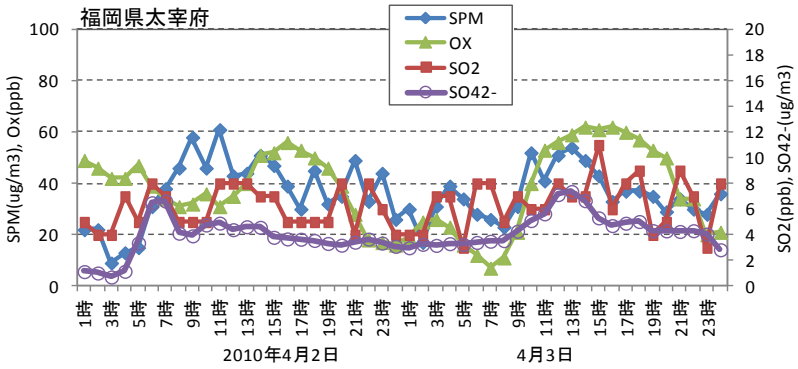


図 5-2-17-8　　硫酸イオン等の経時変化

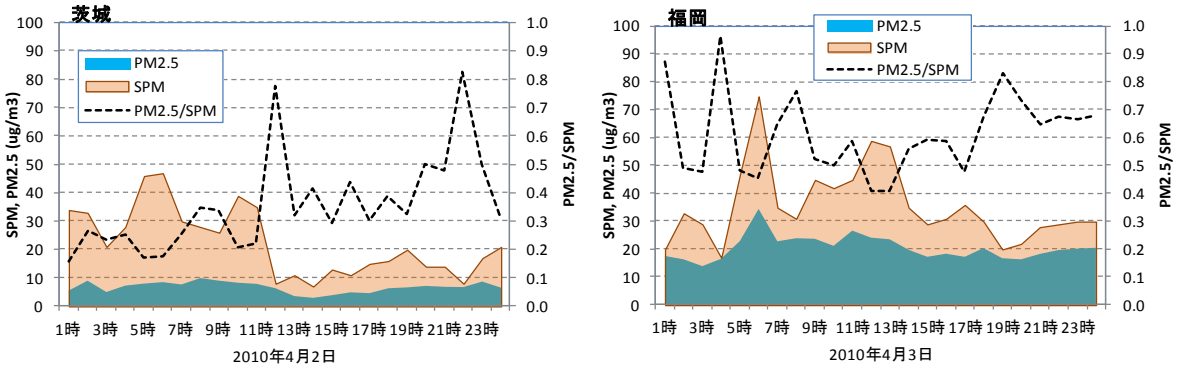


図 5-2-17-9　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(18)　平成 22（2010）年 4 月 27 日～5 月 2 日

この時期､4 月 27 日から 5 月 6 日まで 10 日間連続して全国のいずれかの地点で黄砂が観測されている。しかし、黄砂の発生と飛来は連続したものではないため、4 月 27 日～5 月 2 日と 5 月 3 日～6 日の二つに分けて解析した。

黄砂は 4 月 27 日に 13 地点、30 日に 23 地点と、この 2 日に多くの地点で観測されている。SPM 濃度分布ではいずれの日も九州を中心に高濃度域がみられる。気圧配置は、27 日、前線を伴った低気圧が九州から四国南岸を東進しており、同時に九州西方、中国地方南部には移動性高気圧が位置する状況となっている。24 日と 27 日には、モンゴルで砂塵嵐の発生が観測されている。28 日と 5 月 1 日の後方流跡線がモンゴル方向からの影響を示している。CFORS においては、27 日に dust の高濃度帯が九州を覆っていることがわかる。この日は九州の長崎だけではなく、松江、富山においてもライダー黄砂消散係数が上昇しており、黄砂の影響が示唆された。またこの期間、長崎で黄砂消散係数と SPM 濃度の同時上昇があり、黄砂の影響がみられた。成分濃度調査では長崎で 27～28 日に TSP が 100 μ g/m^3 を超え、Al も 5.9 μ g/m^3 と高い。一方で、硫酸イオン濃度は、27 日に 13 μ g/m^3 まで上昇しており、この時の後方流跡線の方向と併せると硫酸塩エアロゾルの飛来があったと考えられる。これらのことから、27 日に九州、28・29 日に沖縄、30～2 日に九州・中国地方へ飛来してきた黄砂であると推定される。ただし、27 日には硫酸塩エアロゾルの飛来がみられるため、前半は、九州への黄砂と硫酸塩エアロゾルとの同時飛来で、後半は黄砂の単独飛来と判断される。

表 5-2-18-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観　測　地　点										SPM平均	県数	積算
2010/4/27	13	松江	下関	広島	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	26	12	312
		松山	名瀬	那覇										
2010/4/28	5	広島	松山	名瀬	那覇	南大東						27	3	81
2010/4/29	6	福井	鳥取	名瀬	石垣島	宮古島	那覇					26	3	78
2010/4/30	23	松江	鳥取	京都	下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	福岡	34	21	714
		佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島			
		石垣島	宮古島	那覇										
2010/5/1	11	鳥取	彦根	岡山	神戸	大阪	熊本	鹿児島	宮崎	松山	名瀬	37	10	370
		那覇												
2010/5/2	1	那覇										37	1	37

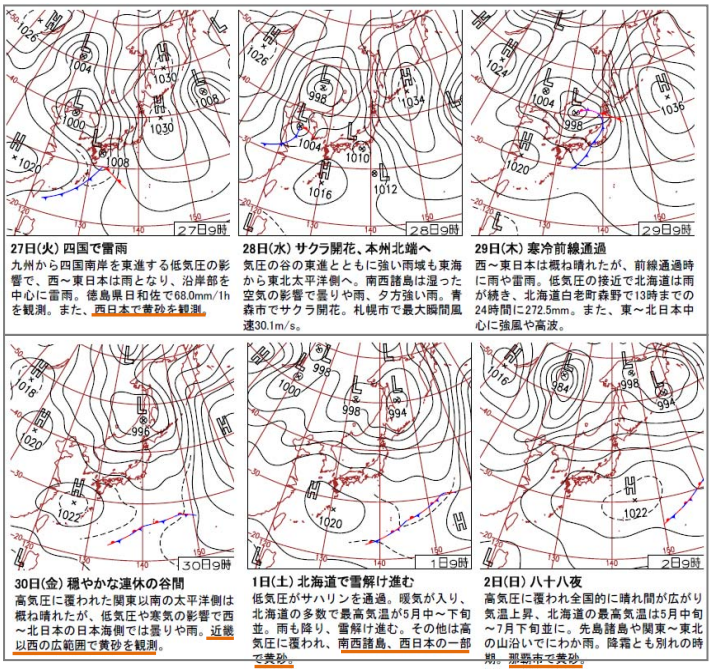


図 5-2-18-1　　天気図

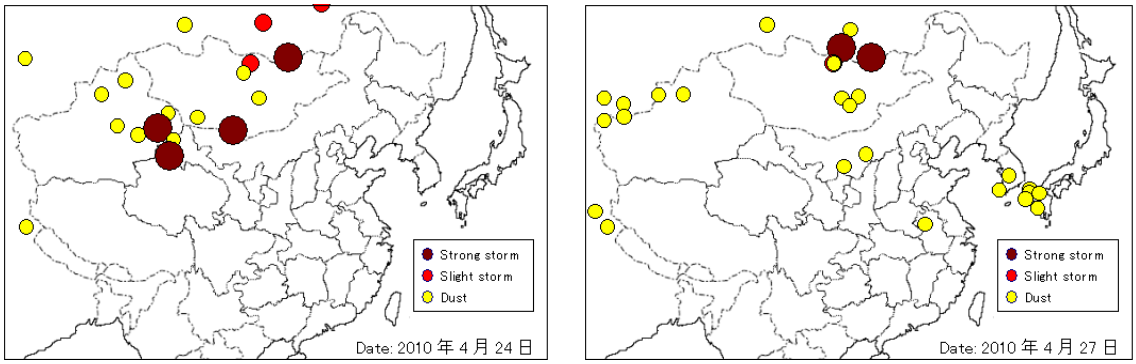


図 5-2-18-2　　砂塵嵐発生状況

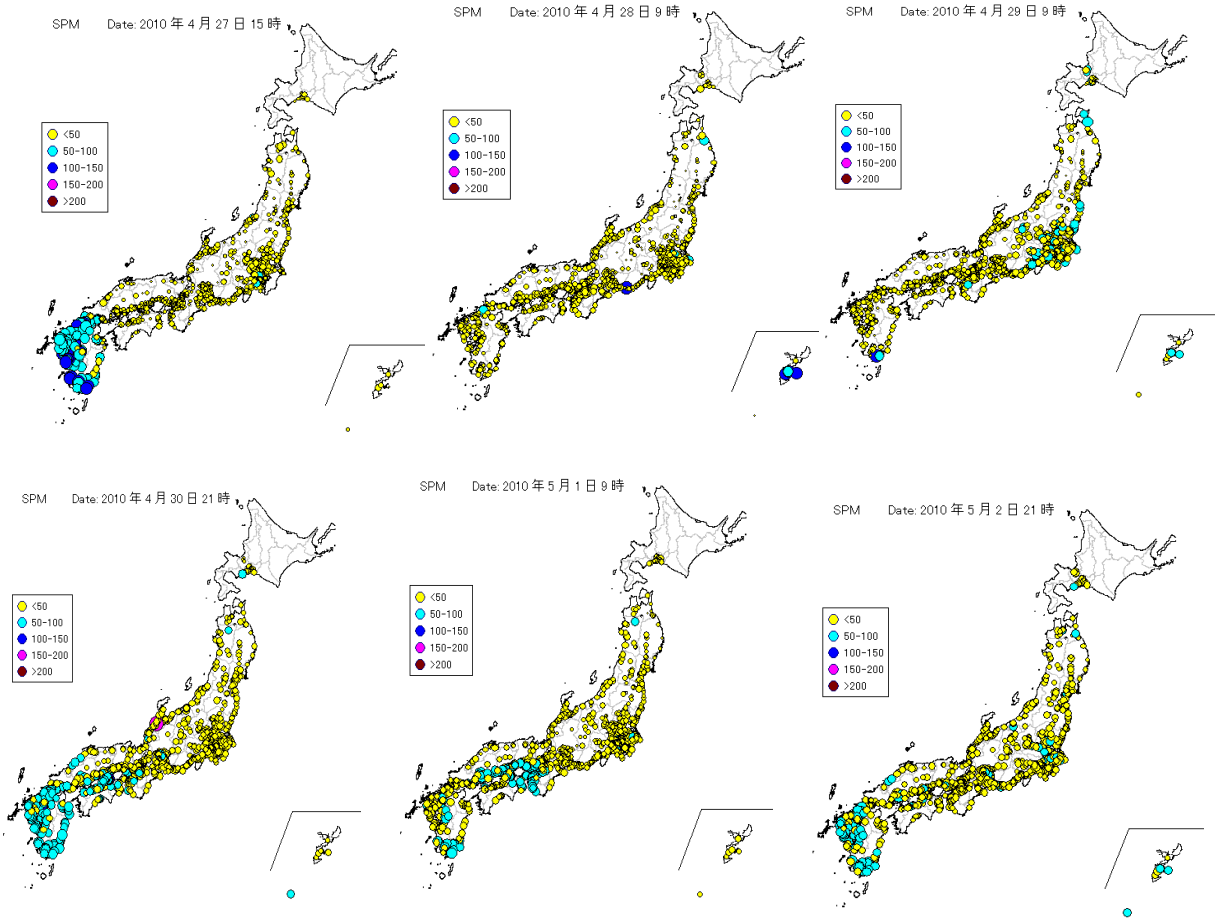


図 5-2-18-3　　SPM 濃度全国分布

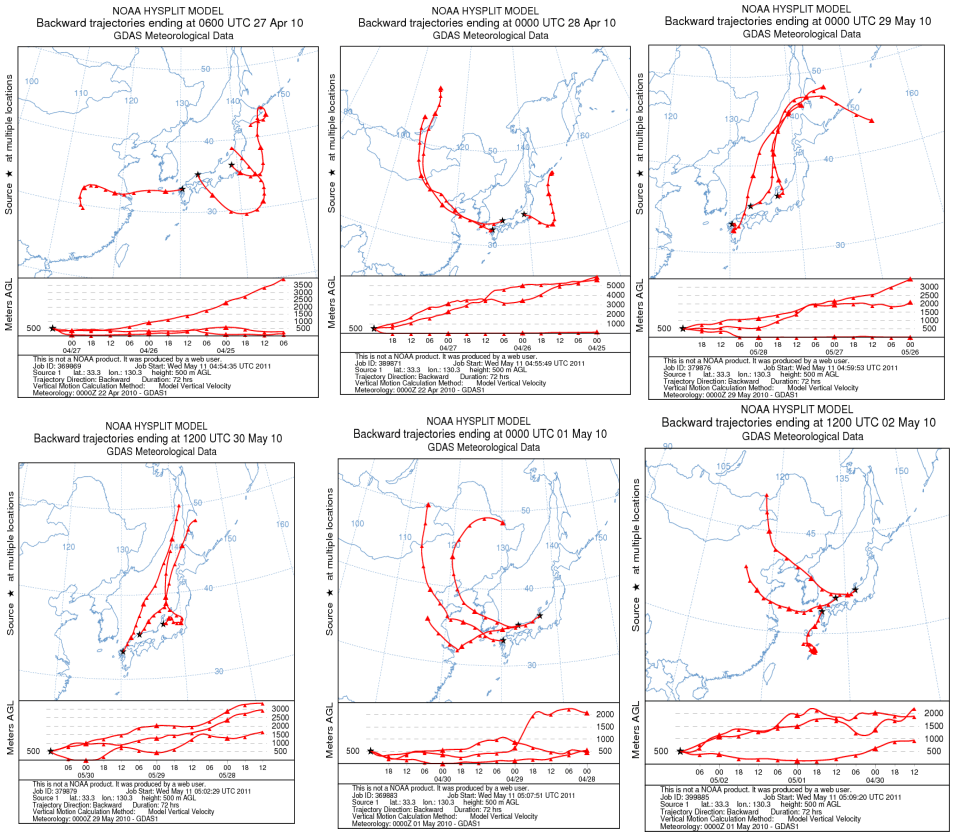


図 5-2-18-4　　後方流跡線

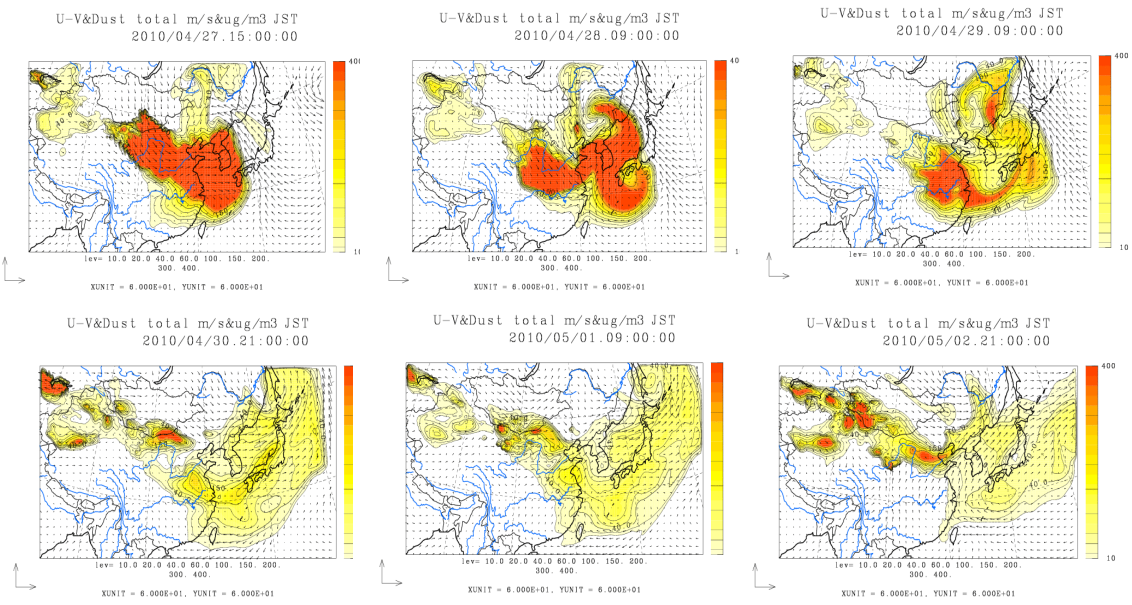


図 5-2-18-5(1)　　CFORS(dust)の予測結果

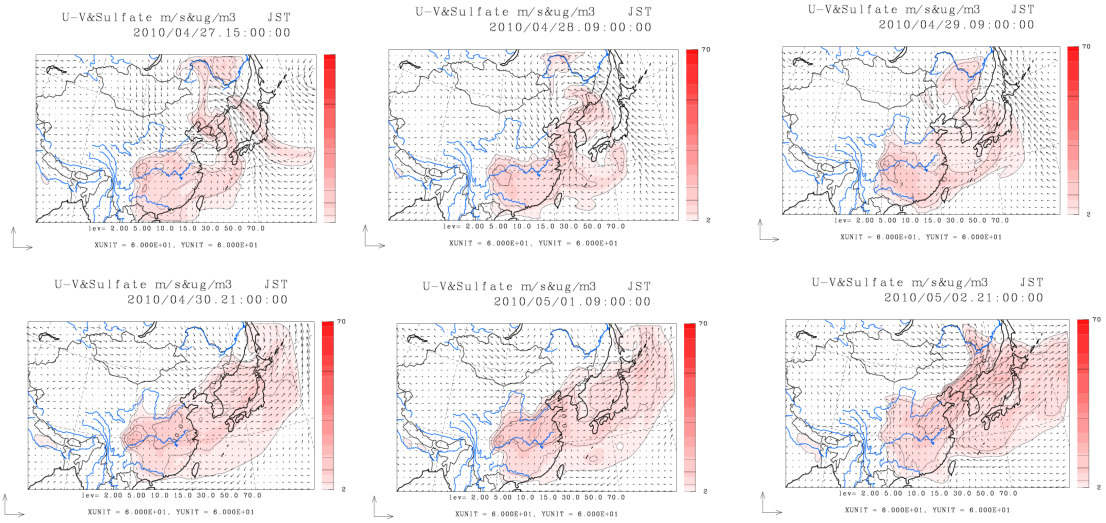


図 5-2-10-5(2)　CFORS(sulfate)の予測結果

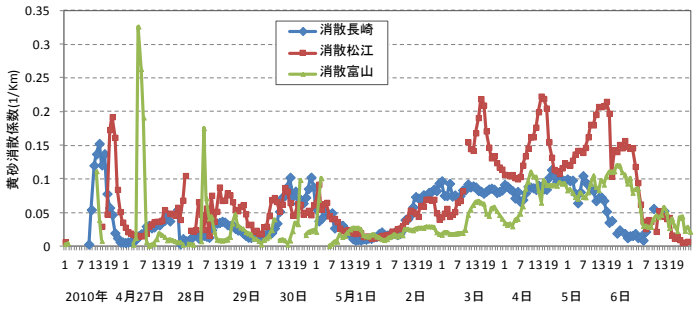


図 5-2-18-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

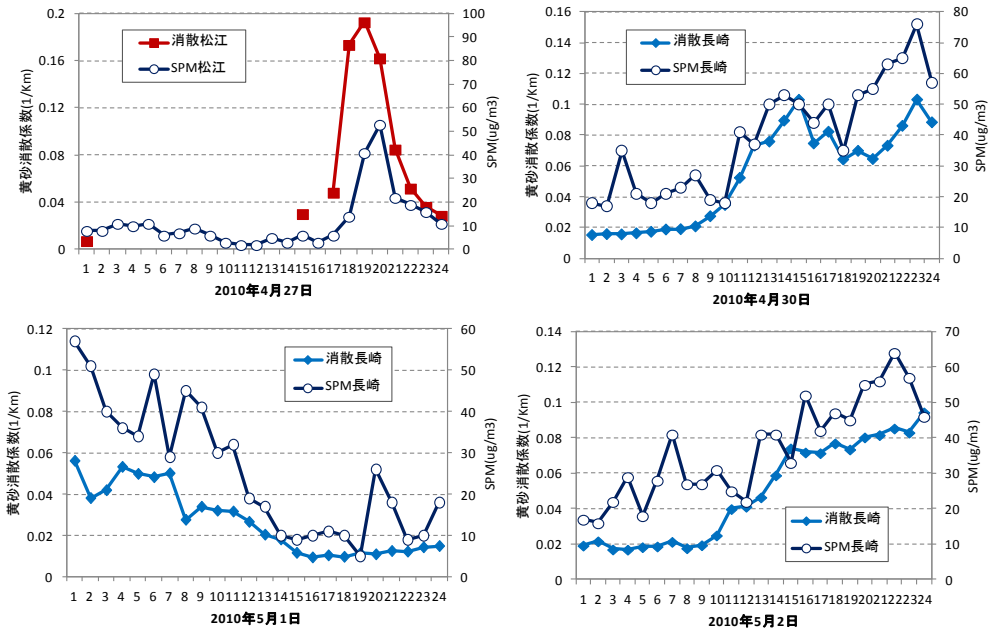


図 5-2-18-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

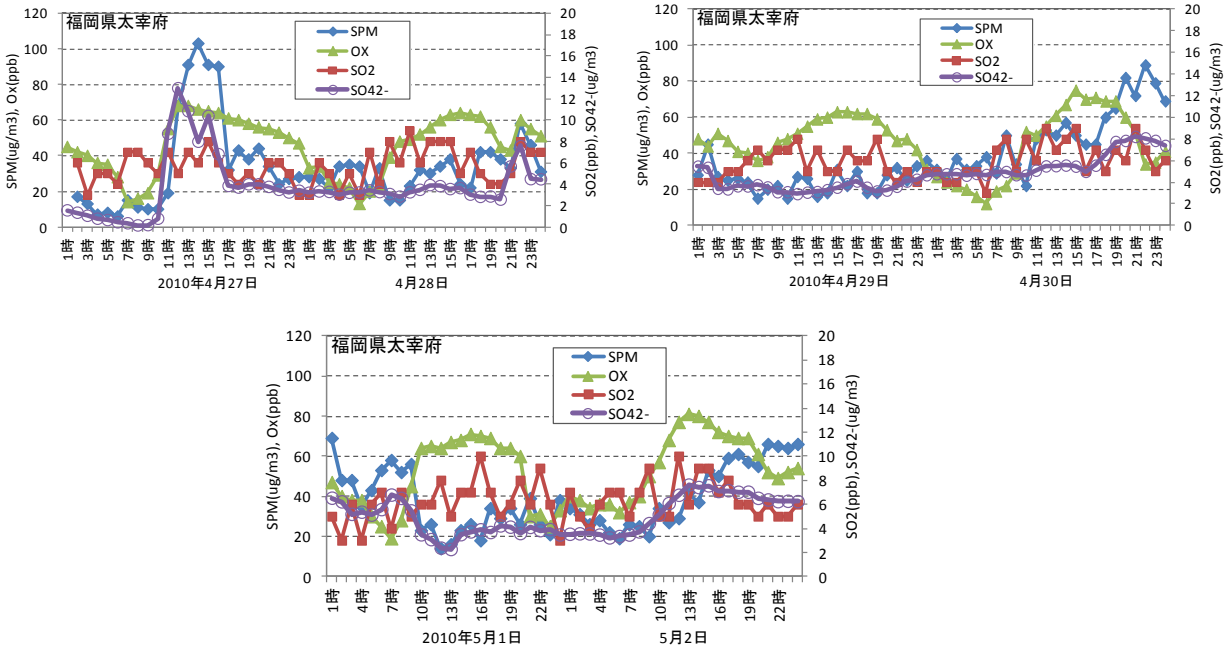


図 5-2-18-8　　硫酸イオン等の経時変化

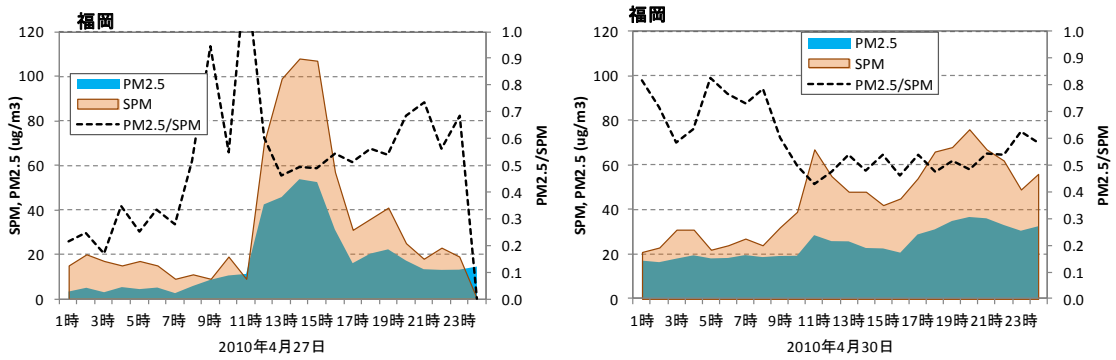


図 5-2-18-9　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(19)　平成 22（2010）年 5 月 3 日～6 日

黄砂の観測は 4 日 32 地点、5 日 27 地点と非常に広範囲である。SPM 濃度分布もこの両日は高い濃度が北海道を除く全国に広がっている。気圧配置は、2 日に移動性高気圧が東日本南方へ移動し、5 日まで日本全域が高気圧に覆われている。後方流跡線も日本付近であり黄砂の様相を呈していないが、120 時間に遡るとモンゴル付近から影響もみられる。CFORS 予測結果では黄砂及び大陸沿岸部の影響を受けている様子がみられる。硫酸イオン濃度は 4 日と 5 日に 10μg/m^3 を少し超える程度で、硫酸塩エアロゾルの顕著な飛来はみられない。4～5 日に薄い硫酸塩エアロゾルはみられるものの、九州から全国に広がった黄砂である。

表 5-2-19-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点										SPM平均	県数	積算
2010/5/3	11	松江	鳥取	下関	福岡	佐賀	大分	熊本	鹿児島	宮崎	松山	47	10	470
		名瀬												
2010/5/4	32	福島	新潟	金沢	富山	長野	福井	岐阜	名古屋	甲府	津	51	31	1581
		静岡	松江	鳥取	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	宮崎	松山	高松			
		高知	徳島											
2010/5/5	27	山形	仙台	金沢	富山	長野	福井	岐阜	名古屋	津	松江	57	26	1482
		鳥取	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	熊本	松山	高知						
2010/5/6	6	山形	福井	鳥取	岡山	松山	高知					35	6	210

