
令和2年度黄砂飛来状況調査

報告書

令和4年3月

環境省

黄砂問題検討会委員名簿

	氏名	所属・職名
委員	植松 光夫	埼玉県環境科学国際センター 総長
委員	鶴野 伊津志	国立大学法人九州大学 応用力学研究所地球環境力学部門 特任教授
委員	大黒 俊哉	国立大学法人東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
委員	長田 和雄	国立大学法人名古屋大学大学院 環境学研究科地球環境科学専攻 教授
座長	清水 厚	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域広域大気研究室 主幹研究員
委員	西川 雅高	国立研究開発法人国立環境研究所 環境リスク・健康領域基盤計測センター 客員研究員
委員	眞木 貴史	気象庁気象研究所 全球大気海洋研究部第三研究室 室長
委員	三上 正男	一般財団法人気象業務支援センター 振興部国際業務課 専任主任技師 研究推進部部長代理・国際業務課長
委員	吉川 賢	国立大学法人岡山大学 名誉教授 岡山大学・地域総合研究センター 特命教授

(50 音順)

報告書の要旨 目次

1	調査目的	ii
2	黄砂の観測状況	ii
2.1	黄砂の観測状況	ii
2.2	黄砂観測日の SPM 濃度	ii
3	煙霧の観測状況	ii
4	2020 年度における黄砂日の事例解析	ii
4.1	解析手法	ii
4.2	黄砂の観測事例	ii
4.3	黄砂日の解析結果	ii
4.4	黄砂事例 7 (2021 年 3 月 29 日～3 月 31 日) に関する詳細解析	ii
5	2020 年度における煙霧日の事例解析	ii
5.1	解析手法	ii
5.2	2020 年度の煙霧日	ii
5.3	煙霧日の解析結果	ii
5.4	煙霧事例 3 (2020 年 8 月 3 日～9 日) についての追加解析	ii
6	黄砂・煙霧日の PM2.5 濃度	ii
6.1	黄砂・煙霧日における PM2.5 環境基準超過についての解析	ii
6.2	黄砂日・煙霧日における PM2.5 成分濃度	ii
6.3	黄砂日・煙霧日 PM2.5 の PMF 法による発生源寄与推定	ii
7	2020 年度における黄砂の飛来状況の評価、包括的解析手法の検討等について	ii
7.1	PM2.5/PM10 濃度比による弱い黄砂検出手法の検討	ii
7.2	ライダーデータ並びに SPM 濃度の時系列変化	ii
7.3	SPM 頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討	ii
7.4	人工衛星を用いた黄砂検出手法の検討	ii
7.5	弱い黄砂事例	ii

報告書の要旨

1 調査目的

環境省では、2002年度から、我が国に飛来してきた黄砂について、その実態を科学的に把握するために黄砂実態解明調査を実施している。本報告書は、2020年度に飛来してきた黄砂についてその状況とをとりまとめたものである。

2 黄砂の観測状況

2.1 黄砂の観測状況

2020年度は2019年度に比べ黄砂観測日が増加しており、2021年3月に最も多く黄砂が観測された。都道府県別の黄砂日延べ日数を整理した結果、例年通り西日本で多く観測されているが、2020年度において東日本でも黄砂が観測されており、東京では約10年ぶりに黄砂が観測された。

2.2 黄砂観測日のSPM濃度

黄砂日における黄砂観測時間を考慮し、SPM濃度を整理したことで、より詳細な黄砂の影響を把握することができた。2020年度は3月29日から31日にかけて、日本全国で広く黄砂が観測されており、SPM濃度や過去の黄砂事例と比較しても大きな黄砂である様子が読み取れた。

3 煙霧の観測状況

2020年度は年間を通じて延べ日数が344日であったが、8月3日から9日の西之島の噴火の影響で観測された煙霧日を除くと168日であった。煙霧延べ日数の経月変化は、8月に突出して多くなっており、西之島の噴火の影響により全国的に煙霧が観測された。また、2019年度は九州地方で多く観測されていたが、2020年度は中国地方、四国地方で煙霧が多く観測された。

4 2020年度における黄砂日の事例解析

4.1 解析手法

黄砂を多角的に把握するため、天気図、砂塵嵐の発生状況、SPM濃度全国分布、後方流跡線、CFORS予測結果、ライダー黄砂消散係数、黄砂消散係数とSPM濃度の関係、ACSA-14による大気汚染物質濃度の時間値、PM_{2.5}/SPMの比、湿度、中国におけるPM_{2.5}などのデータを比較して飛来状況を解析した。また、これらの結果から黄砂の状況と大気汚染物質の混在状況についてレーダーチャートにより評価した。黄砂の状況把握には、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、PM_{2.5}/SPMの比の低下などがその判断として有効と思われた。また、大気汚染物質の混在状況については、SO₄²⁻の上昇、中国沿岸部からの方向を示す後方流跡線、PM_{2.5}/SPMの比の上昇などをもとに判断した。

4.2 黄砂の観測事例

2020年度に気象台が日本国内のいずれかの地点で黄砂を観測した日は、合計で14日である。連続した日を1つの黄砂現象とすると、7事例になる。黄砂7事例について詳細にその状況を示した。

4.3 黄砂日の解析結果

2020年度の気象台黄砂日7事例について、各事例の概要は以下のとおりである。

(1) 2020年4月4日～5日

4月4日～5日に福岡で黄砂が観測された。本事例は、中国西部における dust が4月4日深夜から5日明け方にかけて、若干の人為起源系汚染物質を含み飛来した弱い黄砂の事例と思われる。

(2) 2020年4月26日

4月26日に広島、高松で黄砂が観測された。本事例は、東アジア域における Dust により4月26日昼頃から、若干の人為起源系汚染物質を含んだ黄砂が飛来した弱い黄砂事例と思われる。

(3) 2020年5月13日

4月26日に新潟、名古屋、広島、福岡、高松で黄砂が観測された。本事例は、東アジア域における Duststorm により5月13日0:00頃から、若干の人為起源系汚染物質を含んだ黄砂が飛来し、西日本から北陸まで広がった比較的広範囲な黄砂事例と思われる。

(4) 2020年5月15日

4月26日に新潟で黄砂が観測された。本事例は、東アジア域における Duststorm により、人為起源系汚染物質をあまり含まない黄砂が、限られた範囲に飛来した弱い黄砂事例と思われる。

(5) 2021年1月14日～16日

1月14日に広島、15日に新潟、16日に新潟、福岡で黄砂が観測された。本事例はモンゴルにおける Slight Duststorm により、人為起源系汚染物質をやや含む黄砂が、点的に飛来した弱い黄砂事例と思われる。

(6) 2021年3月16日～18日

3月16日に大阪、17日に大阪、福岡、18日に福岡で黄砂が観測された。本事例はモンゴルにおける Duststorm により、人為起源系汚染物質をあまり含まない黄砂が、点的に飛来した弱い黄砂事例と思われる。

(7) 2021年3月29日～31日

3月29日に札幌、名古屋、東京、那覇以外で、30日に那覇以外で、31日に札幌、名古屋、那覇以外の全国広い範囲で黄砂が観測された。本事例では SPM 濃度が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が拡大し広い範囲で高濃度域が見られ、PM_{2.5} 濃度も西日本の広い範囲で環境基準を超える様子が見られた。また、人為起源系汚染物質は粗大粒子、微小粒子ともに多くの地点で高い値となっているのが見て取れた。大陸の状況ではモンゴルにおいて Duststorm 発生し大陸から日本への移流があったと思われる。本事例は、モンゴルにおける Duststorm により、人為起源系汚染物質をやや多く含む黄砂が、全国的に飛来した近年としては強い黄砂事例と思われる。

4.4 黄砂事例7(2021年3月29日～3月31日)に関する詳細解析

2020年度の黄砂事例7は近年では非常に規模の大きな黄砂事例であった。そこで本事例に対しさらに詳細な解析を行った。通常、大陸からの SPM などは関東地方において日本アルプスにおける標高の高い山脈などにより移流がさえぎられるため高濃度にはなりにくい。しかし、本事例においては東京において SPM 濃度が $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となる状況が見られた。そこで、湿度と、後方流跡線の日本付近の

拡大図を調べたところ、大陸からの移流が太平洋に到達した後、関東に戻ってきていることを示唆する様子が見られた。

5 2020年度における煙霧日の事例解析

5.1 解析手法

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。ここでの煙霧観測事例としては、上記定義に従い、2020年度に日本で観測された煙霧のうち、10地点以上で同時に観測された事例を中心に決定した。

解析項目は黄砂事例での解析項目の、(1) 煙霧観測地点、(2) 天気図、(3) 現在天気データ、(4) 後方流跡線、(5) CFORS、(6) ライダー黄砂消散係数、SPM濃度、(7) PM2.5濃度、(8) ACSA-14データ、(9) 中国でのPM2.5データである。

5.2 2020年度の煙霧日

2020年度に日本で観測された煙霧のうち、10地点以上で同時に観測された日を解析対象とすると、合計で21日間であった。連続した日を1つの煙霧現象とすると、11事例になる。これらの煙霧事例について詳細に状況を解析した。

5.3 煙霧日の解析結果

(1) 2020年5月2日～3日

2020年5月2日と3日で観測された煙霧で、全国にそれぞれ14地点で煙霧が観測された。本事例は、大陸からのDustの影響により飛来した空気塊に、人為起源のfSO42-混合した弱い煙霧事例と考えられる。

(2) 2020年6月4日

2020年6月4日に観測された煙霧で、全国に15地点で煙霧が観測された。本事例は、大陸からのDust、Slight Duststormの影響が及んだ非常に弱い煙霧事例と考えられる。

(3) 2020年8月3日～9日

2020年8月3日から9日に全国、広範囲で長期間にわたり観測された煙霧で、最大で37地点で煙霧が観測された。西之島においては2020年6月中旬から8月中旬まで、おおむね高度2km～6kmの噴煙を連続的に立ち上げるような爆発的な噴火が継続してことが報告されている(柳澤ら,2020)。また、福岡大学は8月上旬の煙霧が西之島の噴火によると報じた。天気図を見ると8月3日には日本列島は広く高気圧に覆われ、日本南の沖から九州、西日本への時計回りの循環が予想される。これらと後方流跡線、中国のPM2.5、PM2.5/PM10のふるまいを踏まえ、さらにfSO42-の増加が、自然発生源としての硫酸イオンの原因である火山からの噴出物によるものであると仮定すると、本事例は西之島の噴火によりもたらされた煙霧事例と思われる。

(4) 2020年8月25日

2020年8月25日に観測された煙霧で、全国に10地点で煙霧が観測された。事例3との類似性が多くある本事例は、西之島の継続的噴火による事例であると考えられる。

(5) 2020年12月30日～31日

2020年12月30日から31日に観測された煙霧で、全国に12月30日に11地点、31日に10地点で煙霧が観測された。本事例は、大陸からの影響ではないと思われるがはっきりした原因は不明である事例であった。

(6) 2021年1月7日

2021年1月7日に観測された煙霧で、全国に10地点で煙霧が観測された。本事例は、大陸からのDustの影響が及んだ非常に弱い煙霧事例と考えられる。

(7) 2021年1月19日

2021年1月19日に観測された煙霧で、全国に12地点で煙霧が観測された。本事例は、大陸からの自然起源の影響の少ない事例と思われる。

(8) 2021年2月2日～3日

2021年2月2日から3日に観測された煙霧で、2月2日に16地点、3日に10地点、主に日本海側で煙霧が観測された。本事例は、大陸からの砂塵嵐関連の原因ではないと思われる事例である。

(9) 2021年2月7日～8日

2021年2月7日から8日に観測された煙霧で、2月7日に20地点、8日に13地点で煙霧が観測された。本事例は、大陸からのDust、Slight duststormの影響の及んだ煙霧事例であると思われる。

(10) 2021年2月16日

2021年2月16日に観測された煙霧で10地点が観測された。本事例は、大陸からの自然起源の影響の少ない煙霧事例であると思われる。

(11) 2021年3月15日

2021年3月15日に観測された煙霧で11地点が観測された。3月16日から18日は黄砂観測日となっていることと、解析結果を踏まえると、本事例は、黄砂観測よりやや早く黄砂をもたらしたモンゴルにおけるDuststorm起源の粒子が日本に飛来した弱い煙霧事例であると思われる。

5.4 煙霧事例3（2020年8月3日～9日）についての追加解析

煙霧事例3（2020年8月3日から9日）は西之島の噴火由来であると報告されている。そこで本事例を詳しく調べるために煙霧事例3の時期と他の事例の時期の $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比を比較した。その結果 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比は他の煙霧日と比較し非常に高い値となっていることが分かった。また、その日のピークが福岡から東部へ伝播している様子が見られた。この期間の NH_4^+ 濃度も高く成っている様子が見られた。

6 黄砂・煙霧日のPM2.5濃度

6.1 黄砂・煙霧日におけるPM2.5環境基準超過についての解析

2020年度の黄砂日におけるPM2.5平均濃度は $16.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は4.93%で、前年度と比較して、平均濃度（前年度： $15.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、環境基準値超過率（前年度：0.31%）ともに増加していた。また、煙霧日における平均濃度 $16.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は6.7%であり、前年度と比較して、平均濃度（前年度： $16.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、環境基準値超過率（前年度：3.2%）ともに増加した。

6.2 黄砂日・煙霧日における PM2.5 成分濃度

2020 年度の成分分析調査結果のうち、PM2.5 の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であり、かつ黄砂もしくは煙霧が観測された地点を抽出し、成分の項目別に濃度などを調べた。抽出の結果、黄砂時のデータは 0 データであり、煙霧日のデータは 106 データであった。金属成分については煙霧日には、昨年度と同様、Al、Fe が高濃度でついで Zn が高くなっていた。イオン成分などについては硫酸イオンが他の成分と比較し非常に高くなっており、これは西之島の噴火の影響が日本に到達した時期に自治体の観測が実施され、その時のデータが選定されたからだと思われる。次いで、アンモニウムイオン、有機炭素の順に高くなっている。

6.3 黄砂日・煙霧日 PM2.5 の PMF 法による発生源寄与推定

PM2.5 成分濃度調査が実施された期間に、黄砂・煙霧が観測された日、地点を選択して PMF 解析を行った。抽出されたデータは、黄砂日に関しては 15 データ、煙霧日のデータは 106 データであった。因子数を 7 としたところ、黄砂日には海塩、廃棄物焼却、石油燃焼、鉄鋼工業、黄砂に関する土壌、自動車排気ガス、道路と思われる因子となった。一方、煙霧日に関しては、道路、バイオマス燃焼、石炭燃焼、石油燃焼、海塩、廃棄物焼却、鉄鋼工業と思われる因子となった。

