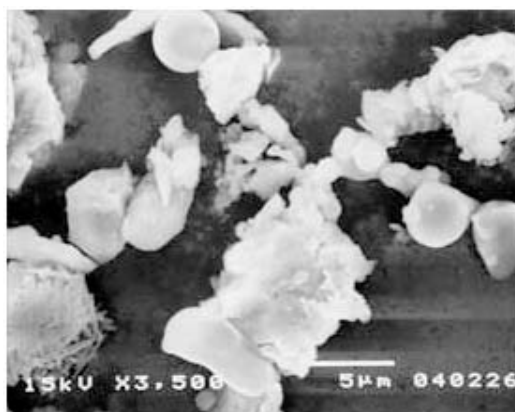

黄砂実態解明調査
報告書

平成 21 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。黄砂の物質循環に関連する影響は、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（写真参照）、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。



黄砂の電子顕微鏡写真

[出典： 長崎県環境保健研究センター]

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を実施している。本報告書は、平成 15 年から平成 20 年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ます。

平成 21 年 3 月
環境省地球環境局

黄砂問題検討会

委員名簿

(50音順)

	氏名	所属・職名
委員	天谷 孝夫	岐阜大学 応用生物科学部農地環境工学研究室 教授
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 海洋科学国際共同研究センター 教授
委員	鵜野 伊津志	九州大学応用力学研究所 海洋大気力学部門教授
委員	大黒 俊哉	東京大学大学院農学生命科学研究科 生圏管理学講座緑地創成学研究室 准教授
委員	西川 雅高	独立行政法人国立環境研究所 環境研究基盤技術ラボラトリー 環境分析化学研究室長
委員	三上 正男	気象庁気象研究所 物理気象研究部 第二研究室長
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

黄砂問題検討会

黄砂実態解明調査解析ワーキンググループ

委員名簿

(50音順)

委員	清水 厚	独立行政法人国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ アジア広域大気研究室 主任研究員
委員	高菅 卓三	株式会社島津テクノリサーチ 分析本部副本部長 兼調査研究開発部部长
座長	西川 雅高	独立行政法人国立環境研究所 環境研究基盤技術ラボラトリー 環境分析化学研究室 室長
委員	早崎 将光	千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 特任教員
委員	森 育子	独立行政法人国立環境研究所 環境研究基盤技術ラボラトリー 環境分析化学研究室 NIES フェロー

報告書の要旨

1. 概要

環境省では、黄砂の飛来実態を科学的に把握するため、地方公共団体、独立行政法人国立環境研究所の協力を得て、平成14年度から、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を実施している。本報告書は、平成14年度から平成19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る。

2. 調査方法等

(1) 調査方法

本調査では、黄砂の飛来が予想される日に、原則24時間単位で1日、もしくは2日間、以下の捕集装置を用いて大気中のエアロゾル等を捕集した。

①八段型ローポリウムアンダーセンサンプラー

粒径分布の把握を主な目的。

②ハイポリウムサンプラー

浮遊粉じん濃度、エアロゾル中の金属成分やイオン成分、及びエアロゾルに強く吸着した農薬成分等の分析等を主な目的。

③二段型ローポリウムサンプラー

粗大粒子及び微小粒子の二段に分級したエアロゾルの金属成分やイオン成分の分析等を主な目的。

④ハイポリウムサンプラー（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）

農薬成分の捕促効率の改善及びエアロゾルに強く吸着した農薬成分と粒子状・ガス状の農薬成分の割合の把握を主な目的。

(2) 調査期間

平成15年～平成20年までの黄砂飛来シーズン（2月から6月）

(3) 調査地点

9地点

札幌市（国設札幌大気環境測定所）、つくば市（(独)国立環境研究所）
新潟市（国設新潟巻酸性雨測定所）、富山市（立山測定所）、金沢市（石川県保健環境センター）、犬山市（国設犬山酸性雨測定所）、松江市（国設松江大気環境測定所）、太宰府市（福岡県保健環境研究所）、長崎市（式見ダム酸性雨測定所）

(4) 分析項目

浮遊粉じんの重量を測定したほか、金属成分、イオン成分、農薬成分を分析した。

(5) 総合解析

化学成分の分析データを気象概況や一般環境大気測定局のデータ、ライダー（レーザー光を用いた黄砂観測機器）の観測結果、大気汚染物質等の輸送を数値計算により予測する化学天気予想システム（CFORS）等の解析結果を総合的に検討し、主な黄砂飛来事例の総合解析を行った。

3. 主な調査結果

(1) 黄砂の飛来状況

- ・浮遊粉じん濃度については、長崎、太宰府、巻において調査地点の平均値より高くなるが多かった。同一調査日において相対的に比較すると東日本に比べて西日本、太平洋側に比べて日本海側の浮遊粉じん濃度が2～3割ほど高くなる傾向が見られた。また、黄砂日の浮遊粒子状物質（SPM）積算濃度においても同様に西日本が東日本に比べて3倍程度高くなる傾向が見られた。

(2) 黄砂の化学的性質

- ・浮遊粉じんの成分は、硫酸イオン等の大気汚染物質の濃度が、黄砂飛来日によって高い日と低い日があり、黄砂を輸送する気団及びそれに伴う前線の通過やその停滞などの気象条件により様々な黄砂の飛来形態があることが分かった。
- ・大気汚染物質の平均濃度を比較したところ、人為起源と考えられる硫酸イオン及び硝酸イオンの濃度がライダー観測による黄砂時に高く非黄砂時に低くなっていることから、黄砂飛来時には、これらの汚染成分濃度が相対的に高い状態になっていることが判明した。なお、黄砂への大気汚染成分の付着状況は一様ではなく、調査地点までの到達時間や、中国の経済圏を通過するなどの発生から飛来までの経路、前線をともなう気団による輸送時の混合などによっても異なることが示唆された。
- ・農薬成分の濃度については、環境レベル、またはそれ以下の値であった。本調査結果で検出された農薬は、日本国内で使用されているものが大部分であった。しかし、国内において過去に使用され、現在使用が禁止されている農薬についても、土壌中に残留していることから、本調査で検出された国内で禁止されている農薬を黄砂とともに飛来したものであると判断することは困難であった。
- ・水銀成分については、大部分が定量下限値以下であり、黄砂への水銀の付着等による国内への影響はほとんどないと考えられる。

(3) 黄砂の物理的性質

- ・黄砂の粒径については、多くの調査地点で、粒径 $4\mu\text{m}$ 付近に代表粒径があり、黄砂発生源に近い西日本に飛来黄砂の粒径が大きくなる場合も見受けられた。また、黄砂の規模による粒径分布に差異はみられなかった。

(4) 黄砂飛来事例の総合解析

浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度と二酸化硫黄濃度の解析結果から、調査日の黄砂の状況は、各調査地点において「黄砂飛来による単独型」、「黄砂と汚染された気体の混在型」、「非黄砂型」の 3 つのパターンに分類できることが示唆された。比較的大規模な黄砂として出現した 5 事例について、ライダー観測結果等から総合的に解析し、黄砂と非海塩性硫酸イオン等汚染物質の状況を以下のとおりまとめた。