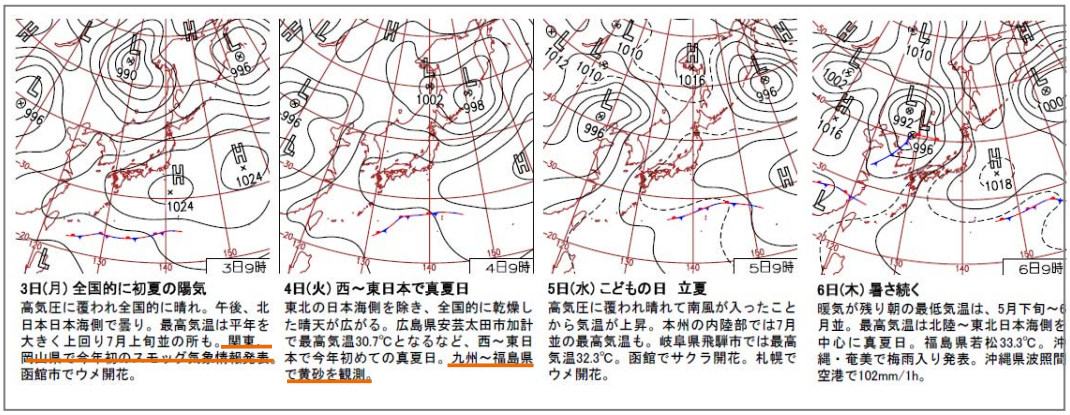


図 5-2-19-1　　天気図

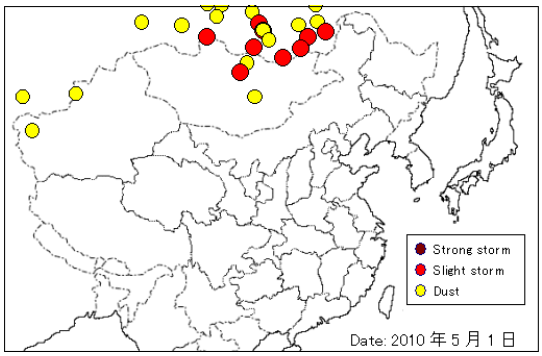


図 5-2-19-2　　砂塵嵐発生状況

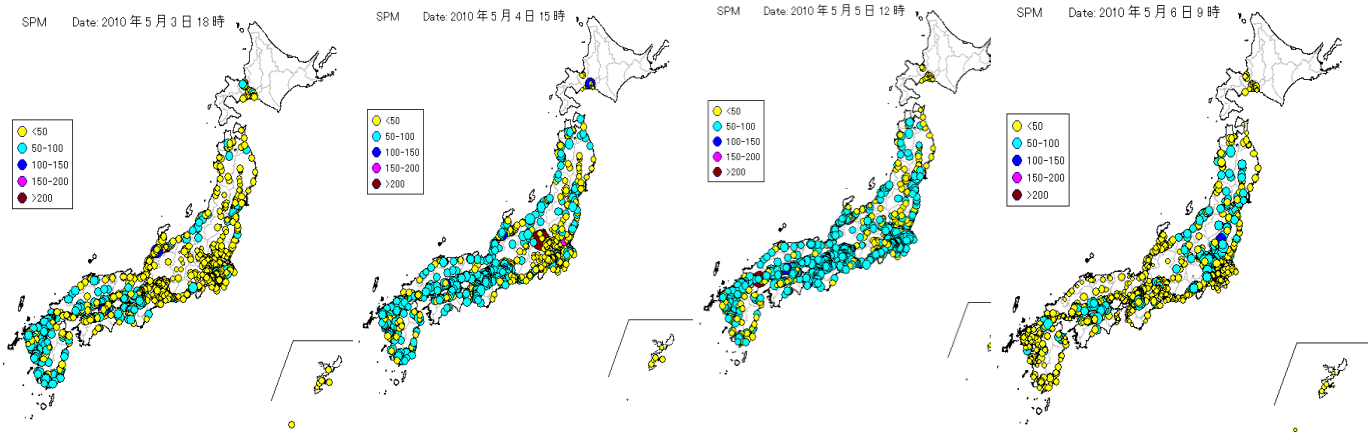


図 5-2-19-3　　SPM 濃度全国分布

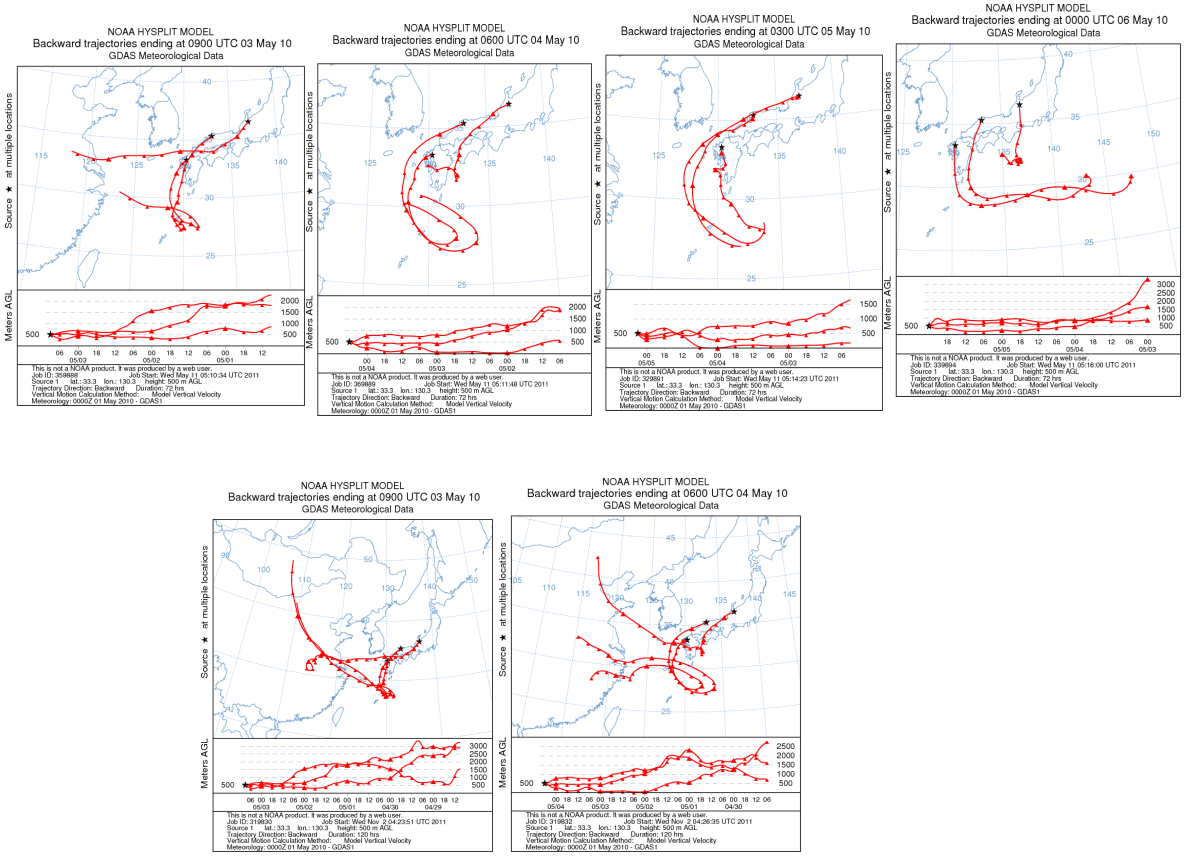


図 5-2-19-4　　**後方流跡線**（下段は後方 120 時間）

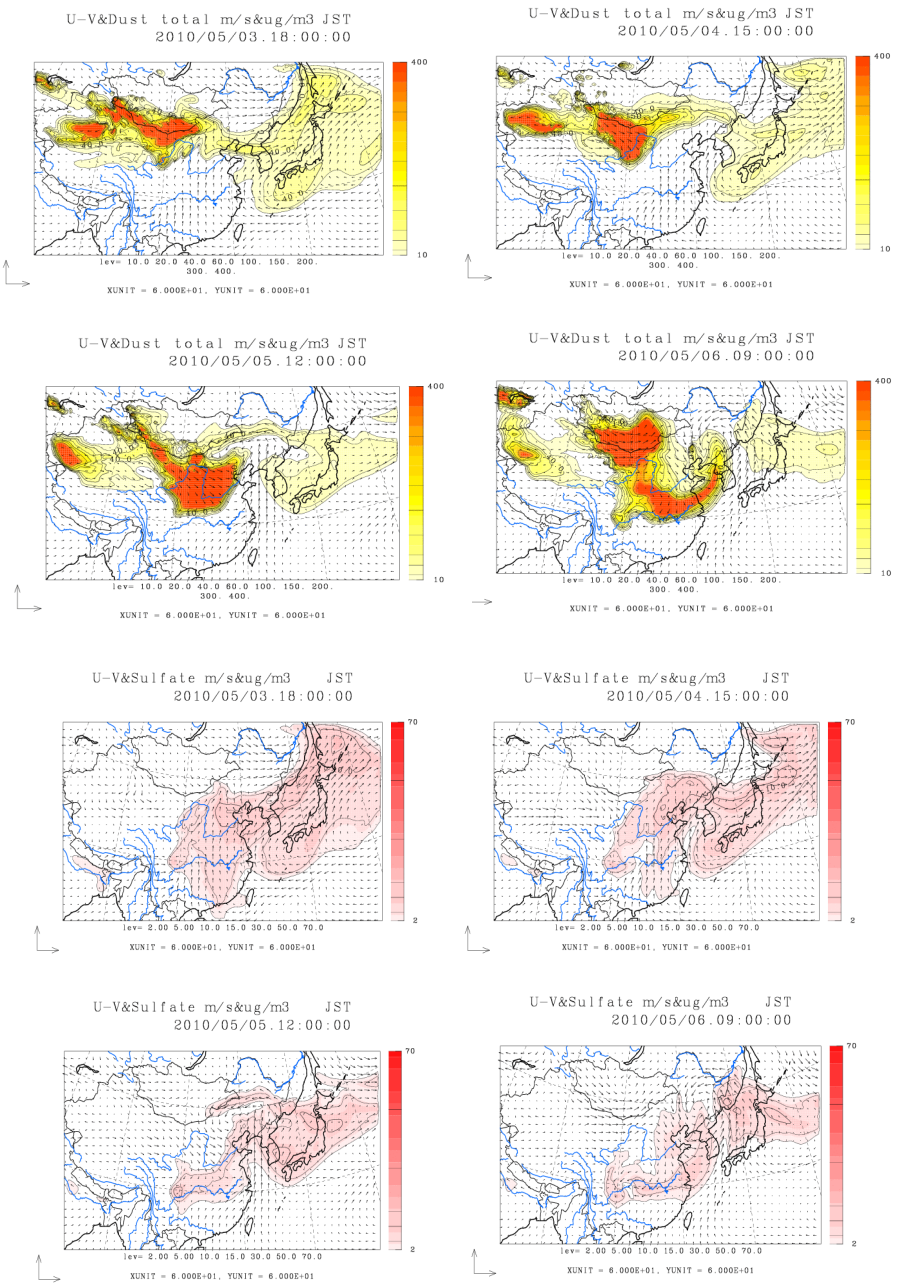


図 5-2-19-5　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

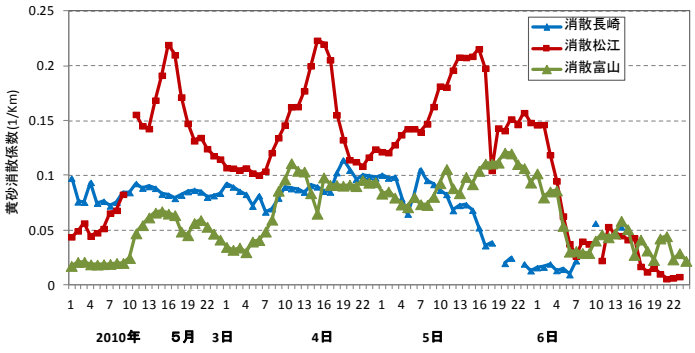


図 5-2-19-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

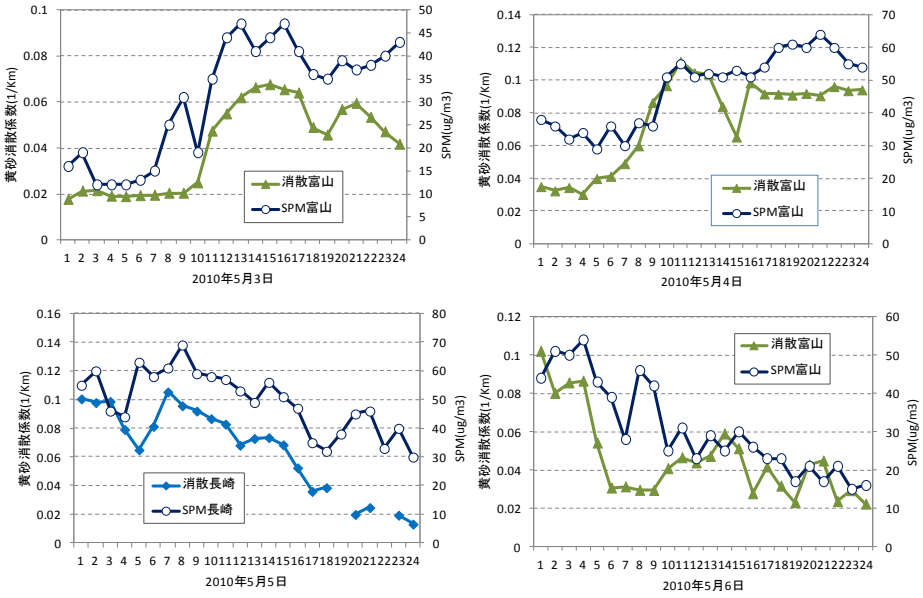


図 5-2-19-7　　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

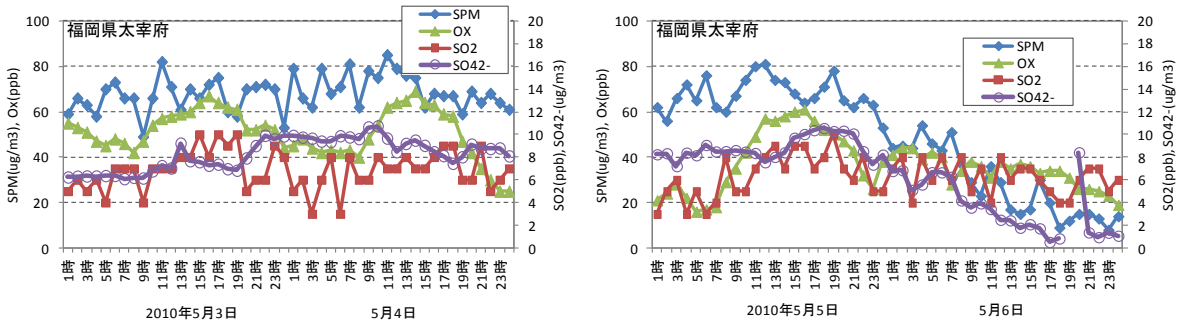


図 5-2-19-8　　硫酸イオン等の経時変化

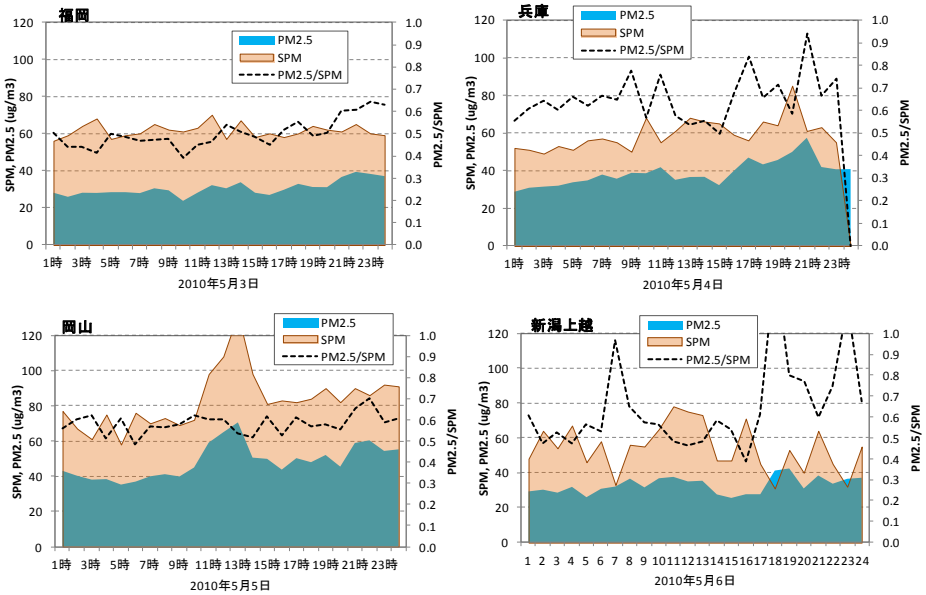


図 5-2-19-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(20)　平成 22（2010）年 5 月 9 日

大阪と大分で黄砂が観測さているが、SPM 濃度の上昇は少なく九州で小さな高濃度域がみられる。気圧配置は、日本中部を移動性高気圧に覆われ、日本南方、東方に前線がみられる。モンゴル付近ではこの時期、砂塵嵐の発生が観測されている。後方流跡線は、モンゴル付近からの気塊の到来を示している（120 時間）。CFORS では中国大陸からの非常に高濃度な dust の影響を受けることが示された。ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度との関係では、松江において同期して変化をしていた。硫酸イオンが上昇するような現象は見られなかった。以上より、黄砂の小さな影響を受けていたと考えられる。

表 5-2-20-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

年月日	地点数	観測地点名		SPM濃度	県数	積算
2010/5/9	2	大阪	大分	27	2	54

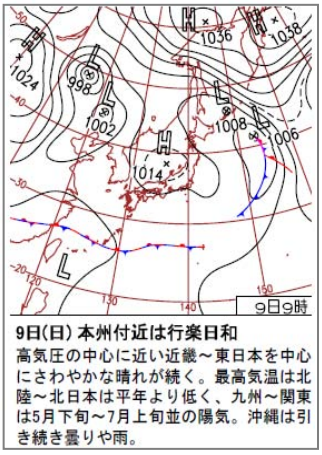


図 5-2-20-1　天気図

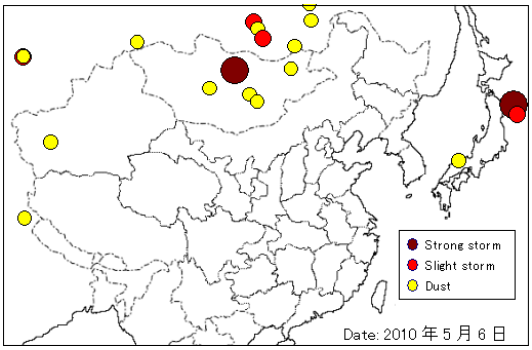


図 5-2-20-2　砂塵嵐発生状況

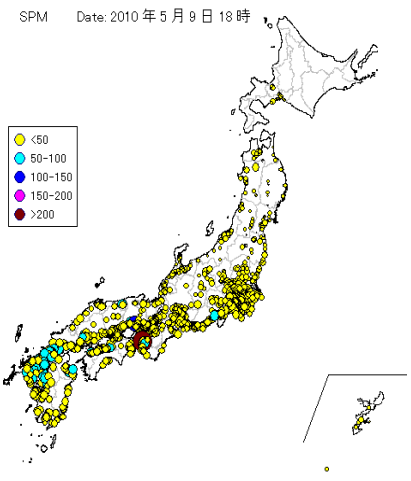


図 5-2-20-3　SPM 濃度全国分布

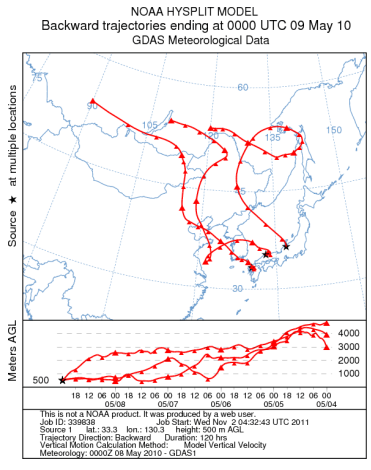


図 5-2-20-4　後方流跡線
（後方 120 時間）

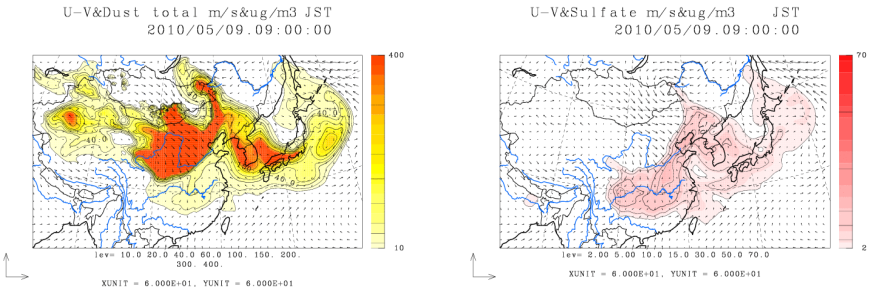


図 5-2-20-5　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

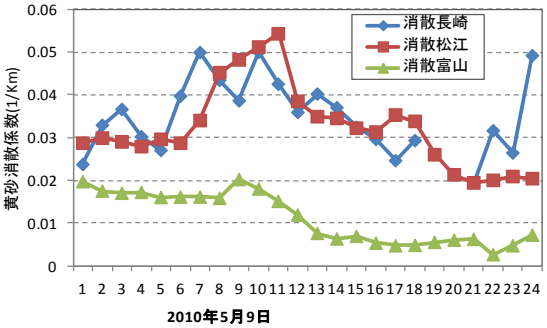


図 5-2-20-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

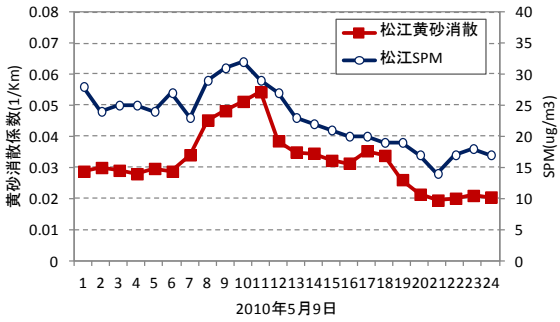


図 5-2-20-7　黄砂消散係数とSPM 濃度の経時変化

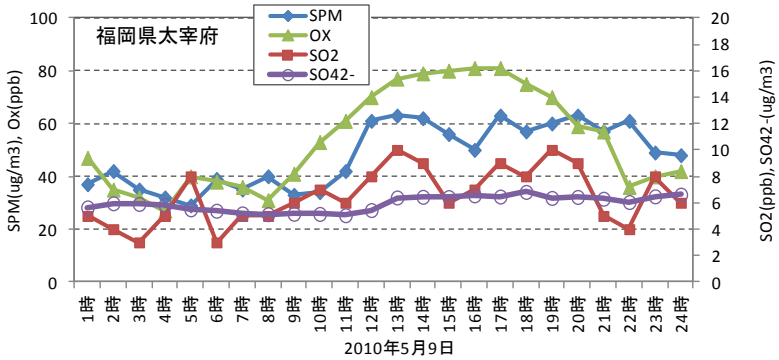


図 5-2-20-8　硫酸イオン等の経時変化

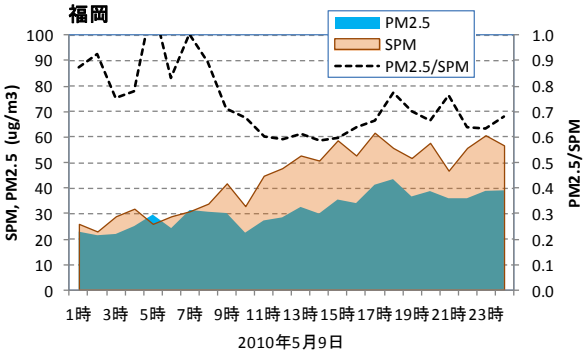


図 5-2-20-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(21)　平成 22（2010）年 5 月 11 日～12 日

黄砂の観測は九州と山口のみである。SPM 濃度分布も特に高い地域はみられない。11 日福岡で煙霧が観測されている。気圧配置は、日本南岸には東進している低気圧とそれに伴う前線を配する典型的な黄砂の気圧配置であるが、後方流跡線では九州で中国内陸部からの影響を窺わせている。一方で CFORS は、中部地域を中心に高濃度 dust の影響を受けていることが予想された。長崎におけるライダー黄砂消散係数では、SPM 濃度と同期して変化しており、黄砂の存在を窺わせている。硫酸イオン濃度は低濃度で推移しており、規模の小さい黄砂のみの飛来と考えられる。

表 5-2-21-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名			SPM平均	県数	積算
2010/5/11	1	熊本			19	1	19
2010/5/12	3	下関	佐賀	熊本	26	3	78

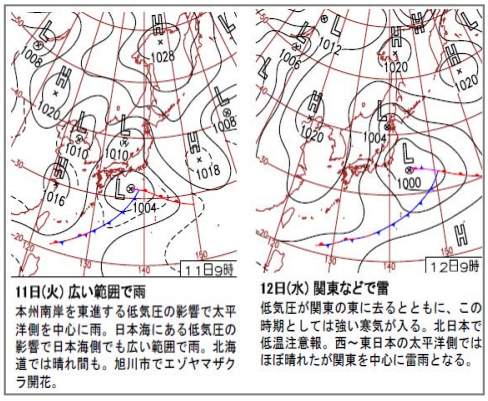


図 5-2-21-1　天気図

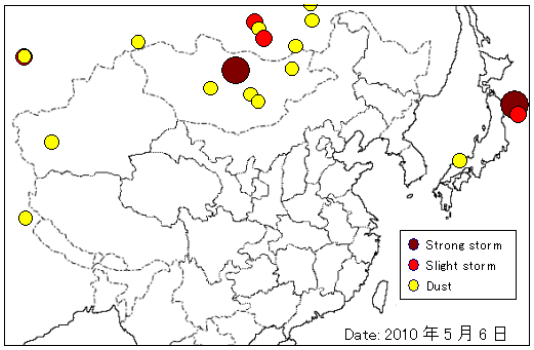


図 5-2-21-2　　砂塵嵐発生状況

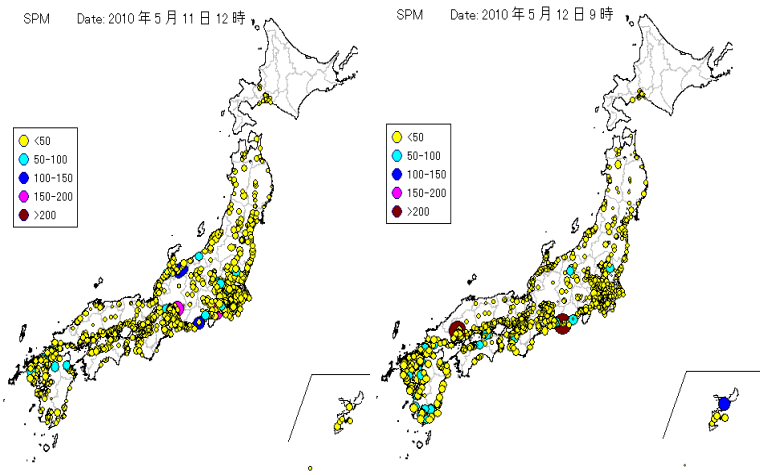


図 5-2-21-3　　SPM 濃度全国分布

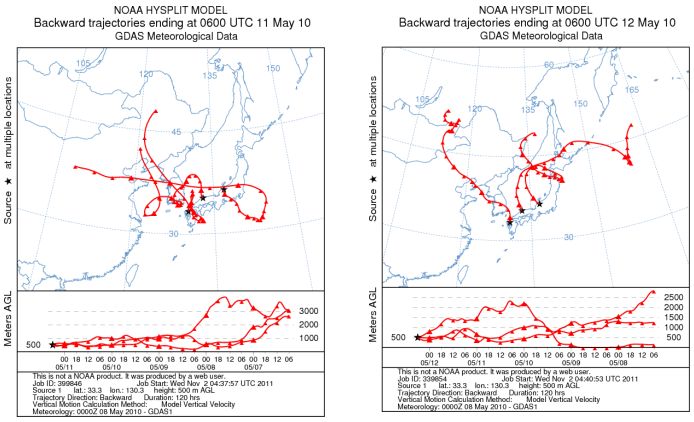


図 5-2-21-4　後方流跡線

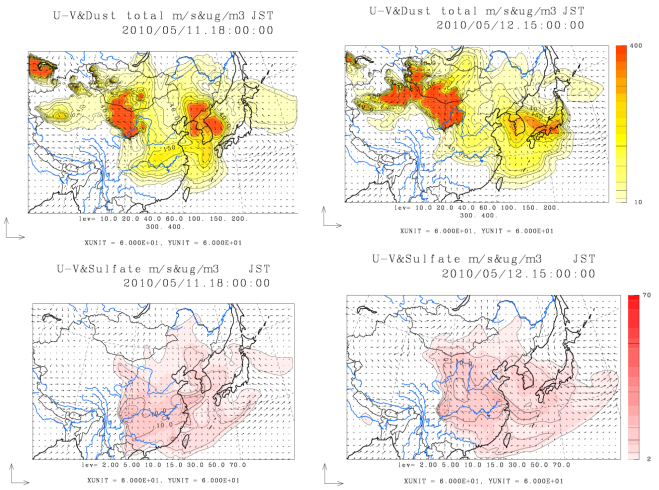


図 5-2-21-5　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

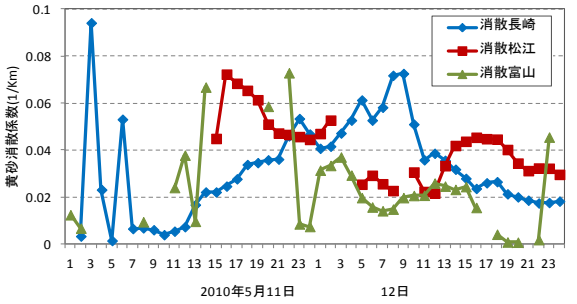


図 5-2-21-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

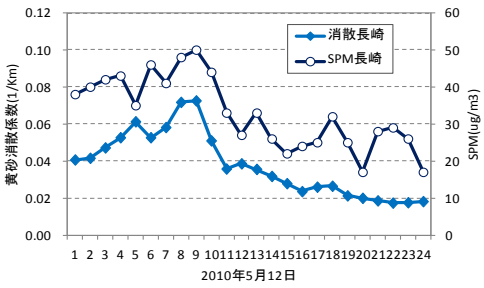


図 5-2-21-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

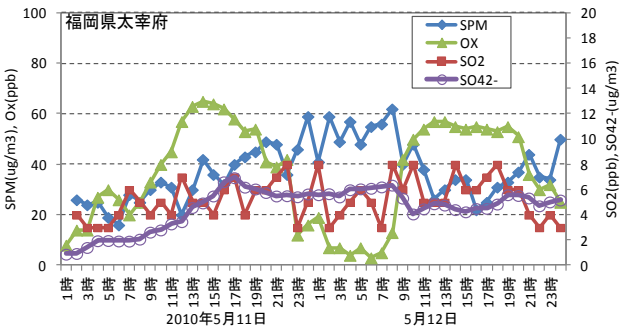


図 5-2-21-8　硫酸イオン等の経時変化

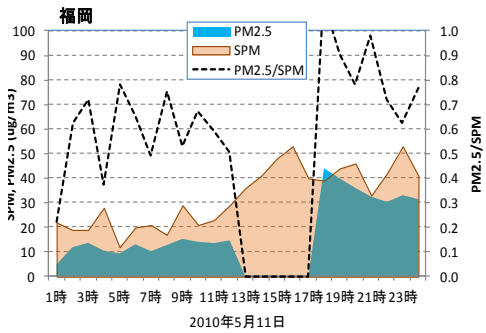


図 5-2-21-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(22)　平成 22（2010）年 5 月 20 日～22 日

黄砂の観測は、21 日 24 地点、22 日 22 地点と多い。SPM 濃度分布は、20 日から広い範囲で高濃度が出現しており、21 日には九州から東北にかけて北に広がり 50～150 $\mu g/m^3$ の濃度が観測された。22 日には瀬戸内海沿岸を中心に 50～150 $\mu g/m^3$ が観測され、前日と比較すると範囲が狭くなっている。20 日に福岡で煙霧が観測されている。

気圧配置は、20 日に九州南岸に位置していた前線が、九州西方に位置していた移動性高気圧の移動に伴い、21 日には本州東方へ位置し、西日本は移動性高気圧に覆われた。22 日には、新たに中国大陸で発生した低気圧が前線を伴って南下した。後方流跡線は、20 日、中国沿岸部及び中国内陸部の影響を同時に受け、21 日には中国内陸部の影響が強くなったことが示唆された。CFORS においても、dust 及び sulfate ともに 20 日から 22 日にかけて比較的濃い濃度による影響を示している。また、硫酸イオンの結果によると 20 日には 40 $\mu g/m^3$ を超える高濃度が観測されており、硫酸塩エアロゾルの飛来も大きい。

以上より、本事例の前半は黄砂と硫酸塩エアロゾルの同時飛来、21 日以降においては黄砂の影響を強く受けたと考えられた。

表 5-2-22-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名										SPM平均	県数	積算
2010/5/20	2	佐賀	熊本									73	2	146
2010/5/21	24	山形	仙台	福島	金沢	福井	岐阜	甲府	津	松江	鳥取	61	23	1403
		舞鶴	京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良			
		熊本	松山	高松	徳島									
2010/5/22	22	金沢	福井	岐阜	名古屋	甲府	津	東京	松江	鳥取	舞鶴	51	21	1071
		京都	彦根	下関	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	松山			
		高松	徳島											