7 2020 年度における黄砂の飛来状況の評価、包括的解析手法の検討等について

7.1 PM2.5/PM10 濃度比による弱い黄砂検出手法の検討

PM10 濃度に対する PM2.5 濃度の比を弱い黄砂の判定基準とその抽出を試みた。使用するデータは ACSA-14 のデータを用いた。ここでは弱い黄砂検出手法の検討のために、PM10 濃度は黄砂日には高い値となる傾向にあることから、PM10 に対する PM2.5 の比が 0.2 以下、かつ PM10 濃度が $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ の日時を抽出しその日時を弱い黄砂日と仮定した。

その結果、弱い黄砂と仮定された事例を 2 事例抽出した。また、同期間の PM2.5/SPM 濃度比を調べた結果、PM2.5/PM10 濃度比と比較し黄砂と思われる特徴は見取れなかった。

7.2 ライダーデータ並びに SPM 濃度の時系列変化

PM2.5/PM10 濃度比により抽出された弱い黄砂と考えられる 2 事例を対象に、ライダー黄砂消散係数、並びに SPM 濃度の経時変化を、各事例の前後 1 日ずつを含めて確認した。いずれの事例についても、PM2.5/PM10 濃度比が小さくなる時間帯に、黄砂消散係数及び SPM 濃度が上昇する結果が得られた。ただし、黄砂消散係数と SPM 濃度の相関は弱く、ライダーデータと SPM 濃度のみによる黄砂検出手法には限界があることも明らかになった。

7.3 SPM 頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討

的場ら(2005)の手法である APM 頻度分布図を用いて、黄砂日の検出を試みたところ、2020 年度は計 8 日間が抽出された。抽出された 8 日間のうち 2 日間は黄砂が、5 日間は煙霧が観測されており、的場ら(2005)の手法で新たに抽出された日は 1 日であった。また、PM2.5/PM10 を用いて抽出された弱い黄砂に関しては、抽出することができない結果となった。

7.4 人工衛星を用いた黄砂検出手法の検討

PM2.5/PM10 濃度比やライダーデータといった観測データに基づく黄砂検出手法を補足し、黄砂飛来状況をより直接的に把握するため、人工衛星を用いた黄砂検出手法について調査を行った。日本海にて雲が発生しやすく、また国内の気象条件によっては気象衛星ひまわりによる観測は難しいという観点から、発生源域に近い中国内陸部が観測範囲に含まれているような人工衛星を調査し、中国の気象衛星「風雲4号」について情報収集を行った。

7.5 弱い黄砂事例

(1) 弱い黄砂事例1：2020年5月12日～5月15日

5月12日に札幌で、5月14日に隠岐でPM10の値が $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となり、かつPM2.5/PM10の値が0.2以下となった。また、この前後の5月13日、15日には気象庁で黄砂が観測された黄砂日となっていたため、この期間を連続した黄砂日と仮定した。

本事例は、東アジア域におけるDuststormにより発生した黄砂が、5月12日18:00頃から若干の人為起源系汚染物質を含み飛来し、北海道から北陸、西日本まで広がった比較的広範囲な黄砂事例とも考えられる。また、気象庁で観測された黄砂と弱い黄砂と仮定された黄砂日を統合すると比較的長期的な一連の黄砂事例である可能性を示唆している。

(2) 弱い黄砂事例2：2021年3月23日～3月24日

3月23日、24日に隠岐、福岡でPM10の値が $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となり、かつPM2.5/PM10の値が0.2以下となった。

本事例は、後方流跡線が砂塵嵐の発生域を通過していないものの、何らかの気流の影響により東アジア域におけるSlight Duststormにより3月23日10:00頃から、若干の人為起源系汚染物質を含んだ黄砂が飛来し、九州地方から中部地方にかけ広がった弱い黄砂事例だったと示唆される。また、2021年3月にはこの弱い黄砂と仮定された事例の他、気象庁で観測された2つの黄砂事例があった。2021年3月は黄砂が比較的頻繁に飛来した月であった可能性がある。

目次

1	調査目的	1
2	黄砂の観測状況	1
2.1	黄砂の観測状況	1
2.2	黄砂観測日におけるSPM濃度	3
3	煙霧の観測状況	12
3.1	煙霧の観測状況	12
3.2	煙霧の経月変化及び地点別観測日数	13
4	2020年度における黄砂日の事例解析	14
4.1	黄砂日の事例解析	14
4.2	解析手法	14
4.3	黄砂の観測事例	19
4.4	黄砂日の解析結果	20
4.5	黄砂事例7(2021年3月29日~3月31日)に関する詳細解析	101
5	2020年度における煙霧日の事例解析	103
5.1	解析手法	103
5.2	2020年度の煙霧日	104
5.3	煙霧日の解析結果	105
5.4	煙霧事例3(2020年8月3日~9日)についての詳細解析	195
6	黄砂および煙霧日のPM2.5濃度のデータ整理と解析	202
6.1	黄砂・煙霧日におけるPM2.5環境基準超過についての解析	202
6.2	黄砂・煙霧日におけるPM2.5成分濃度の解析	205
6.3	黄砂・煙霧日におけるPMF法を利用したPM2.5の発生源寄与推定	207
7	2020年度における黄砂の飛来状況の評価、包括的解析手法の検討等について	215
7.1	PM2.5/PM10濃度比による弱い黄砂検出手法の検討	215
7.2	ライダーデータ並びにSPM濃度の時系列変化	218
7.3	SPM頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討	221
7.4	人工衛星を用いた黄砂検出手法の検討	224
7.5	弱い黄砂事例	225
7.6	まとめ	237
8	今後の課題	238

1 調査目的

黄砂は、黄河地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、近年では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。しかし、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、黄砂が中国大陸から飛来する際に混在する人為的発生源からの汚染物質の影響も懸念される。

本報告書は、わが国における黄砂エアロゾルの飛来状況を科学的に把握するとともに、わが国に飛来した黄砂の実態解明に資することを目的として、2020年度に飛来した黄砂の状況についてまとめたものである。

2 黄砂の観測状況

2.1 黄砂の観測状況

黄砂の観測日数について経年変化、経月変化、地点別日数などの整理を行った。黄砂観測地点は、2020年2月3日に11地点（札幌、仙台、東京、新潟、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、鹿児島、那覇）となったため、経年変化のグラフは11地点における黄砂観測日数を整理した。地点別日数については観測地点の県毎に、観測日数の多い順に整理した。

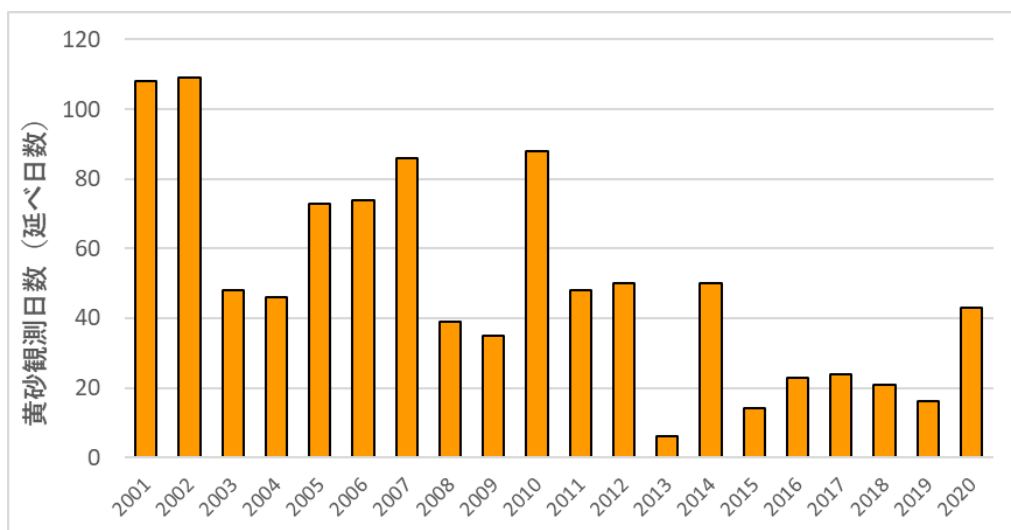


図 2-1-1 黄砂観測日数（延べ日数）の経年変化

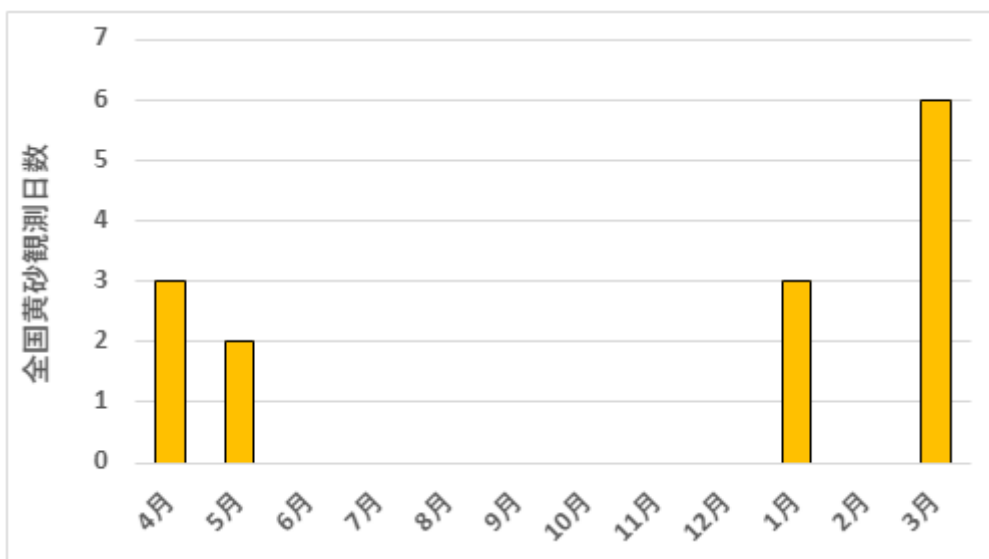


図 2-1-2 黄砂観測日の経月変化 (2020 年度)

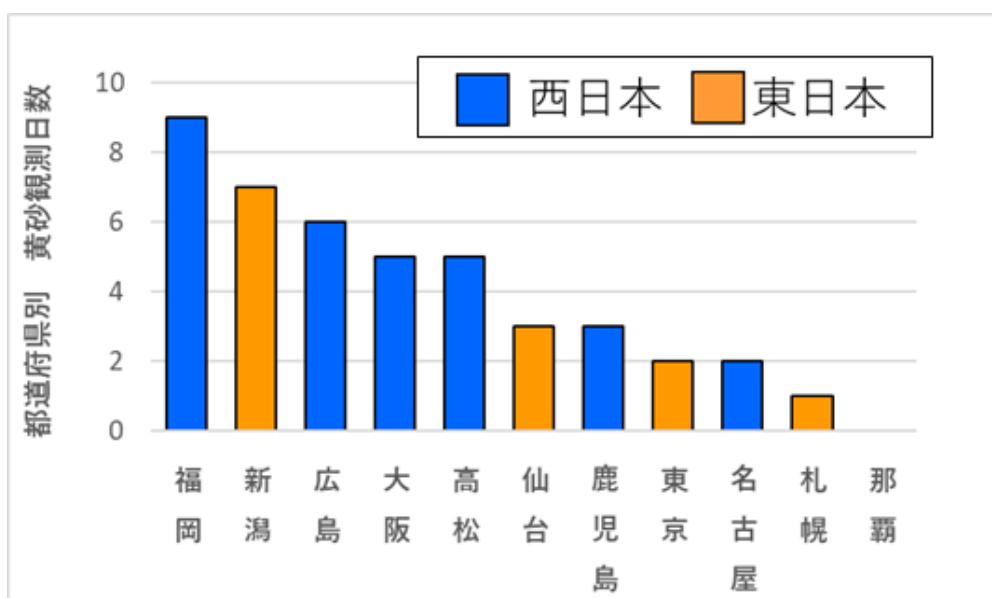


図 2-1-3 黄砂日の地点別日数 (2020 年度)

気象台発表の黄砂日における年間積算黄砂観測日数について、2001 年度から 2020 年度までの 20 年間のデータを、図 2-1-1 にまとめ、図 2-1-2 に、2020 年度の黄砂観測日数の経月変化を示した。2020 年度は 2019 年度に比べ黄砂観測日が増加しており、2021 年 3 月に最も多く黄砂が観測された。これは沖縄を除く日本の広い範囲で黄砂が観測されたことによる。

図 2-1-3 に都道府県別の黄砂日延べ日数を、黄砂日の多い順に示した。例年通り西日本で多く観測されているが、2020 年度において東日本でも黄砂が観測されており、東京では約 10 年ぶりに黄砂が観測された。

2.2 黄砂観測日におけるSPM濃度

(1) 2020年度における黄砂観測時間とSPM濃度平均時間

昨年度の検討を踏まえ、今年度はより詳細な黄砂の実態を把握するために、SPM濃度平均は黄砂観測時間における平均値を整理する。2020年度の黄砂観測日における黄砂観測時間及び平均時間、黄砂観測時間における平均値を表2-2-1にまとめた。

表 2-2-1 2020年度における黄砂観測時間及び平均値

日付	地点数	観測地点	観測時間	SPM濃度 平均時間
2020/4/4	1	福岡	23:00～24:00	23:00～24:00
2020/4/5	1	福岡	1:00～4:00	1:00～4:00
2020/4/26	2	広島	12:30～16:00	12:00～16:00
		高松	17:30～23:30	17:00～24:00
2020/5/13	5	新潟	10:00～16:00	10:00～16:00
		名古屋	5:30～13:30	5:00～14:00
		広島	2:00～5:50	2:00～6:00
		福岡	1:50～2:40	1:00～3:00
		高松	2:00～11:30	2:00～12:00
2020/5/15	1	新潟	16:00～18:30	16:00～19:00
2021/1/14	1	広島	12:00～16:00	12:00～16:00
2021/1/15	1	新潟	15:20～24:00	15:00～24:00
2021/1/16	2	新潟	1:00～2:00	1:00～2:00
		福岡	10:40～15:30	10:00～16:00
2021/3/16	1	大阪	22:00～24:00	22:00～24:00
2021/3/17	2	大阪	1:00～2:00	1:00～2:00
		福岡	9:30～14:30	9:00～15:00
2021/3/18	1	福岡	14:00～20:00	14:00～20:00
2021/3/29	7	仙台	19:30～24:00	19:00～24:00
		新潟	15:50～24:00	15:00～24:00
		広島	8:30～24:00	8:00～24:00
		大阪	15:00～24:00	15:00～24:00
		福岡	10:30～24:00	10:00～24:00
		鹿児島	13:00～24:00	13:00～24:00
		高松	11:00～24:00	11:00～24:00
2021/3/30	10	札幌	13:30～17:00	13:00～17:00
		仙台	1:00～24:00	1:00～24:00
		新潟	1:00～24:00	1:00～24:00
		名古屋	14:30～23:30	14:00～24:00
		東京	14:37～20:30	14:00～21:00
		広島	1:00～24:00	1:00～24:00
		大阪	1:00～24:00	1:00～24:00
		福岡	1:00～24:00	1:00～24:00
		鹿児島	1:00～24:00	1:00～24:00
		高松	1:00～24:00	1:00～24:00
2021/3/31	8	仙台	1:00～15:50	1:00～16:00
		新潟	1:00～20:00	1:00～20:00
		東京	8:50～15:30	8:00～16:00
		広島	1:00～2:00	1:00～2:00
		大阪	1:00～2:00	1:00～2:00
		福岡	1:00～2:30	1:00～3:00
		鹿児島	1:00～11:00	1:00～11:00
		高松	1:00～17:00	1:00～17:00