・事例 1 (2006 年 4 月 8 日~9 日) : 単独型

ゴビ砂漠から直接輸送されたと考えられる黄砂が中国地方東部から近畿及び中部、関東を中心に帯状に飛来し、広範囲に広がる黄砂の周縁部で、大気中の汚染物質の割合が高かった。

・事例 2 (2006 年 4 月 18 日~19 日) : 混在型

北海道の一部や南西諸島を除く全国に黄砂が飛来し、5 事例の中では、汚染物質が相対的に高い割合で大気中に含まれているとともに、汚染物質が相対的に高い割合で黄砂エアロゾルに付着していた可能性が高かった。

・事例 3 (2007 年 4 月 1 日~2 日) : 単独型

北海道と南西諸島を除く全国に大規模な黄砂が飛来し、汚染物質は 5 事例の中では相対的に低い割合でしか大気中に含まれていなかった。

・事例 4 (2007 年 5 月 8 日~9 日) :

黄砂というよりはむしろ大気汚染物質により、粉じん濃度が高くなっていた。

・事例 5 (2007 年 5 月 26 日~27 日) : 混在型

中国大陸で広範囲に広がった黄砂が西日本と東日本に飛来、5 事例の中では、大気中の汚染物質が相対的に高い割合で存在するとともに、汚染物質が相対的に高い割合で黄砂エアロゾルに付着していた可能性が高かった。

4. 今後の課題

- ・黄砂飛来状況は発生規模や気象条件等に大きく左右されることから、多様な形態を有している。本報告書においては、5つの黄砂飛来事例を対象に、黄砂飛来状況及び黄砂への汚染物質の付着状況を総合的に検討し、黄砂の飛来を黄砂単独型と汚染混在型に分類した。今後、黄砂飛来状況のより詳細な実態を解明するためには、移流の経路やその過程による変化、日本国内で移流する場合の変質過程等を加味した解析を検討することが必要であり、的確な事例について、こうした総合的な解析を進めるとともにその有効性を検討し、黄砂の精緻な実態解明を進めていくことが必要である。
- ・黄砂問題は北東アジア地域共通の課題となっていることから、日中韓三カ国環境大臣会合の枠組みの下で政策対話が進められ、平成20年からは、黄砂モニタリングネットワークの構築や発生源対策に関する共同研究が始められている。我が国としては、中国や韓国など関係国と連携協力し、黄砂の飛来ルートや黄砂と大気汚染物質との関係等の解明を進めるなど、共同研究に貢献していく必要がある。また、関係国間での観測データを公開、共有するために、測定法や分析法についても標準化を進める必要がある。
- ・本調査結果では、黄砂の粒径が $4\mu\text{m}$ 付近にピークをもつ分布であることが明らかになった。また、硫酸イオンや硝酸イオン等の大気汚染物質が、飛来過程で黄砂に付着している可能性が示唆され、特に、硝酸イオンは、粒径 $2.5\mu\text{m}$ で分級して捕集した粗大粒子側の濃度が高かったことから、飛来過程で黄砂に優先的に付着した可能性がある。今後、これらの基礎情報を基に、黄砂の環境及び健康への影響に関する調査研究が期待される。
- ・黄砂の実態が気候変化や人類活動によってどのように変化して行くのか、長期にわたる経年変動観測を継続していく必要があり、そのような国内外のネットワークを構築する必要がある。

黄砂実態解明調査報告書 目次

1. 調査の目的	1
2. 調査の方法	1
2.1. 調査期間と調査地点	1
2.2. エアロゾル捕集方法	3
2.3. エアロゾル捕集実施要領	3
2.4. 分析項目	5
3. 調査結果	6
3.1. 黄砂飛来状況	6
3.1.1. 浮遊粉じん濃度 (TSP)	6
3.1.2. 浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度	7
3.1.3. SPM・SO ₂ 濃度による黄砂飛来分類	18
3.2. 黄砂の物理的性質	25
3.2.1. 粒径分布	25
3.3. 黄砂の化学分析結果	27
3.3.1. 金属とイオン	27
3.3.2. 農薬成分分析結果	32
3.3.3. 水銀成分分析結果	39
4. 黄砂飛来事例ごとの調査結果の考察	40
4.1. 使用データ	41
4.1.1. 気象データ	41
4.1.2. ライダーデータ解析手法	41
4.1.3. CFORS (Chemical weather F0Recasting System)	41
4.1.4. 化学成分	42
4.2. 主な黄砂イベントの解析	43
4.2.1. 2006年4月8-9日	43
4.2.2. 2006年4月18-19日	58
4.2.3. 2007年4月1-2日	71
4.2.4. 2007年5月8-9日	84
4.2.5. 2007年5月26-27日	97
4.3. 総合解析	109
5. 総括	114
6. 今後の課題	115
参考文献	116
資料編	118

1. 調査の目的

近年、北東アジア地域（モンゴル、中国、韓国、日本等）では黄砂現象が頻発しており、その影響等に対する関心が高まっている。また、日本への黄砂飛来状況については、気象庁による観測では、ここ数年観測のべ日数が平年より多くなっており、特に1967年からの統計で、観測のべ日数が最も多かった2002年には多くの大気汚染常時監視測定局でSPMの大気環境基準が未達成であった。

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他、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。

このため、本調査は、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、国内の数地点で一斉に捕集した黄砂エアロゾルの化学成分分析等を行うことにより、わが国に飛来した黄砂の実態解明に資する目的として行うものである。

2. 調査の方法

2.1. 調査期間と調査地点

黄砂実態解明調査は、平成15年～平成20年にかけて、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、地方公共団体および（独）国立環境研究所の協力を得て、全国9地点（17年度から金沢を追加）で調査を行った。

調査地点は、図1のとおり国設札幌大気環境測定所（北海道）、国設新潟巻酸性雨測定所（新潟県）、立山測定所（富山県）、石川県保健環境センター（石川県）、国設犬山酸性雨測定所（愛知県）、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）、式見ダム酸性雨測定所（長崎県）及び（独）国立環境研究所（茨城県）の計9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1に示す。