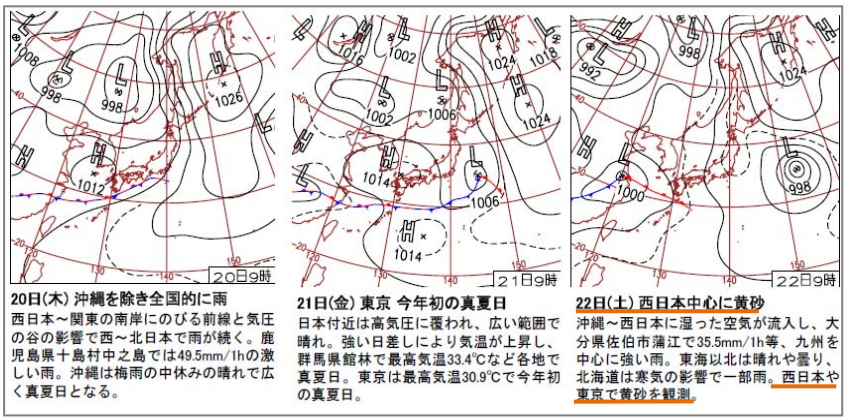


図 5-2-22-1　天気図

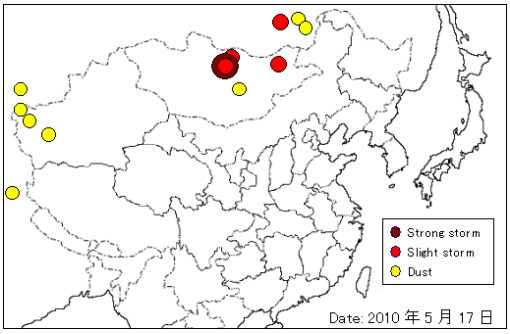


図 5-2-22-2　　砂塵嵐発生状況

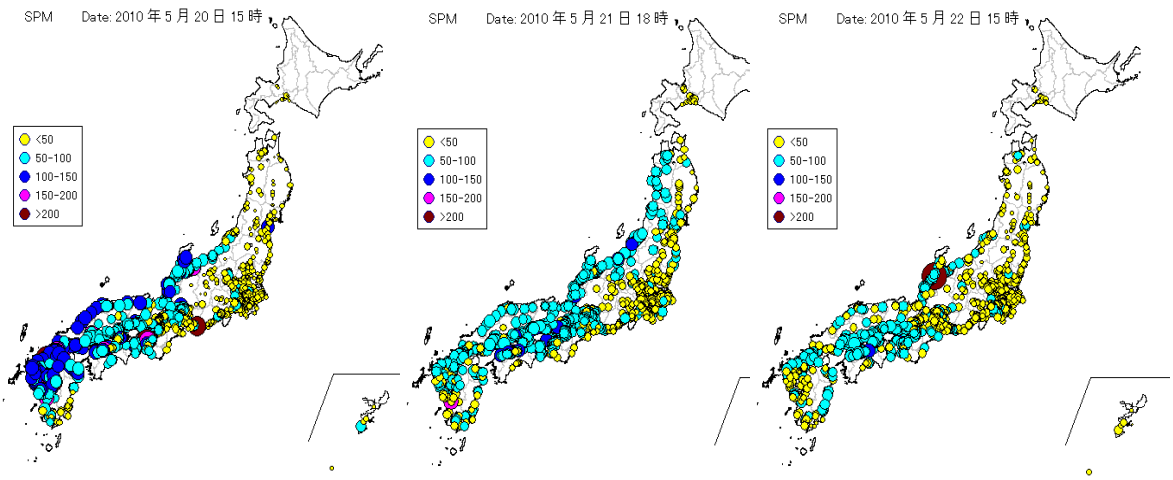


図 5-2-22-3　　SPM 濃度全国分布

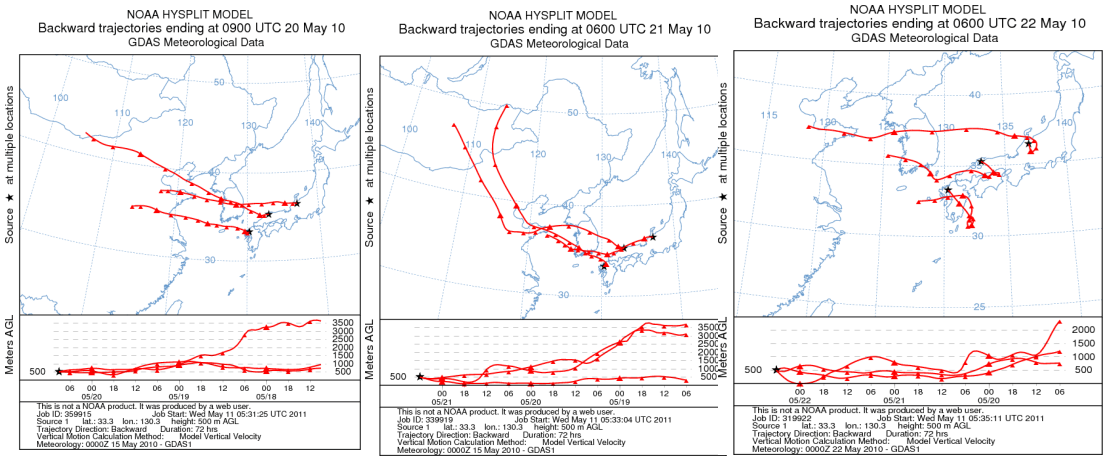


図 5-2-22-4　　後方流跡線

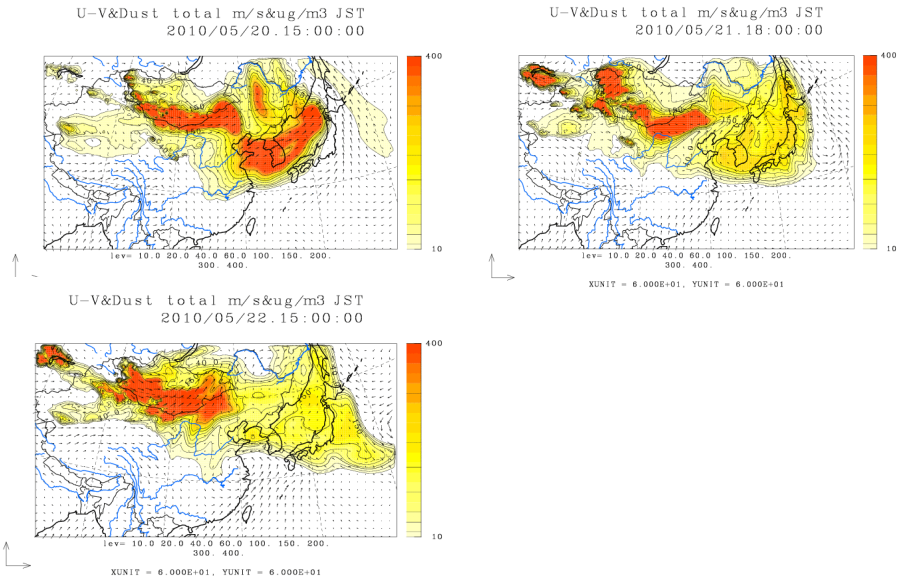


図 5-2-22-5(1)　　CFORS(dust)の予測結果

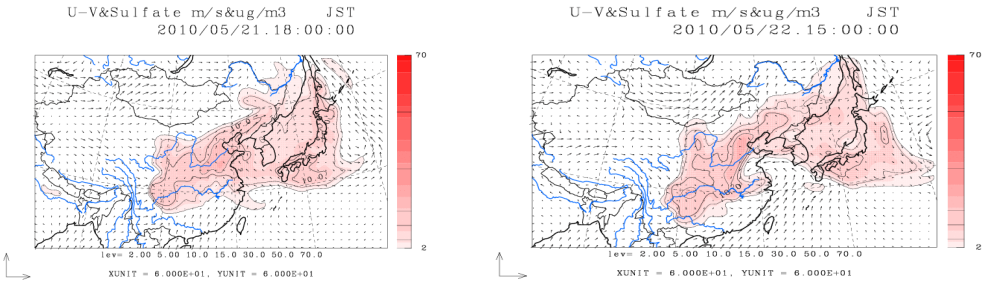


図 5-2-22-5(2)　　CFORS(sulfate)の予測結果

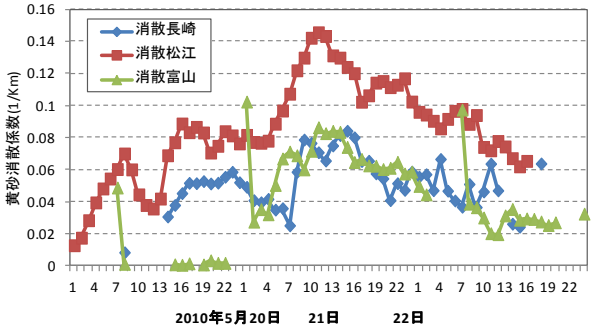


図 5-2-22-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

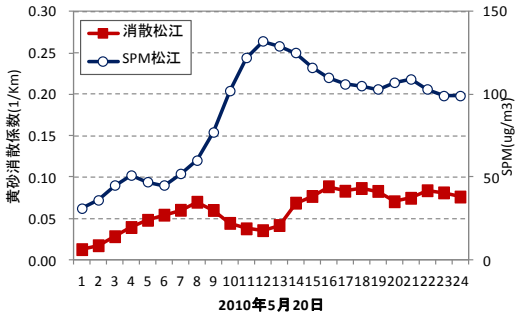


図 5-2-22-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

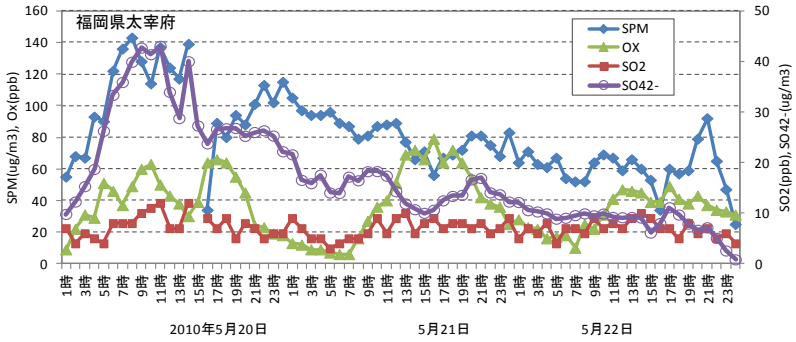


図 5-2-22-7　硫酸イオン等の経時変化

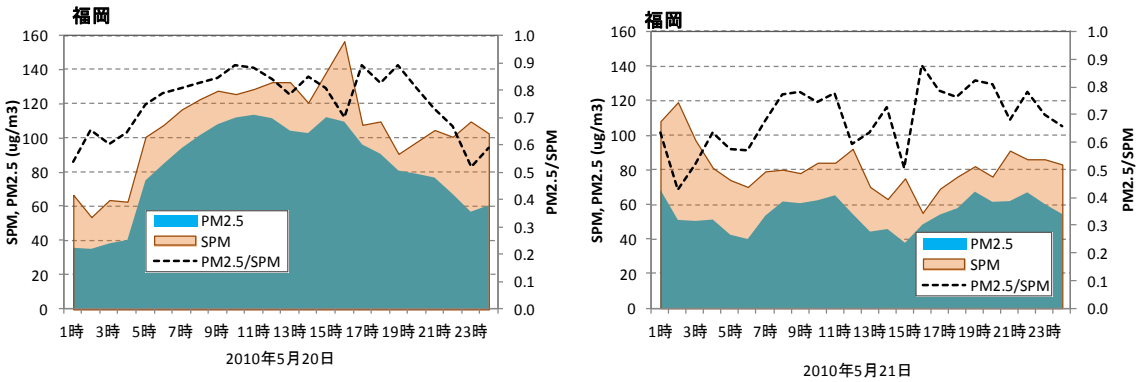


図 5-2-22-8　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(23)　平成 22（2010）年 5 月 24 日～26 日

黄砂の観測は、25 日に 21 地点と多い。SPM 濃度は 24 日に九州、25 日から 26 日に関東を中心に、濃度が 50～150 μg/m^3 程度まで上昇している。25 日は、福岡では煙霧が観測されている。

気圧配置は、24 日から 26 日にかけて、日本の南岸に低気圧と前線が位置する黄砂特有の気圧配置となっていた。後方流跡線では、気塊がモンゴル方面から中国沿岸部を通過するものとなっている。CFORS では、dust 及び sulfate の影響を同時に示している。長崎では、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度が同時上昇するなど黄砂の影響も示している。硫酸イオン濃度は 24 日深夜に 21.6 μg/m^3 まで上昇し、SPM 濃度の上昇と重なっていた。以上より、黄砂と硫酸塩エアロゾルが同時に飛来してきたものと推定される。

表 5-2-23-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名										SPM平均	県数	積算
2010/5/24	4	熊本	鹿児島	宮崎	名瀬							47	3	141
2010/5/25	21	長野	岐阜	甲府	静岡	東京	京都	彦根	広島	岡山	神戸	42	20	840
		大阪	和歌山	奈良	鹿児島	宮崎	松山	高松	高知	徳島	名瀬			
		那覇												
2010/5/26	3	高知	那覇	南大東								21	2	42

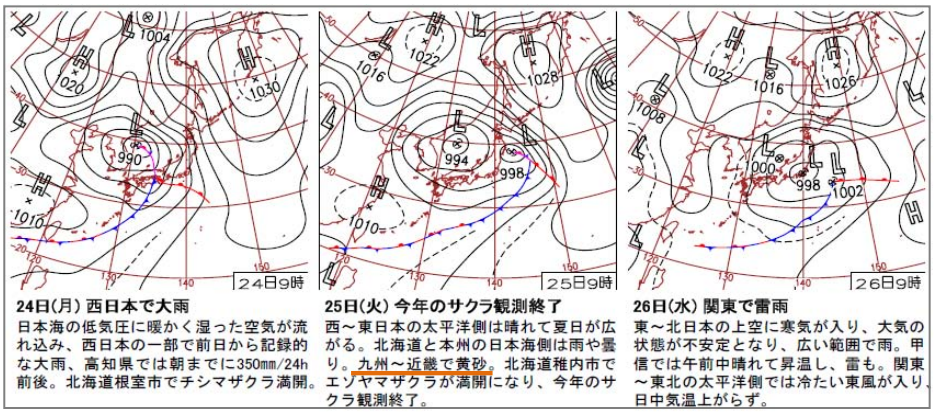


図 5-2-23-1　　天気図

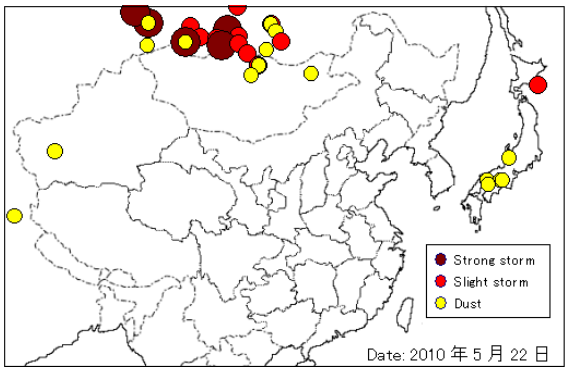


図 5-2-23-2　　砂塵嵐発生状況

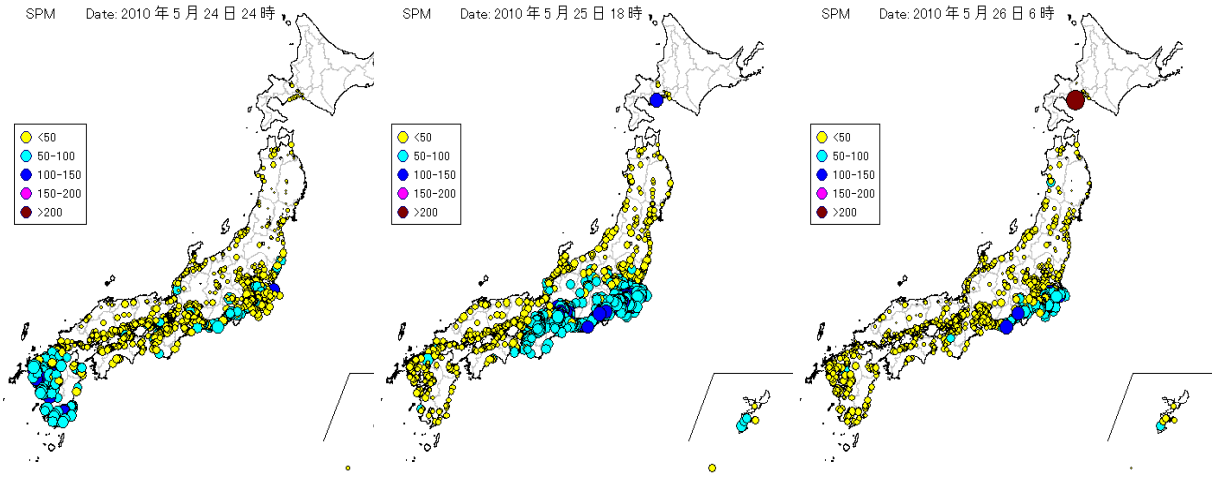


図 5-2-23-3　　SPM 濃度全国分布

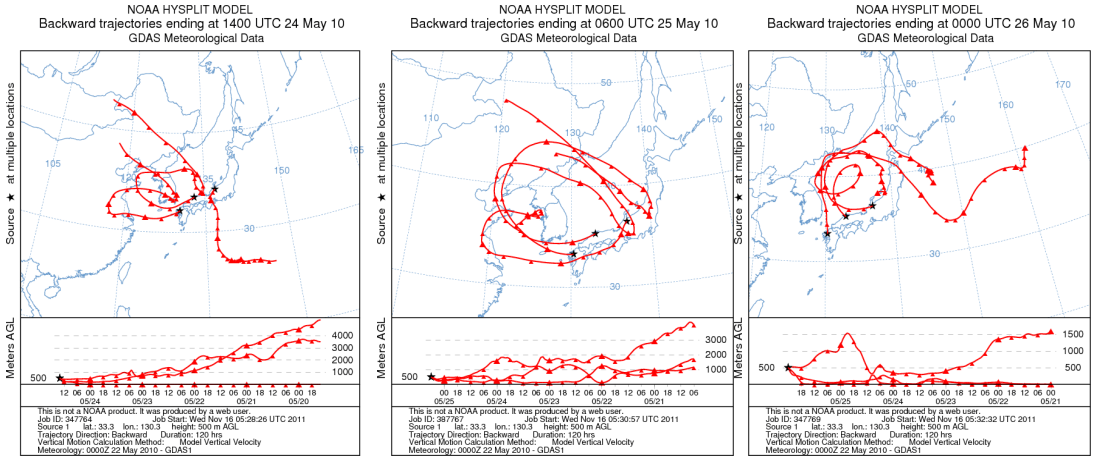


図 5-2-23-4　後方流跡線

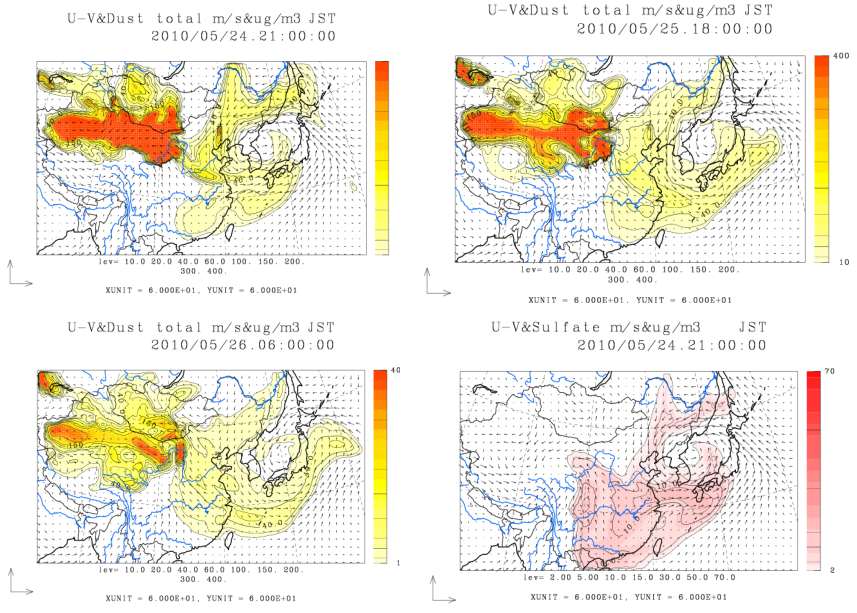


図 5-2-23-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

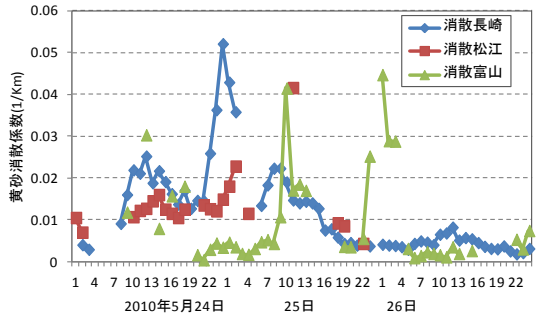


図 5-2-23-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

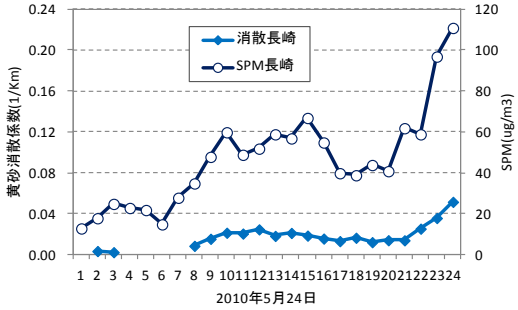


図 5-2-23-7　黄砂消散係数とSPM 濃度の経時変化

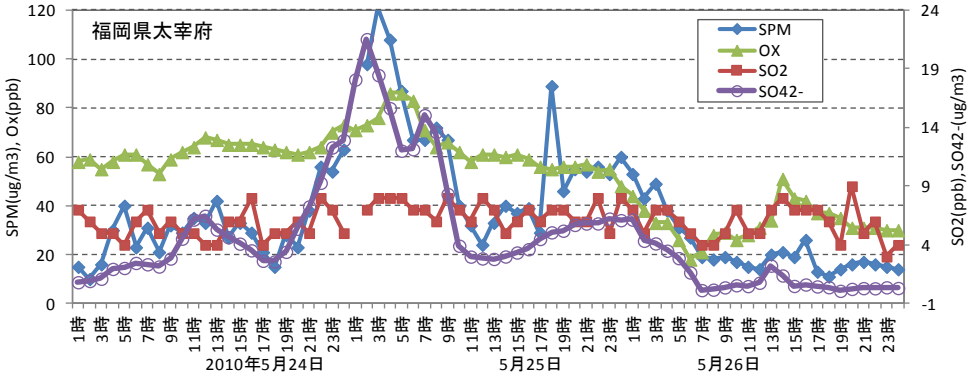


図 5-2-23-8　硫酸イオン等の経時変化

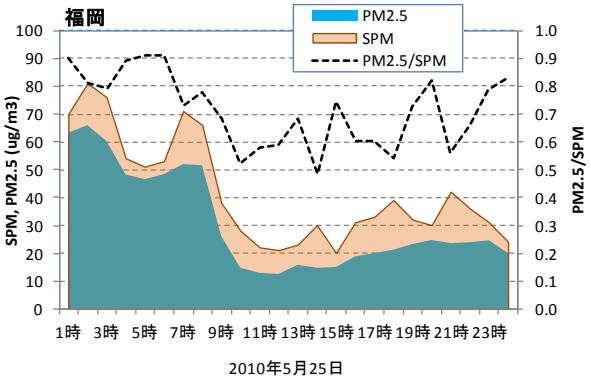


図 5-2-23-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(24)　平成 22（2010）年 11 月 12 日～15 日

本事例は、12 日 37 地点、13 日 30 地点、14 日 29 地点と 3 日間続けて全国の各地域で観測された秋には珍しい大規模な黄砂である。SPM 濃度分布も 12 日、13 日にかけて 100～200 μ g/m^3 を超える濃度が日本海側を中心に全国で観測されている。

気圧配置は、12 日に低気圧と前線が南下し、13 日から 15 日にかけて日本南岸に低気圧が位置するものとなっていた。2 日前の 10 日に、モンゴル南部で砂塵嵐が観測されている。後方流跡線においては、12 日に福岡で中国沿岸部からの影響を、松江、富山では中国内陸部砂漠地帯からの影響を、13～14 日は同様に中国内陸部からの影響を示している。また、CFORS では、すべての日において dust と sulfate の影響を示している。ライダーでは、いずれの日も松江か富山で黄砂消散係数と SPM 濃度との同時上昇が認められている。$PM_{2.5}$／SPM 比についても粗大粒子が多い構成であることが確認された。一方、硫酸イオンは、前日の 11 日から次第に上昇し、黄砂飛来直前の 12 日 1 時に 13 μ g/m^3 でピークとなり、その後減少している。以上より、直前に硫酸塩エアロゾルの薄い飛来があり、その後、黄砂の影響を強く受けたとが考えられる。

表 5-2-24-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名										SPM平均	県数	積算
2010/11/12	37	山形	仙台	福島	新潟	金沢	富山	長野	福井	岐阜	名古屋	63	36	2268
		甲府	津	静岡	東京	松江	鳥取	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	徳島						
2010/11/13	30	新潟	金沢	富山	福井	岐阜	名古屋	津	松江	鳥取	舞鶴	88	29	2552
		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	徳島			
2010/11/14	29	山形	金沢	富山	福井	前橋	熊谷	岐阜	津	松江	鳥取	65	28	1820
		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	松山	高松	高知	徳島				
2010/11/15	14	岐阜	広島	岡山	神戸	大阪	和歌山	奈良	福岡	熊本	松山	21	14	294
		高松	高知	徳島	石垣島									