(2) 黄砂時における各都道府県の量的指標

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、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時のおおよその量的指標を示すと考えられる。気象庁黄砂観測日における地点別の SPM 濃度を 2001 年から 2020 年の 20 年間に於ける黄砂観測地点の位置する都道府県における SPM 濃度平均値の経年変化を図 2-2-1 に示した。併せて SPM 平均濃度に黄砂観測日数を乗じたものに対しても整理を行い、日本地図にプロットした（図 2-2-2 から図 2-2-4）。

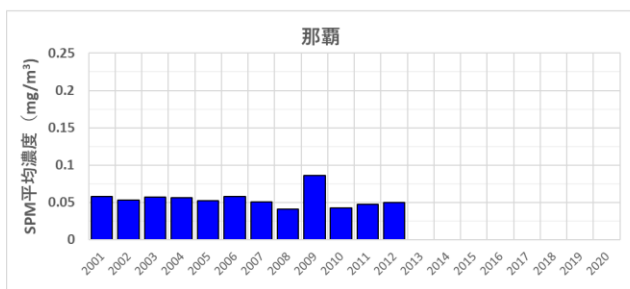
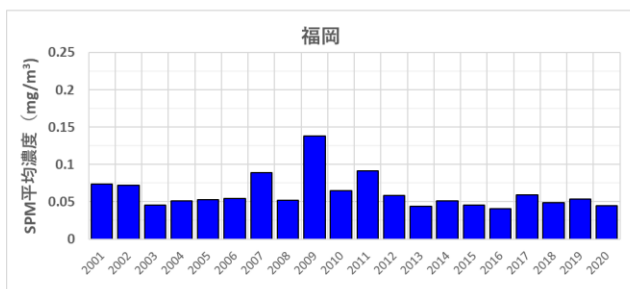
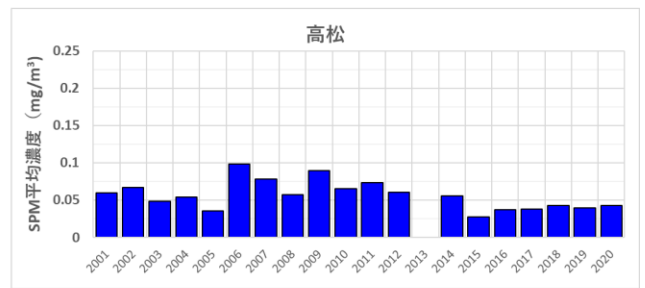
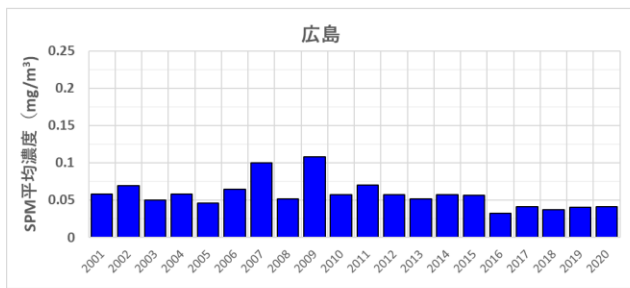
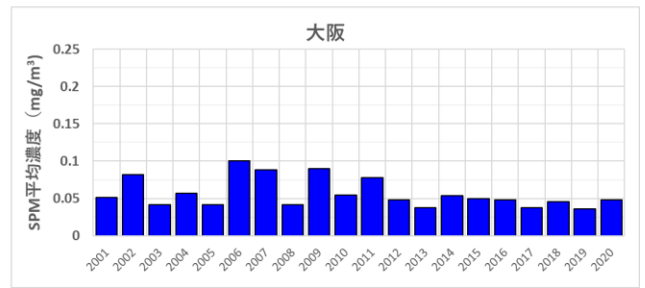
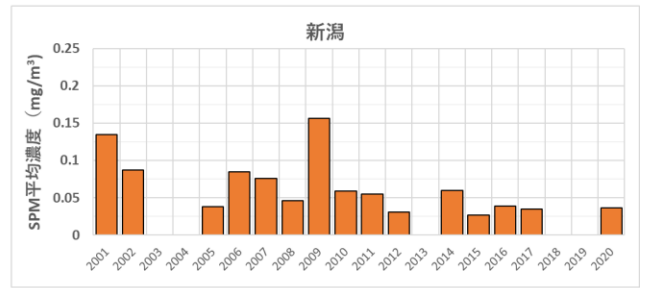
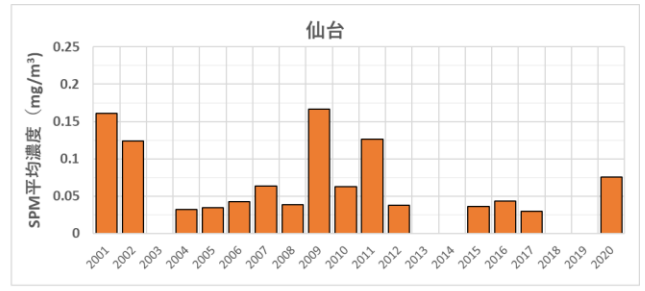
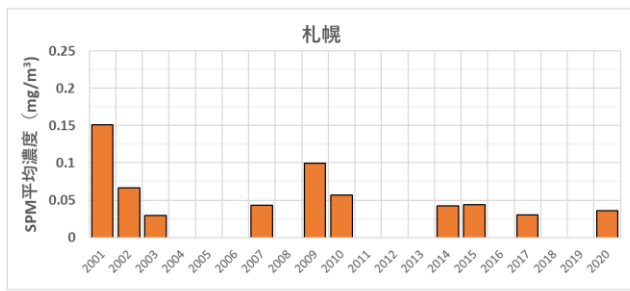


図 2-2-1 黄砂観測地点における SPM 平均濃度の推移 (2001 年度から 2020 年度)

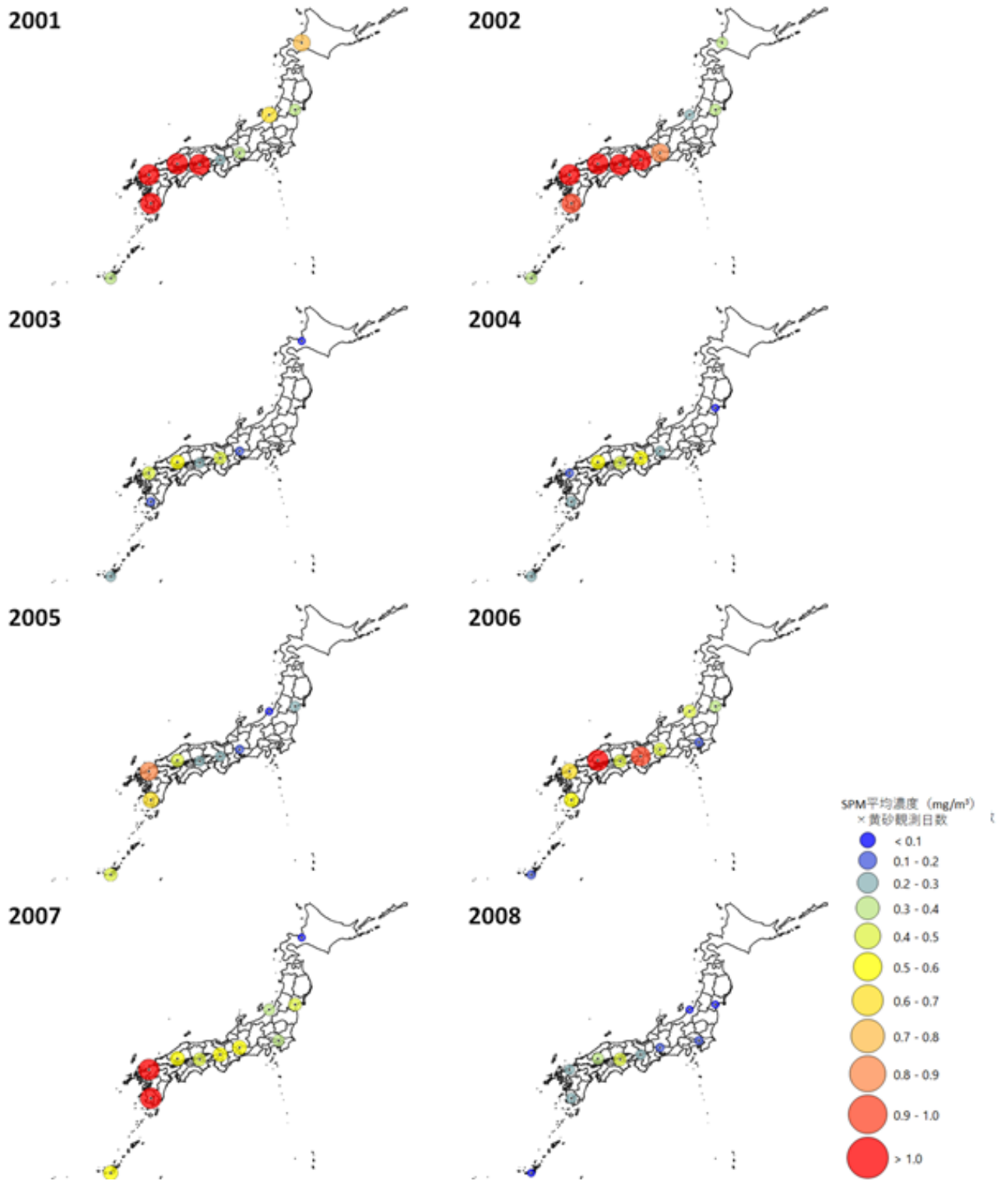


図 2-2-2 黄砂日の SPM 平均濃度と観測日数との積算値(1) (2001 年度から 2008 年度)

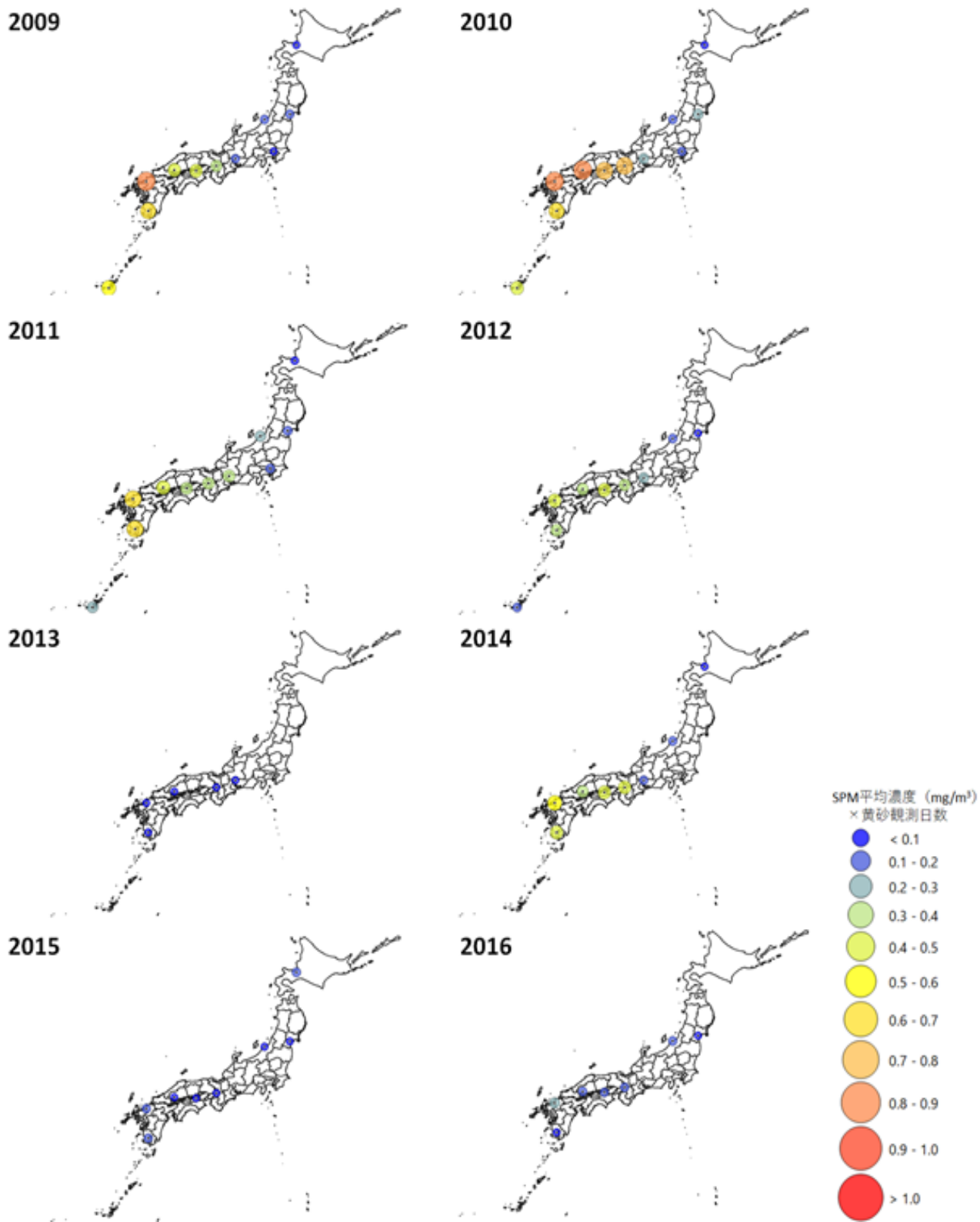


図 2-2-3 黄砂日の SPM 平均濃度と観測日数との積算値(2) (2009 年度から 2016 年度)