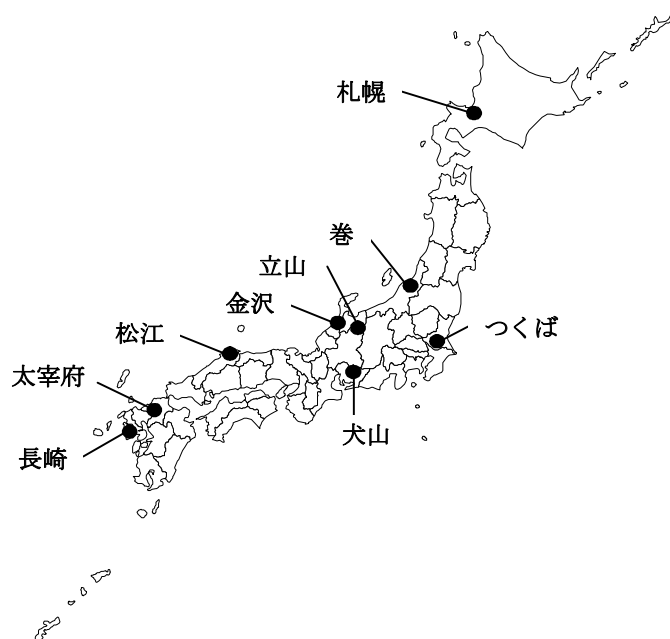


図1 調査地点配置（9地点）

表 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）	金沢（石川県）	立山（富山県）
サブリング地点	式見ダム酸性雨測定所*1	福岡県保健環境研究所	国設松江大気環境測定所	石川県保健環境センター	立山測定所*2
住所	長崎市向町 2619	太宰府市大字向佐野 39	松江市西浜佐陀町 582-1	金沢市太陽が丘 1-11	富山市原猫又割
緯度	32°47' 00"	33°30' 32"	35°28' 31"	36°31' 38"	36°33' 38"
経度	129°48' 00"	130°30' 09"	133°00' 45"	136°42' 20"	137°26' 03"
標高	70m	27m	5m	120m	1,188m
気象条件	冬期の降雪は年間 1～2 日程度であり積雪はほとんどない。冬期は北西の季節風が卓越する。	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。	冬期に曇天が多く、北西の季節風とともに降雪。	冬期の降雪・積雪・風。
地勢・土地利用等	周囲 200～300m は山地、周辺道路の交通量は極めて少ない。西方約 1km は海、半径 3km 内に長崎市街地の一部が含まれ、小規模（学校暖房）発生源が一つ存在。	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。	センター：浅野川上流の山林を切り開いた住宅地内。300m 以内：宅地及び大学敷地。3km 以内：大きな発生源なしセンターから北西方向に市街地中心部まで 6km 反対方向は山地。	200～300m：東にゴンドラ駅舎、北斜面はスキー場。3km 以遠：北西の富山平野に火力発電所、化学工場等（汚染の影響は少ない）。
特記事項		建築物屋上	H14 は建築物屋上、H15 以降は測定所	建築物屋上	スキー場

地点名	巻（新潟県）	犬山（愛知県）	つくば（茨城県）	札幌（北海道）
サブリング地点	国設新潟巻酸性雨測定所	国設犬山酸性雨測定所	(独)国立環境研究所	国設札幌大気環境測定所
住所	新潟市西蒲区越前浜字向谷地 5597-1	犬山市大字犬山字東洞字官林他	つくば市小野川 16-2	札幌市北区北 19 条西 12 丁目
緯度	37°48' 22"	35°22' 56"	36°03' 04"	43°04' 46"
経度	138°51' 21"	136°58' 04"	140°07' 17"	141°20' 14"
標高	50m	100m	20m	13m
気象条件	秋冬期は海からの季節風が強い 降雪・積雪	年に数回降雪。	冬は晴天が続く 春先は季節風が強い	冬期間は積雪寒冷で、季節風による降雪の日が多い。冬期間は北西の風
地勢・土地利用等	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	東 2km に木曾川 東側に公園。 南～南西側に果樹園・竹林。	四方に山林・農地が散在する。 南方約 1km に常磐高速道	札幌市中心部から 3km の住宅地。 周囲に固定発生源なし 西側 300m 交通量の多い道
特記事項				建築物屋上

*1 平成 19 年 5 月からは、長崎県環境保健研究センター（長崎県本土のほぼ中央部、標高 160m、西方約 3km に大村湾、周囲約 1km は工業団地）で実施した。

*2 雪崩等の影響により立山測定所で捕集が困難なときは、富山県環境科学センター（富山平野の中西部、標高 20m、海からの距離 8km、住宅街に位置し周辺に固定発生源なし）で実施した。

2.2. エアロゾル捕集方法¹

本調査では、黄砂の飛来が予想される日に、基本的に24時間単位で1日、もしくは2日間連続で、以下の4方法で大気中のエアロゾル等を捕集した。

- 1) 八段型ローポリウムアンダーセンサンプラー
 - － 粒径分布の把握を主な目的とする。
- 2) ハイポリウムサンプラー (HV)
 - － 浮遊粉じん濃度、エアロゾル中の金属成分やイオン成分、及びエアロゾルに強く吸着した農薬成分等の分析等を主な目的とする。
- 3) 二段型ローポリウムサンプラー (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金属成分やイオン成分の分析等を主な目的とする。
- 4) ハイポリウムサンプラー (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)
 - － 農薬成分の捕集効率の改善及びエアロゾルに強く吸着した農薬成分と粒子状・ガス状の農薬成分の割合の把握を主な目的とする。平成19年3月28日～30日、4月1日～3日、平成20年5月31日～6月2日に巻、立山及び松江でPOPsモニタリング調査に準拠して実施した。

2.3. エアロゾル捕集実施要領

- ア. 八段型ローポリウムアンダーセンサンプラー
 - 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) 八段型ローポリウムアンダーセンサンプラーの流量設定は、28.3dm³/分とし、所定時間エアロゾルを捕集する (気圧、気温補正はしない)。
 - 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1昼夜清浄な室内 (湿度50±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、その上をさらにアルミ箔で覆い、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に送付する。
 - 6) ブランクは、トラベルブランクとする。
- イ. ハイポリウムサンプラー (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) ハイポリウムサンプラーの流量設定は、1,000～1,100dm³/分とし、所定時間エアロゾルを捕集する (気圧、気温補正はしない)。
 - 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1昼夜清浄な室内 (湿度50±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、その上をさらにアルミ箔で覆い、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。
- ウ. 二段型ローポリウムサンプラー (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) 二段型ローポリウムサンプラー (分離粒径は2.5μm) の流量設定は20dm³/分とし、所定時間エアロゾルを捕集する。
 - 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1昼夜清浄な室内 (湿度50±5%) に放置した後、秤量する。
 - 4) 試料の保存に際しては、あらかじめ紙製ワイパーで拭いたペトリスライド ((独) 国立環境研究所指定の容器、47mm、ミリポア社製) にろ紙を入れ、さらに、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。

¹ エアロゾル捕集方法は、調査年度により異なる。

- 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。

エ. ハイボリウムサンプラー（POPs 試料採取用：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）

採取方法は環境省「平成 18 年度 POPs モニタリング調査」で使用されているモニタリングマニュアルに準拠する。

- 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。ローボリウムエアサンプラー（LV サンプラー）用のカートリッジは両端にエンドキャップを付属し密閉保存する。
- 2) ハイボリウムサンプラー（POPs 試料採取用）の流量設定は 700dm³/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繊維フェルトは、サンプリング前の保存時に包まれて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。