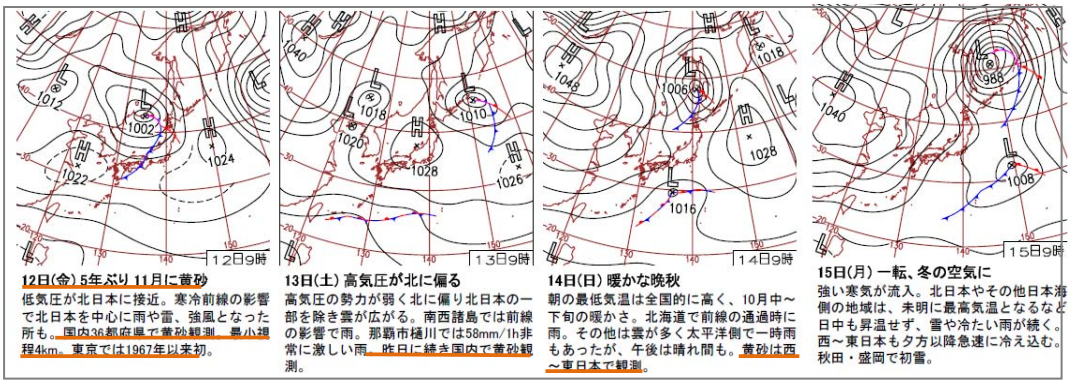


図 5-2-24-1　　天気図

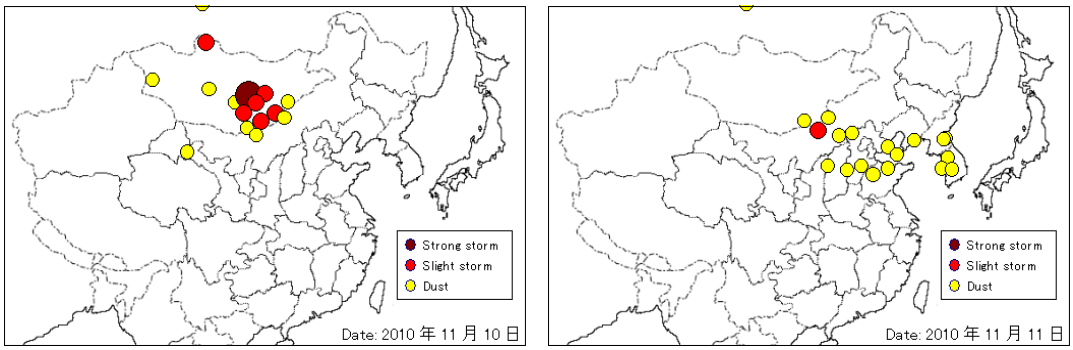


図 5-2-24-2　　砂塵嵐発生状況

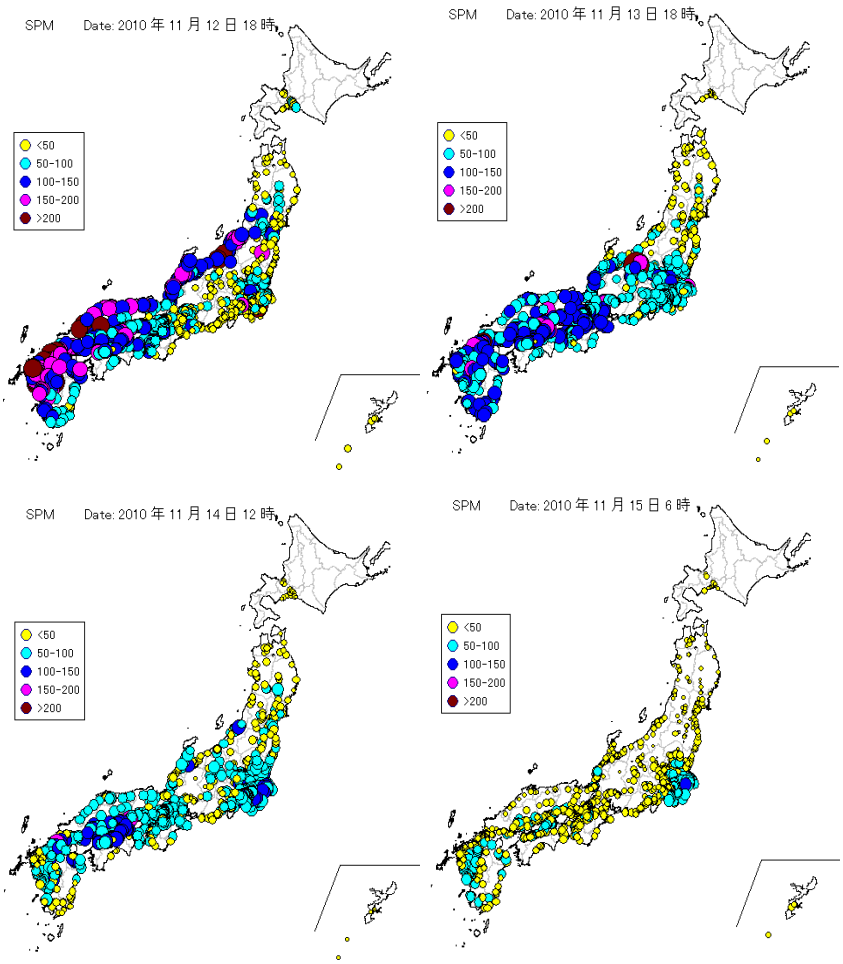


図 5-2-24-3　　SPM 濃度全国分布

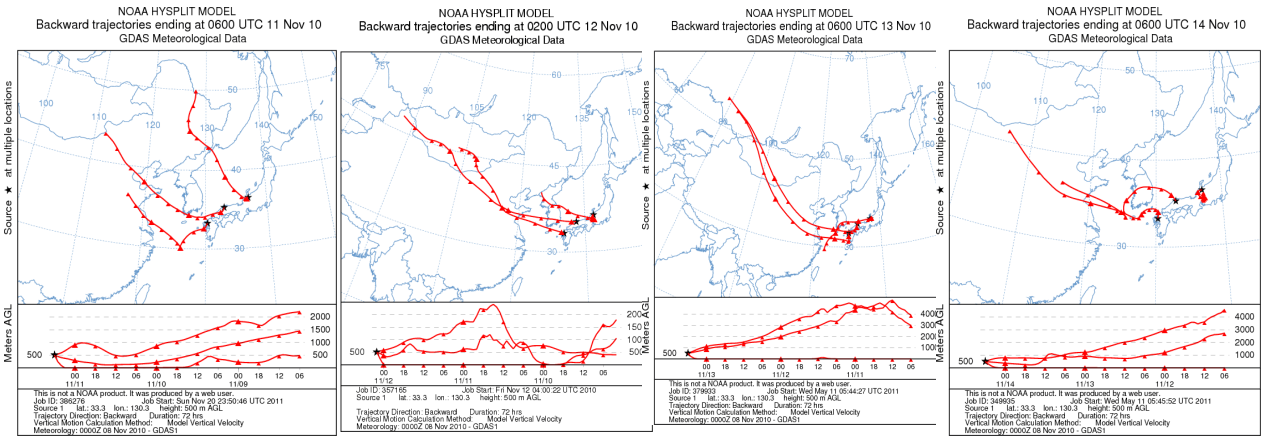


図 5-2-24-4　　後方流跡線

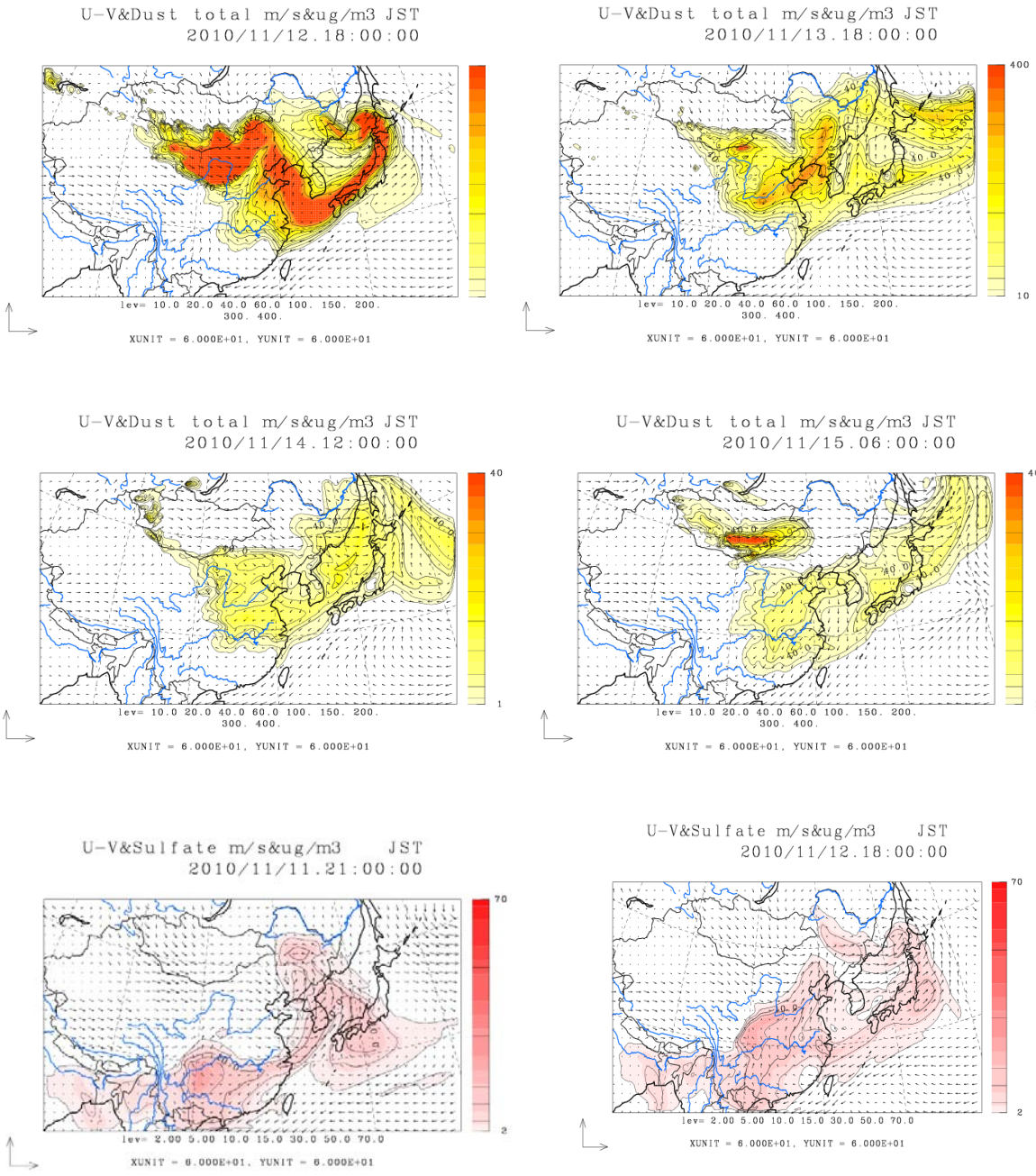


図 5-2-24-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

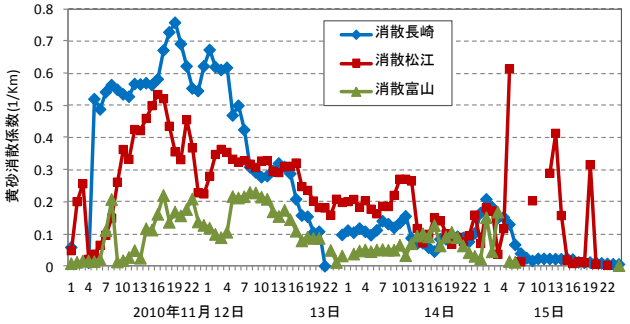


図 5-2-24-6 ライダー黄砂消散係数の経時変化

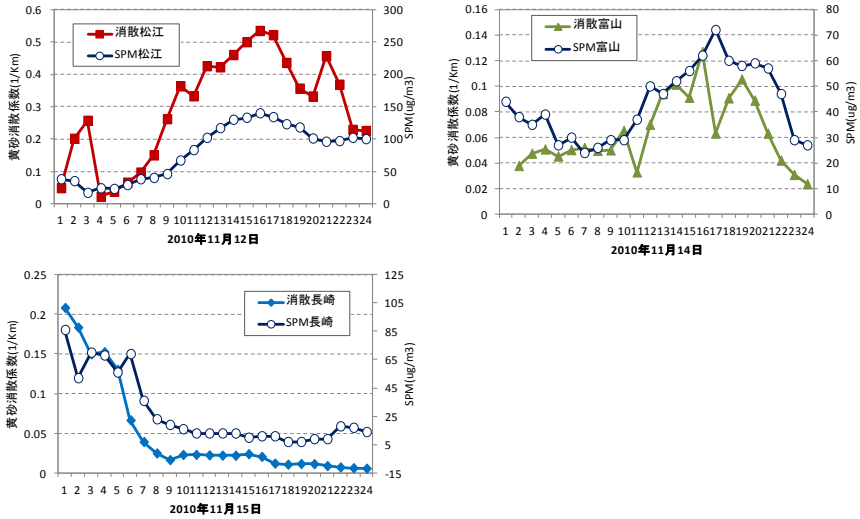


図 5-2-24-7 黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

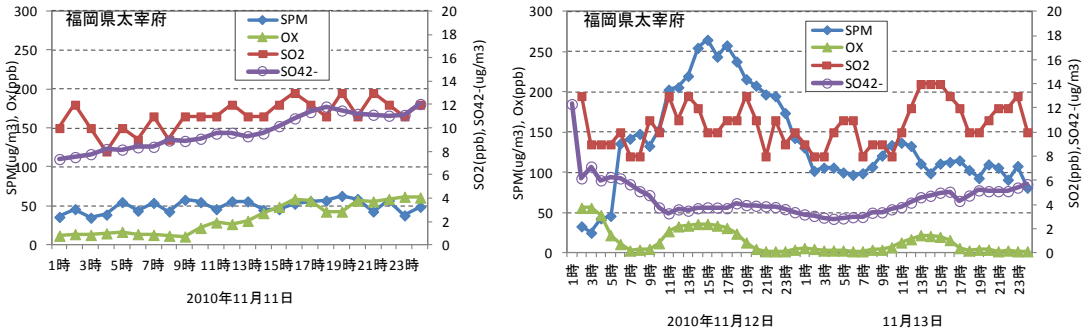


図 5-2-24-8 硫酸イオン等の経時変化

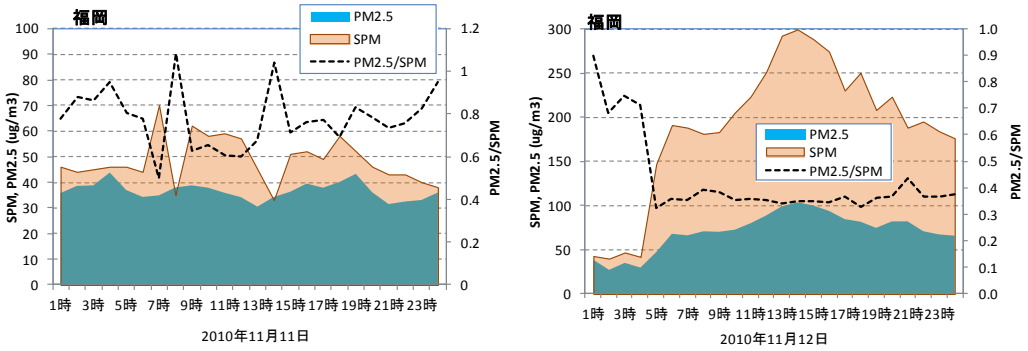


図 5-2-24-9 $PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(25)　平成 22（2010）年 12 月 3 日～5 日

黄砂の観測は、3 日に西日本を中心に 25 地点で、4 日、5 日は沖縄の 1 地点のみである。SPM 濃度分布も、九州、中国地方を中心に 50～100 μg/m^3 程度の地域的な上昇がみられた。気圧配置は、3 日は日本南方に低気圧と前線が位置する黄砂が飛来しやすいものであり、後方流跡線では、気塊は 3 日に中国沿岸部、4 日、5 日はいずれも中国内陸部からの通過を示している。一方で、福岡での硫酸イオン濃度は 3 日に SPM 濃度と同時に上昇し 15 μg/m^3 を超えており、$PM_{2.5}$／SPM 比とも併せると、福岡では黄砂と硫酸エアロゾルが同時に飛来していると考えられた。

表 5-2-25-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名										SPM平均	県数	積算
2010/12/3	25	福井	三重	島根	鳥取	京都	岐阜	山口	広島	岡山	兵庫	23	25	575
		大阪	和歌山	奈良	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	鹿児島	宮崎			
		愛媛	香川	高知	徳島	沖縄								
2010/12/4	1	沖縄										21	1	21
2010/12/5	1	沖縄										15	1	15

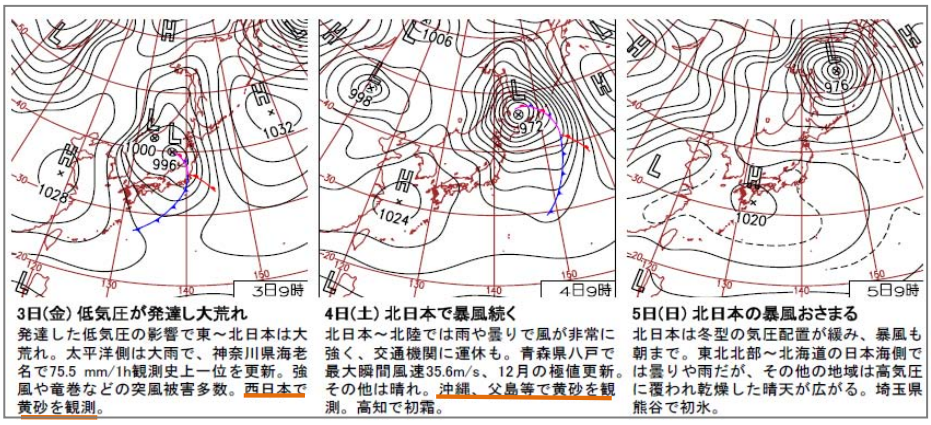


図 5-2-25-1　　天気図

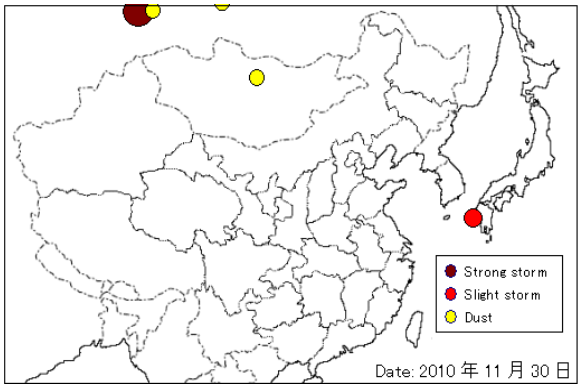


図 5-2-25-2　　砂塵嵐発生状況

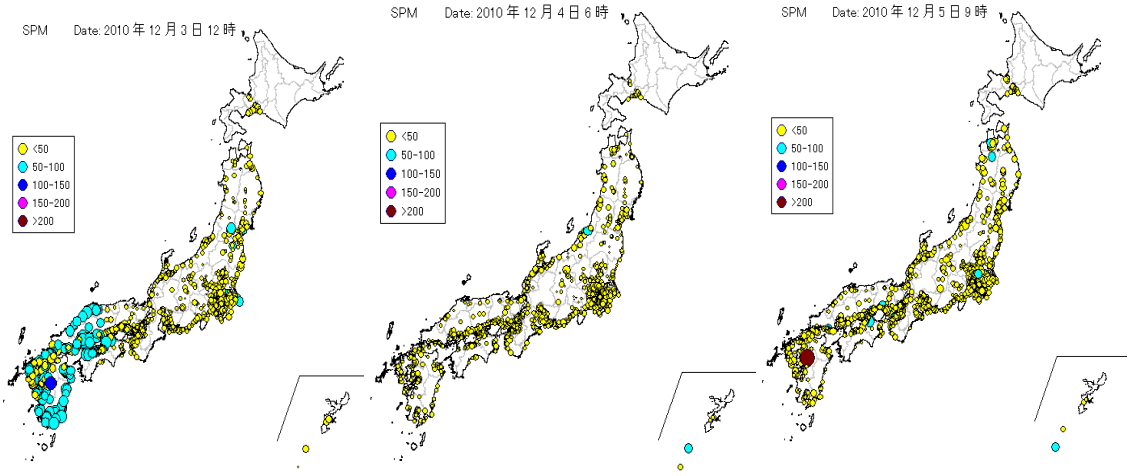


図 5-2-25-3　　SPM 濃度全国分布

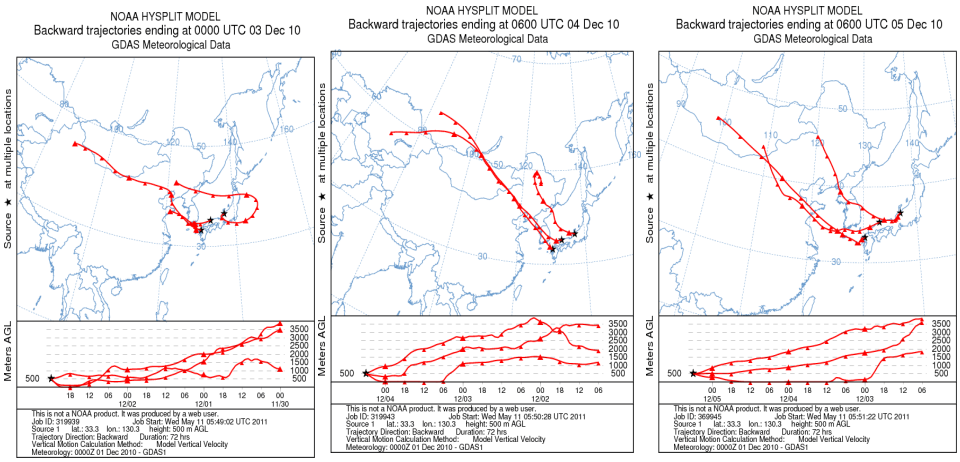


図 5-2-25-4　　後方流跡線

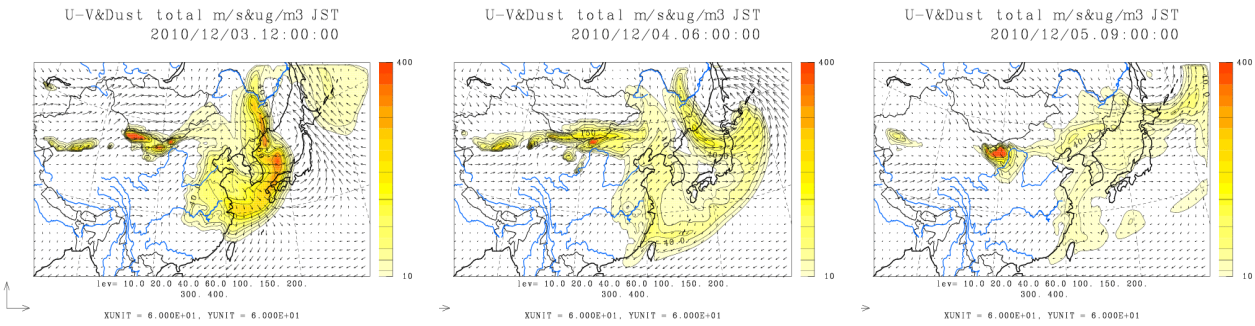


図 5-2-25-5　　CFORS(dust)の予測結果

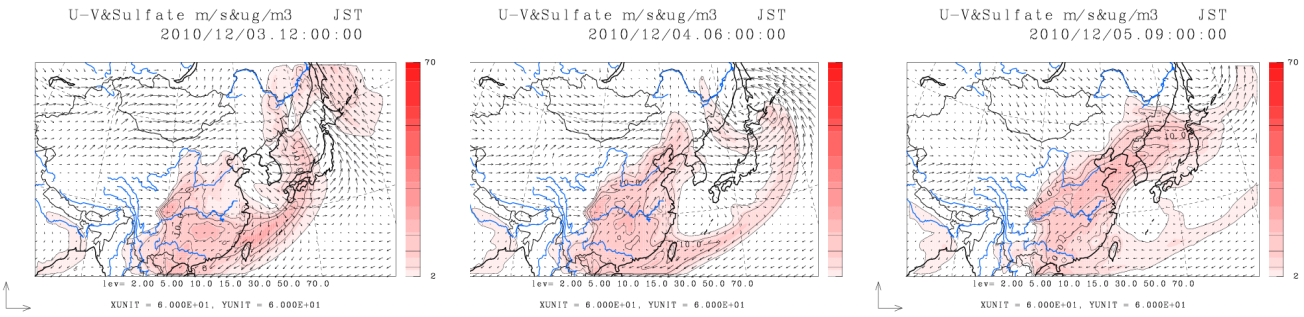


図 5-2-25-5　　CFORS(sulfate)の予測結果

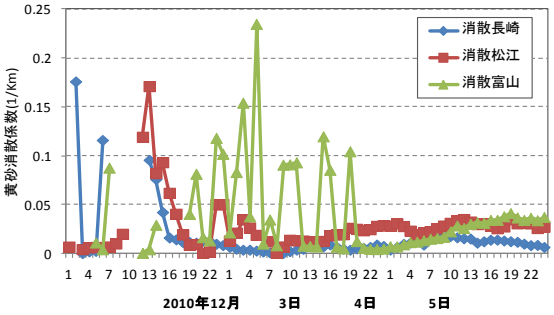


図 5-2-25-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

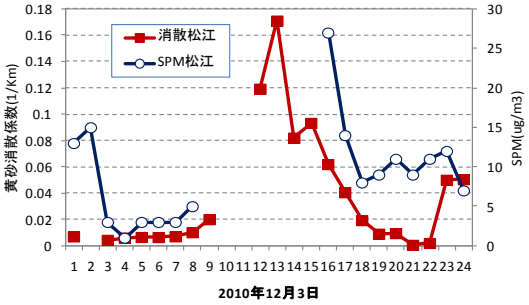


図 5-2-25-7　黄砂消散係数とSPM 濃度の経時変化

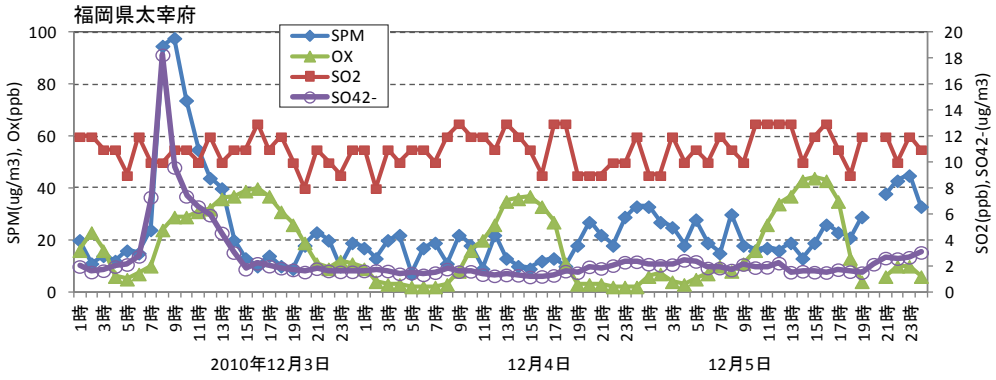


図 5-2-25-8　　硫酸イオン等の経時変化

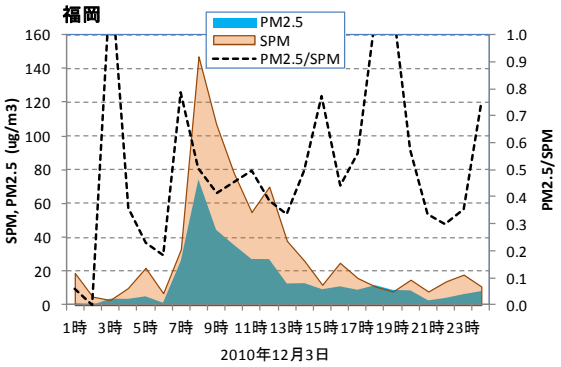


図 5-2-25-9　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(26)　平成 22（2010）年 12 月 11 日～12 日

11 日には九州と山陰を中心に 13 地点で黄砂が観測されている。平均 SPM 濃度は 35 μg/m^3 と低いが、最高は福岡の 150 μg/m^3 である。気圧配置は低気圧が北海道を通過し、前線が日本北岸に沿って九州まで延びている。9 日にモンゴルで砂塵嵐の発生がみられ後方流跡線もその方向である。ライダーでは、長崎、松江で黄砂消散係数と SPM 濃度との同時上昇がみられる。また、硫酸イオンは低く、$PM_{2.5}$/SPM 比も低い。以上から本事例は黄砂単体の影響によるものと考えられた。

表 5-2-26-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名										SPM平均	県数	積算
2010/12/11	13	松江	鳥取	下関	広島	岡山	福岡	佐賀	大分	長崎	熊本	35	13	455
		鹿児島	宮崎	松山										
2010/12/12	1	宮崎										29	1	29

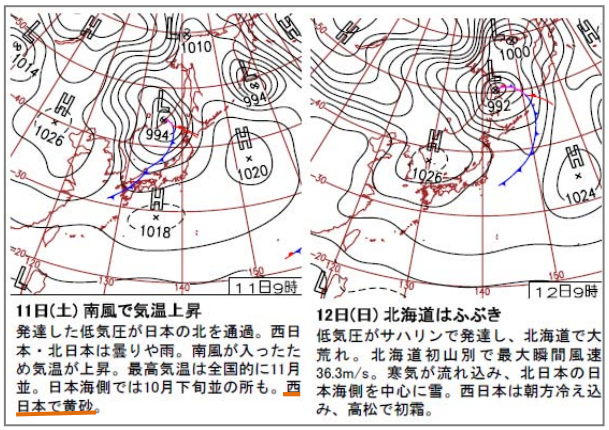


図 5-2-26-1　天気図

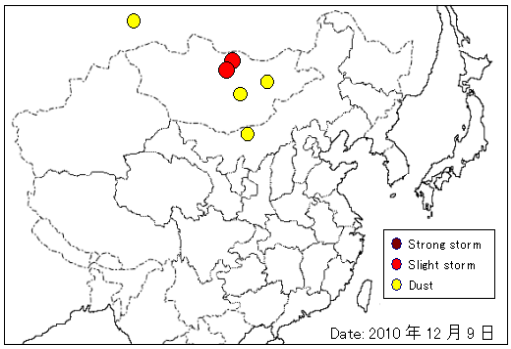


図 5-2-26-2　砂塵嵐発生状況

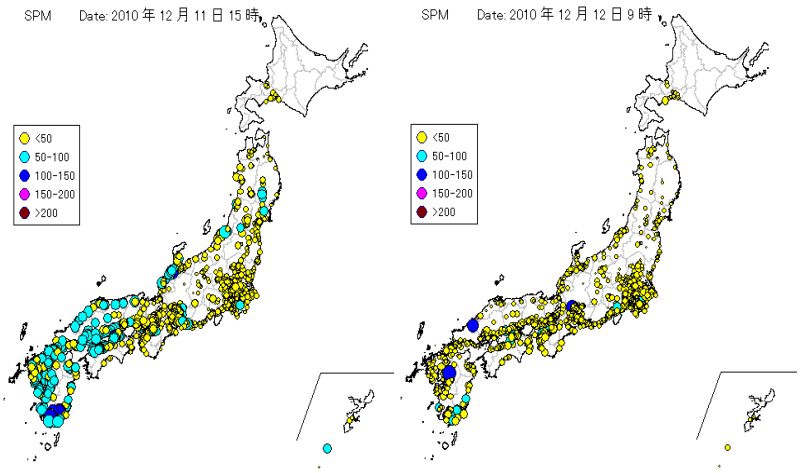


図 5-2-26-3　SPM 濃度全国分布

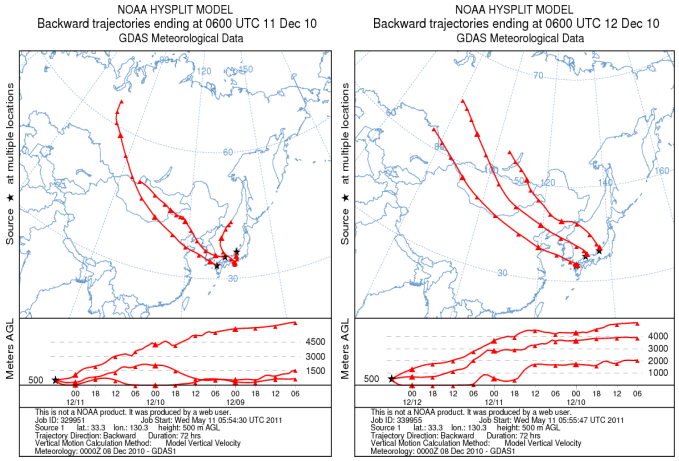


図 5-2-26-4　後方流跡線

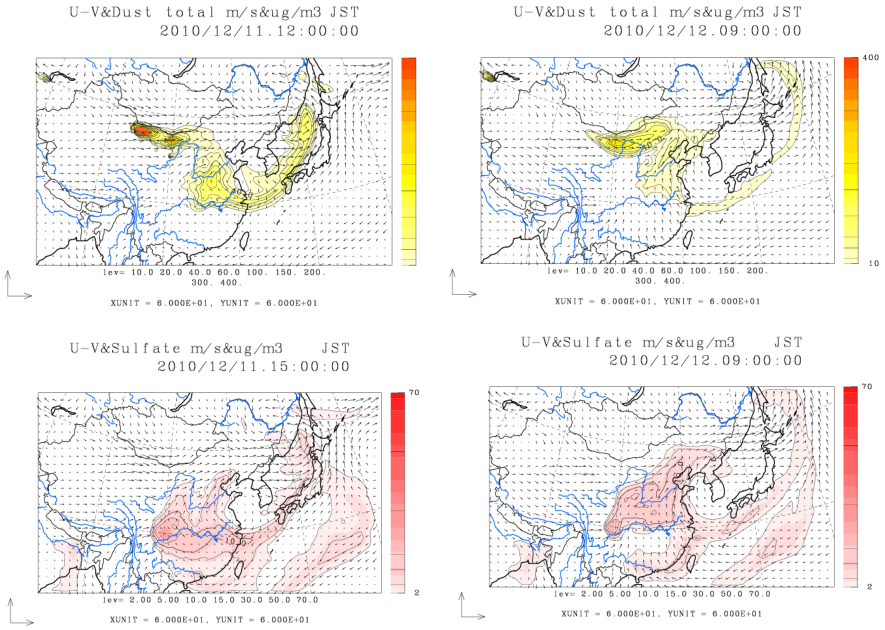


図 5-2-26-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

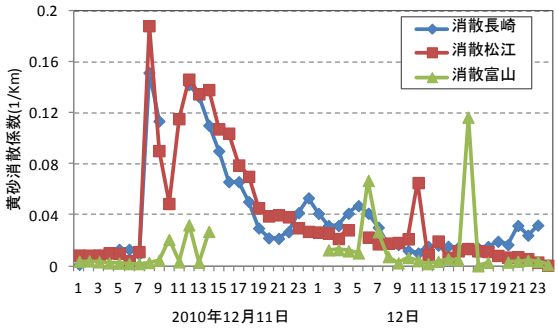


図 5-2-26-6　ライダー黄砂消散係数の経時変化

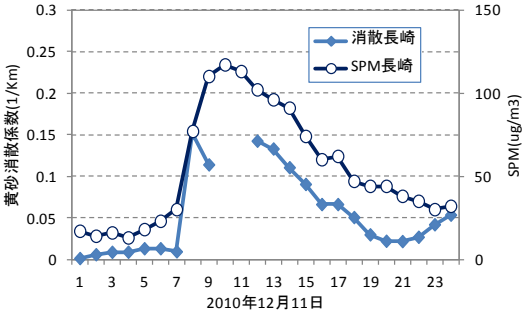


図 5-2-26-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

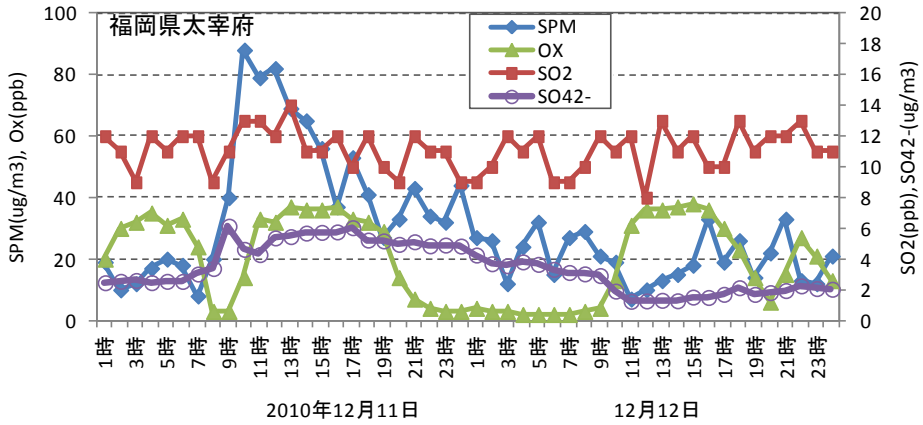


図 5-2-26-8　　硫酸イオン等の経時変化

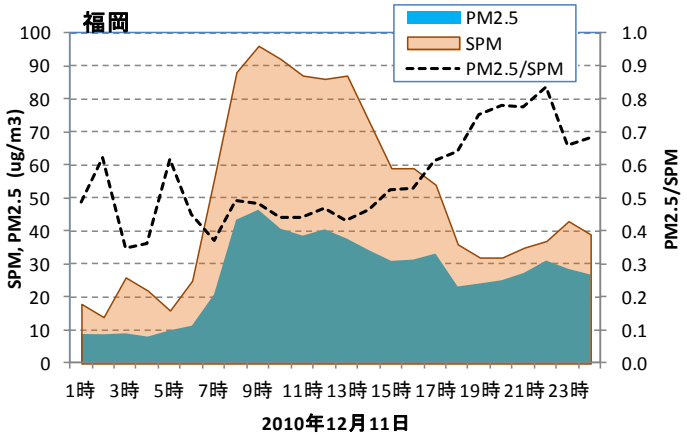


図 5-2-26-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(27)　平成 22（2010）年 12 月 23 日～24 日

黄砂を観測したのは、23 日 6 地点、24 日 3 地点と少なく、SPM 濃度でも九州で少し地域的な上昇がみられている程度である。気圧配置は三陸沖に低気圧がありそれから前線が延びている。19 日にモンゴルで砂塵嵐が観測されている。後方流跡線は、23 日は中国沿岸部、24 日はモンゴルからロシア方向となっている。CFORS では 23 日に sulfate の流れが濃くなっている。ライダーでは、長崎で黄砂消散係数と SPM 濃度の同期がみられるが、消散係数の値は低い。硫酸イオン濃度は 23 日 10 μ g/m^3 を少し超える濃度で推移し、25 日早朝から急激に低下している。23 日には 20ppb を超える SO_2 も観測されていることから、小規模な黄砂と少量の硫酸塩エアロゾルが同時に飛来していたと推定される。