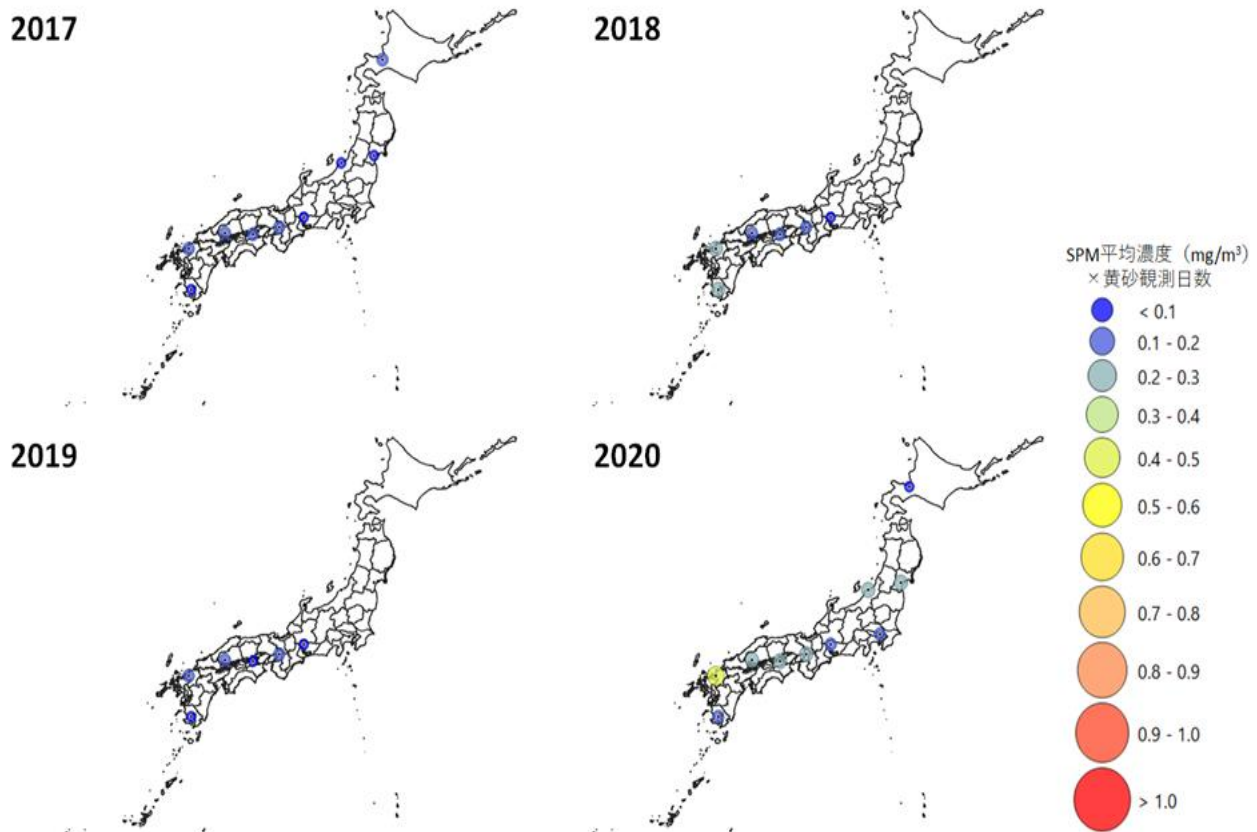


図 2-2-4 黄砂日の SPM 平均濃度と観測日数との積算値(3) (2017 年度から 2020 年度)

(3) 過去の黄砂事例と 2020 年度の黄砂事例との比較

2020 年度に観測された計 14 日の黄砂が、過去の黄砂事例と比較し、どの程度の強度であったかを確認するため、2001 年度から 2020 年度における黄砂強度の散布図を作成し、図 2-2-5 に示した。昨年度までは日にちごとに整理したデータを使用していたが、今年度は連続して黄砂が観測された場合を 1 事例とし整理した。横軸には、黄砂事例ごとの SPM 平均濃度として、黄砂が観測された時間における SPM 濃度の合計値を、黄砂観測時間の合計値で割ることで求めている。縦軸には、事例ごとの黄砂観測地点数 (全 11 地点) の平均を求めている。これにより横軸で黄砂強度、縦軸で日本における黄砂の広がりを読み取ることができる。

2020 年度に観測された黄砂の中で最も広範囲で観測され、SPM 濃度が高くなった黄砂事例は 2021 年 3 月 29 日から 31 日に観測された黄砂であった。この黄砂は、過去の黄砂事例と比較した結果、平均観測地点数は全 113 事例中 2 番目に高い値となった。また、SPM 濃度は 23 番目となり、過去 10 年の間では 2 番目に高い値となった。これより、2021 年 3 月 29 日から 31 日に観測された黄砂は、過去の黄砂と比較しても強い黄砂事例であることが確認できた。2020 年 5 月 13 日に観測された黄砂事例は、1 日だけの事例であるものの 5 地点で黄砂が観測されており、西日本の広い範囲で観測された弱い黄砂であったことが読み取れる。他の 5 事例に関しては、平均観測地点数及び SPM 濃度平均値のどちらも値が小さいため、全国的に広がりが見られない弱い黄砂であったことが読み取れる。

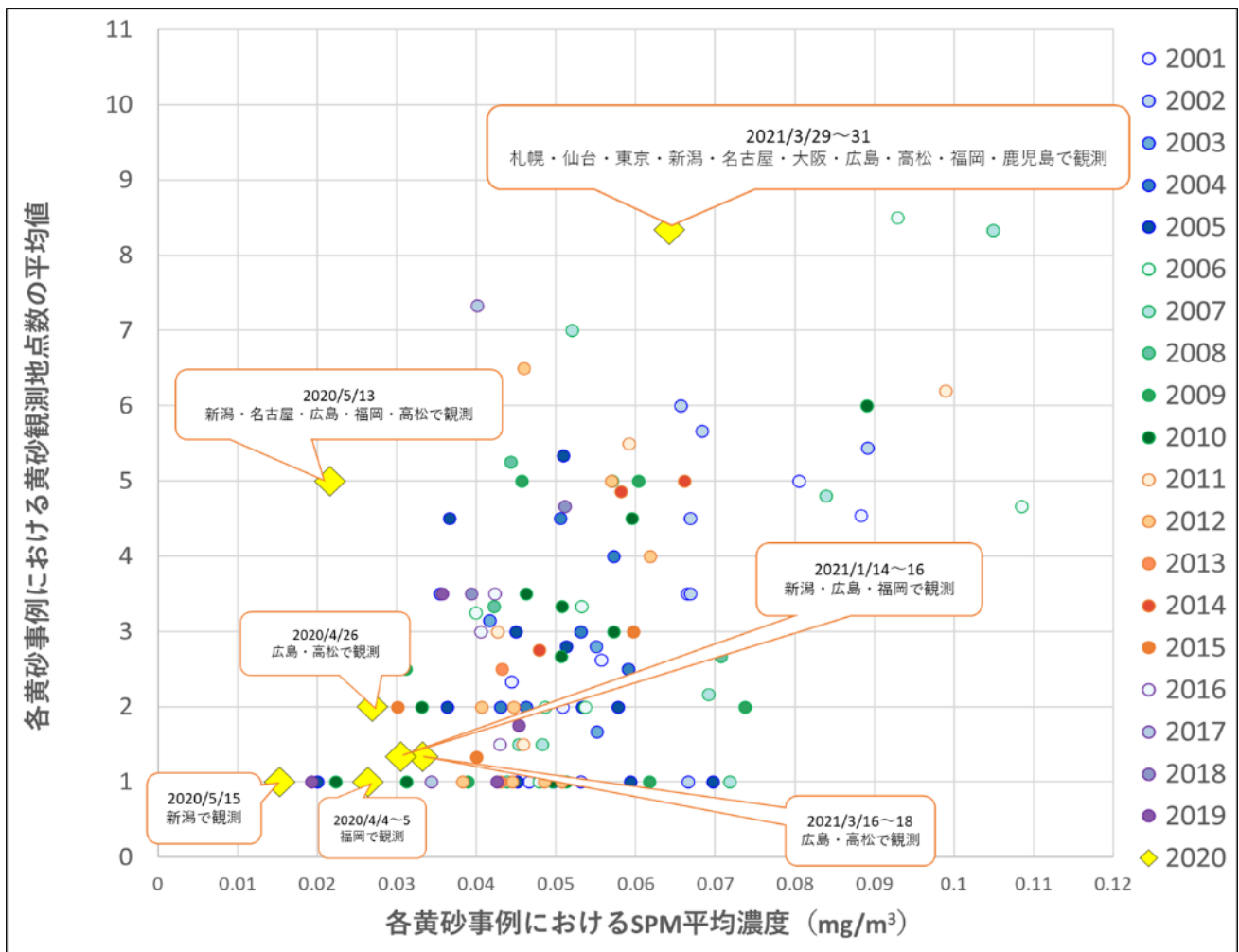


図 2-2-5 2001 年度から 2020 年度に観測された各黄砂事例の黄砂強度

本解析では、各事例における平均観測地点数及び SPM 濃度平均値をプロットしているが、例えば 2010 年 3 月 20 日から 24 日に観測された黄砂は 5 日間のうち 1 日のみ 11 地点で黄砂が観測された瞬間的に強い黄砂が飛来した事例であった（表 2-2-2）。このような事例に対し、本解析のように平均を求めてしまうと瞬間的に強い黄砂の飛来をとらえることができないため、今後は瞬間的に強い黄砂の影響を確認できる方法について検討していく必要がある。

表 2-2-2 2010 年 3 月 20 日から 24 日に観測された黄砂事例

年	月	日	黄砂観測地点数	黄砂観測時間における SPM 濃度の合計値 (mg/m ³)	黄砂観測時間数の合計値
2010	3	20	1	0.771	3
2010	3	21	11	26.884	113
2010	3	22	1	2.511	24
2010	3	23	1	1.695	24
2010	3	24	1	0.377	11

(4) 過去の黄砂事例と2020年度の黄砂事例との月別比較

(3)では、2001年度から2020年度に観測された全黄砂日を対象に1つの散布図を作成したが、月別の黄砂強度を見るため同じデータを用いて月別に散布図を作成し、月別の黄砂強度の傾向を確認した。散布図は横軸には、黄砂事例ごとのSPM平均濃度として、黄砂が観測された時間におけるSPM濃度の合計値を、黄砂観測時間の合計値で割ることで算出したSPM濃度の平均値を、縦軸には事例ごとの黄砂観測地点数(全11地点)の平均値を使用しており、結果を図2-2-6、図2-2-7に示す。また、7月から9月は2001年度以降黄砂が観測されていないため、除外している。

図2-2-6より、黄砂は3月から5月に多く飛来している様子が確認できる。また、2020年度は1月にも黄砂が観測されており、2001年度から2020年度で1月に黄砂が観測されたのは2度目であった。3月29日から3月31日に観測された強い黄砂は、過去に3月に観測された黄砂と比較して最も広い範囲で観測された様子が見て取れる。SPM濃度を見ると、26事例中5番目に高い濃度となり、比較的黄砂が多く観測される3月に観測された黄砂の中でも強い黄砂であった様子が見て取れる。また、2020年4月から5月に観測された黄砂事例については、同月における過去に観測された黄砂と比較してもSPM濃度の低い弱い黄砂であったことが読み取れる。

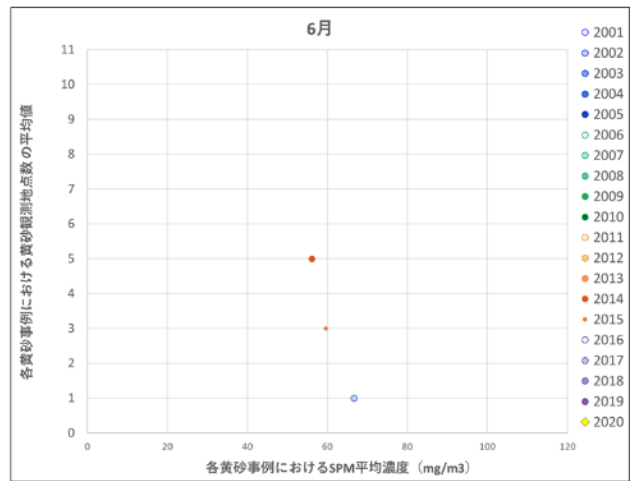
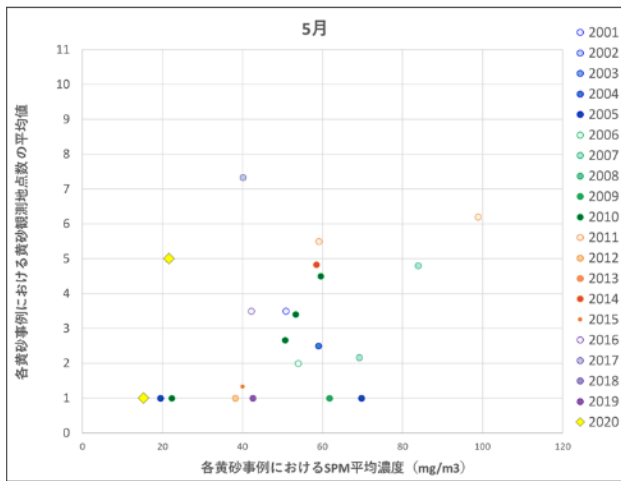
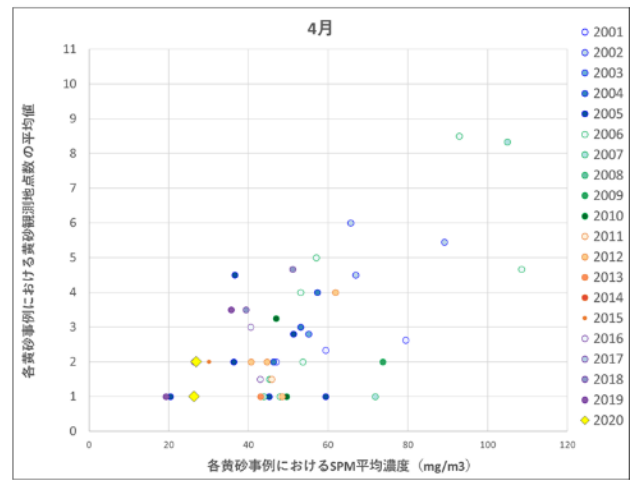
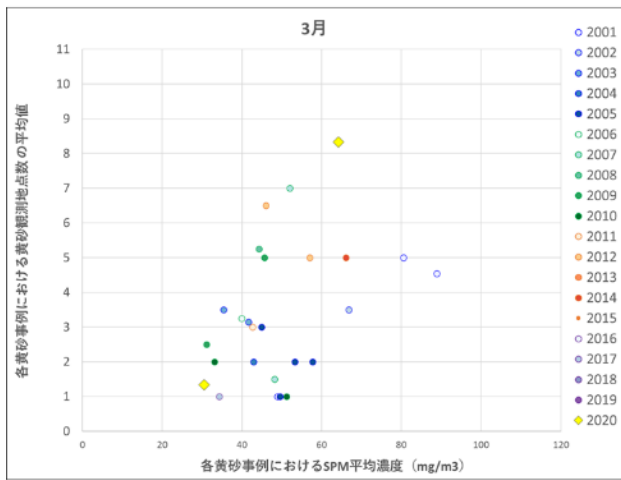
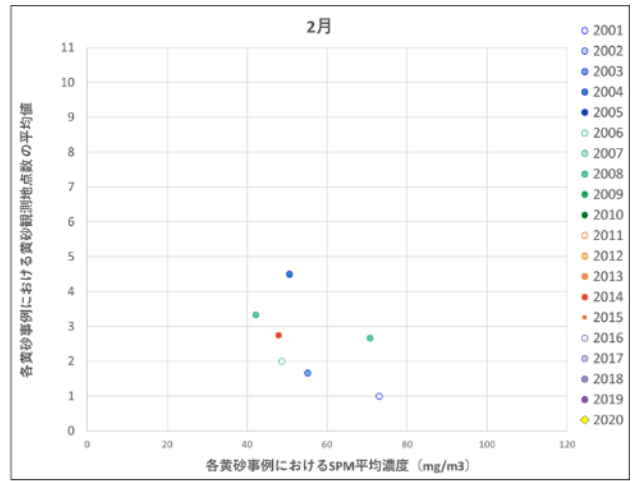
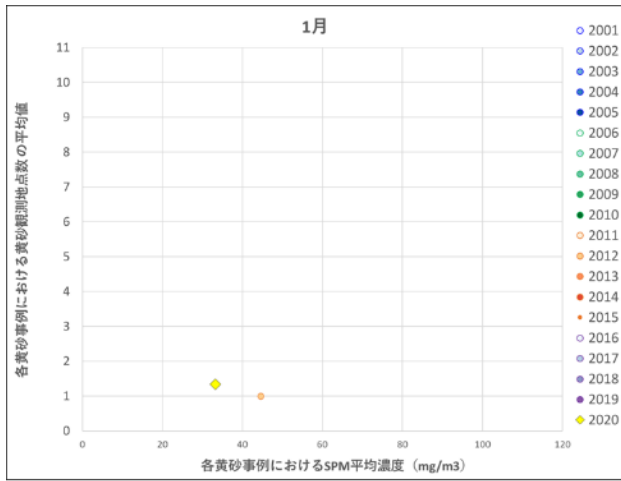