また、エアロゾル捕集時には以下の項目についても記録する。

- ・ 捕集場所、使用捕集装置条件
- ・ 捕集期間の日時、天候及び基本気象項目
- ・ 捕集重量（ろ紙捕集前後重量差、湿度 50±5%の範囲で秤量し、その時の湿度を明記）
- ・ 調査地点（もしくは、調査地点と大きく環境条件が異なる地点）における以下のデータ。
 - 酸性雨分析項目（pH、EC、SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）
 - 大気濃度（SPM、NO_x、SO₂、O₃または光化学オキシダント）1 時間値データ
 - 気象観測項目（風向、風速、気温、湿度、気圧、雨量）1 時間値データ

2.4. 分析項目²

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7項目、イオン成分9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に示す。

表2 分析項目

分類	対象物質	分析法	
金属（7項目）	マグネシウム (Mg)	誘導結合プラズマ 発光分光分析法	
	アルミニウム (Al)		
	カルシウム (Ca)		
	鉄 (Fe)		
	ストロンチウム (Sr)		
	マンガン (Mn)		
	水銀 (Hg)	還元気化原子吸光法	
イオン（9項目）	塩化物イオン (Cl ⁻)	イオンクロマトグラフ法	
	硝酸イオン (NO ₃ ⁻)		
	硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)		
	フッ化物イオン (F ⁻)		
	ナトリウムイオン (Na ⁺)		
	アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺)		
	カリウムイオン (K ⁺)		
	カルシウムイオン (Ca ²⁺)		
	マグネシウムイオン (Mg ²⁺)		
農薬（17項目）	ジクロロボス	(1)HV ガスクロマトグラフー 四重極型質量分析法 及び ガスクロマトグラフー 磁場型質量分析法 (2007年3月以降)	
	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		
	o,p'-DDE		
	p,p'-DDE		
	プロチオホス		(2)HV (POPs 準拠調査) ガスクロマトグラフー 磁場型質量分析法
	エンドリン		
	o,p'-DDD		
	p,p'-DDD		
	o,p'-DDT		
	p,p'-DDT		
p,p'-DDT			

² 分析項目は、調査年度により異なる。

3. 調査結果

3.1. 黄砂飛来状況

3.1.1. 浮遊粉じん濃度 (TSP)

調査地点・調査日毎の浮遊粉じん濃度の最大値及び平均値を表3に示した。調査全体をとおして、浮遊粉じん濃度が最も高かったのは、2007年4月1日の太宰府で509 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。調査日毎に見てみると、2004年3月11日、2006年4月8日、同年4月18日、2007年4月1日、同年5月26日の平均濃度が高かった。次に調査地点を横断的に見てみると、長崎及び太宰府の浮遊粉じん濃度は、調査期間を通じて、浮遊粉じん濃度を調査日毎に平均した値よりも高めに推移し、札幌と金沢では低めに推移した。地域では、西日本（長崎、太宰府、松江）の方が東日本の調査地点よりも、日本海側（立山、巻）の方が太平洋側よりも浮遊粉じん濃度が高くなる傾向がみられた。

表3 浮遊粉じん濃度

調査日										[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	長崎	太宰府	松江	金沢	立山	巻	犬山	つくば	札幌	平均値	最大値
2003/03/25	71	117	64		25	46	37	42	96	62	117
2003/03/30	68	82	39		61	48	66	54	48	58	82
2003/03/31	64	65	71		39	33	63	83	87	63	87
2004/02/24	50	44	23		9	52	31	52	30	36	52
2004/02/25	71	71	48		30	62	55	58	34	54	71
2004/02/26	62	77	37		NA	44	21	53	14	44	77
2004/03/10	43	100	119		35	109	61	NA	166	90	166
2004/03/11	98	182	122		188	233	89	154	142	151	233
2004/03/30	62	80	68		58	69	34	30	66	58	80
2004/03/31	NA	118	NA		117	NA	73	NA	41	87	118
2004/04/23	123	117	66		37	16	47	48	25	60	123
2004/04/24	66	76	29		31	21	29	39	15	38	76
2004/05/07	74	119	61		71	118	81	79	29	79	119
2005/03/18	51	47	18	29	30	45	27	82	30	40	82
2005/03/29	65	103	57	24	28	58	31	29	16	46	103
2005/03/30	59	75	49	25	33	57	48	27	19	44	75
2005/04/07	21	80	68	68	127	67	60	121	33	72	127
2005/04/14	35	75	53	40	93	64	62	60	68	61	93
2005/04/21	95	115	76	64	71	107	92	52	74	83	115
2005/04/28	35	51	34	55	78	62	73	90	93	63	93
2006/03/11	115	154	117	78	87	64	53	109	50	92	154
2006/03/28	112	128	71	50	70	44	49	67	38	70	128
2006/04/08	97	144	445	149	183	54	318	64	25	164	445
2006/04/09	64	90	78	45	57	27	52	35	25	53	90
2006/04/18	NA	38	66	204	252	198	165	174	41	142	252
2006/04/19	97	134	54	55	50	72	48	64	73	72	134
2007/03/28	64	177	75	73	59	72	76	54	69	80	177
2007/03/29	90	95	27	32	50	19	68	52	71	56	95
2007/04/01	461	509	419	261	404	202	NA	178	28	308	509
2007/04/02	68	69	39	89	111	106	267	169	32	106	267
2007/05/08	103	122	96	107	189	151	97	83	57	112	189
2007/05/09	46	54	39	55	96	120	87	100	70	74	120
2007/05/26	153	194	205	271	298	202	203	95	31	184	298
2007/05/27	232	195	48	31	41	22	44	67	34	79	232
平均値 (全体)	91	115	87	86	94	81	79	77	52	85	
最大値 (全体)	461	509	445	271	404	233	318	178	166		509

■ : 各調査日の平均値よりも高濃度となった数

太字: 調査地点における最大値

調査日										[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	長崎	太宰府	松江	金沢	立山	巻	犬山	つくば	札幌	平均値	最大値
2006/06/12	37	79	63	51	54	36	NA	39	19	47	79
2006/06/13	42	79	43	32	36	11	39	42	34	40	79
2008/03/26	53	56	25	20	20	NA	27	47	61	39	61
2008/03/27	17	47	37	27	31	NA	28	35	29	31	47

立山の2006.4.08、4.09、4.18、4.19、及び2007.4.01、4.02、5.26、5.27は、環境科学センター

長崎の2007.5.8、2007.5.9、2007.5.26、2007.5.27、2008.3.26、2008.3.27は、環境保健研究センター(大村)