表 5-2-27-1　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名						SPM平均	県数	積算
2010/12/23	6	松江	鳥取	岡山	熊本	高松	徳島	31	6	186
2010/12/24	3	津	奈良	熊本				23	3	69

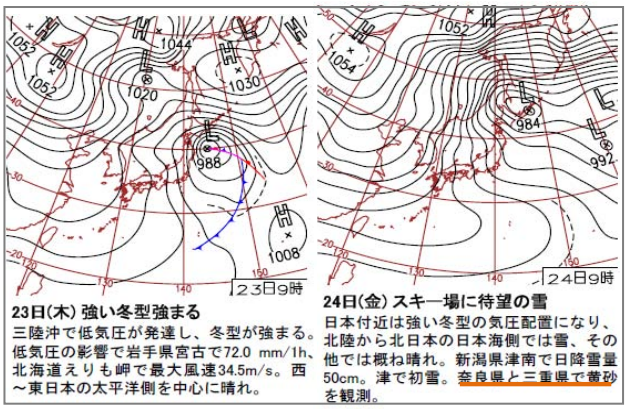


図 5-2-27-1　天気図

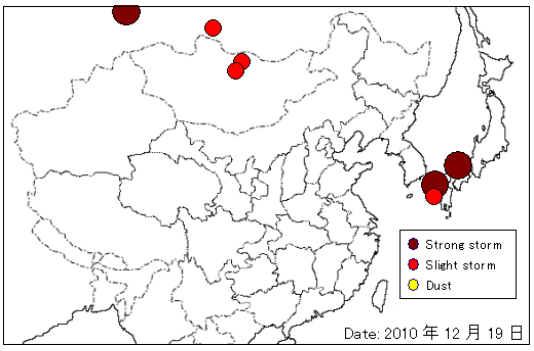


図 5-2-27-2　砂塵嵐発生状況

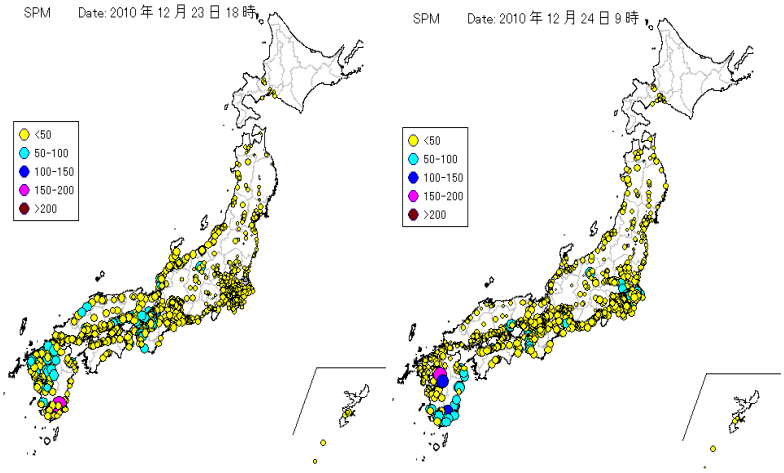


図 5-2-27-3　SPM 濃度全国分布

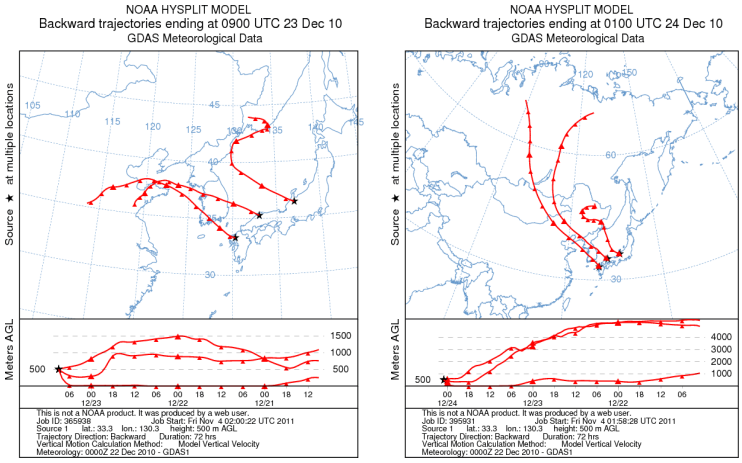


図 5-2-27-4　後方流跡線

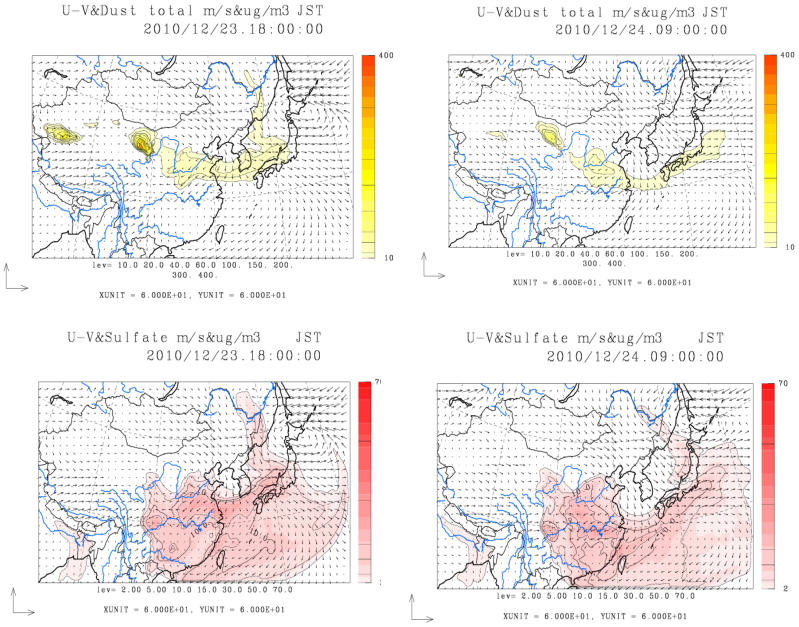


図 5-2-27-5　　CFORS(dust・sulfate)の予測結果

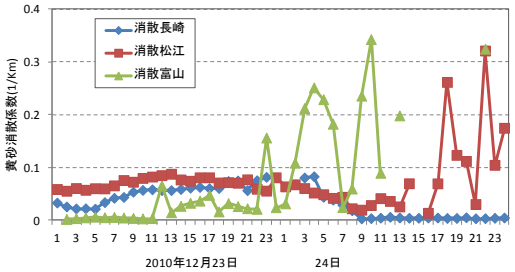


図 5-2-27-6　　ライダー黄砂消散係数の経時変化

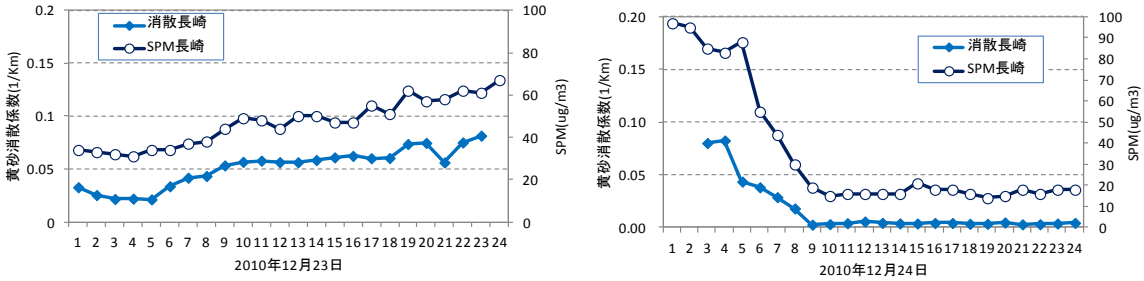


図 5-2-27-7　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

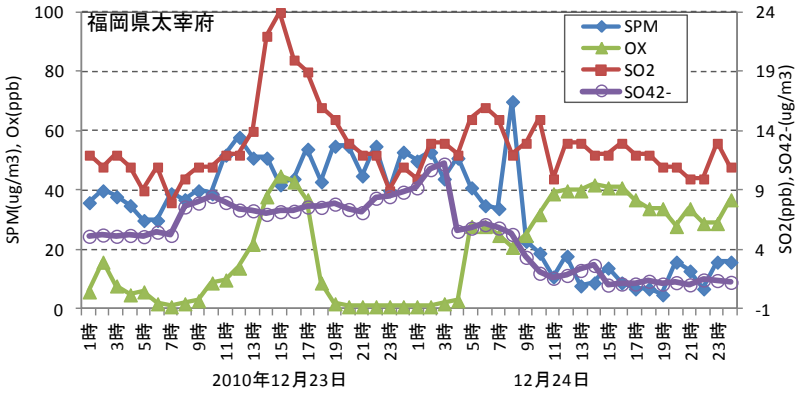


図 5-2-27-8　硫酸イオン等の経時変化

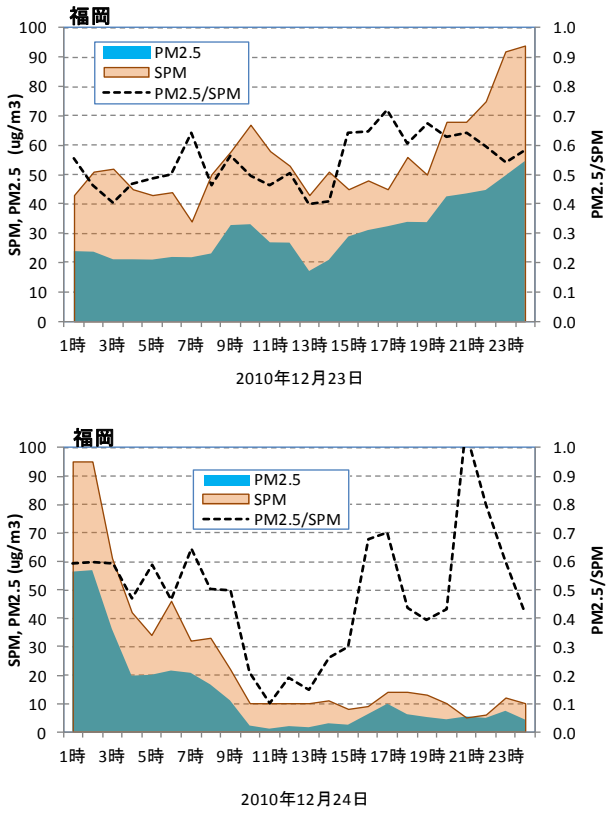


図 5-2-27-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(28)　平成 23（2011）年 2 月 4 日～9 日

この期間、国内の多くの地点で煙霧が観測されており、黄砂ではないが越境汚染による煙霧の影響をみるために事例として取り上げた。世界気象資料によるデータから、この時期、東アジア全体で大規模な Haze 現象が起きていることが分かる。気圧配置は、4 日から 6 日に移動性高気圧が通過し、その後、小さな低気圧と前線が日本東岸に位置するものになっている。後方流跡線では、気塊は 4 日から 6 日には中国沿岸部から、7 日からは中国内陸部からの到来を示している。CFORS の sulfate は中国中部からの濃い流れを予測している。松江で、ライダーによる球形消散係数と SPM 濃度が同期して変動している様子がみられる。硫酸イオン濃度は 7 日の夜までは欠測でデータがないが、8 日以降では 19 μ g/m^3 の高濃度を示している。$PM_{2.5}$／SPM 比も 0.7 以上の大きな値で推移しており、微小粒子の割合が大きくなっている。この時、全国の $PM_{2.5}$ 日平均値は西日本を中心に多くの地点で環境基準を超過しており、越境汚染による煙霧の影響の大きさを示していた。

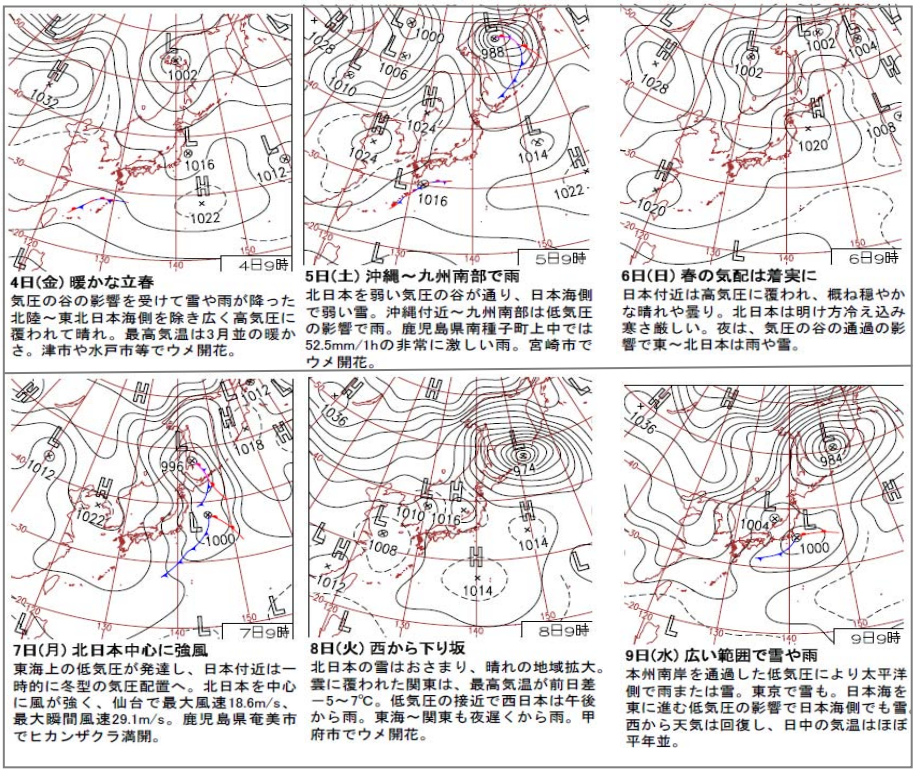


図 5-2-28-1　　天気図

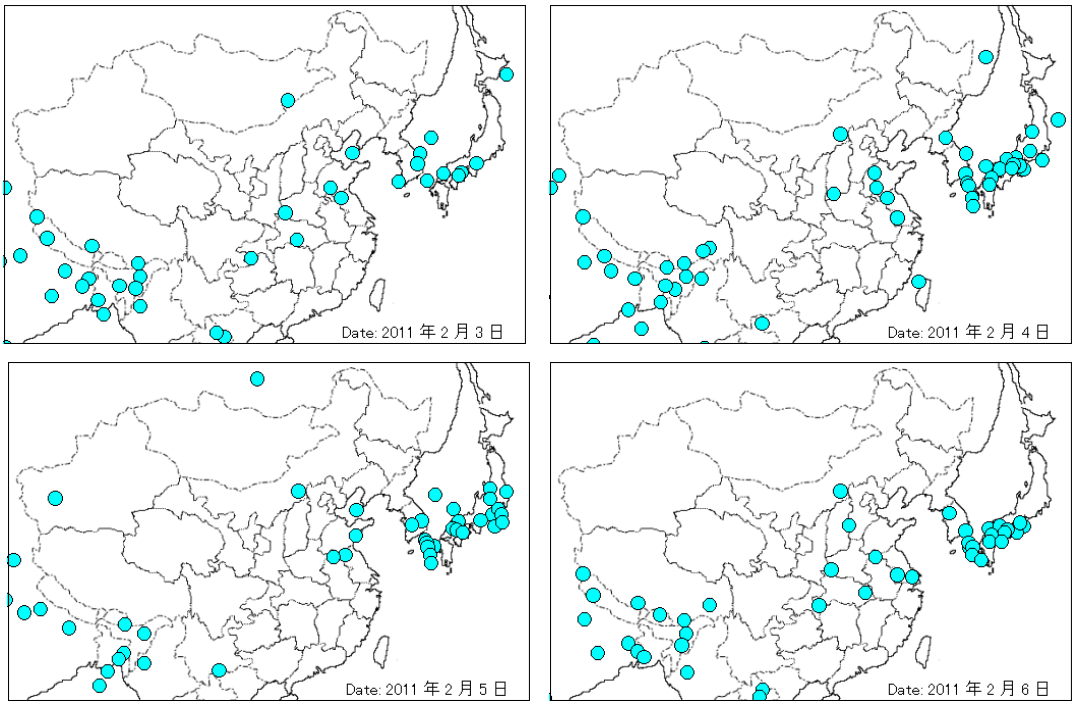


図 5-2-28-2　Haze 観測状況

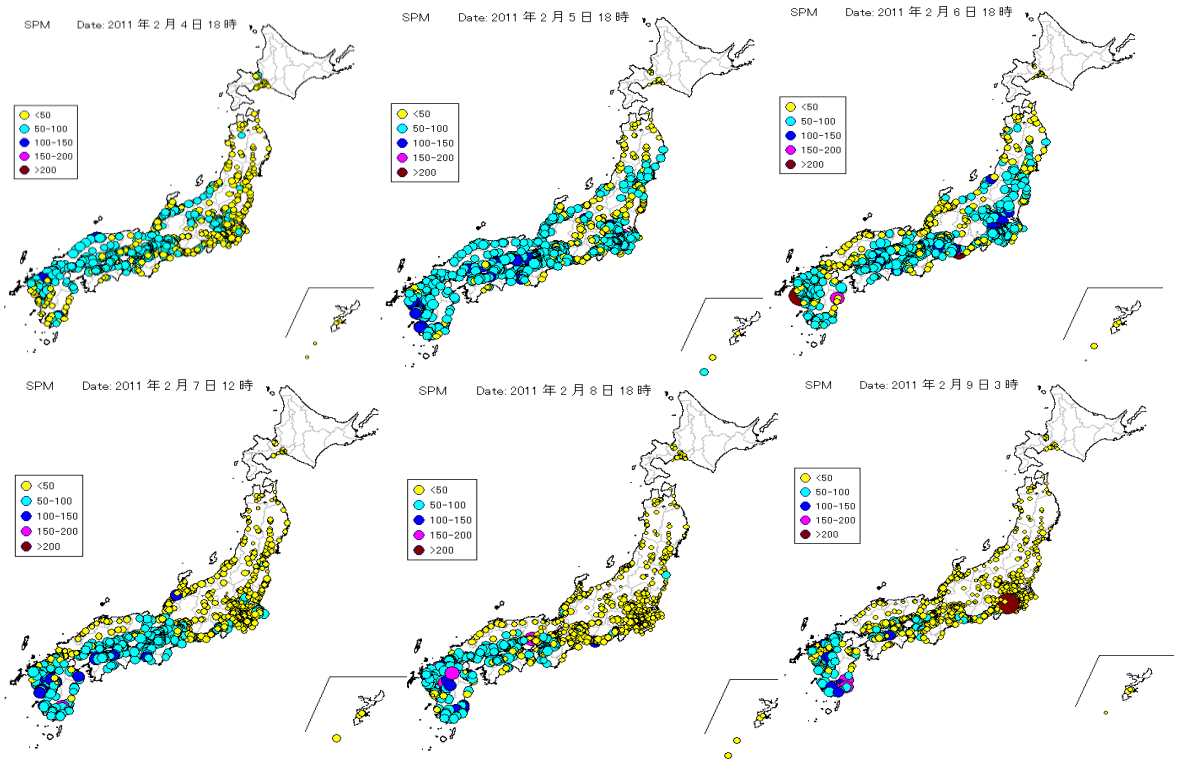


図 5-2-28-3　　SPM 濃度全国分布

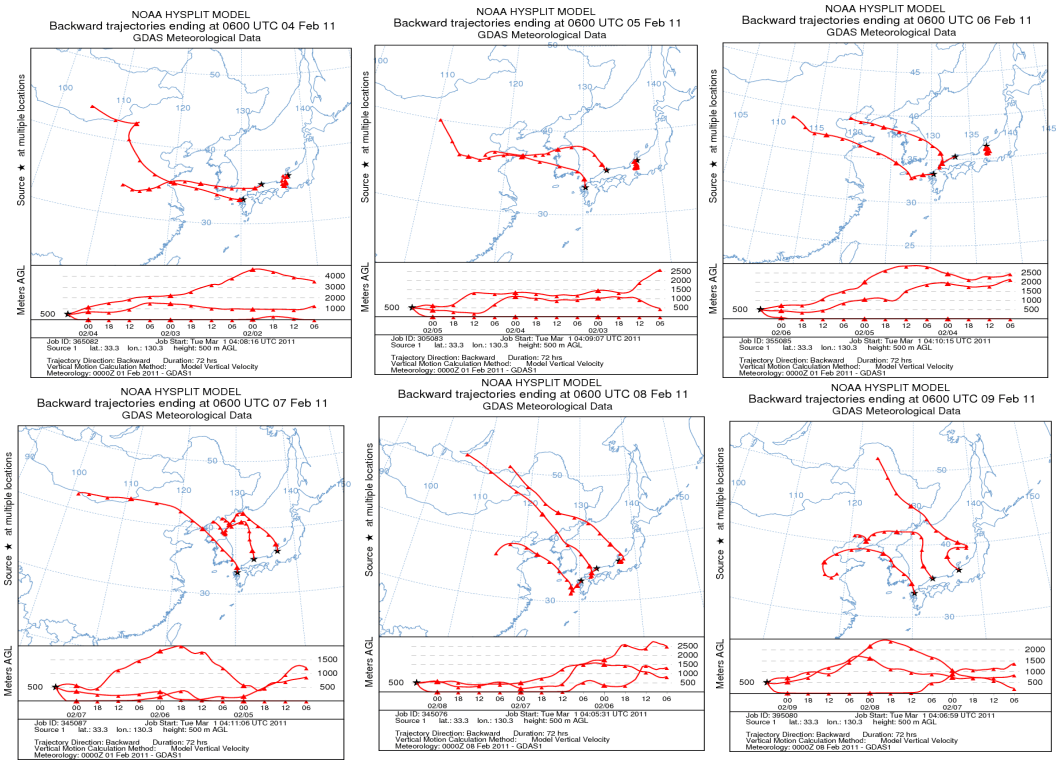


図 5-2-28-4　後方流跡線

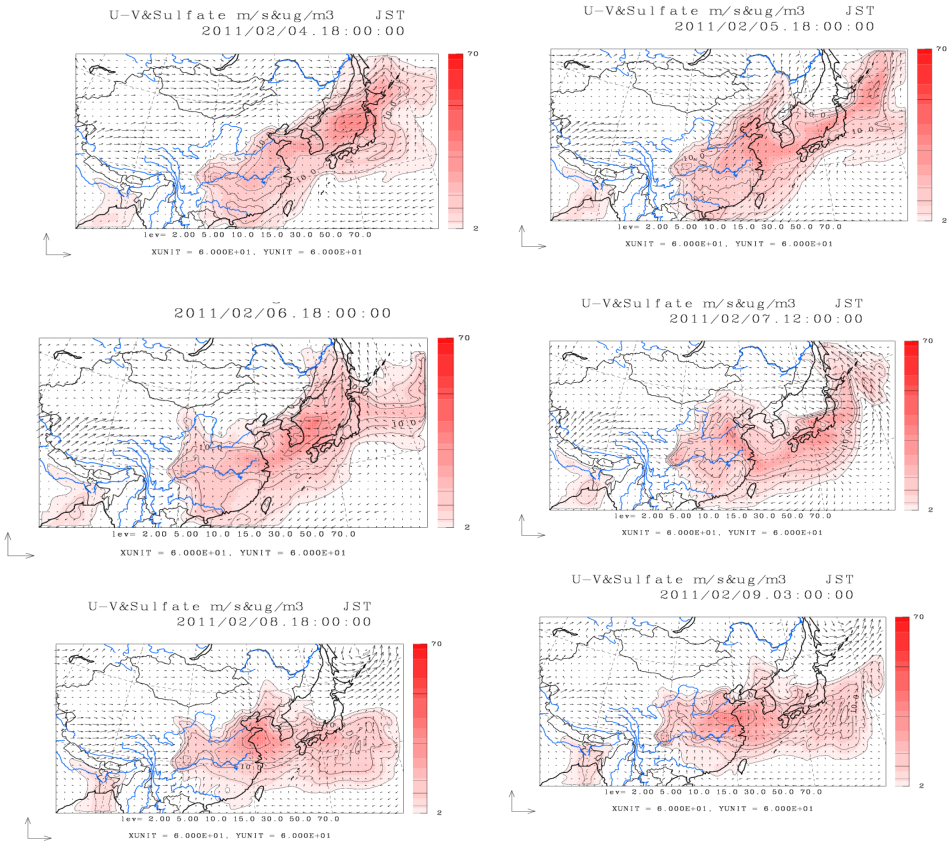


図 5-2-28-5　　CFORS(sulfate)の予測結果

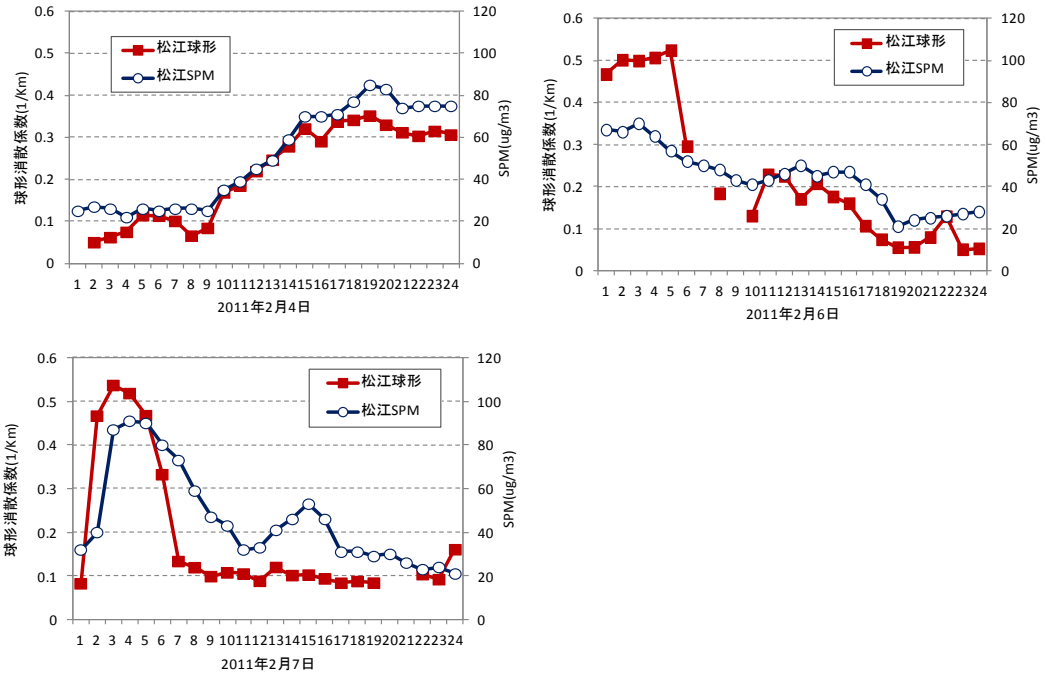


図 5-2-28-6 ライダー球形消散係数の経時変化

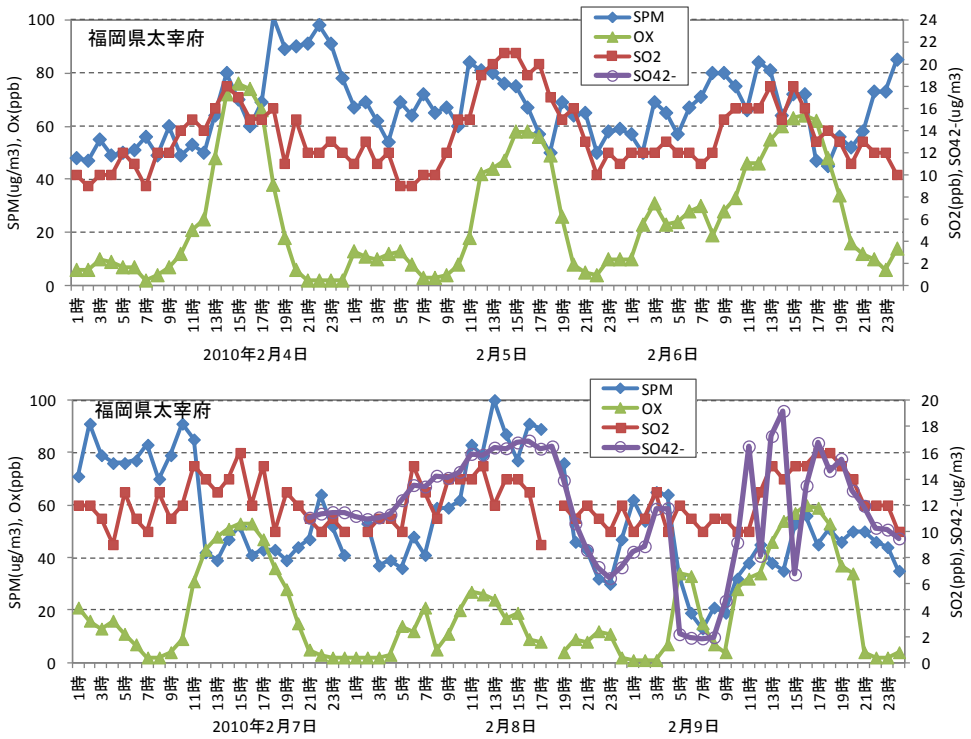


図 5-2-28-7 硫酸イオン等の経時変化

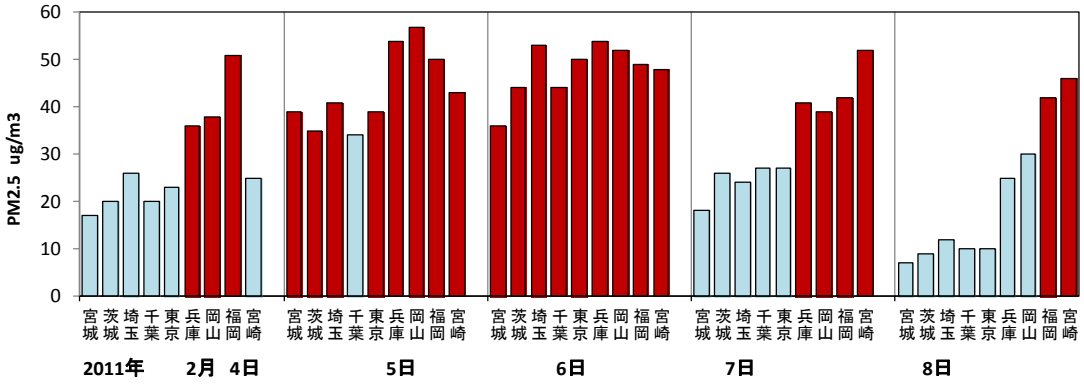


図 5-2-28-8　主要地点での $PM_{2.5}$ 濃度（茶は日平均基準値超）

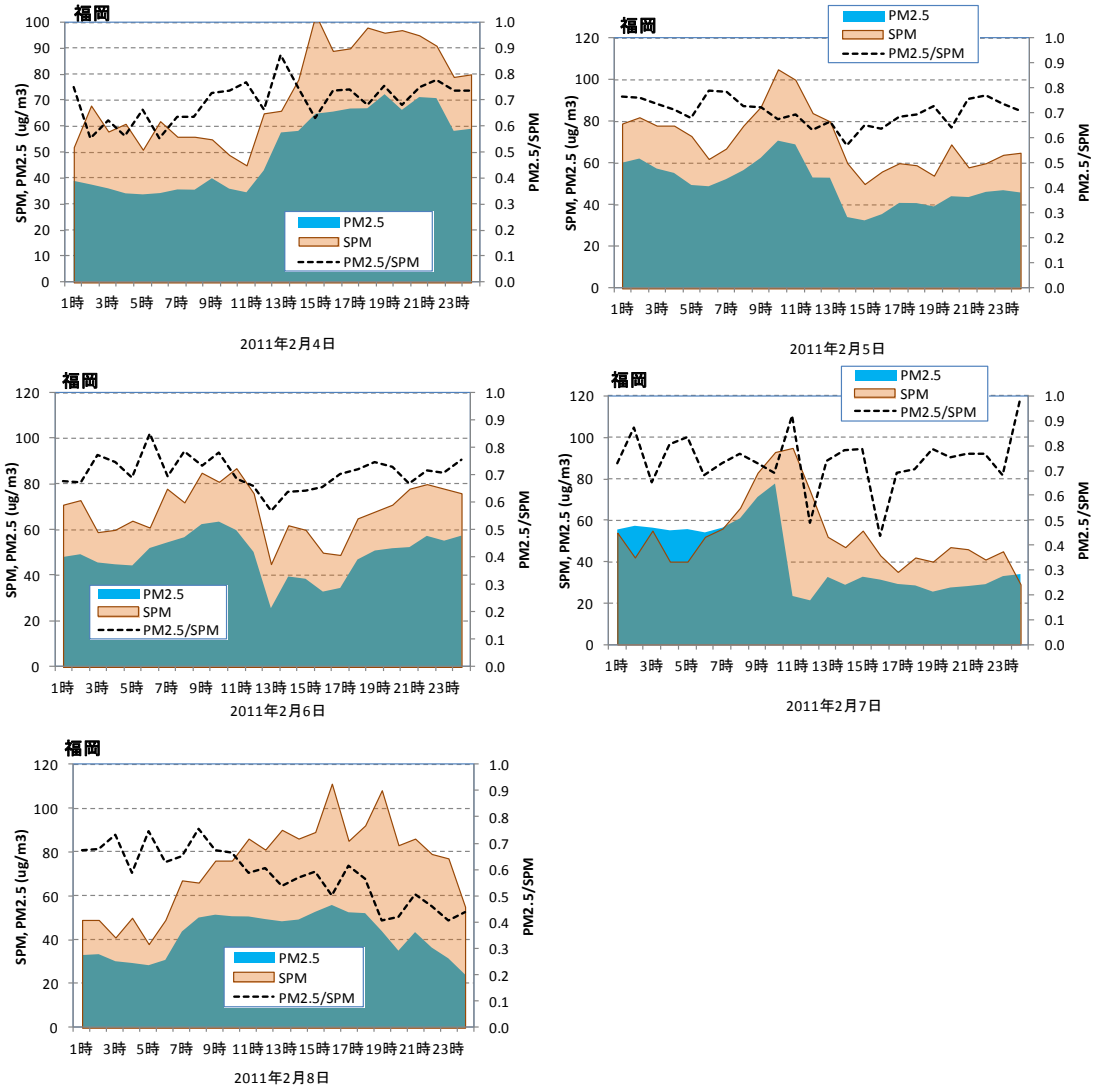


図 5-2-28-9　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(29)　平成 23（2011）年 3 月 20 日