図 2-2-6 2001 年度から 2020 年度に観測された各黄砂事例の月別黄砂強度 (1 月から 6 月)

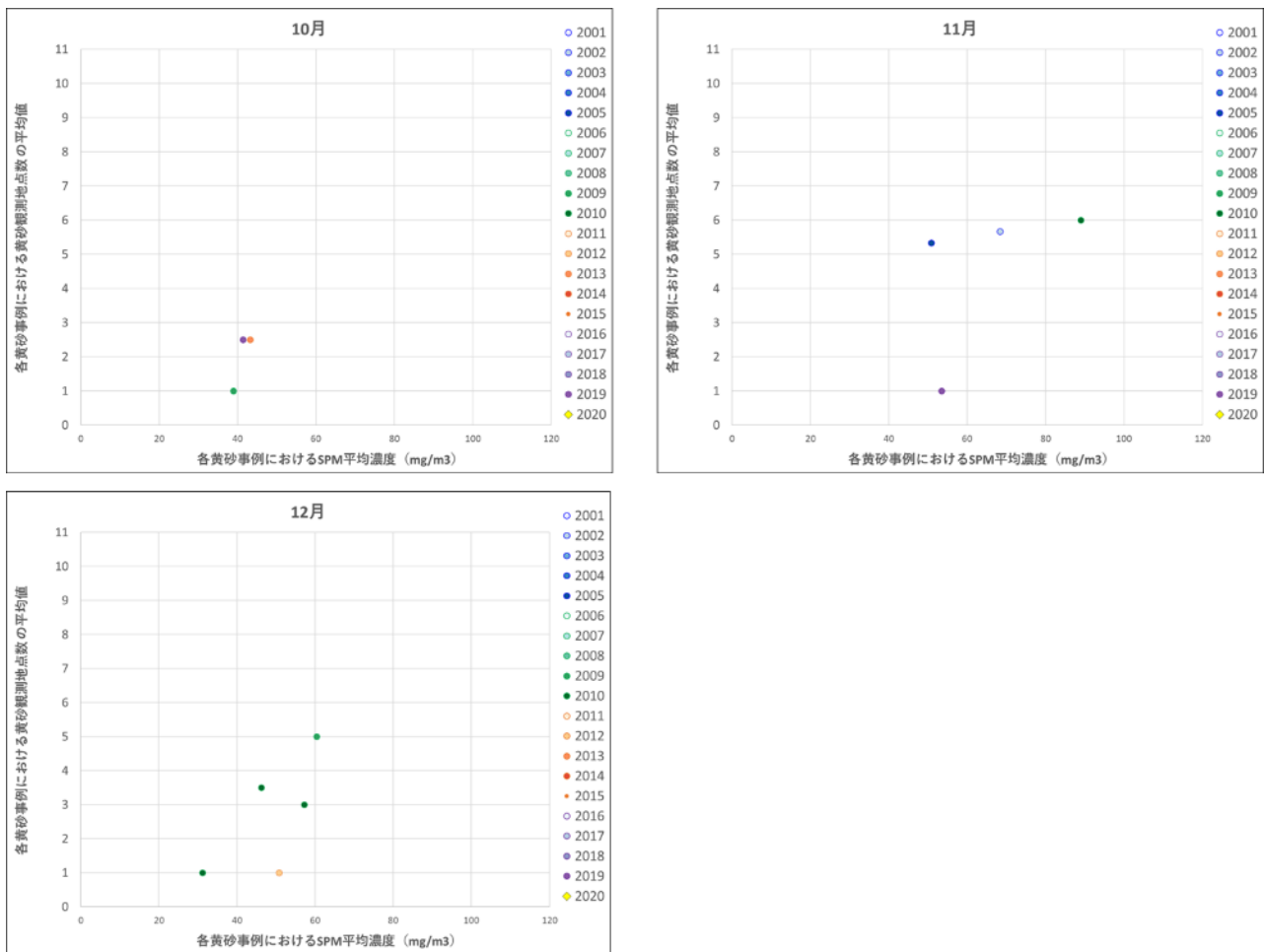


図 2-2-7 2001 年度から 2020 年度に観測された各黄砂事例の月別黄砂強度 (10 月から 12 月)

3 煙霧の観測状況

3.1 煙霧の観測状況

2001 年度から 2020 年度までの 20 年間について煙霧日の年間延べ日数を図 2-1 に示した。2020 年度は年間を通じて延べ日数が 344 日であったが、8 月 3 日から 9 日の西之島の噴火の影響で観測された煙霧日を除くと 168 日であった。図 3-1-1 より、煙霧の観測日数は 2003 年度に大幅に増加し、2008 年度・2015 年度・2019 年度に大幅な減少をしている様子が見て取れる。中国は 2003 年に世界を震撼させた新型肺炎 SARS の発信地として注目を集めた年であった。2008 年度は北京オリンピックが開催され、2015 年度は 2011 年度から始まった第 12 次 5 カ年計画で、NOx が削減目標設定の対象に加わり、中国各地で大気汚染防止計画を策定された年であった。2019 年度は 2020 年 1 月から 3 月に新型コロナウイルスが感染拡大し、経済に大きな影響を与えた。

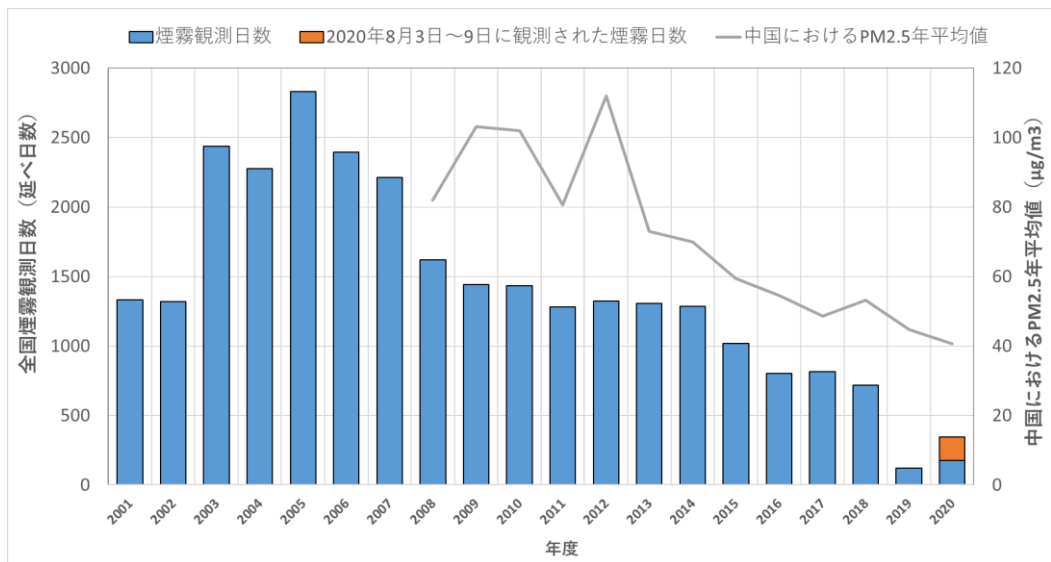


図 3-1-1 煙霧及び中国における PM2.5 年平均値の経年変化

3.2 煙霧の経月変化及び地点別観測日数

図 3-2-1 に、2020 年度の煙霧延べ日数の経月変化を示した。煙霧観測日は 2020 年 8 月に突出して多くなっており、全国的に煙霧が観測された。2020 年度の観測地点毎の煙霧日数は、煙霧の多い地点順で図 3-2-2 に示している。2019 年度は九州地方で多く観測されていたが、2020 年度は中国地方、四国地方で煙霧が多く観測された。

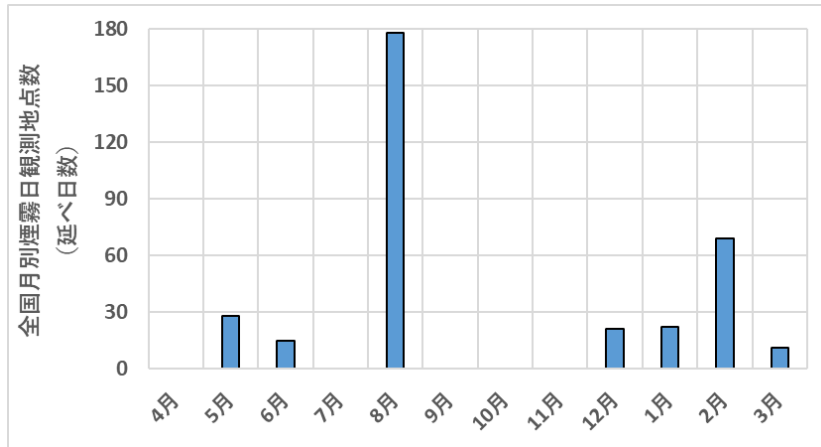


図 3-2-1 2020 年度における煙霧の経月変化

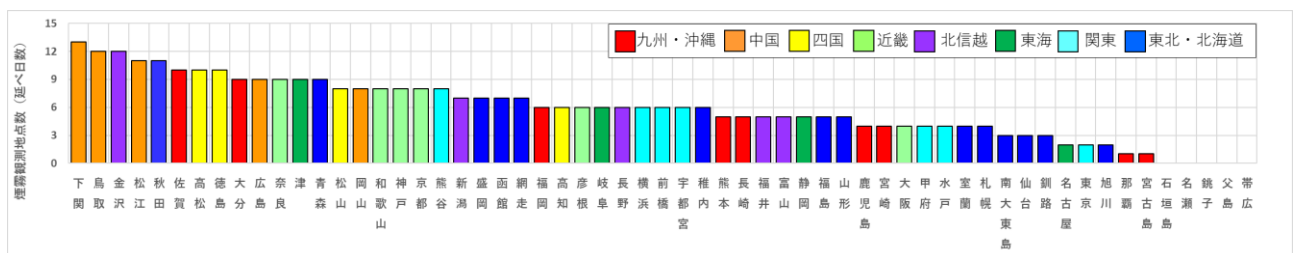


図 3-2-2 2020 年度における煙霧日の地点別日数

4 2020年度における黄砂日の事例解析

4.1 黄砂日の事例解析

黄砂は、気象庁によると「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」と定義されており、気象台では目視によって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に黄砂と判定できる場合は黄砂と記録されている。一般に、日本へ飛来する黄砂は、大陸の黄土地帯で低気圧が発生して巻き上げられた砂塵が、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。

黄砂は、個々の事例によって、発生位置、経路、拡がり、濃さ、成分など様々な形態が考えられる。これらはそれぞれ異なった様相を呈しており、またその特徴にも違いがみられる。年度別に各黄砂事例の解析を行っており、黄砂飛来時には、おおむね次のような特徴がみられる。

- ・後方流跡線がモンゴル付近から連続する大気の流れを示す
- ・日本で黄砂が観測される数日前に、大陸の黄土地帯で砂塵嵐の発生がみられる
- ・気圧配置で、日本南岸に前線が延びている
- ・ライダーの黄砂消散係数とSPM濃度が同時に上昇する
- ・SPM濃度が多地点で同時に上昇する
- ・CFORS（Chemical weather FORecasting System）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
- ・PM2.5/SPMの比が小さくなる（粗大粒子の割合が大きくなる）

これまでの調査に引き続き、2020年度における黄砂日の事例について、多角的に解析を行い、その状況を明らかにする。解析の項目は、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の予測結果、ライダー観測結果、PM2.5日平均全国分布、PM2.5/SPMの比、SO₄²⁻濃度などである。また、これらの項目から黄砂の規模や大気汚染物質の混在状況などを視覚的に把握しやすいようにレーダーチャート（図4-2-2）による評価を実施した。

4.2 解析手法

(1) 黄砂観測地点

黄砂は、2019年2月以降気象庁により計11地点で観測されている（図4-2-1）。本解析で用いる黄砂観測地点は11地点のうち、気象庁HPにて黄砂を観測したと発表している地点を対象としている。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」という。）を算出した。