注: NAは欠測、ただし、2004.2.26立山、2006.4.18長崎、2008.3.26及び2008.3.27巻は、信頼性不足のためNAとした。

3.1.2. 浮遊粒子状物質（SPM）濃度

我が国では、大気中に浮遊する粒子状物質のうち、粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の微小な粒子状物質を浮遊粒子状物質（SPM）³として環境基準を定めている。SPM 環境基準達成率に対する黄砂現象の影響は、早崎ら（2007）により報告されており、 $100\sim 200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度のSPM濃度が広範囲で持続した黄砂現象が観測された2002年4月には、日平均値で環境基準を超過する測定局が多く見られ、全国規模で同達成率の低下を招いたとされている。このため、国内約1,300カ所の測定局で常時監視しているSPM濃度を用いて、飛来した黄砂の規模を検討した。2001年から2007年にかけて、気象観測所で黄砂が観測された日の都道府県ごとのSPM平均濃度、及び同平均濃度に黄砂観測日数を乗じたものを図2に示した。この図から黄砂日のSPMの平均濃度は、黄砂飛来が多く見られた2002年を除き、北・東日本地域よりも西日本地域の方が相対的に高濃度であることがわかる。この傾向は、本調査におけるHVにより捕集した調査地点毎のTSPの比較傾向と一致している。気象庁黄砂観測日数を乗じた積は、各都道府県における黄砂現象を被るマクロな指標を示していると思われる。2001年から2007年にかけては、この積の値は、黄砂日のSPM平均濃度の傾向と同様に北・東日本地域よりも西日本地域の方が、大きく、また日本海側の方が太平洋側よりも値が大きいことが明確である。

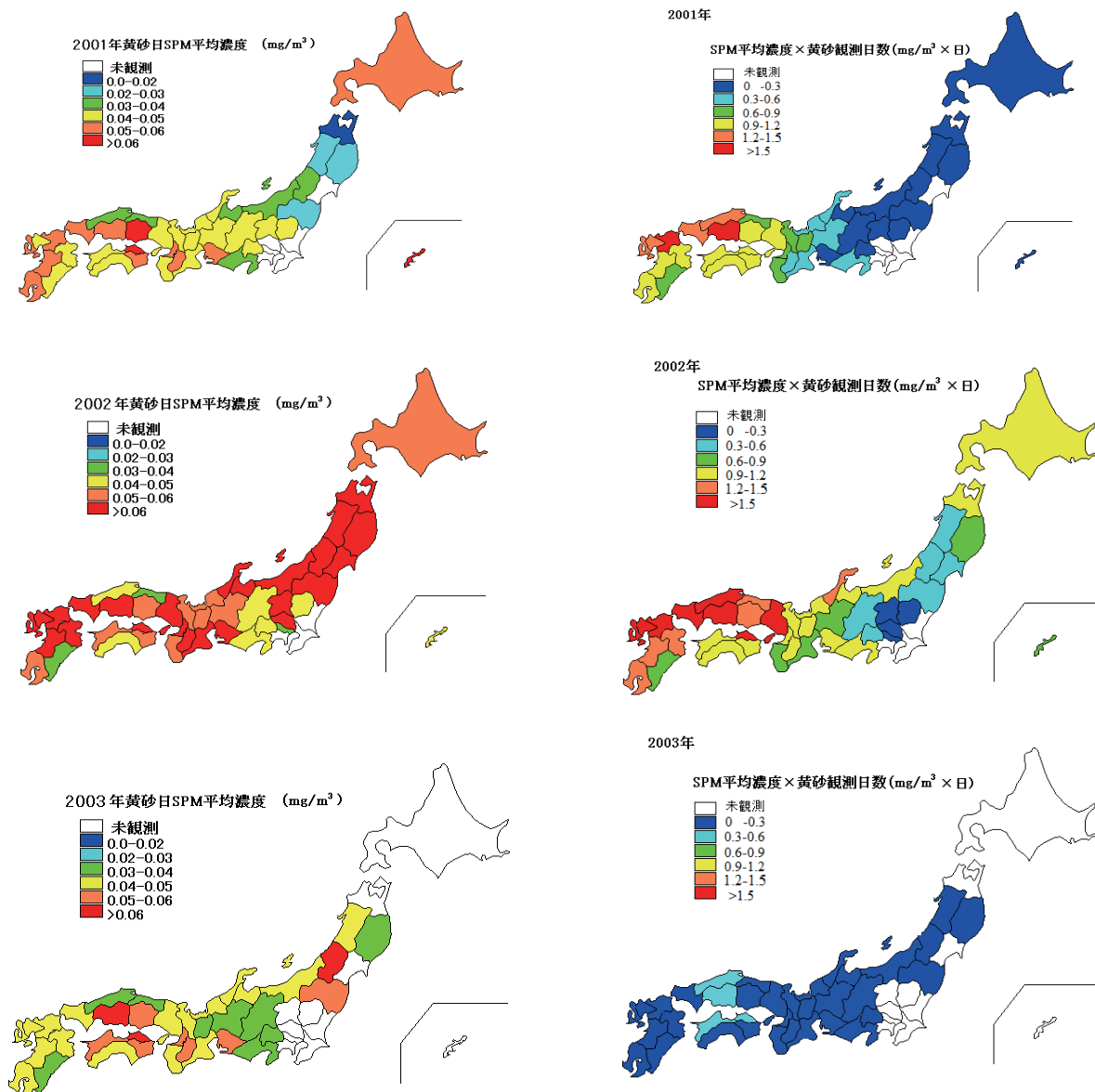


図2 黄砂日のSPM平均濃度及び積算濃度（2001年～2003年）

³浮遊粒子状物質（SPM = Suspended Particulate Matter）とは、大気中に存在する粒子状物質のうちで、粒子の直径（粒径）が $10\mu\text{m}$ （ 0.01mm ）以下の粒子と定義されている。一方、PM10も $10\mu\text{m}$ 以下の粒子であるが、測定原理上、SPMが $10\mu\text{m}$ を越える粒子が100%カットされているのに対し、PM10は、 $10\mu\text{m}$ の粒子の捕集効率が50%となるように捕集されたものである。日本では環境基準をSPMで定義しており、韓国ではPM10を採用している。