この日の黄砂は、東北の 2 地点のみである。SPM 濃度分布も東北全域で高濃度帯がみられる。気圧配置はオホーツク海に低気圧があり、西から前線と低気圧が接近してきている。17 日にモンゴル中央部と中国内陸部で砂塵嵐が観測されている。後方流跡線は、黄砂が観測されている東北部でモンゴルからの気塊が到来したことを示している。この時期、震災の影響で CFORS とライダーのデータは得られていない。SO_2 の値が 10ppb 以上で推移しており、硫酸塩エアロゾルの存在も予想されるが、硫酸イオンのデータも欠測でその判断はできない。東北地方だけに影響を及ぼした珍しい黄砂である。

表 5-2-29-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点数	観測地点名		SPM平均	県数	積算
2011/3/20	2	青森	仙台	69	2	138

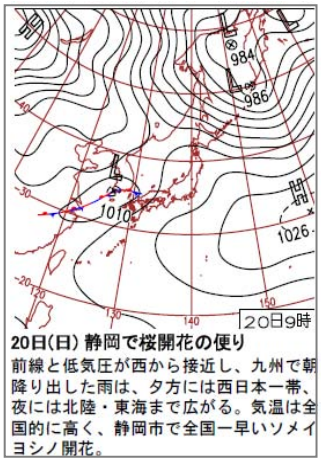


図 5-2-29-1　　天気図

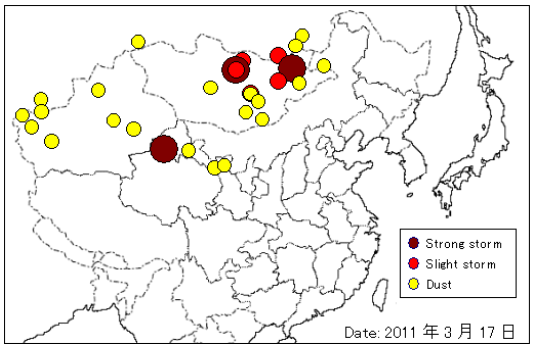


図 5-2-29-2　　砂塵嵐発生状況

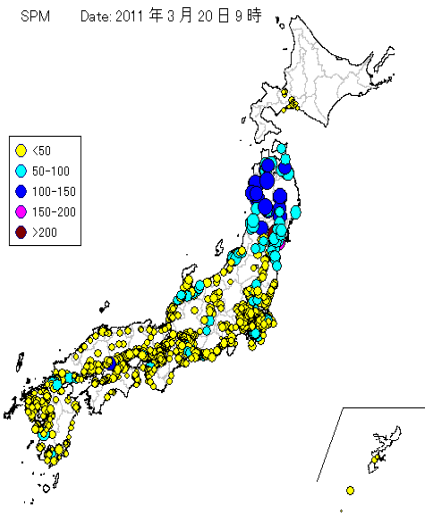


図 5-2-29-3　　SPM 濃度全国分布

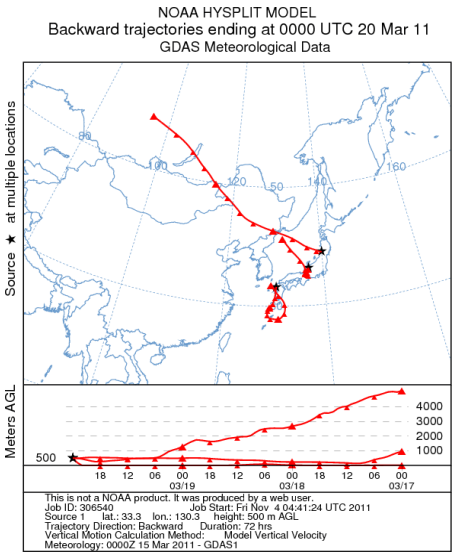


図 5-2-29-4　　後方流跡線

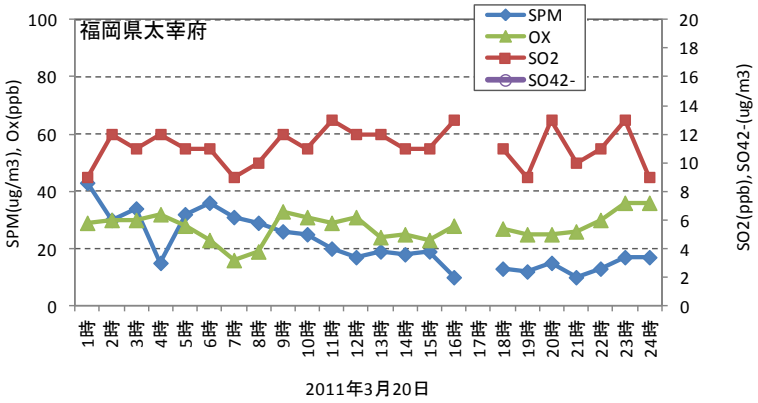


図 5-2-29-5　　大気汚染質の経時変化

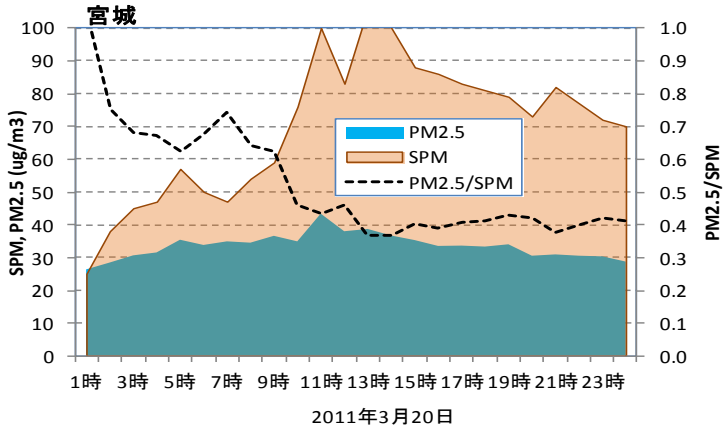


図 5-2-29-6　　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

(30)　平成 23（2011）年 3 月 22 日

黄砂の観測は、九州・中国・四国の 10 地点である。SPM 濃度分布では、この地域で少しの高濃度域がみられる。気圧配置は日本南岸に低気圧と前線がある。20 日にウィグル方面で砂塵嵐が観測されているが大規模ではない。後方流跡線はモンゴル方向で通常の黄砂時と同様である。長崎でのライダー結果で、黄砂消散係数と SPM 濃度との同時上昇が観察される。SO_2 濃度が 10ppb 以上で推移しており、硫酸塩エアロゾル等の影響も考えられるが、硫酸イオン濃度欠測のため特定できない。九州・中国地方に飛来してきた黄砂である。

表 5-2-30-1　　気象台黄砂観測地点と黄砂規模

日付	地点	観測地点名										SPM平均	県数	積算
2011/3/22	10	松江	鳥取	下関	福岡	佐賀	長崎	熊本	鹿児島	宮崎	松山	22	10	220

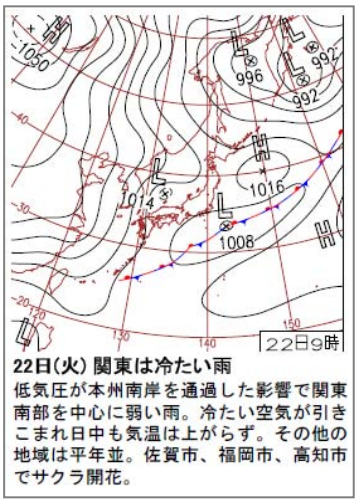


図 5-2-30 -1 天気図

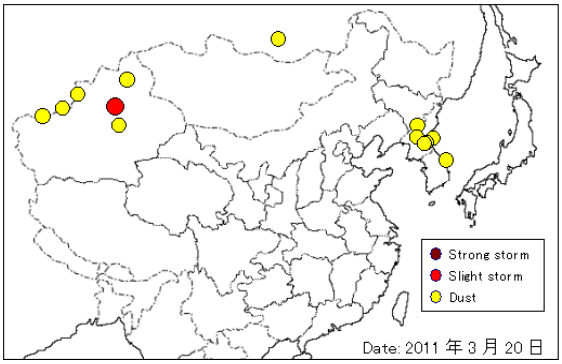


図 5-2-30-2　砂塵嵐発生状況

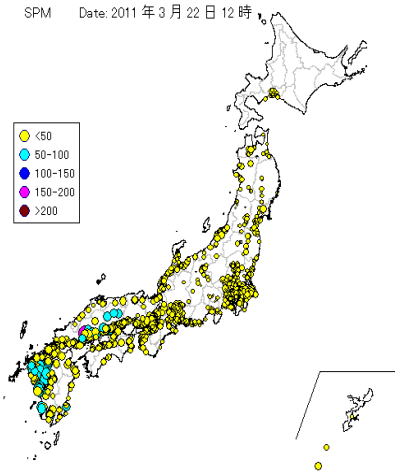


図 5-2-30-3　SPM 濃度全国分布

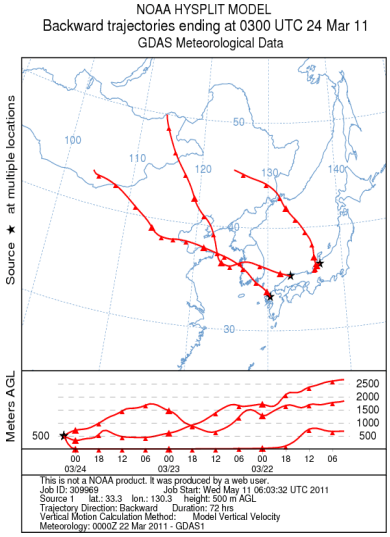


図 5-2-30-4　　後方流跡線

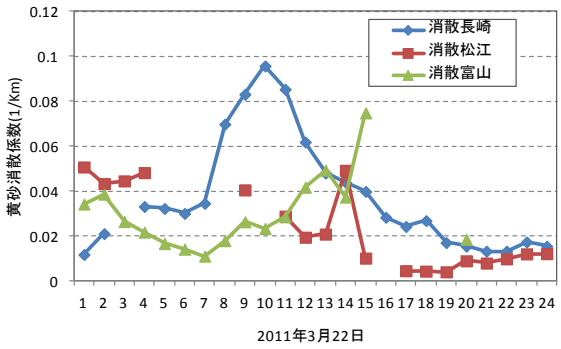


図 5-2-30-5　ライダー黄砂消散係数の経時変化

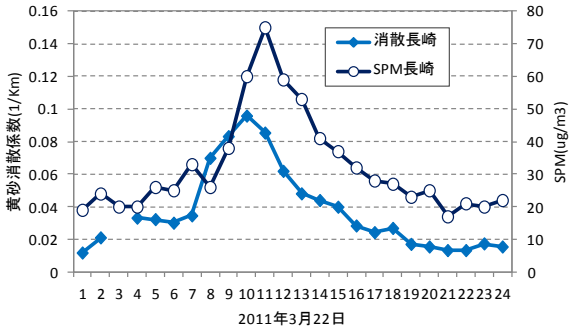


図 5-2-30-6　黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化

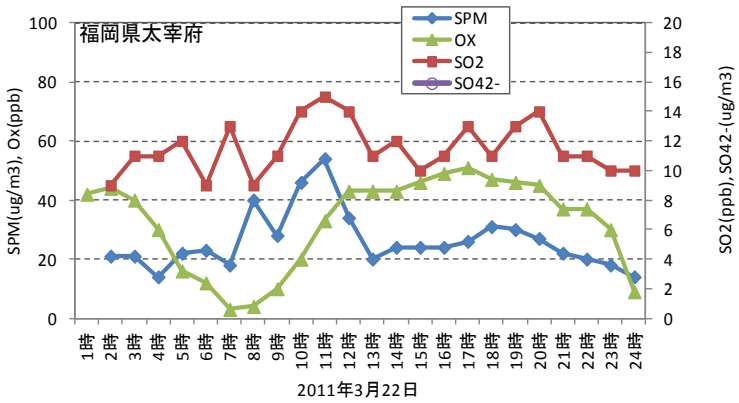


図 5-2-30-7　大気汚染質の経時変化

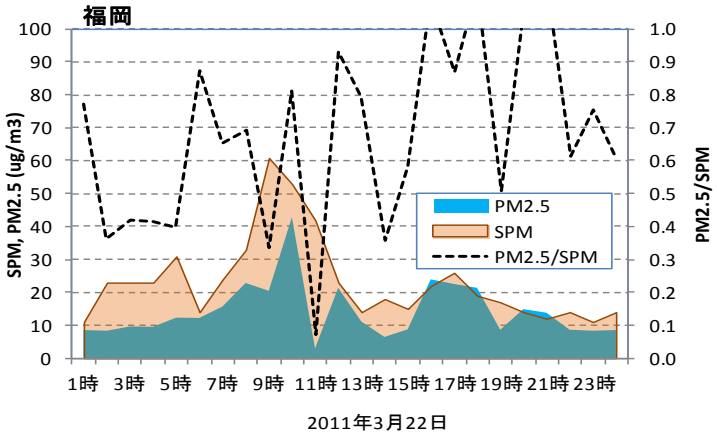


図 5-2-30-8　$PM_{2.5}$・SPM 濃度と $PM_{2.5}$／SPM 比の経時変化

5.3. 分類結果

各事例の特徴について示したが、5.1 で示した分類の方法に準じて分類を行い、そのうち典型事例と思われるものを以下に示す。(括弧は事例番号)

典型事例の各項目の概要は、表 5-3-1 総括表にまとめて示している。

(1)単純黄砂

(15)2010 年 3 月 16～17 日の事例は、九州と山陰を中心に 27 地点で黄砂が観測されており、福岡では SPM 最高濃度 150μg/m^{3}が計測されている。3 月 14 日にモンゴル北部で発生した砂塵が飛来したものとみられ、CFORS においても濃い黄砂の流れが予測されている。このケースでは硫酸イオン濃度は 9μg/m^{3}以下で低く、硫酸塩エアロゾルの飛来はみられていない。これより規模は小さくなるが、**(26)2010 年 12 月 11～12 日**や**(17)2010 年 4 月 2～3 日**、**(9)2009 年 4 月 25～26 日**も同じような状況である。また、**(29)2011 年 3 月 20 日**は東北のみに黄砂が飛来してきた珍しい事例である。

これらの事例に共通した要素は、低気圧とそれに伴う前線が日本を通過していること、モンゴル付近で砂塵嵐の発生がみられること、後方流跡線がモンゴル方向になっていること、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の同時上昇がみられること、硫酸イオンが 10μg/m^{3}以下と上昇していないこと、CFORS で dust の飛来が予測されていること、SPM 濃度上昇時 $PM_{2.5}$/SPM 比が 0.5 以下と低いことなどである。

(2)混在黄砂

黄砂の影響が大きく硫酸イオン濃度は通常よりやや高い場合（10～15μg/m^3）と、硫酸イオン濃度が高く（15μg/m^3）同時に黄砂飛来も確認できる場合がある。

また、混在黄砂にはいくつかのパターンがあり、硫酸イオン濃度が黄砂の飛来と同時に上昇するケース、黄砂が来る直前に硫酸イオン濃度が上昇するケース、硫酸イオン濃度が上昇している福岡では黄砂は見られないが東北・北海道などの北の方では黄砂が飛来しているような地域で分かれるケースなどの特徴がみられた。

黄砂の規模が大きくかつ硫酸イオンの濃度が高いのは、**(22)2010 年 5 月 20～22 日**で、黄砂は 24 地点で観測され、硫酸イオン濃度は 43μg/m^{3}と非常に高い。**(4)2009 年 2 月 11～13 日**も黄砂が 19 地点の観測で、硫酸イオン濃度は 41μg/m^{3}である。(22)2010 年 5 月 20～22 日の事例は、移動性高気圧の通過があり、後方流跡線も中国沿岸部とモンゴル方向がみられ、更に CFORS における dust、sulfate ともに日本への飛来を示している。福岡における硫酸イオン濃度の上昇は SPM 濃度の上昇と同時であり、黄砂と一緒に飛来したものと考えられる。また、$PM_{2.5}$/SPM 比もこの間一貫して 0.8～0.9 の高い値で推移している。同様に、(4)2009 年 2 月 11～13 日の場合も、後方流跡線が中国沿岸部から次第にモンゴル方向へ移っている。硫酸イオン濃度の上昇も SPM 濃度の上昇した時期と重なっており、また PM2.5／SPM 比も前例と同じように 0.6 以上の高い値で推移している。**(8)2009 年 3 月 16～19 日**、**(25)2010 年 12 月 3～5 日**の場合は、硫酸イオンの濃度はさほど高くないが、硫酸イオン濃度と SPM 濃度の経時変化の様子から同時に飛来してきたと考えられる。

一方、硫酸塩エアロゾルが先行しその後黄砂が飛来するケースとしては、**(16)2010 年 3 月 20～24 日**、**(24)2010 年 11 月 12～15 日**、**(13)2009 年 12 月 26～27 日**が代表事例としてあげられる。(16)2010 年 3 月 20～24 日は、個別の事例状況の中でも示したとおり過去にあまり例をみない程の大規模な黄砂であった。黄砂が飛来する直前、福岡では 19.6μg/m^{3}の硫酸イオン濃度があり、その後 SPM 濃度の急激な上昇を示している。20 日夜の後方流跡線は中国沿岸部を示し、21 日にはモンゴル方向へと変わっている。CFORS の sulfate の予測でも 20 日 21 時に濃い流れが予測されている。(24)2010 年 11 月 12～15 日には直前に 13μg/m^{3}の硫酸イオン濃度を、(13)2009 年 12 月 26～27 日には 22μg/m^{3}をそれぞれ示しており、同様の

状況になっていたと考えられる。

また、(11)2009 年 5 月 19 日は、東北で黄砂の飛来がみられ、福岡では黄砂の兆候はなく硫酸イオン濃度が上昇している地域で分かれた事例と思われる。

(3)硫酸塩エアロゾル

硫酸塩エアロゾルの上昇により、全国的な SPM 濃度上昇が出現したと考えられる事例は、(28)2011 年 2 月 4～9 日である。移動性高気圧の通過、それに伴う中国沿岸部からの気塊の流れ、東アジア全域での Haze の観測、ライダー球形消散係数と SPM 濃度の同時上昇、$PM_{2.5}$／SPM の高い比率、硫酸イオンの高濃度など、いずれも、典型的な大陸からの飛来による煙霧の影響とみることができる。同じような状況がみられるのは(2)2008 年 5 月 22～23 日である。

また、黄砂日ではあるが、黄砂の影響はほとんど見られず、硫酸塩エアロゾルの影響が強いと思われるのが、(10)2009 年 5 月 8 日である。

表 5-3-1　総括表

分類		事例番号	期日 年	月	日	分類要素 SPM全国濃度分布 上昇地域	最高濃度（μg/m³）	天気図	黄砂発生	流跡線方向	CFORS dust	CFORS sulfate	ライダー 黄砂消散係数&SPMの相関係数	ライダー 球形消散係数との関係	硫酸イオン最高濃度（μg/m³）	$PM_{2.5}$／SPM（福岡）	概要
単純黄砂		15	2010	3	16	九州・山陰	福岡 150	北海道に低気圧でそれに伴う前線が日本南岸に。	14日ににモンゴル北で	モンゴル	17日に薄い流れ		16日 長崎 0.934 松江 0.943		9.0	0.25	九州から山陰を中心にSPMが上昇しており、中規模の黄砂である。。硫酸イオンの濃度も低く影響は少ない。
			2010	3	17		和歌山 47								4.1		
		26	2010	12	11	九州と中国地方	福岡 140	北海度を低気圧通過し、前線が日本全体へ。	9日にモンゴルで	モンゴル	九州・中国へ薄い流れ	九州へ・中国へ	長崎 0.929 松江 0.694 富山 0.685		6.1	0.4～0.5	九州・中国へ飛来してきた黄砂。
			2010	12	12		宮崎 60								4.3		
		17	2010	4	2	北海道・東北	秋田 110	オホーツク海に低気圧それから延びる前線が日本東岸へ。	3月30日にモンゴル北部で	モンゴル	薄く日本を覆う	薄く飛来			6.6	茨城 0.2	北日本に飛来してきた黄砂で、3日には九州へも来ている。硫酸エアロゾル飛来の様子はない。
			2010	4	3	北海道・九州	青森 87						長崎 0.806		7.4	福岡 0.45	
		9	2009	4	25	主に沖縄での上昇	沖縄 400	九州を低気圧通過にそれに伴う前線が南岸に。	22・23日モンゴルで・大きい	沖縄でモンゴルから	中国中部から九州へ	九州へ薄く	辺戸岬 0.856	長崎&太宰府SO_4^{2-}と同期しているが、SO_4^{2-}濃度は低い	8.5	0.35	沖縄を中心にした黄砂
			2009	4	26		沖縄 70								4.9		
		29	2011	3	20	東北地方	宮城 211	樺太付近に低気圧。前線が接近。	17日にモンゴル北部で	モンゴル						宮城 0.4	東北地方に影響を及ぼした黄砂。
混在黄砂	同時	22	2010	5	20	九州から北陸まで	熊本 200	21日に南岸に前線	17日にモンゴル北部で	中国沿岸部	21日に日本へ濃い流れ	21、22日九州から全国へ			43.1	0.8～0.9	全国的に広がり、濃度も高い黄砂であるが、同時に九州には濃い硫酸塩エアロゾルも飛来している。
			2010	5	21	さらに東北まで広がる	岡山 230			モンゴル					21.6		
			2010	5	22		香川 200								12.2		
		4	2009	2	11	九州・中国	熊本 160	九州南岸に前線	11日にモンゴル北部で	中国沿岸部		西日本へ	松江 0.820	長崎&太宰府 SO_4^{2-} と同期	41.4	0.6	九州・中国・関西まで広範囲に黄砂が飛来している。同時に福岡での硫酸塩も非常に高い。
			2009	2	12	九州・中国	愛媛 210			モンゴル		西日本へ			30.0	0.6	
			2009	2	13	九州・中国	山口 210								23.9		
		8	2009	3	16	中国・関西	静岡 130	日本南部を移動性高気圧通過	14・15日にモンゴルで・大きい	中国沿岸部	日本海へ	日本全体へ	松江 0.962 富山 0.909		5.3	0.4	大きな黄砂であるが、流跡線等汚染質の飛来の可能性もある。中国、韓国でPM_{10}が高濃度を示し。さらにソウルでは17日にHazeと黄砂を観測している。
			2009	3	17	中国・関西が中心	新潟 150				東北へ		長崎 0.662		8.8		
			2009	3	18	日本中部	兵庫 168						長崎 0.708		10.6		
			2009	3	19	日本中部	宮城 96								10.1		
		25	2010	12	3	九州・中国	長崎 200	日本中部に低気圧通過で南岸に前線が延びる	11月30日にモンゴル中部で	モンゴル	3日九州・四国への流れ	3日に九州の南から飛来	松江 0.605		18.2	0.4	3日は、福岡でSPMの上昇と同時に硫酸塩イオンも上昇している。黄砂とともに到来したと考えられる。
			2010	12	4	沖縄	沖縄 70						長崎 0.692		2.3		
			2010	12	5		沖縄 70								3.1		
	先行	16	2010	3	20	夜に九州山陰	福岡 845	20日から低気圧が近づき、21日には北海道東に低気圧とそれから前線が日本東岸に延びる	19日にモンゴル付近で大きい	中国沿岸部	九州へ少し	日本全国を覆う	長崎 0.990		12.8	0.2	硫酸イオンは19日21時に19.6となり、20日に次第に減少した後、20日18時頃から、過去最大級の黄砂（最高800超）が飛来している。その後、SPM高濃度は北上し北海道まで広がった。濃度のピーク(500～800)は2時間毎に北に移動している。21日18時頃に千葉県付近を最後に終了している。
			2010	3	21	午前中に全国に広がる	兵庫 896			モンゴル	日本全国を覆う		長崎 0.960		12.0		
			2010	3	22	沖縄	沖縄 300								3.7		
			2010	3	23		鹿児島 250				沖縄方面へ				5.1		
			2010	3	24		沖縄 100								4.7		
		24	2010	11	12	九州・中国・北陸	福岡 400	低気圧が北海度を通過し、それに伴う前線が日本全体へ延びている。	10日にモンゴル中部で	モンゴル	12日日本への強い流れ	薄く日本を覆う	松江 0.872		12.3	0.3	黄砂飛来直前に10を超える硫酸イオンが飛来し、その後は黄砂のみと考えられる。
			2010	11	13	関東まで広がる	岡山 250								5.7	0.4	
			2010	11	14	九州と関東	佐賀 300								6.7	0.5	
			2010	11	15		福岡 150						長崎 0.908		8.5	0.5	
		13	2009	12	26	関東以西全域	宮崎 260	日本南岸に前線	24日にモンゴル全域で	モンゴル		26日九州へ	長崎 0.966	長崎で26日SO_4^{2-}と同期	22.2	0.3	関東や東北など全国的に広がった黄砂。硫酸イオンの上昇は20日の夜中の1時まででその後減少。中国、韓国でPM_{10}の高濃度示し、韓国では25日がHazeが観測されている。
			2009	12	27		石川 150								3.6		
	地域分離	11	2009	5	19	上昇少ない	青森 70	九州南岸に前線	16日にモンゴル北部で	モンゴル	日本北部へ	日本全体	札幌 0.6183	長崎&太宰府 SO_4^{2-}	14.5	0.8	東北を中心に飛来した小さな黄砂。九州で硫酸エアロゾル飛来の様子がある。
硫酸塩エアロゾル		28	2011	2	4		島根 300	移動性高気圧が九州南部を通過。7日は東岸に前線。	東アジア全域でHazeを観測	中国沿岸部		日本全体へ濃い流れ		SPMと相関	－	0.7～0.8	東アジア全域でHazeを観測し、国内でのSPM濃度も最高で400μg/m³超す地点があるような全国的に広がる大規模な煙霧の到来である。
			2011	2	5	九州から東北まで	鹿児島 250							松江 0.971	－		
			2011	2	6		長崎 400							松江 0.908	－		
			2011	2	7		鹿児島 200			福岡はモンゴル、				松江 0.739	－		
			2011	2	8	西日本を中心	宮崎 300			松江・富山モンゴル					16.9		
			2011	2	9		宮崎 200								19.1		
		2	2008	5	22	全国的	福岡 153	移動性高気圧通過	20日にモンゴル東部で	中国沿岸部	中国中部から東北へ	日本全体	松山 0.9206	松江 0.833	30.5	0.9	東北・北海道は黄砂の可能性あるが、全体としては硫酸塩エアロゾルの影響が大きい
			2008	5	23		岡山 150					濃い			22.8	0.9	
		10	2009	5	8	九州	鹿児島 97	九州を移動性高気圧通過	8日にモンゴル北部で	福岡で中国沿岸部	九州へ少し	九州全体			24.5	0.9	松江で夜に黄砂の痕跡はみられるが、Ox、硫酸塩の上昇から九州地方に影響を与えた煙霧が中心である

6.ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度による黄砂検出の検討

日本における継続的な黄砂観測は気象台での目視によって行われており、視程 10km 未満を黄砂現象として報告されている（1989 年以降は 10km 以上も記録)。一方、目視による黄砂だけでなく、より科学的・定量的手法の活用により広範囲に黄砂飛来を把握できる方法を見出すことも重要である。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、ここでは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(5ページ参照)と SPM 時間値との関係を使って黄砂を検出する方法について検討した。

6.1　使用データ

使用したデータは、国立環境研究所ライダー計測値から導き出された黄砂消散係数について、高度 150m～270m の 1 時間平均値（長崎、松江、富山）を算出したものと、ライダー設置地点に隣接する常時監視局での SPM 濃度時間値である。また、黄砂飛来の状況把握には、後方流跡線、天気図、CFORS 予測結果、硫酸イオン濃度などを使用した。期間は、平成 20（2008）年 4 月から平成 23（2011）年 3 月までの 3 年間である。

6.2　気象台黄砂日における黄砂消散係数と SPM 濃度の関係

黄砂によって SPM 濃度が上昇した場合､ライダーにおける黄砂消散係数と SPM 濃度には、相関関係の存在が予想される。そこで、気象台黄砂日における黄砂消散係数 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、気象台黄砂日の 24 時間で計算を行った。その結果を、地点別に表 6-1 に示している。