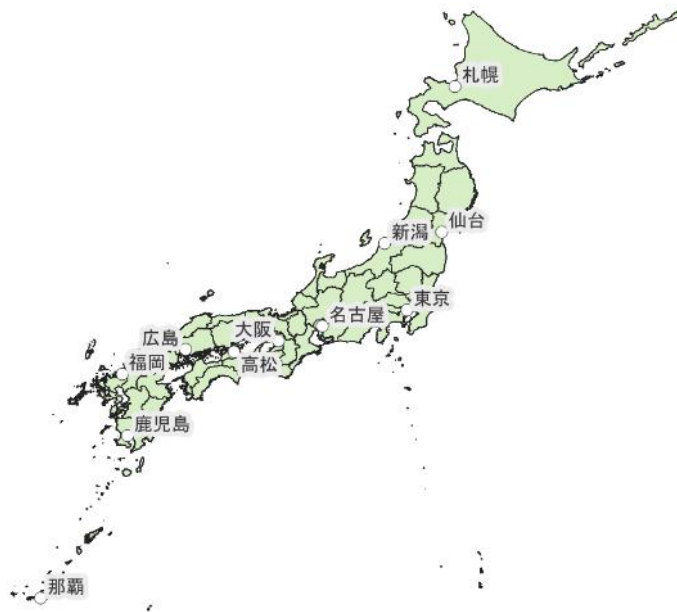


図 4-2-1 黄砂観測 11 地点

(2) 気象概況

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。

(3) SPM 濃度全国分布

SPM 濃度全国分布は、全国で行われている常時監視局の SPM 測定データから黄砂観測日の濃度を地図上に示した。この際、SPM 濃度の時間的・空間的变化を確認するため、3 時間毎の地図を作成した。

(4) アジア域における気象状況

NOAA National Centers for Environmental Information にて公開されている現在天気の詳細データ（WMO のコード）を基に、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表示した。有人観測地点における気象コード 04 を Smoke、05 を Haze、06 を Widespread dust、07,08,09 を Dust、30,31,32 を Slight duststorm、33,34,35 を Severe duststorm、と分類した（表 4-2-1）。

表 4-2-1 WMO 現在天気のコードと本資料における略称

コード	コードの定義	本資料における略称
04	Visibility reduced by smoke, e.g. veldt or forest fires, industrial smoke or volcanic ashes	Smoke
05	Haze	Haze
06	Widespread dust in suspension in the air, not raised by wind at or near the station at the time of observation	Widespread dust

07	Dust or sand raised by wind at or near the station at the time of observation, but no welldeveloped dust whirl(s) or sand whirl(s), and no duststorm or sandstorm seen; or, in the case of ships, blowing spray at the station	Dust
08	Well-developed dust whirl(s) or sand whirl(s) seen at or near the station during the preceding hour or at the time of observation, but no duststorm or sandstorm	
09	Duststorm or sandstorm within sight at the time of observation, or at the station during the preceding hour	
30	Slight or moderate duststorm or sandstorm has decreased during the preceding hour	Slight duststorm
31	Slight or moderate duststorm or sandstorm no appreciable change during the preceding hour	
32	Slight or moderate duststorm or sandstorm has begun or has increased during the preceding hour	
33	Severe duststorm or sandstorm has decreased during the preceding hour	Severe duststorm
34	Severe duststorm or sandstorm no appreciable change during the preceding hour	
35	Severe duststorm or sandstorm has begun or has increased during the preceding hour	

(5) 後方流跡線

後方流跡線は、アメリカ NOAA の HYSPLIT により気象データ GDAS を使い計算した。起点は、黄砂が観測された地点を考慮して決め、後方 72 時間とした。また、各地点、各黄砂観測日の 0:00 から 12:00 までの 1 時間ごと 13 時間分の、起点からさかのぼるデータを作図に利用した。これにより、ある黄砂観測日のある地点からは、13 の後方流跡線が作図される。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 1500m とした。

(6) CFORS (Chemical weather FORecasting System)

CFORS は、九州大学応用力学研究所の鶴野らによって開発された化学物質輸送領域数値モデルである。本解析内の図は、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。

(7) ライダー

ライダー観測結果は、国立環境研究所公開を用い解析を行った。国立環境研究所ではライダー観測結果から非球形粒子（黄砂）と球形粒子（大気汚染性エアロゾル）の消散係数を算出し、そのデータを公

開している。これは、黄砂モニタリングのため、532nmの偏光解消度を利用して、非球形の黄砂と球形の大気汚染性エアロゾルを分離して、それぞれの散乱への寄与を推定したものである。数値データとして示されている消散係数(/km)は、光が物質に衝突し物質への吸収や散乱によって単位長さ当たり消失する割合である。この非球形粒子の消散係数（以下、「黄砂消散係数」という。）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。

(8) PM2.5 日平均濃度

PM2.5 日平均濃度による評価には全国分布図を作成し、微小粒子による汚染の拡がりを見た。PM2.5 濃度は、全国の常時監視局で測定しているものを使用した。また、粗大粒子と微小粒子の比であるPM2.5 日平均値/SPM 日平均値の比を測定局ごとに算出し、日本地図にプロットした。黄砂時には粗大粒子が多く飛来するため、PM2.5 日平均値/SPM 日平均値の値は小さくなる傾向が見られるが、例年黄砂が観測されていない地点でも値が小さくなる点が見て取れることより、PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が0.3以下となる地点を抽出し、それぞれの値を確認した。

(9) 硫酸・硝酸イオン等の大気汚染物質

SO₄²⁻（硫酸イオン）、NO₃⁻（硝酸イオン）は大気汚染物質の飛来を観察するために、それぞれの1時間値を随時使用する。用いるデータは環境省で配備されたACSA-14のデータとした。

(10) PM2.5 自動測定器 ACSA-14 の活用

環境省では、PM2.5 成分自動測定機を全国の複数地点に配置し、2017年4月から継続的な測定を開始している。PM2.5 成分自動測定機のうち、ACSA-14では、全国10地点において、PM2.5中のSO₄²⁻やNO₃⁻などの1時間値を測定している。さらに、本装置ではPM10も測定しており、粗大粒子（PM10-2.5）の成分も同時に出力される。

本調査では、ACSA-14のデータのうち、PM2.5、PM10、SO₄²⁻、NO₃⁻を使用するものとし、微小粒子（PM2.5）と粗大粒子（PM10-2.5）の成分が区別できるよう、表4-2-2に従って表記する。

表 4-2-2 本調査で使用する成分

	硫酸イオン	硝酸イオン
微小粒子側の成分 (PM2.5)	fSO ₄ ²⁻ (図表中では fSO4 と表記)	fNO ₃ ⁻ (図表中では fNO3 と表記)
粗大粒子側の成分 (PM10-2.5)	cSO ₄ ²⁻ (図表中では cSO4 と表記)	cNO ₃ ⁻ (図表中では cNO3 と表記)

(11) 中国における PM2.5 の 1 時間値データ

日本と中国におけるPM2.5の時間変化の比較や、日本への黄砂飛来前の中国でのPM2.5の変化を考察するために、在中国米国大使館が公開している中国におけるPM2.5の1時間値データを用いた。地点は日本の緯度帯をできるだけ包括できるように北京、上海、瀋陽の3地点とした。

(12) レーダーチャートによる評価

図 4-2-2 に示すようなレーダーチャートによる黄砂の評価を行った。すなわち、表 4-2-3 に示すように、数値をもとに分類するもの 6 項目、図から分類するもの 8 項目について、それぞれ満点を 6 として点数化し、黄砂項目と大気汚染項目に分けて合計点数を算出する。さらに合計点数を満点で除し、それぞれの指標とする。この指標が典型的な黄砂の状況との差、および汚染質混在の影響の大きさの程度を測る目安となる。

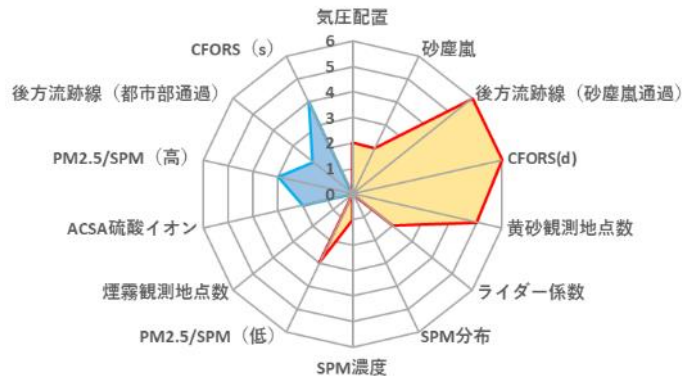


図 4-2-2 黄砂の特徴を示すレーダーチャート (例)

表 4-2-3 各項目の点数化一覧表

項目名	点 数						
	6	5	4	3	2	1	0
黄砂観測地点数	>6	5	4	3	2	1	0
SPM 濃度	>300	200~300	150~200	100~150	50~100	20~50	>20
PM2.5/SPM (低)	<0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	>0.9
煙霧観測地点数	>30	20~30	15~20	10~15	5~10	0~5	0
PM2.5/SPM (高)	>0.9	0.8~0.9	0.7~0.8	0.6~0.7	0.5~0.6	0.4~0.5	<0.4
ACSA 硫酸イオン	>30	25~30	20~25	15~20	10~15	5~10	<5

項目名	点 数			
	6	4	2	0
気圧配置	◎ (日本南岸近くに前線がある)	○ (日本南岸に前線がある)	△ (日本周辺に前線がある)	× (左記以外)
砂塵嵐	◎ (観測前に大陸で severe や slight が集中的に見られる)	○ (観測前に大陸で severe や slight が見られる)	△ (観測前に大陸で slight が見られる)	× (左記以外)
SPM 分布	◎ (全国で分布)	○ (日本海側で分布)	△ (散発的に分布)	× (左記以外)
CFORS(d)	◎ (日本に dust 分布の高濃度帯がある)	○ (日本に dust 分布がある)	△ (日本に dust 分布がわずかにある)	× (左記以外)

ライダー係数	◎ (複数地点で黄砂消散係数が高く、SPM 変動と同期)	○ (黄砂消散係数がやや高く、SPM 変動と同期)	△ (黄砂消散係数がやや高い)	× (左記以外)
後方流跡線 (砂塵嵐通過)	◎ (砂塵嵐発生地域を直線的に通過)	○ (砂塵嵐発生地域の付近を通過)	△ (砂塵嵐発生地域からやや逸れて通過)	× (左記以外)
後方流跡線 (都市部通過)	◎ (中国沿岸部を直線的に通過)	○ (中国沿岸部付近を通過)	△ (中国沿岸部からやや逸れて通過)	× (左記以外)
CFORS(s)	◎ (日本に sulfate 分布の高濃度帯がある)	○ (日本に sulfate 分布がある)	△ (日本に sulfate 分布がわずかにある)	× (左記以外)

4.3 黄砂の観測事例

解析対象は、2020 年度に気象台が観測した黄砂の 7 事例 (計 14 日) である (表 4-3-1)。PM2.5/SPM は、黄砂時に低い値を示す傾向にある。黄砂時の PM2.5/SPM の値をまとめる。また、PM2.5 成分自動測定機では、PM10 を測定しているため、上記に併せて、黄砂時の PM2.5/PM10 をまとめる。

PM2.5/SPM については、2020 年度の黄砂事例における値は 0.60 から 0.85 の範囲であり、3 月 30 日及び 3 月 31 日の値が最も低く、3 月 16 日の値が最も高かった。

これに加えて、ACSA による PM2.5/PM10 の値は、2020 年の黄砂事例で 0.19 から 0.53 であり最大値の 0.53 は比較的高い値だったが、黄砂日の半数以上で 0.3 以下と低い値になった。

表 4-3-1 2020 年度の黄砂日一覧 (SPM および PM2.5 濃度 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

事例	No..	期日			黄砂の規模		PM2.5 平均濃度	PM2.5/SPM 平均濃度	PM2.5/PM10 平均濃度
		年	月	日	地点数	SPM 平均濃度			
1	1	2020	4	4	1	33.93	20.30	0.64	0.19
	2	2020	4	5	1	22.56	13.63	0.67	0.27
2	3	2020	4	26	2	26.91	19.06	0.77	0.47
3	4	2020	5	13	5	21.77	15.09	0.71	0.38
4	5	2020	5	15	1	15.29	12.21	0.69	0.42
5	6	2021	1	14	1	31.03	19.44	0.67	0.28
	7	2021	1	15	1	31.77	19.37	0.67	0.27
	8	2021	1	16	2	30.42	19.68	0.83	0.30
6	9	2021	3	16	1	32.98	31.44	0.85	0.53
	10	2021	3	17	2	29.37	19.36	0.69	0.26
	11	2021	3	18	1	28.83	18.79	0.67	0.27
7	12	2021	3	29	7	58.01	37.49	0.66	0.30
	13	2021	3	30	10	70.63	40.96	0.60	0.27
	14	2021	3	31	8	47.92	27.43	0.60	0.28

※ 「SPM 平均濃度」、「PM2.5 平均濃度」、「PM2.5/SPM 平均濃度」には常時監視データを用い、計算した。また、

「PM2.5/PM10 平均濃度」には ACSA-14 のデータを用い、計算した。

※「PM2.5/SPM」は測定局毎に算出された値を平均したものであり、表中の「SPM 平均濃度」と「PM2.5 平均濃度」から算出したものではない。

※「PM2.5/PM10」について各日以下の平均をとった。

2020 年 4 月 4 日、5 日：福岡での観測のため福岡の値

2020 年 4 月 26 日：広島、高松での観測のため赤穂、福岡の平均

2020 年 5 月 13 日：新潟、名古屋、広島、福岡、高松での観測のため新潟巻、名古屋、赤穂、福岡の平均

2020 年 5 月 15 日：新潟での観測のため新潟巻の値

2021 年 1 月 14 日：広島での観測のため赤穂、福岡の平均

2021 年 1 月 15 日：新潟での観測なので新潟巻の値

2021 年 1 月 16 日：新潟、福岡での観測なので新潟巻、福岡の平均

2021 年 3 月 16 日：大阪での観測のため大阪の値

2021 年 3 月 17 日：大阪、福岡での観測なので大阪、福岡の平均

2021 年 3 月 18 日：福岡での観測なので福岡の値

2021 年 3 月 29 日：札幌、東京、名古屋、那覇以外での観測のため新潟巻、赤穂、大阪、福岡、笠岳の平均

2021 年 3 月 30 日：那覇以外での観測なので札幌、新潟巻、東京、名古屋、赤穂、大阪、福岡、笠岳の平均

2021 年 3 月 31 日：札幌、名古屋、那覇以外での観測なので新潟巻、東京、赤穂、大阪、福岡、笠岳の平均

4.4 黄砂日の解析結果

(1) 黄砂事例 1 2020 年 4 月 4 日～5 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-1-1、図 4-4-1-2 に示すとおりである。4 月 5 日、5 日に福岡における 1 地点となった。