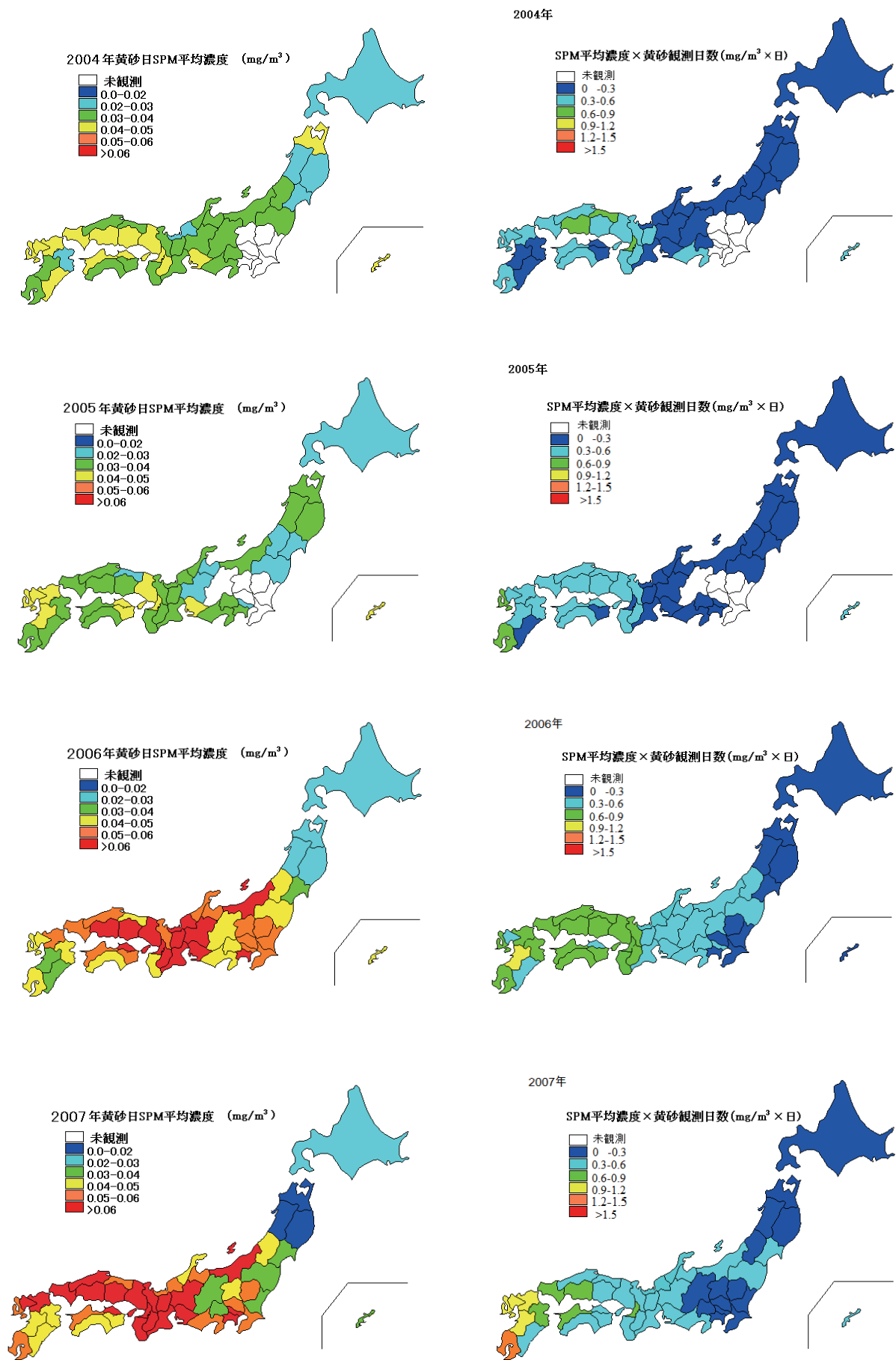


図2 黄砂日のSPM平均濃度及び積算濃度(2004年～2007年)

これらの結果を踏まえ、各調査地点近傍の一般環境大気測定局の SPM 濃度（1 時間値）の変化を参照した。TSP 調査結果から大規模な黄砂飛来があったと推察される 2006 年 4 月 8 日から 10 日まで、及び 2007 年 4 月 1 日から 3 日までの SPM の経時変化を図 3 及び図 5 にそれぞれまとめた。

2006 年 4 月 8 日から 10 日の調査期間では、筑後小郡、つくば、札幌を除く地点で SPM の 1 時間値が $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、松江、金沢、立山、犬山には SPM の 1 時間値の環境基準である $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるピークがみられる。特に、松江では、短時間ではあるものの $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える非常に高い SPM 濃度を観測している。日本海側の地点に着目すると、ピークの観測開始時刻は松江、金沢・立山、巻の順に西側が早く、ピークの大きさも西側が大きい。一方、太平洋側の犬山では、日本海側の地点より遅れて同じ黄砂と考えられるピークが観測され始め、その最高値は日本海側の 3 地点よりも低くなっている。

2006 年 4 月 8 日から 4 月 10 日にかけての天気図を図 4 に示した。2006 年 4 月 8 日 09 時（JST）の時点では低気圧の中心がある秋田県男鹿半島の西方日本海沖合から寒冷前線が延びていることがわかる。松江はこの低気圧の周縁部にあり、図 3(1)にみられるとおり、01 時（JST）から徐々に風速が強まるとともに西南西／西／西北西と風向が変化し 17 時（JST）を境に北側の風に変化、同時に風速が衰えている。この風速・風向の変化は、天気図に表れている低気圧の通過によるものと推察され、風向が西向きの際に SPM 濃度のピークが観測されていることから、寒冷前線の通過に伴い黄砂が輸送されたものと考えられる。

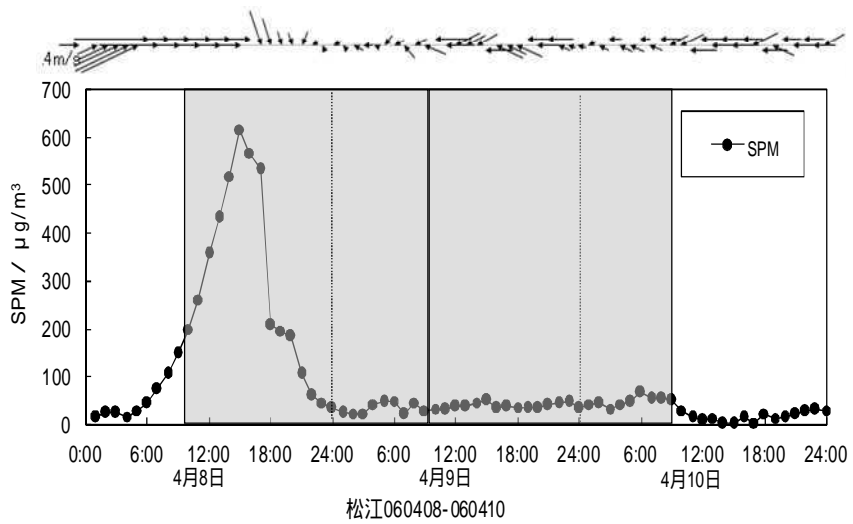
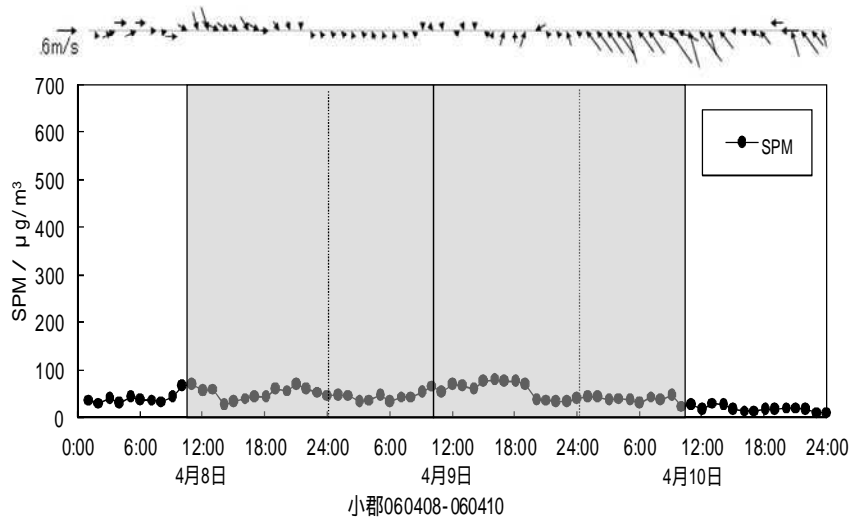
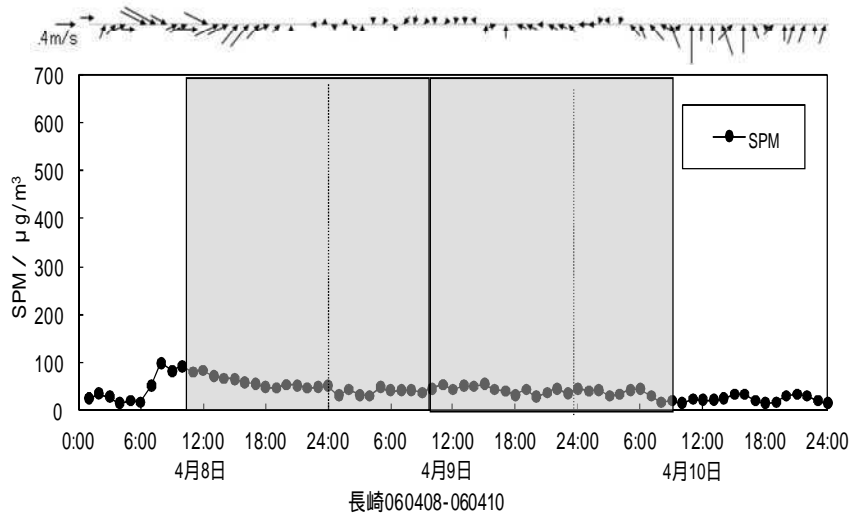