表 6-1　気象台黄砂日における黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 時間値の相関

				長崎											松江											富山									
年度	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	地点黄砂日	消散黄砂日	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	地点黄砂日	消散黄砂日	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	地点黄砂日	消散黄砂日
2008	2008	4	26	24	0.067	0.012	66	42	0.589	347	38	●		23	0.064	0.035	47	33	0.266	136	28			22	0.206	0.019	66	28	0.407	159	25		
	2008	5	31	24	0.331	0.142	91	55	0.915	203	27	●	○	14	0.537	0.325	51	38	0.272	20	31	●		23	0.372	0.085	27	11	−0.379	−30	14		
	2008	6	1	24	0.091	0.063	79	45	0.089	111	38	●		24	0.516	0.221	52	29	0.241	28	22			24	0.093	0.067	66	20	0.496	543	−17		
	2009	2	11	16	0.789	0.104	118	82	−0.548	−74	90			19	0.047	0.019	83	51	0.820	1297	26	●		24	1.483	0.158	40	11	0.239	6	10		
	2009	2	12	24	0.159	0.105	83	65	−0.241	−55	70			23	0.080	0.031	80	55	0.473	187	49	●		24	0.039	0.027	56	38	0.031	65	37		
	2009	2	13	20	0.089	0.027	79	55	0.192	135	52			15	0.053	0.026	63	43	0.752	495	30	●		22	0.095	0.033	45	18	0.039	24	17		
	2009	2	15	24	0.112	0.052	38	25	0.363	72	21			17	0.196	0.059	46	28	0.650	135	20	●		24	0.602	0.049	46	15	0.380	46	13		
	2009	2	20	17	0.284	0.138	59	36	0.678	99	22	●		14	0.247	0.113	59	39	−0.059	−13	41	●		17	0.822	0.122	63	17	0.004	0	17		
	2009	2	21	24	0.232	0.157	63	37	0.570	167	11	●		23	0.851	0.140	58	31	0.644	49	24	●	○	24	0.965	0.190	63	35	0.487	36	28		
	2009	2	22	19	0.729	0.203	64	41	−0.156	−11	44			19	0.312	0.087	41	22	0.354	40	19	●		21	0.064	0.028	45	11	0.046	46	10		
	2009	3	16	24	0.057	0.019	37	20	0.530	325	13			24	0.117	0.068	36	23	0.962	221	8	●		24	0.116	0.048	68	22	0.909	578	−6	●	○
	2009	3	17	24	0.115	0.048	70	40	0.662	239	29		○	24	0.552	0.226	77	46	0.538	61	32	●		24	0.184	0.102	72	49	0.583	212	27	●	
	2009	3	18	24	0.059	0.027	47	28	0.708	401	17	●		23	0.168	0.099	40	27	0.451	129	14	●		24	0.076	0.053	68	25	0.469	407	3	●	
2009	2009	10	19	24	0.067	0.022	89	38	0.828	1019	15	●	○	23	0.239	0.044	77	21	0.913	278	9	●	○	22	0.239	0.073	77	33	0.463	486	−2		
	2009	10	21	24	0.053	0.020	43	27	0.866	507	17			23	0.101	0.054	60	21	0.910	422	−2	●	○	9	0.101	0.167	60	60	−0.322	−148	11		
	2009	10	22	24	0.080	0.044	61	47	0.237	89	43			24	0.088	0.055	33	21	0.850	278	6	●		19	0.088	0.092	33	36	−0.295	−82	12		
	2009	12	26	20	0.105	0.062	114	69	0.966	973	9	●	○	24	0.252	0.148	64	42	0.878	144	21	●	○	19	1.214	0.428	64	79	−0.371	−18	30		
	2010	3	13	24	0.385	0.030	69	40	−0.003	−1	40			24	0.486	0.071	37	17	−0.025	−2	17	●		12	0.486	0.193	37	44	0.517	37	7		
	2010	3	16	24	0.215	0.084	130	57	0.943	609	5	●	○	23	0.183	0.098	50	22	0.934	282	−6	●	○	13	0.558	0.277	50	47	−0.324	−11	10		
	2010	3	20	24	1.852	0.176	590	109	0.990	290	58	●	○	23	0.459	0.089	65	28	0.483	65	22			20	0.459	0.123	65	52	−0.103	−34	20		
	2010	3	21	23	1.802	0.277	898	182	0.960	552	29	●	○	24	1.768	0.406	362	88	0.964	200	7	●	○	12	1.768	1.241	378	333	0.836	435	−29	●	
2010	2010	4	27	17	0.500	0.114	90	42	−0.108	−22	44	●		10	0.193	0.082	53	20	0.747	170	6	●		5	0.112	0.034	17	9	−0.831	−112	13		
	2010	4	30	24	0.103	0.054	76	39	0.889	500	12	●	○	24	0.088	0.051	33	22	0.505	161	14	●		22	0.099	0.021	40	23	0.560	241	18		
	2010	5	3	24	0.098	0.084	72	59	0.042	44	55			23	0.220	0.117	53	36	0.144	14	34	●		24	0.068	0.041	47	31	0.910	606	6		
	2010	5	4	24	0.114	0.089	81	64	−0.590	−500	108	●		24	0.224	0.140	56	41	−0.164	−32	46	●		24	0.111	0.076	64	48	0.822	337	22		○
	2010	5	5	22	0.105	0.067	69	51	0.760	266	33		○	24	0.216	0.160	65	43	−0.220	−54	51	●		24	0.121	0.094	59	49	−0.625	−245	72		
	2010	5	20	12	0.058	0.045	150	111	−0.466	−1143	163			24	0.089	0.059	132	88	0.502	720	45	●		10	0.210	0.027	93	62	−0.720	−301	70		
	2010	11	12	24	0.911	0.567	240	161	0.333	103	102			24	0.534	0.296	140	81	0.872	224	14	●	○	24	0.220	0.094	153	68	0.797	593	12	●	○
	2010	11	13	21	0.673	0.339	172	127	0.070	9	124			24	0.364	0.282	98	74	−0.088	−13	78	●		23	0.230	0.136	133	75	0.467	157	53	●	
	2010	11	14	24	0.165	0.102	89	61	0.570	383	22			24	0.271	0.157	66	46	0.322	52	38	●		23	0.127	0.064	72	43	0.708	373	19	●	○
	2010	12	11	22	0.152	0.054	110	49	0.929	585	17	●	○	24	0.189	0.063	53	23	0.694	205	10	●	○	21	0.669	0.120	49	14	0.685	53	8		
	2010	12	23	23	0.082	0.052	62	46	0.939	533	18		○	24	0.087	0.071	45	31	0.378	216	16	●		22	0.156	0.025	37	17	0.414	136	14		
	2011	3	22	23	0.096	0.038	75	33	0.805	491	14	●	○	18	0.051	0.023	21	11	0.760	211	6	●		22	1.367	0.172	24	15	−0.412	−7	16		

2008～2010 年度において長崎、松江、富山で観測された気象台黄砂日は合計で延べ 53 日である。これらの日における相関係数の頻度分布を図 6-1 に示している。相関係数が 0.4 以下は全体の約 25%であり、0.6 以上の割合は 60%近くになり概ね高い相関関係を示している。図 6-2 に、非常に大規模な黄砂が飛来した 2010 年 3 月 20～22 日の長崎・松江・富山での黄砂消散係数の経時変化と、地点毎の SPM 時間値との同時変化を示している。これらのことは、黄砂消散係数と SPM 濃度の時間変化の同時性をみることによって、黄砂の飛来判定ができる可能性を示唆している。

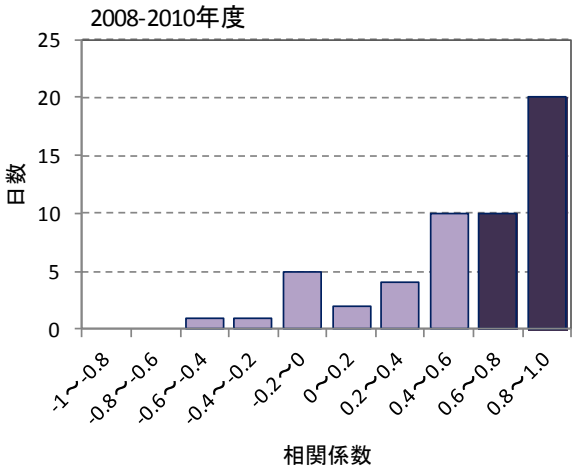


図 6-1　地点別黄砂日における黄砂消散係数と SPM 濃度間の相関係数の頻度分布

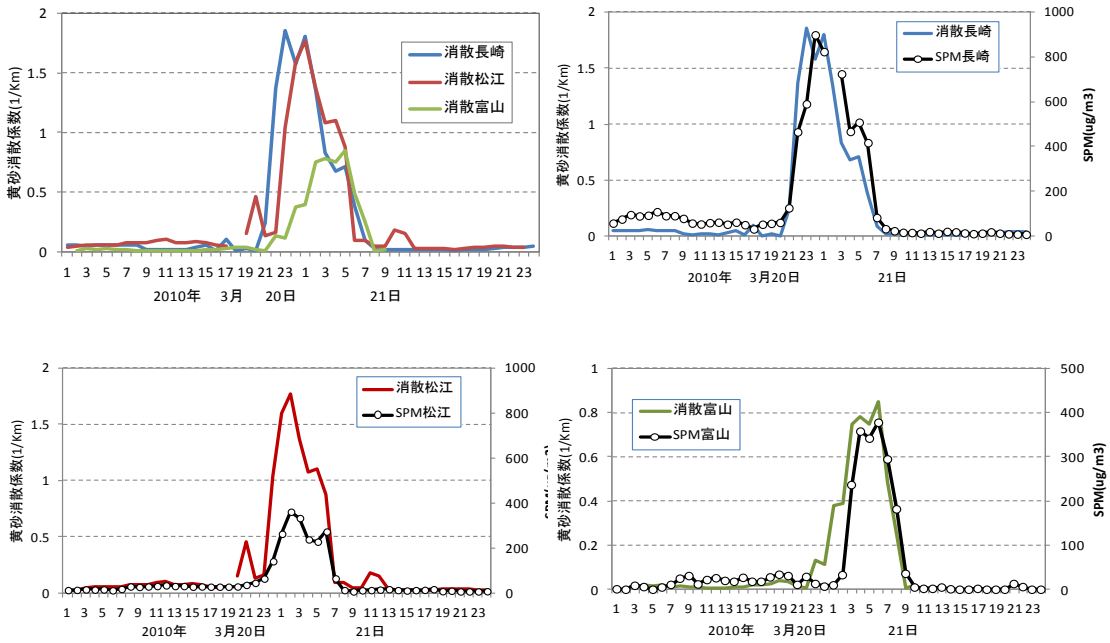


図 6-2　2010 年 3 月 20～21 日の３地点における黄砂消散係数の経時変化と
各地点毎の黄砂消散係数と SPM 濃度との経時変化

6.3　気象台黄砂日以外の黄砂消散係数と SPM 濃度の関係

気象台黄砂日における黄砂消散係数と SPM 濃度の変化には、ある程度、相関関係があることが確認できたため、3 年間の全日（1095 日）について、24 時間単位で黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 濃度時間値の相関係数及び回帰式（傾き、切片）を計算した。

相関係数の頻度分布を図 6-3 に示す。3 地点合計で 1 日 20 時間以上のデータが揃っているのは延べ 1932 日である。0 付近を中心とした分布となっており、0.8 以上 5%、0.6 以上 11%、0.4 以上 25%の割合である。

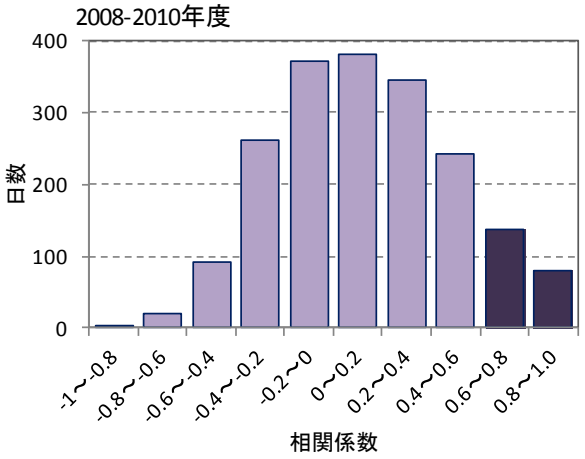


図 6-3　　相関係数の頻度分布（3 地点合計）

この中から、次の条件に合致するものを抽出し、黄砂飛来の検討を行った。

①1 日のデータが 20 時間以上揃っていること
②黄砂消散係数と SPM 濃度時間値との相関係数が 0.6 以上であること
③SPM 濃度の日最大値が 50μg/m^3 以上であること
④黄砂消散係数が 0.05/km 以上であること

黄砂消散係数は、雲などの影響を排除して計算されるため欠測データが多いこともあり、ある程度の連続性を確保するために、件数を 20 時間以上と設定した。

標本数 20 での相関係数の 1%有意水準は 0.56 であることから、相関係数の条件は 0.6 以上とした。

基準の濃度については、気象台黄砂日の SPM 濃度の値を参考にした。2009 年度での気象台黄砂日の観測県における SPM 濃度最大値の県平均は、31～93μg/m^3（異常に高かった 2010 年 3 月 20～24 日を除く）で平均は 61μg/m^3 である。このことから、目視できる黄砂のレベルにあわせて SPM 濃度は 50μg/m^3 以上とした。

黄砂消散係数は、低い値では誤差の可能性もあり、黄砂日の最低値が、長崎 0.059/km、松江 0.047、富山 0.076/km と概ね 0.05/km 付近であることから、係数の基準を 0.05/km 以上とした。

以上の条件で抽出した日（以下ライダー黄砂日）と気象台黄砂日の関係を、長崎、松江、富山の 3 地点で比較したものを図 6-4 に示す。気象台黄砂日は 3 地点で 33 日あり、ライダー黄砂日と重なっているのは 18 日である。気象台黄砂日ではなく、ライダー黄砂日となっているのが 34 日で、このうち、日本全体での気象台黄砂日（表 6-1）に該当しない 28 日を、表 6-2 に示す。長崎が最も多く 14 日、松江は 12 日、富山は 3 日の日数となった。

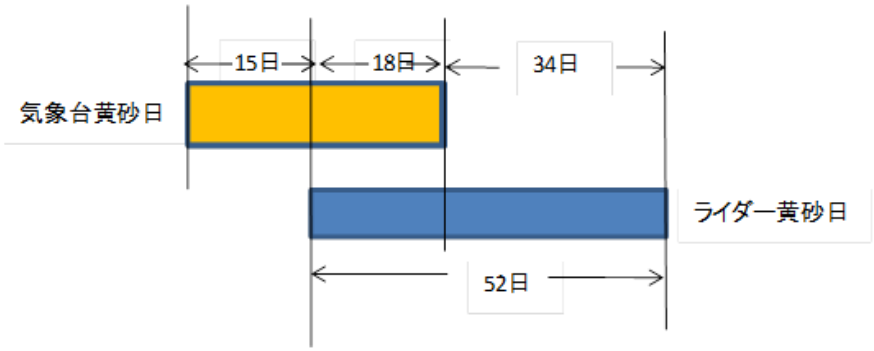


図 6-4　　気象台黄砂日とライダー黄砂日の日数の比較（2008～2010 年度合計）

表 6-2　黄砂消散係数と SPM 濃度時間値の相関による黄砂日（気象台黄砂日以外）

年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM最大	SPM平均	相関係数	傾き	切片
2008	2008	4	30	富山	24	0.056	0.039	77	31.7	0.696	1225	-17
	2008	5	18	松江	23	0.111	0.057	82	35.7	0.625	495	8
	2008	5	22	松江	24	0.157	0.066	88	46.3	0.921	456	16
	2008	6	9	松江	23	0.154	0.047	56	33.3	0.657	177	25
	2008	9	18	松江	20	0.063	0.025	56	21.4	0.662	593	6
	2008	11	2	長崎	24	0.093	0.018	68	40.0	0.693	364	33
	2008	11	5	松江	24	0.063	0.037	60	21.2	0.782	1170	-22
	2008	12	10	富山	24	0.163	0.071	80	22.2	0.823	295	1
	2008	12	30	長崎	24	0.059	0.020	64	26.6	0.911	952	8
	2009	1	19	長崎	23	0.087	0.027	113	53.5	0.853	1417	15
2009	2009	5	20	松江	24	0.073	0.059	78	35.6	0.756	1959	-80
	2009	6	2	松江	24	0.251	0.081	59	33.3	0.815	216	16
				富山	21	0.251	0.119	66	57.0	0.656	1060	-9
	2009	6	26	松江	24	0.105	0.055	52	31.3	0.866	394	10
	2009	10	17	長崎	24	0.065	0.019	72	38.7	0.784	501	29
	2009	10	30	松江	24	0.060	0.038	72	35.5	0.717	975	-1
	2009	12	30	長崎	21	0.097	0.030	86	34.3	0.629	500	20
	2010	1	29	長崎	24	0.051	0.034	73	52.3	0.864	902	21
	2010	2	18	長崎	23	0.118	0.018	82	24.0	0.695	515	15
	2010	3	19	長崎	24	0.051	0.017	60	28.1	0.774	611	18
2010	2010	11	11	長崎	22	0.256	0.050	148	51.5	0.686	253	39
	2010	12	1	松江	24	0.054	0.037	55	21.3	0.847	1504	-35
	2010	12	6	長崎	24	0.057	0.013	66	25.2	0.913	933	13
	2010	12	18	長崎	24	0.076	0.058	57	44.4	0.836	387	22
	2011	2	4	松江	24	0.108	0.051	85	50.4	0.602	594	20
	2011	2	5	長崎	22	0.102	0.071	103	68.5	0.892	665	21
	2011	2	6	長崎	24	0.108	0.059	93	74.4	0.640	257	59
	2011	2	7	松江	22	0.058	0.024	91	47.8	0.861	1229	19
	2011	2	25	長崎	20	0.216	0.063	66	38.0	0.709	188	26

気象台黄砂日以外で黄砂の飛来の可能性がある 2008～10 年度の 28 日について、黄砂の飛来の可能性を検証し、その結果を表 6-3 に一覧で示している。また、事例として、2008 年 5 月 22 日の天気図、砂塵嵐発生状況、SPM 濃度全国分布図、後方流跡線、黄砂消散係数と SPM 時間値の経時変化をまとめて図 6-5 に示した。ライダー黄砂日での 28 日間は、一部の条件を満たしていない項目もあるが、おおむね黄砂の様相を呈していた。

この事例群で特徴的なことは、SPM 濃度上昇が夜間や早朝に集中しており(28 日中 21 日)、目視によって黄砂を観測することが難しい時間帯であったことである。このように、黄砂全体の把握には、気象台が発表する黄砂日に加えて、ライダーを使った黄砂日の検出の方法も加えて解析の対象とすることも有効であると思われる。

表 6-3　ライダー黄砂日の黄砂飛来の検証

年	月	日	SPMピーク時間	検証項目							
				気圧配置		後方流跡線		CFORS		SPM分布	
2008	4	30	14時	○	移動性高気圧	△	国内	◎	中国北部　強　全体	○	全国
2008	5	18	13時	○	遠くに前線	○	韓国	○	モンゴル　中　全体	◎	西日本
2008	5	22	24時夜	○	移動性高気圧	○	中国北部	◎	中国北部　強　北部	◎	全国
2008	6	9	4時夜	◎	南岸に前線	○	遼東半島方面	◎	中国中部　弱　北部	○	西日本
2008	9	18	8時	○	移動性高気圧	×	国内	○	モンゴル　弱　北海道	△	上昇少ない
2008	11	2	24時夜	○	南に前線	◎	中国中央部	◎	中国北部　強　北部	○	九州
2008	11	5	19時夜	○	移動性高気圧	◎	モンゴル	◎	中国北部　強　全体	◎	九州
2008	12	10	18時夜	◎	南に前線	◎	モンゴル	◎	中国中部　弱　北部	◎	東日本
2008	12	30	6時夜	◎	南に前線	◎	モンゴル	×	なし	◎	九州
2009	1	19	4時夜	◎	南に前線	◎	モンゴル	○	上海　弱　九州	◎	九州
2009	5	20	21時夜	◎	南に前線	○	上海	◎	モンゴル　強　全体	◎	全国
2009	6	2	20時夜	◎	移動性高気圧	○	遼東半島	◎	モンゴル　弱　全体	◎	山陰・北陸
2009	6	26	23時夜	◎	南に前線	○	遼東半島	◎	モンゴル　強　全体	◎	全国
2009	10	17	19時夜	◎	南に前線	○	上海	◎	モンゴル　強　九州	◎	九州
2009	10	30	20時夜	◎	東に前線	◎	モンゴル	◎	モンゴル　強　北部	◎	西日本
2009	12	30	16時	◎	前線接近	◎	モンゴル	○	遼東半島　弱　九州	◎	九州・山陰
2010	1	29	17時	◎	南東沖に前線	◎	モンゴル	△	韓国　弱　九州	◎	九州、山陽
2010	2	18	10時	◎	南に前線	◎	モンゴル	○	モンゴル　弱　九州	◎	北部九州
2010	3	19	24時夜	◎	東に前線	◎	モンゴル	◎	中国中部　強　全体	◎	九州西岸
2010	11	11	5時夜	○	移動性高気圧	◎	モンゴル	◎	中国中南部　強　西部	◎	西日本
2010	12	1	19時夜	◎	南に前線	◎	モンゴル	◎	モンゴル　強　北部	○	全国
2010	12	6	20時夜	○	移動性高気圧	◎	モンゴル	○	中国南部　弱　北部	◎	九州
2010	12	18	6時夜	○	移動性高気圧	◎	モンゴル	△	モンゴル　小　なし	△	上昇小ない
2011	2	4	19時夜	○	移動性高気圧	○	青島	×	なし	◎	西日本
2011	2	5	19時夜	◎	南に前線	○	遼東半島	×	なし	◎	全国
2011	2	6	9時	△	移動性高気圧	○	遼東半島	×	なし	◎	全国
2011	2	7	4時夜	◎	東に前線	○	北朝鮮	×	なし	◎	西日本
2011	2	25	19時夜	◎	東に前線	◎	モンゴル	×	モンゴル　小　なし	◎	九州

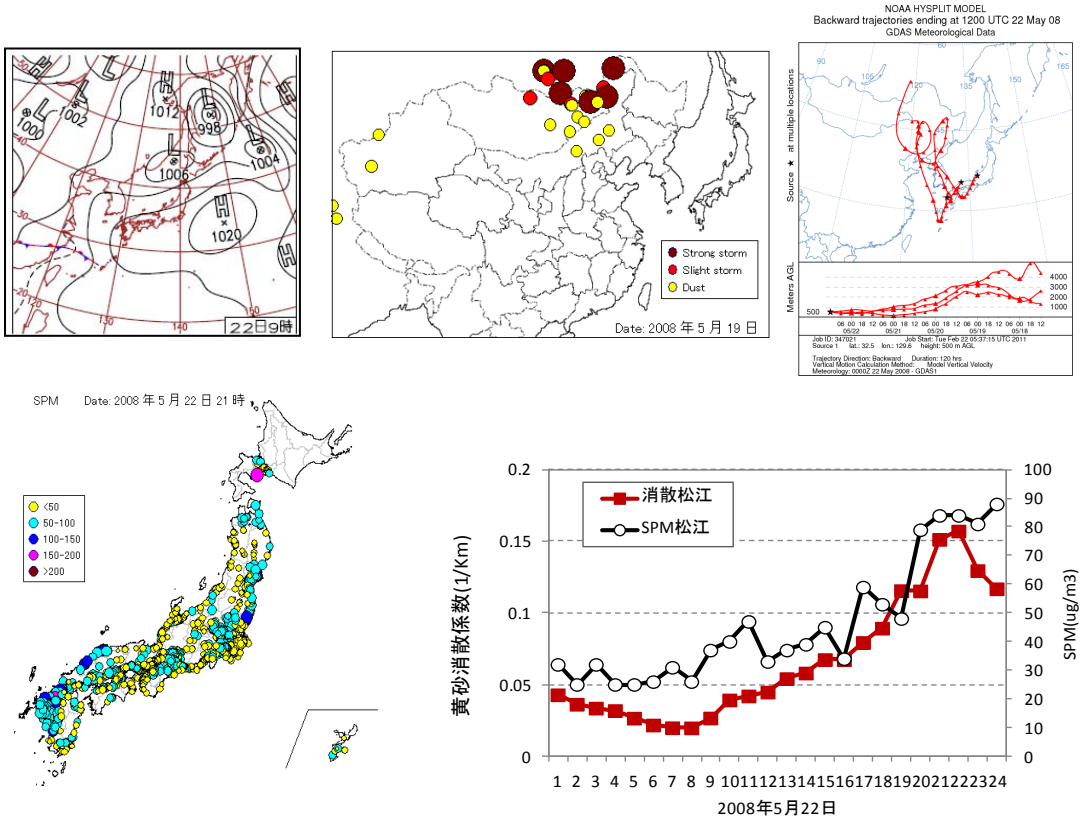


図 6-5　　ライダー黄砂日の飛来状況事例（2008 年 5 月 22 日）

7. まとめ

- 平成 15（2003）年度から 22(2010)年度までの黄砂日観測数は、2003 年度まで年々増加していたが、2008、2009 年度と減少し、2010 年度に再び増加した。この間の観測延べ日数（地点数×日数）の経月変化では 3～5 月の飛来が顕著であった。地域別の黄砂日数では、九州、山陰が上位を占めていた。黄砂日の SPM 濃度は、2008 年から 2010 年の 3 年間では、2009 年に低い傾向がみられたが 2010 年には西日本で高くなっていた。黄砂飛来日の黄砂の規模を、観測された都道府県での SPM 平均濃度に観測地点都道府県数を乗じて算出すると、1000（$\mu g/m^3$×都道府県数）以上の大きな黄砂は、2003 年度から 2010 年度で 14%（全黄砂日数に占める割合）を占めていた。

- 平成 20(2008)度～平成 22(2010)年度における黄砂飛来時の成分分析調査結果において、アルミニウム（Al）は、黄砂の影響が見られる試料では（黄砂が観測されかつ TSP が 100$\mu g/m^3$以上とした）3.7～7.4$\mu g/m^3$の範囲にあり、平均は 5.5$\mu g/m^3$（組成 4.6%）であった。これは、黄砂の影響がみられない件体の平均 1.2$\mu g/m^3$（組成 2.5%）と比べると大きな値となっていた。粒径 2.5μm 以下（微小粒子($PM_{2.5}$)）中のイオン成分分析結果では、黄砂の影響が見られる試料において、硫酸イオン濃度は、3.0～7.4$\mu g/m^3$で平均 5.5$\mu g/m^3$となっていた。農薬の分析結果は、各物質とも大気管理参考濃度よりもかなり低い値であった。検出された農薬は日本でも使用されており、大陸からの飛来の影響を明確に確認することはできなかった。

- 黄砂を多角的に把握するため、気圧配置、砂塵嵐の発生状況、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS 予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数と SPM 濃度の関係、硫酸イオン濃度時間値、$PM_{2.5}$／SPM 比などを集約した。これらのデータをもとに各黄砂事例の特徴を明らかにし、単純黄砂、硫酸塩エアロゾル、混在黄砂の大きく３つのパターンに分類することを試みた。黄砂飛来の把握には、アジア中央部での黄砂の発生状況、日本南岸に前線が位置する気圧配置、モンゴルからの方向を示す後方流跡線、ライダーでの黄砂消散係数と SPM 濃度の同時上昇、小さな $PM_{2.5}$／SPM 比などがその判断として有効と思われた。また、硫酸塩エアロゾルを主体とする煙霧の飛来については、硫酸イオン濃度の上昇、中国沿岸部からの方向を示す後方流跡線、大きな $PM_{2.5}$／SPM 比などをもとに判断した。

- 2008～2010 年度の 3 年間の黄砂日など合計 30 事例について、単純黄砂、硫酸塩エアロゾル、混在黄砂の 3 つに分類を行った。その中で、特徴がある程度明確であった単純黄砂 4 事例、混在黄砂 8 事例、硫酸塩エアロゾル 3 事例を抽出した。混在黄砂については、硫酸塩エアロゾルが黄砂と同時に飛来しているケース、硫酸塩エアロゾルが先に飛来しその後黄砂が来るケース、更に、南に硫酸塩エアロゾル北に黄砂と地域で分離されるケースに分かれるような特徴がみられた。

- 気象台の黄砂の観測は主に目視によって行われているが、黄砂飛来の判定方法として、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の時間変動から、黄砂を検出する方法について検討した。気象台黄砂日でのライダー消散係数と SPM 濃度の相関係数などを参考に、相関係数（0.6 以上）、SPM 濃度（50$\mu g/m^3$以上）などの条件を設定した。それをもとに、3 年間の黄砂飛来の可能性がある日を抽出した。抽出された日で気象台黄砂日でない 28 日について、黄砂飛来の可能性を、天気図、後方流跡線などのデータをもとに検証したところ、概ね黄砂の飛来を確認できた。気象台の黄砂日でなく検出された黄砂は、夜間に飛来していることが多く全体的な黄砂飛来把握の方法として有効と思われる。

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、単純黄砂・硫酸塩エアロゾル・混在黄砂の 3 つに分けて 3 年間の黄砂事例の分類を試みた。今後、影響把握や対策検討など目的に応じた分類の種類、方法について更に考察を進める必要がある。

- 汚染物質の大陸からの飛来を検証する際に、硫酸イオン濃度はその生成過程からも重要な指標になると考えられる。汚染物質を含む混在黄砂の把握には、国内複数点での高い時間分解能の硫酸イオン濃度データの取得が有効と思われる。

- 汚染物質飛来の明確な指標となる物質（例えば PAH 等）を特定し、調査・検証し、汚染物質の飛来状況について的確な把握をすることが必要である。

- 現在、日本・中国・韓国でのモニタリング・予測などの共同研究が進行しているが、これらの研究の更なる進展により、発生源対策や国内での影響の未然防止への寄与が期待される。

参考文献リスト

1.「環境省」2007：黄砂実態解明調査中間報告書
2.「環境省」2009：黄砂実態解明調査報告書
3.「環境省」2010：黄砂飛来状況報告書
4.「環境省」HP（環境省大気汚染物質広域監視システム），: http://soramame.taiki.go.jp/
5.「環境省」HP（POPs モニタリング結果），:http://www.env.go.jp/chemi/pops/index.html
6.「気象庁」HP（日々の天気図），:http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html
7.「気象庁」HP(過去の気象データ),: http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
8.「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーレーダー)），: http://www-lidar.nies.go.jp/
9.「国立環境研究所」HP（東アジア域の黄砂・大気汚染物質分布予測（CFORS))
http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html
10.「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HP　ARL　HYSPLIT（後方流跡線）
http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl
11.早崎将光,菅田誠治,大原利真,若松伸司,宮下七重,2007：1992-2004 年度の SPM 環境基準達成率に対する黄砂現象の影響,大気環境学会誌,42(3),188-199.
12.溝口俊明、川崎清人、清水厚、佐竹洋：富山県における乾性沈着調査とライダーを用いた高 SPM 時の解析、大気環境学会誌、44　(3)　155-165　(2009)
13.西川雅高、溝口次夫、笹野泰弘、金森悟、金森暢子：黄砂エアロゾルの降下量分布－一般大気測定局の利用－、天気、38　(4)　204-228　(1991)
14. 全浩、松本光弘、溝口次夫：β線吸収法による浮遊粒子状物質の解析から黄砂飛来の評価、エアロゾル研究、10　(1)　　41-50　(1995)
15. 的場澄人、森育子、早狩進、西川雅高：SPM を利用した黄砂検出の新たな試み、エアロゾル研究、20、(3)　225-230　(2005)
16.岩本真二、大石興弘、田上四郎、力寿雄、山本重一：福岡県における光化学オキシダントの高濃度要因の分類、大気環境学会誌、43 (3) 173-179 (2008)
17.板橋秀一、弓本桂也、鵜野伊津志、大原利眞、黒川純一、清水厚、山本重一、大石興弘、岩本真二:2007 年春季に発生した東アジア域スケールの広域的越境汚染の化学輸送モデル CMAQ による解析、大気環境学会誌、44(4) 175-185 (2009)
18. 早崎将光：近年の黄砂・汚染気体の混合状況－常時監視局 SPM・SO_2データによる区分－、第 51 回大気環境学会講演要旨集、74-77　(2010)
19. 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
20. 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
21.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)