天気図(図 4-4-1-3)をみると、黄砂観測の前日には日本付近は高気圧に覆われていた。その後、前日に大陸にあった低気圧が、日本海で発達し東進しているようすが見られる。黄砂観測日には南に前線が停滞していた。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布をみると、4 月 4 日には全国的に 20~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となる地点が多く、翌 5 日には関東と九州を除き 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下になる地方が多く見られた。関東や九州でも午後には濃度が下がり、10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下になる様子が見られた(図 4-4-1-4 から図 4-4-1-5)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると(図 4-4-1-6)、黄砂観測前の 4 月 1 日、2 日、3 日に中国東部・北東部で Haze や Dust が発生していたのみである。また、黄砂観測当日の 4 月 5 日にはモンゴルで Dust や Slight duststorm が発生している。この時の気流の状況について、後方流跡線で確認したところ、福岡における 3 日前の流跡線は Haze や Dust が発生した地域を通過しており、大陸からの移流があった可能性がある(図 4-4-1-7)。さらに、CFORS においても、Sulfate に関して、大陸からの影響が日本全域に影響を及ぼしている様子が示されていた(図 4-4-1-8)。

福岡におけるライダー黄砂消散係数と近接する常時監視局における SPM の経時変化を比較したところ、4 月 4 日午後の黄砂消散係数の上昇に伴い、SPM 濃度が上昇する様子が見られた(図 4-4-1-9)。また、この 2 日間は、PM2.5 の日平均値は低い値になっており、環境基準値を超える地点は観測されなかった(図 4-4-1-10)。

図 4-4-1-11 及び表 4-4-1-2 には、各測定局における PM2.5/SPM 比とその値が 0.3 以下になった値を示

している。図 4-4-1-11 の全国分布では、黄砂が観測されていない地方にも、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下である地点が散見される。そのため確認として、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM2.5、SPM それぞれの日平均値を表 3-1-2 にまとめた。4 月 4 日は、0 地点、4 月 5 日は計 7 地点で PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となったが、SPM の日平均値及び PM2.5 日平均値はどちらも低い値となっている。そのため、それぞれ濃度が低い値同士で比を算出したため、PM2.5/SPM 比が 0.3 以下となったと考えられる。

人為起源系汚染物質については、黄砂観測日である 4 月 4 日の正午前から 5 日の明け方にかけて高い値の傾向となっていることがわかる。特に微小粒子、粗大粒子ともに NO₃ で 6µg/m³ を超えるピークをとっていることがわかる。また両者ともその上昇後には濃度は下降に転じている。また、PM10 に関しても同様の傾向が見られ、PM10 の急激な上昇とともに PM2.5/PM10 は急激に減少している（図 4-4-1-12）。

なお、瀋陽では、黄砂観測前の 4 月 3 日に、PM2.5 濃度の 1 時間値が一時 100µg/m³ 以上の値を示している（図 4-4-1-13）。

また、本事例における湿度の時系列（図 4-4-1-14）には PM10 が急激に上昇し 4 日 23 時ころにピークを迎え、その後下降している。この時間帯は黄砂観測時間と一致している。また、そのピーク時には湿度が下がっている様子が見られる。

以上の通り、本事例は、中国西部における dust が 4 月 4 日深夜から 5 日明け方にかけて、若干の人為起源系汚染物質を含み飛来した弱い黄砂の事例と思われる。

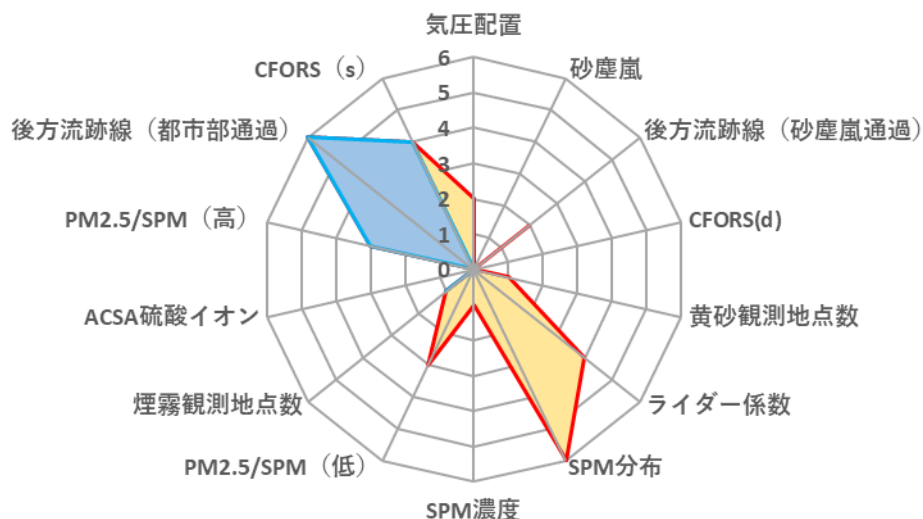


図 4-4-1-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-1-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名										
2020/4/4	1	福岡										
2020/4/5	1	福岡										

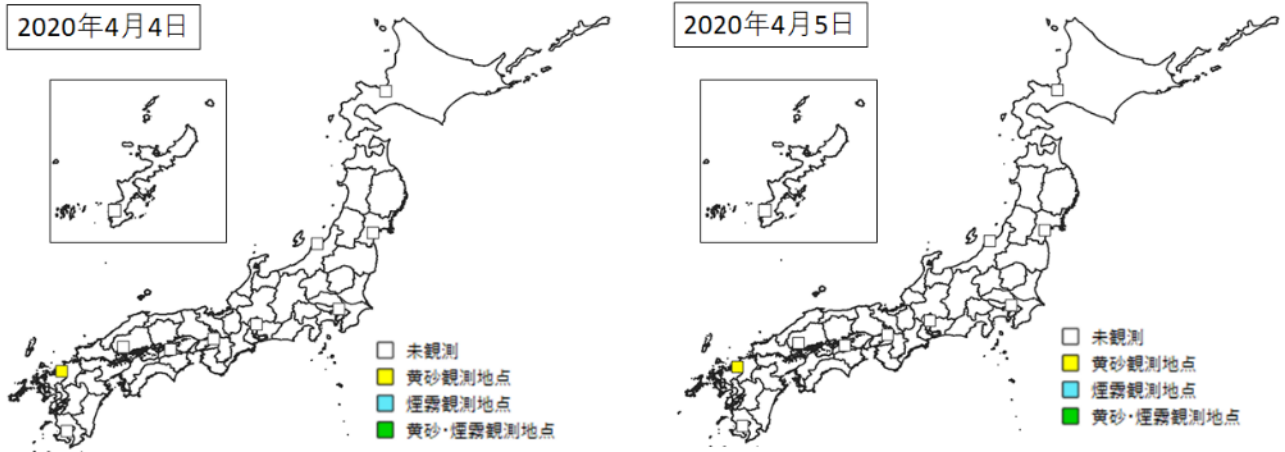
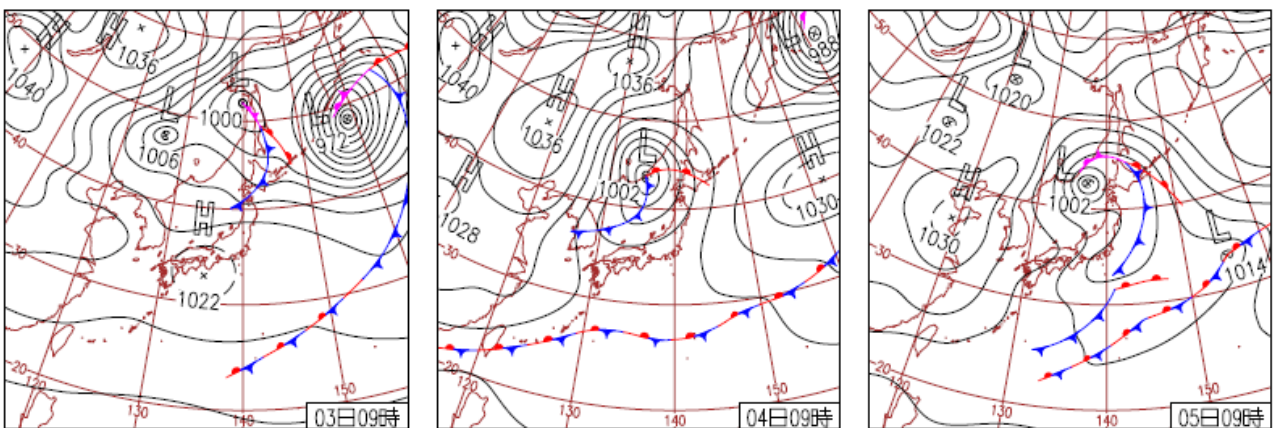


図 4-4-1-2 黄砂観測地点



3日(金)各地でサクラ満開

前線や気圧の谷の影響で沖縄～九州は所々で雨。その他は晴れや曇りで空気が乾燥。北日本中心に最高気温が5月並の所も。山形市でサクラ開花、大阪市や仙台市など10市で満開。

4日(土)北日本中心の高温続く

沖縄・奄美は前線が停滞し雨。その他は午前中は概ね晴れ。日本海の低気圧からのびる前線が接近・通過し、東日本日本海側や北日本は次第に雨。最高気温は北日本の所々で6月並。

5日(日)福岡で黄砂

北海道の西に低気圧。北日本の上空約5500mに-30℃以下の寒気が入り、大気の状態が不安定。東～北日本で雨。沖縄～西日本は概ね晴れ。最高気温は全国的に平年以下に。

図 4-4-1-3 天気図

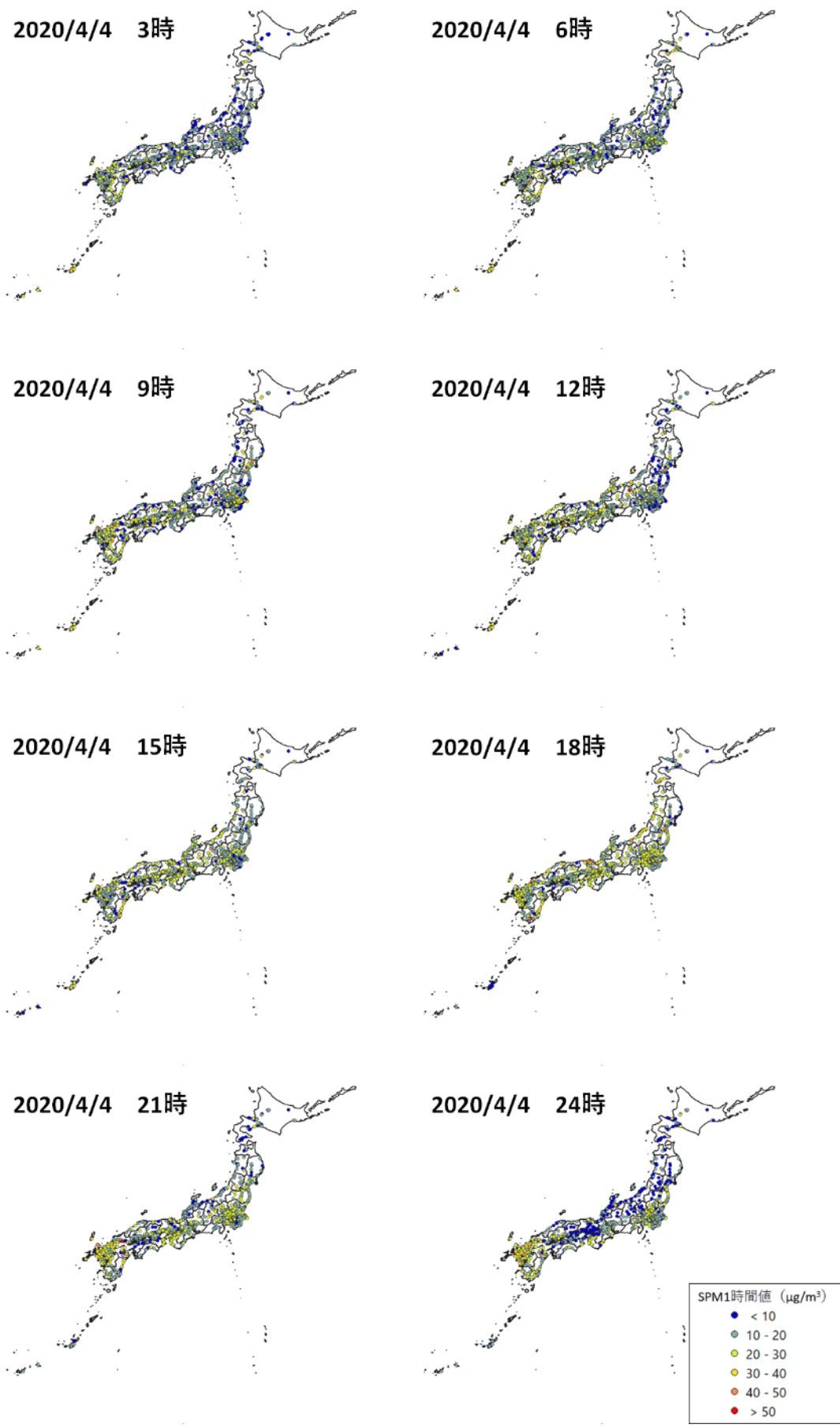


図 4-4-1-4 SPM1 時間値濃度全国分布(1) (2020 年 4 月 4 日)