図3 SPM時間値(2006年4月8日~4月10日)(1)

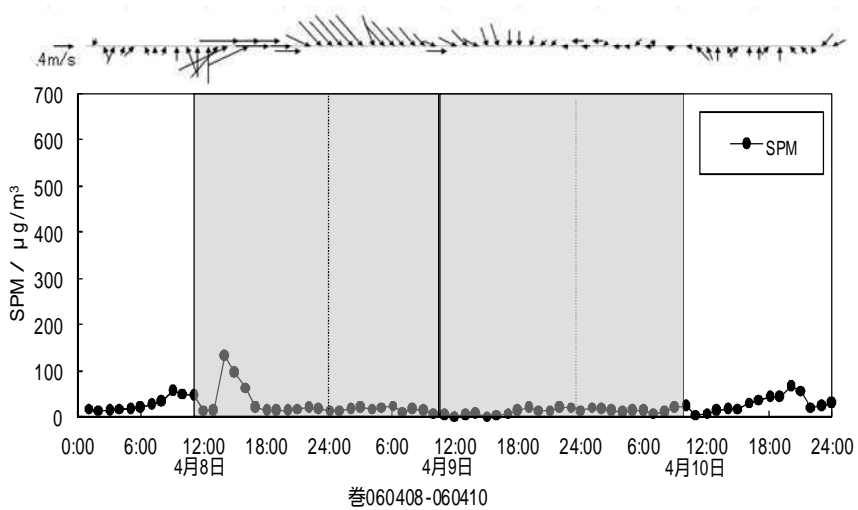
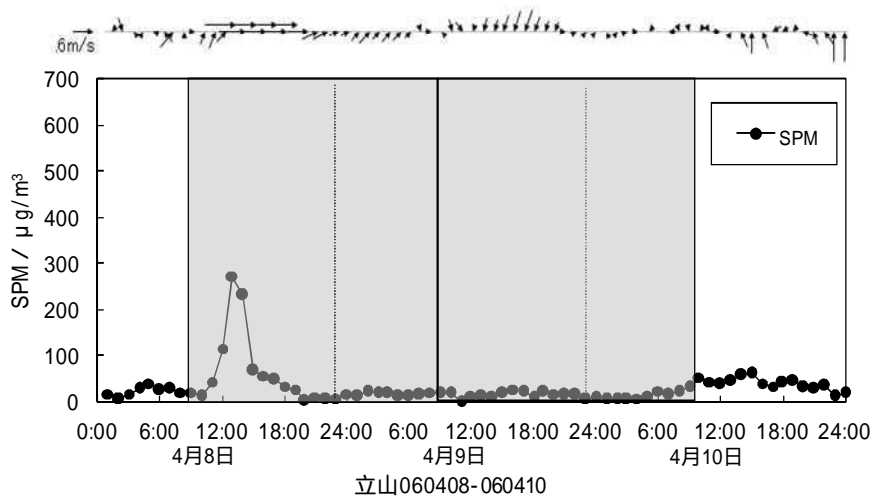
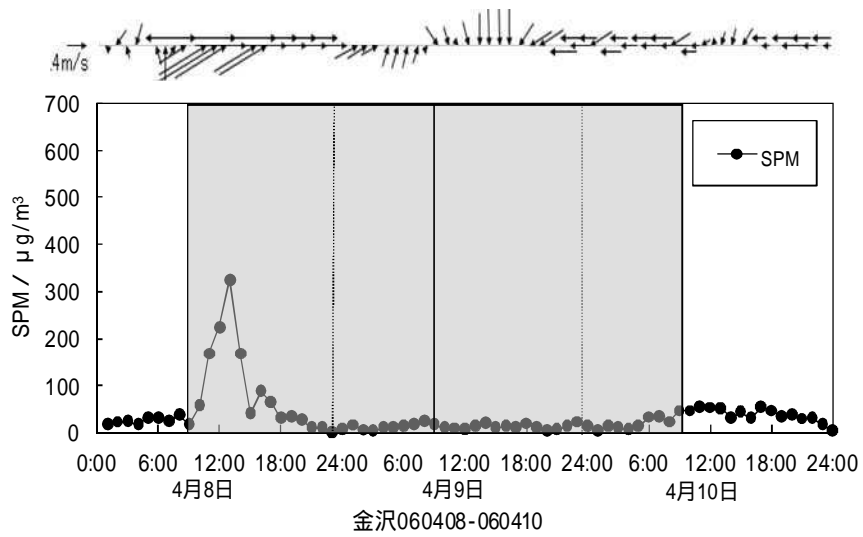


図3 SPM時間値(2006年4月8日~4月10日)(2)