資料編

- 分析方法（化学分析、農薬／POPｓ）
- 用語解説

1. 金属成分分析

金属成分の試料分析方法を以下に示す。また、分析フローを図 1-1 に示す。

【前処理法】

試料ろ紙をテフロン製容器に移し、フッ化水素酸 3mL、硝酸 5mL を加え密栓し、マイクロウェーブ（以下 MW）分解装置で 1 時間分解処理を行った。放冷後分解液を 20mL に定容し、測定試料とした。

【測定法】

測定試料液中の金属類は、ICP 質量分析計を用いて測定を行った。金属成分の定量下限値を表 1-1 に示した。

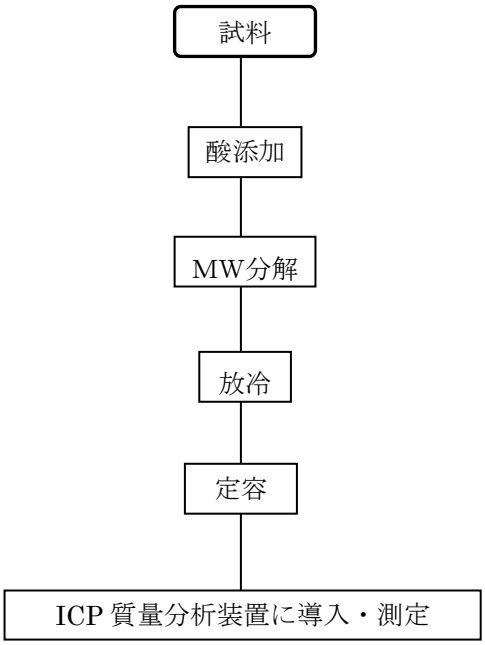


図 1-1　金属成分の分析フロー

表 1-1　定量下限値の目安　　（単位：$\mu g/m^3$）

項　　目	定量下限値の目安
Al	0.1

＊　定量下限値の目安は、トラベルブランクを含むすべての試料について適用した。

2. イオン成分

イオン成分の分析方法を以下に示す。また、分析フローを図 2-1 に示す。

【分析項目】

Na^+、Ca^{2+}、NH_4^+、SO_4^{2-}、NO_3^-

【前処理法】

試料ろ紙をポリエチレン製容器に移し、純水 20mL を加え密栓し、20 分間超音波抽出を行った。抽出液を 0.45μm のメンブランフィルターを用いてろ過し、測定試料とした。

【測定法】

測定試料液中の各種イオンは、イオンクロマトグラフを用いて測定した。表 2-1 に定量下限値を示した。

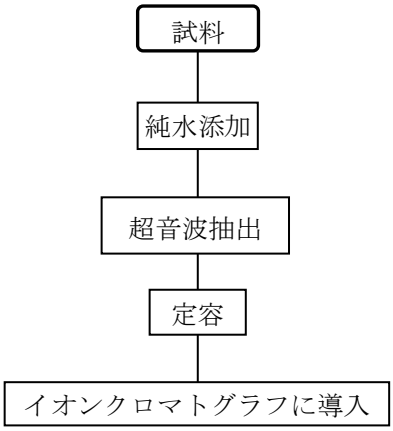


図 2-1　イオン成分の分析フロー

表 2-1　定量下限値の目安

（単位：$\mu g/m^3$）

項　　目	定量下限値の目安	項　　目	定量下限値の目安
Na^+	0.1	Ca^{2+}	0.5
NH_4^+	0.5	SO_4^{2-}	1.0
NO_3^-	0.2		

＊　定量下限値の目安は、トラベルブランクを含むすべての試料について適用した。

3. POPs 成分分析

3.1 POPs等抽出方法

3.1.1　石英ろ紙の抽出方法

石英ろ紙の抽出方法を図 3-1 に示す。

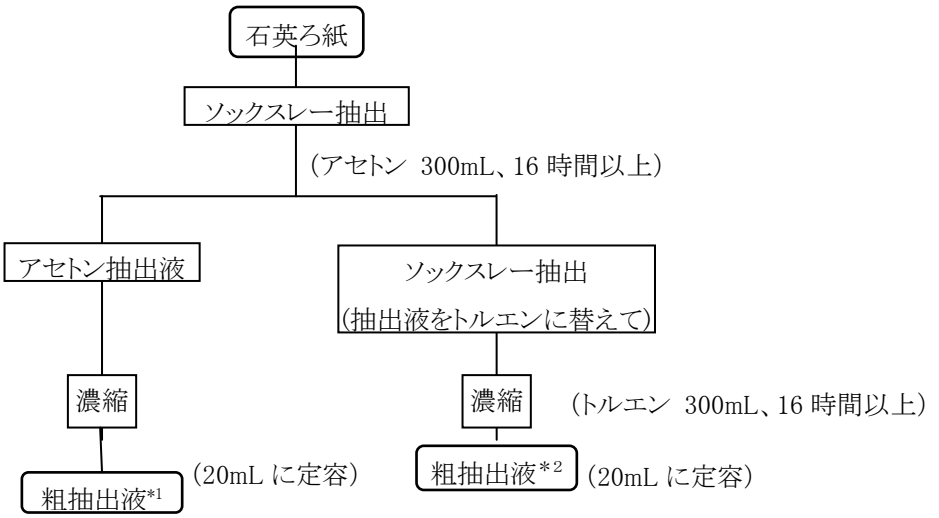


図 3-1　石英ろ紙の抽出方法

3.1.2　ポリウレタンフォーム、活性炭素繊維フェルトの抽出方法

ポリウレタンフォームの抽出方法を図 2-2 に、活性炭素繊維フェルトの抽出方法を図 3-3 に示す。

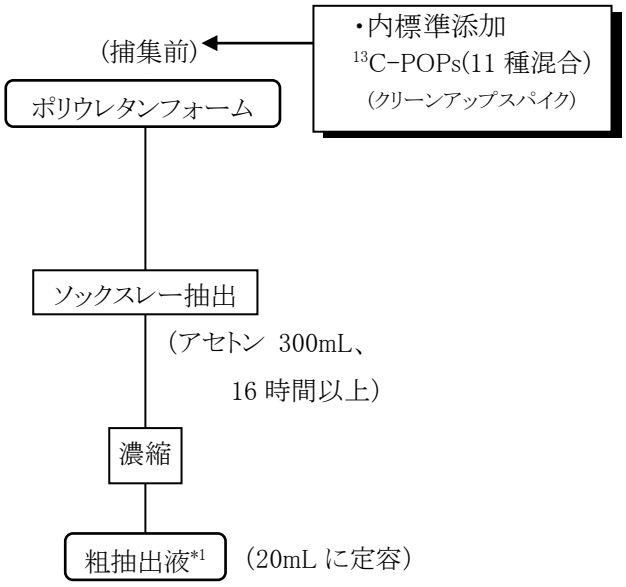


図 3-2　ポリウレタンフォームの抽出方法

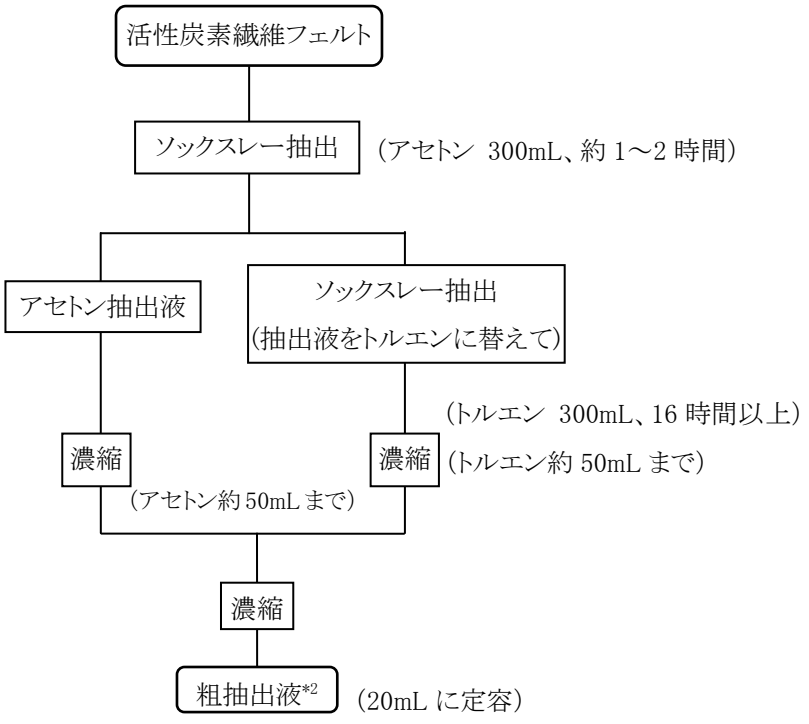
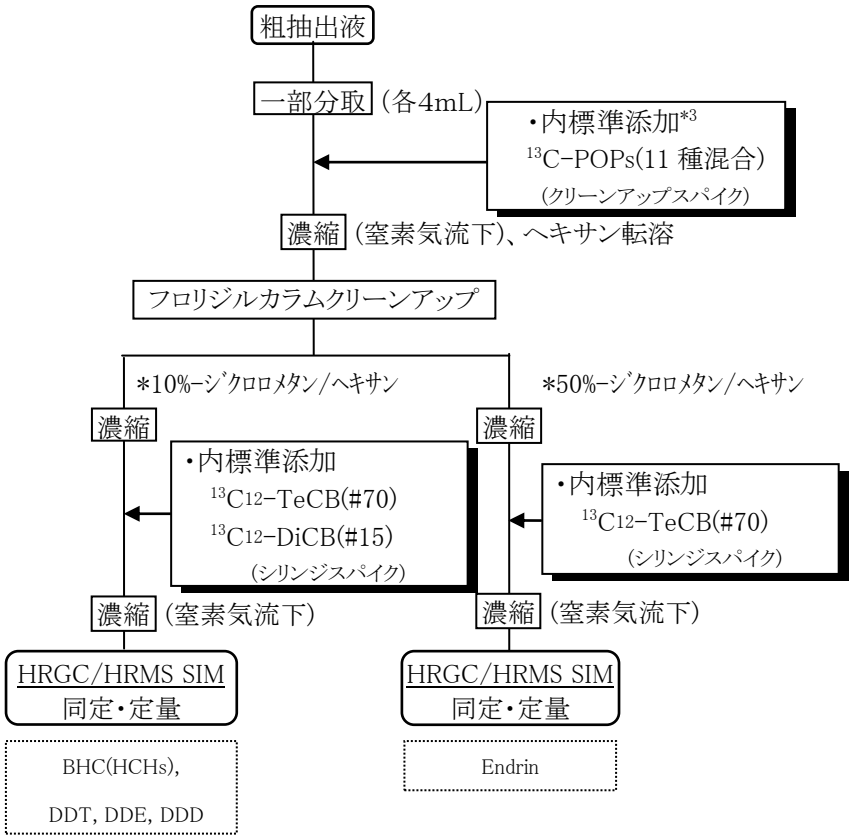


図 3-3　　活性炭素繊維フェルトの抽出方法

精製時、ポリウレタンフォームの粗抽出液(*1)と活性炭素繊維フェルトの粗抽出液(*2)は等量混合して分析に供した。

3.2. POPs 等精製方法

BHC(HCHs)、DDT 類、エンドリン分析用の精製方法を図 3-4 に、ジクロルボス、クロロタロニル分析用の精製方法を図 3-5 に、ダイアジノン、フェニトロチオン、クロルピリホス、プロチオホス分析用の精製方法を図 3-6 に示す。



粗抽出液への内標準添加（*3）は、ろ紙の粗抽出液に対してのみ行った。

図 3-4　BHC(HCHs)、DDT 類、エンドリン分析用の精製方法

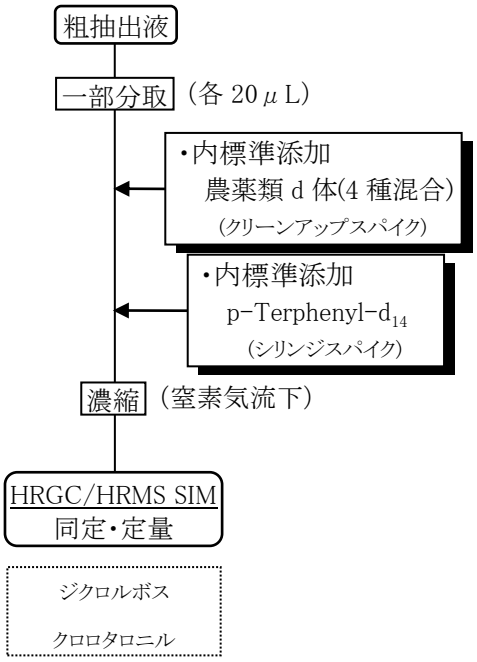


図 3-5　ジクロルボス、クロロタロニル分析用の精製方法

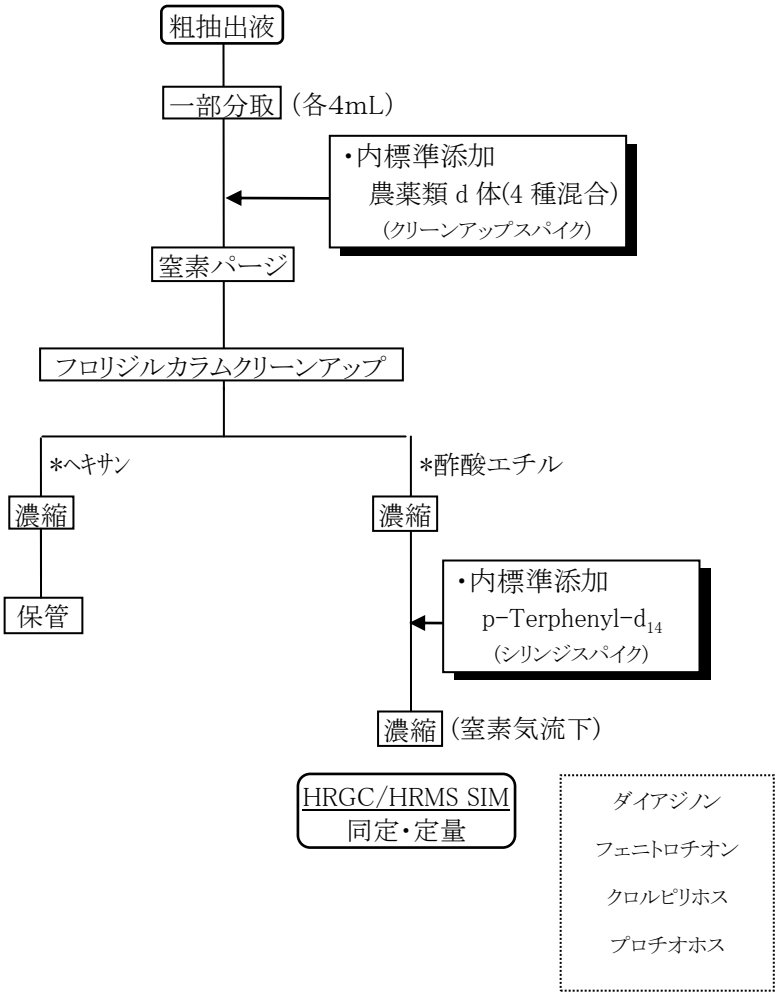


図 3-6　ダイアジノン、フェニトロチオン、クロルピリホス、プロチオホス分析用精製方法

3.3 BHC(HCHs)、DDT類、エンドリンの分析方法

分析はガスクロマトグラフー質量分析計（GC-MS）にて SIM(Selected Ion Monitoring)法により行った。

3.3.1 分析条件

（平成 20・21 年度分析条件）

分析機器名　Waters/MICROMASS 社製 ガスクロマトグラフー質量分析計
AUTOSPEC ULTIMA　GC部 HEWLETT PACKARD HP-6890

GC部操作条件
分離カラム(1)　DB-17HT(Agilent Technologies/J&W)
fused silica capillary column 30m×0.32mm(id), 0.15μm
カラム温度(1)　120 ˚C──→ 160 ˚C──→ 220 ˚C──→ 300 ˚C
(1min)(20 ˚C/min) (0min) (3 ˚C/min) (0min) (10 ˚C/min) (3min)
分離カラム(2)　DB-5MS(Agilent Technologies/J&W)
fused silica capillary column 60m×0.32mm(id), 0.25μm
カラム温度(2)　150 ˚C──→ 255 ˚C──→ 300 ˚C
(1 min) (3 ˚C/min) (0 min) (10 ˚C/min) (7 min)
注入法　オンカラム注入法

MS部条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	35eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	8kV
インターフェース温度	300 ˚C
イオン源温度	300 ˚C
分解能	M/⊿M >10,000 (10% valley)

（平成 22 年度分析条件）

分析機器名
・ガスクロマトグラフ：HP6890 (Agilent 社)
・質 量 分 析 計：Autospec-Premier (Waters 社)

GC 操作条件
分離カラム：DB-17HT (J&W 社) 内径:0.32 mm 長さ:60 m 膜厚:0.15 μm
カラム温度：120℃ → 170℃ → 230℃ → 300℃
(1 分) (20℃/分) (1.5℃/分) (20℃/分) 5 分間保持
試料導入部温度：250℃ 試料導入方式：スプリットレス注入
試 料 注 入 量：2 μL キャリヤーガス：ヘリウム (120 kPa 定圧)
ﾄﾗﾝｽﾌｧｰﾗｲﾝ温度：280℃

MS 操作条件
イ オ ン 化 方 法：電子衝撃イオン化法
イ オ ン 検 出 方 法：ロックマス方式による選択イオン検出(SIM)法
電 子 加 速 電 圧：36 V イオン化電流：500 μA
イ オ ン 源 温 度：280℃ イオン加速電圧：8 kV
分解能(10%vallay)：10000

設定質量数

	M^+	$(M+2)^+$	$(M+4)^+$
DDT(M-CCl_3)	235.0081	237.0053	
DDE(M-Cl_2)	246.0003	247.9975	
DDD(M-$CHCl_2$)	235.0081	237.0053	
Endrin(M-C_5H_6ClO)		262.8570	264.8541
HCH(M-H_2Cl_3)	180.9379	182.9349	
$^{13}C_{12}$-DDT(M-CCl_3)	247.0483	249.0454	
$^{13}C_{12}$-DDE(M-Cl_2)	258.0405	260.0376	
$^{13}C_{12}$-DDD(M-$CHCl_2$)	247.0483	249.0454	
$^{13}C_{12}$-Endrin(M-C_5H_6ClO)		269.8804	271.8775
$^{13}C_6$-HCH(M-H_2Cl_3)	186.9580	188.9550	
$^{13}C_{12}$-4,4'-DiCB(IUPAC #15)	234.0406	236.0376	
$^{13}C_{12}$-2,3',4',5-TeCB(IUPAC #70)	301.9626	303.9597	

3.3.2 同定及び定量

各分析対象物質と ^{13}C-内標準物質について各化合物でイオン強度の強い親イオン又はフラグメントイオンの内 2 つをモニターし、各分析対象物質の溶出する位置に相当するピークで、各２つのイオンの面積比率が標準品とほぼ同じで、天然同位体比の理論値に対して±15%以内のものを目的物質として同定した。

内標準物質の添加量を基準に相対感度を用いて、内標準法により S/N 3 以上のピークについてピーク面積で定量した。

同定、定量に用いた標準物質を表 3-1 に示す。

表 3-1　同定・定量に用いた標準物質

Native Standards	
o,p'-DDT	Cambridge Isotope Laboratories 製
p,p'-DDT	Cambridge Isotope Laboratories 製
o,p'-DDE	Cambridge Isotope Laboratories 製
p,p'-DDE	Cambridge Isotope Laboratories 製
o,p'-DDD	Cambridge Isotope Laboratories 製
p,p'-DDD	Cambridge Isotope Laboratories 製
Endrin	Cambridge Isotope Laboratories 製
α-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
β-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
γ-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
δ-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
Internal Standards	
$^{13}C_{12}$-o,p'-DDT	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-p,p'-DDT	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-o,p'-DDE	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-p,p'-DDE	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-o,p'-DDD	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-p,p'-DDD	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-Endrin	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{6}$-α-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{6}$-β-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{6}$-γ-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{6}$-δ-HCH	Cambridge Isotope Laboratories 製
$^{13}C_{12}$-4,4'-DiCB(#15)	Wellington Laboratories 製(シリンジスパイク)
$^{13}C_{12}$-2,3',4',5-TeCB(#70)	Wellington Laboratories 製(シリンジスパイク)

3.4 プロチオホス、フェニトロチオン、クロルピリホス、ジクロルボス、クロロタロニル、ダイアジノンの分析方法

分析はガスクロマトグラフー質量分析計（GC-MS）にて SIM(Selected Ion Monitoring)法により行った。

3.4.1 分析条件

（平成 20・21 年度分析条件）

分析機器名　Waters/MICROMASS 社製 ガスクロマトグラフー質量分析計
AUTOSPEC ULTIMA　GC部 Agilent Technologies HP-6890

GC部操作条件

分離カラム　DB-5(Agilent Technologies/J&W) fused silica capillary column
30m×0.25mm(id),0.25μm

カラム温度　80 ˚C——————→ 300 ˚C
(2 min) (10 ˚C/min) (0min)

注入方法　オンカラム注入法

MS部条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	35eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	8kV
インターフェース温度	300 ˚C
イオン源温度	290～300 ˚C
分解能	M/⊿M >10,000 (10% valley)

（平成 22 年度分析条件）

分析機器名

・ガスクロマトグラフ：HP6890 (Agilent 社)

・質　量　分　析　計：Autospec-Premier (Waters 社)

GC 操作条件

分離カラム：VF-5MS (Varian 社)　内径:0.25 mm 長さ:30 m　膜厚:0.25 μm

カラム温度：８0℃　→　240℃　→　300℃

（2 分）　(5℃/分)　(30℃/分)　5 分間保持

試料導入方式：オンカラム注入　試 料 注 入 量：1 μL

キャリヤーガス：ヘリウム（1.0 mL/min 定流量）　ﾄﾗﾝｽﾌｧｰﾗｲﾝ温度：280℃

MS 操作条件

イ オ ン 化 方 法：電子衝撃イオン化法

イ オ ン 検 出 方 法：ロックマス方式による選択イオン検出(SIM)法

電 子 加 速 電 圧：36 V　イオン化電流：500 μA

イ オ ン 源 温 度：280℃　イオン加速電圧：8 kV

分解能(10%vallay)：10000

設定質量数

Dichlorvos	[M−Cl]	定量用	M^+	184.9771
		確認用	$(M+2)^+$	186.9743
Diazinon	[M]	定量用	M^+	304.1010
	[M−C_2H_5+H]	確認用	M^+	276.0698
Chlorothalonil	[M]	定量用	$(M+2)^+$	265.8786
		確認用	M^+	263.8816
Fenitrothion	[M−OH]	定量用	M^+	260.0146
	[M]	確認用	M^+	277.0174
Chlorpyrifos	[M−Cl]	定量用	M^+	313.9574
		確認用	$(M+2)^+$	315.9545
Protiofos	[M−Cl]	定量用	M^+	308.9940
		確認用	$(M+2)^+$	310.9910
Dichlorvos−d_6	[M−Cl]	定量用	M^+	191.0147
		確認用	$(M+2)^+$	193.0119
Diazinon−d_{10}	[M]	定量用	M^+	314.1638
	[M−C_2H_5+H]	確認用	M^+	286.1325
Fenitrothion−d_6	[M−OH]	定量用	M^+	266.0523
	[M]	確認用	M^+	283.0551
Chlorpyrifos−d_{10}	[M−Cl]	定量用	M^+	324.0202
		確認用	$(M+2)^+$	326.0173
p−Terphenyl−d_{14} (ｼﾘﾝｼﾞｽﾊﾟｲｸ)	[M]	定量用	M^+	244.1974
		確認用	$(M+1)^+$	245.2008

3.4.2 同定及び定量

各分析対象物質とp-Terphenyl-d_{14}について各化合物でイオン強度の強いフラグメントイオンの内2つをモニターし、各分析対象物質の溶出する位置に相当するピークで、各2 つのイオンの面積比率が標準品とほぼ同じで、天然同位体比の理論値に対して±15%以内のものを目的物質として同定した。

内標準物質の添加量を基準に相対感度を用いて、内標準法により S/N 3 以上のピークについてピーク面積で定量した。同定、定量に用いた標準物質を表 3-2 に示す。

表 3-2　同定、定量に用いた標準物質

Native Standards	Internal Standards
Dichlorvos	Dichlorvos-d_6
Diazinon	Diazinon-d_{10}
Chlorothalonil	
Fenitrothion	Fenitrothion-d_6
Chlorpyrifos	Chlorpyrifos-d_{10}
Protiofos	
	p-Terphenyl-d_{14} (ｼﾘﾝｼﾞｽﾊﾟｲｸ)

3.5 使用した内標準物質の種類及び添加量

分析に使用した内標準物質の種類及び添加量を表 3-3 に示す。

表 3-3　使用した内標準物質の種類及び添加量

	クリーンアップスパイク		シリンジスパイク
	PUF+ACF	ろ紙	GC-MS 測定前添加
	捕集前添加	分取後添加	
$^{13}C_{12}$-o,p'-DDT	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-p,p'-DDT	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-o,p'-DDD	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-p,p'-DDD	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-o,p'-DDE	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-p,p'-DDE	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-Endrin	2ng	2ng	－
$^{13}C_6$-α-BHC ($^{13}C_6$-α-HCH)	2ng	2ng	－
$^{13}C_6$-β-BHC ($^{13}C_6$-β-HCH)	2ng	2ng	－
$^{13}C_6$-γ-BHC ($^{13}C_6$-γ-HCH)	2ng	2ng	－
$^{13}C_6$-δ-BHC ($^{13}C_6$-δ-HCH)	2ng	2ng	－
$^{13}C_{12}$-4,4'-DiCB(IUPAC#15)	－	－	0.25ng
$^{13}C_{12}$-2,3',4',5-TeCB(IUPAC# 70)	－	－	0.25ng

	クリーンアップスパイク	シリンジスパイク
	分取後添加	GC-MS 測定前添加
Dichlorvos-d_6	1ng	－
Diazinon-d_{10}	1ng	－
Fenitrothion-d_6	1ng	－
Chlorpyrifos-d_{10}	1ng	－
p-Terphenyl-d_{14}	-	1ng

「PUF」はポリウレタンフォーム、「ACF」は活性炭素繊維フェルトを示す。DDT 類、Endrin、BHC(HCHs)の内標準物質は捕集前にポリウレタンフォーム（PUF）に添加した。

3.6 調査対象物質の検出下限

分析時の調査対象物質の検出下限を表 3-4 に示す。

表 3-4　調査対象物質の検出下限

	検出下限 (pg/m^3)
o,p'-DDT	0.1
p,p'-DDT	0.1
o,p'-DDE	0.07
p,p'-DDE	0.1
o,p'-DDD	0.1
p,p'-DDD	0.1
エンドリン	0.1
α-BHC（α-HCH）	0.07
β-BHC（β-HCH）	0.1
γ-BHC（γ-HCH）	0.1
δ-BHC（δ-HCH）	0.1
ジクロルボス	2
ダイアジノン	0.1
クロロタロニル	2
フェニトロチオン	0.1
クロルピリホス	0.1
プロチオホス	0.1

用語解説

黄砂

主として大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂じんが空中に飛揚し、天空一面を覆い、徐々に降下する現象。はなはだしいときは天空が黄かっ色となり、太陽が著しく光輝を失い、雪面は色づき、地物の面には砂じんが積もったりすることもある。（地上気象観測指針より）

現在、気象台や測候所では目視により、黄砂現象を判断している。1989 年より前は、視程が 10km 未満となるような黄砂現象を記録していたが、それ以降は 10km 以上でも明らかに黄砂現象と判断した場合は記録されている。

煙霧

肉眼では見えないごく小さい乾いた粒子が、大気中に浮遊している現象。数が多いために空気が乳白色に濁って見える。遠距離の明るい物体や光源は、煙霧を通して見ると黄色味を帯びるか赤っぽい色に見え、一方暗い物体は青色がかって見える。これは主に煙霧の粒子による光の散乱効果である。これらの粒子はそれ自身の色をもつことがあり、その場合にはその色が景色を色づける。煙霧の中の相対湿度は、75%未満のことが多い。（地上気象観測指針より）

Haze（ヘイズ）

世界気象資料での haze は、日本での煙霧を意味する英語である。

SPM

粒径 10μm100%カット時の浮遊粒子状物質のことで、日本の環境基準に適用されている。

PM_{10}

大気中に浮遊する粒子のうち粒径が 10μm 以下の粒子（50%カット）のことをいう。米国、韓国などではこの値で環境基準が決められている。

$PM_{2.5}$

大気中に浮遊する粒子のうち粒径が 2.5μm 以下の粒子（50%カット）の微小粒子のことをいう。$PM_{2.5}$は健康への影響が大きいと考えられることから、日本では 2009 年に新しく環境基準が設定された。

後方流跡線

任意の地点を任意の時間に通過する空気塊が時間とともにどのような経路をたどって進んでいくのかを風速などの気象データから追跡する手法のことである。気塊がどこから来たのかを時間を遡って追跡する方法を後方流跡線解析、どこへ行くのかを時間を進めて追跡する方法を前方流跡線解析と呼ぶ。この解析には、アメリカ NOAA の HYSPLIT がよく使われている。

CFORS （Chemical weather FORecasting System）

CFORS（化学天気予報システム）は、九州大学応用力学研究所(RIAM)の鵜野伊津志教授らによって開発された、アジア域における大気汚染物質などの分布を予報するシステムで土壌性ダスト(dust)と硫酸塩エアロゾル（sulfate）が表示される。 2001 年まで九州大学で運用された後、2002 年に地球環境研究センター(CGER)のサポートにより国立環境研究所(NIES)に移設され定常運用されている。

ライダー

ライダー(Lidar)とはレーザーを光源とするレーダー手法で Light Detection and Ranging を略したものである。大気観測を目的とするライダーでは、通常、パルスレーザー光を大気中へ発射し、大気中のエアロゾル（浮遊粒子状物質）や分子による後方散乱光を測定する。レーザーを送信した時間から信号を受信するまでの時間遅れから距離が求まり、受信光強度からレーザーの光路に沿った散乱係数の分布が得られる。