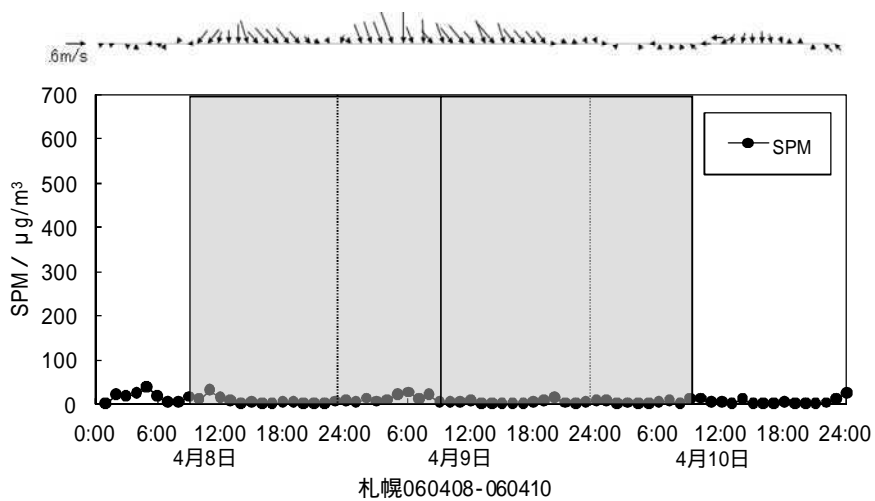
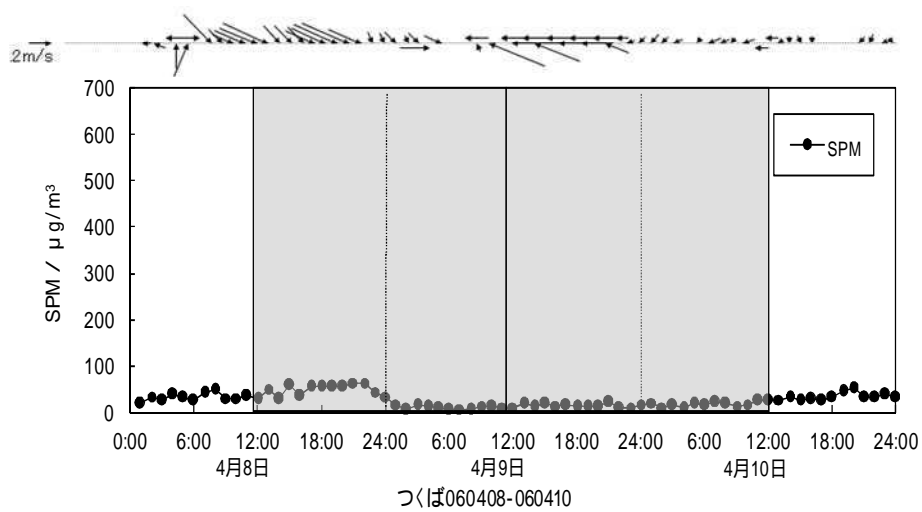
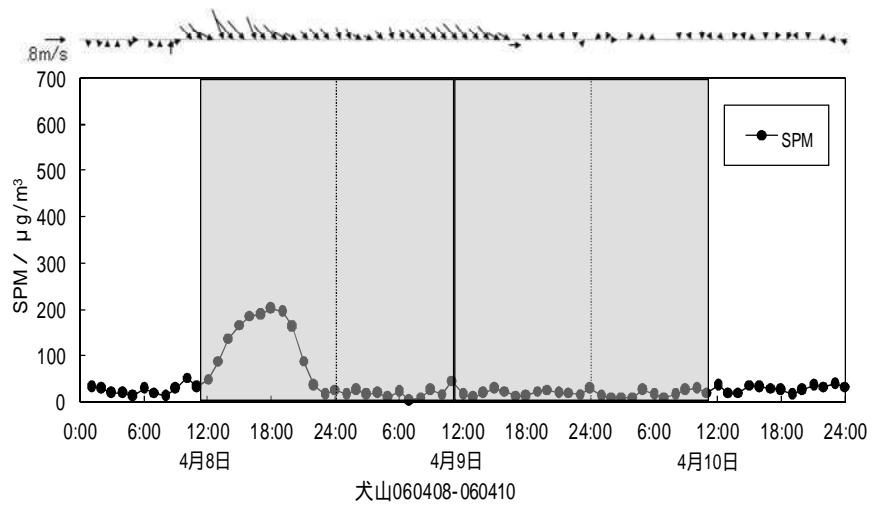


図3 SPM時間値(2006年4月8日~4月10日)(3)

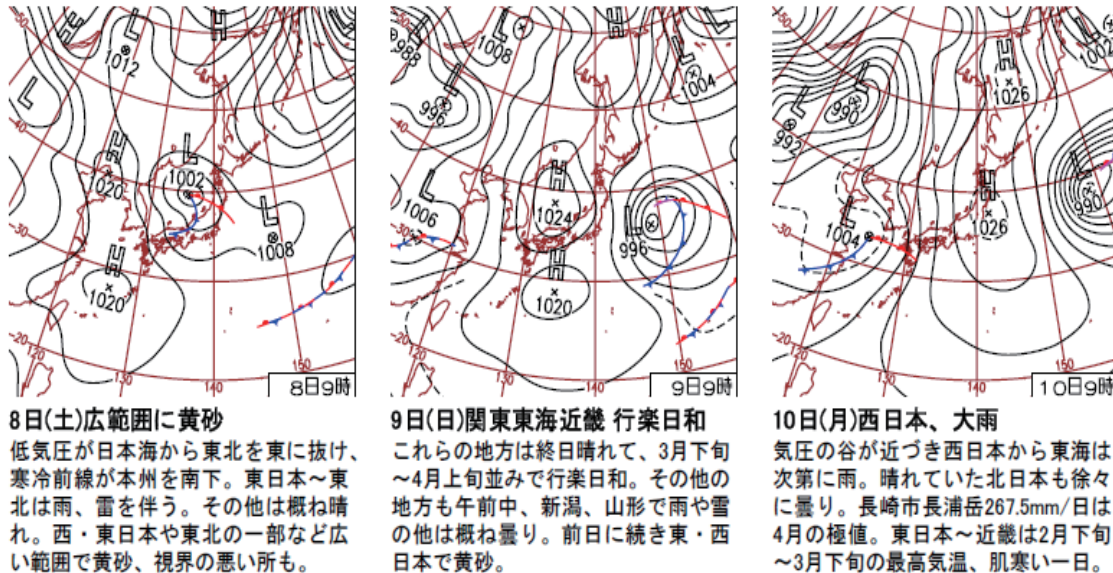


図4 天気図 (2006年4月8日～10日)

2007年4月1日から3日にかけての調査期間では、札幌を除くすべての調査地点でブロードかつ $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の SPM ピークが観察され、調査地点によっては複数の極大値が確認できる。9 調査地点における最大 SPM 濃度は、2007年4月2日07時 (JST) における長崎の $379 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。西日本に着目すると、長崎、筑後小郡及び松江で4月1日午前前から濃度が上昇し始め、長崎で $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、筑後小郡で $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度を横ばいに推移し、松江では最大値約 $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ のブロードなピークが観測された後、 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度を横ばいに推移した。その後、長崎及び筑後小郡では4月2日07時 (JST) 頃を中心に $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるピーク、松江では約6時間遅れて $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 弱のピークが観測されている。次に日本海側の地点に着目すると、松江、金沢、立山、巻において4月1日の午前前から午後にかけてブロードなピークがみられる。2007年4月1日の天気図を図5に示したが、複雑な気象場を呈しており、これが図5のような SPM 濃度の変化を導いたものと思われるが、この黄砂飛来状況を天気図のみから説明するのは困難である。