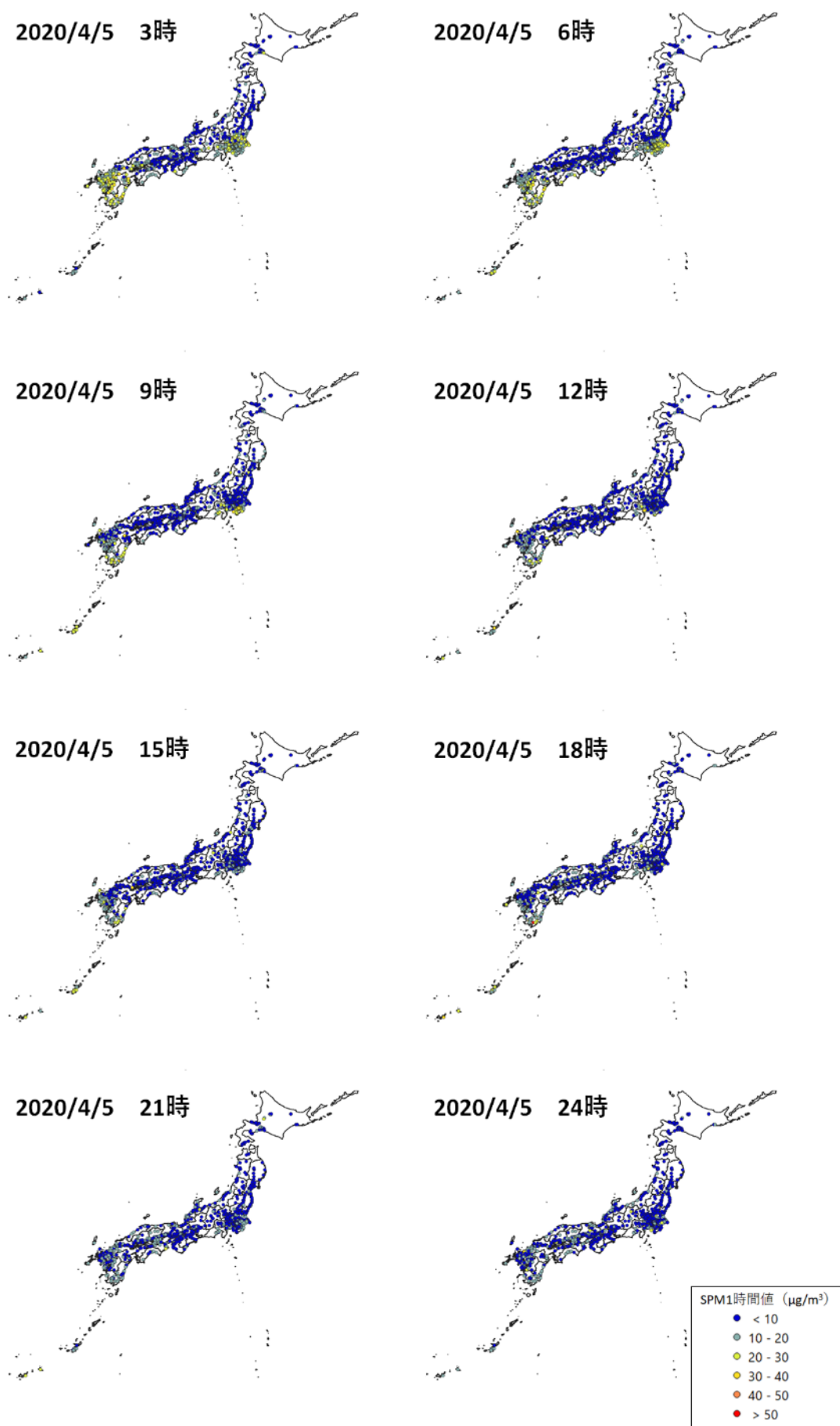


図 4-4-1-5 SPM1 時間値濃度全国分布(2) (2020 年 4 月 5 日)

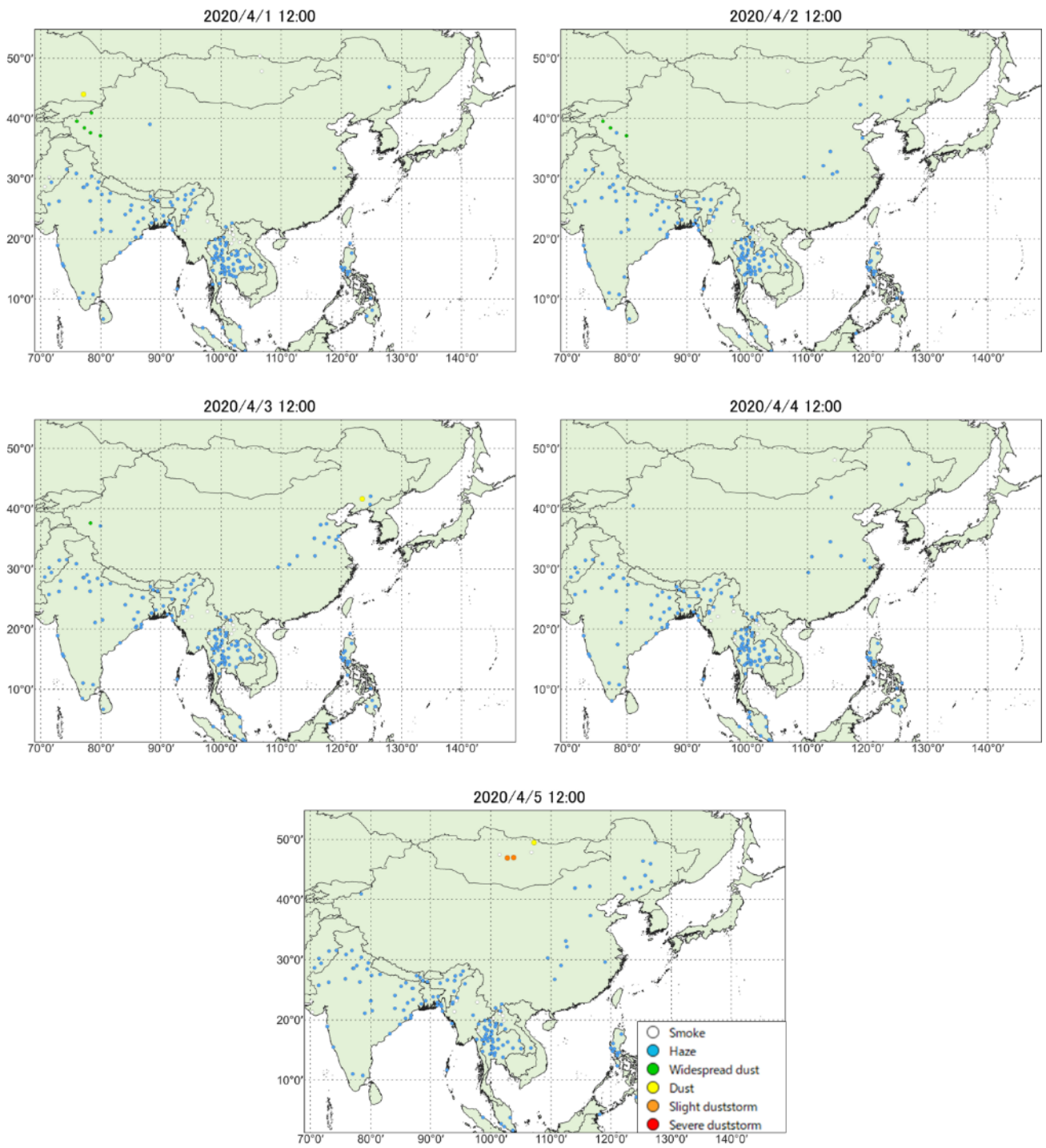


图 4-4-1-6 砂塵嵐発生状況

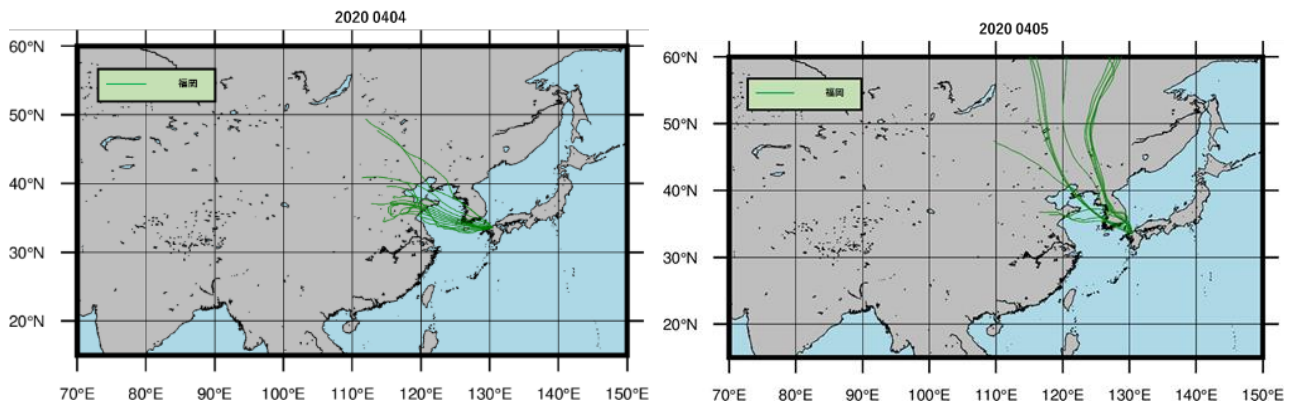


図 4-4-1-7 後方流跡線 (72 時間前より)

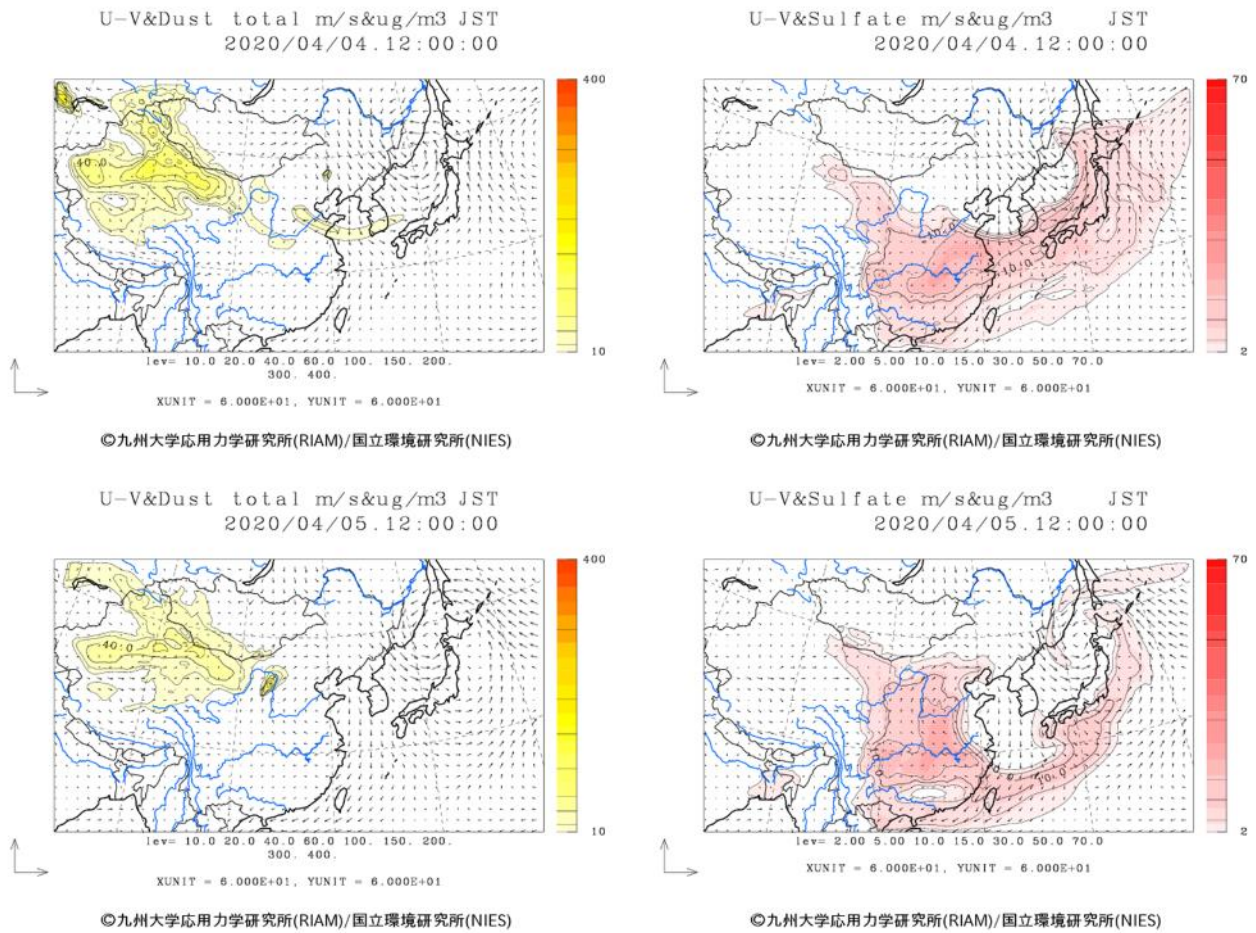


図 4-4-1-8 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果

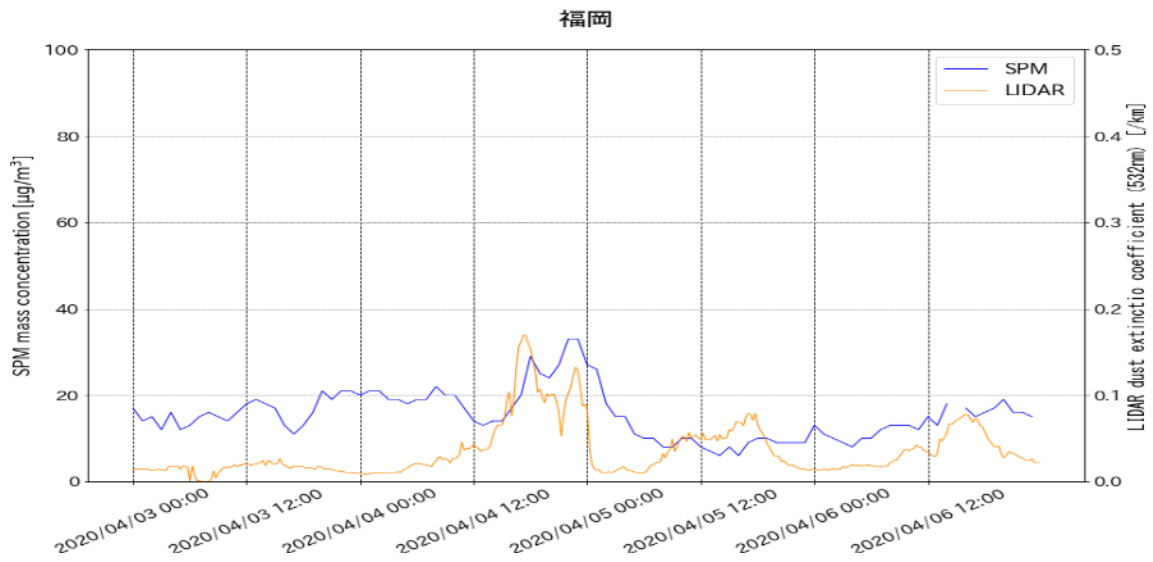


図 4-4-1-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (福岡)

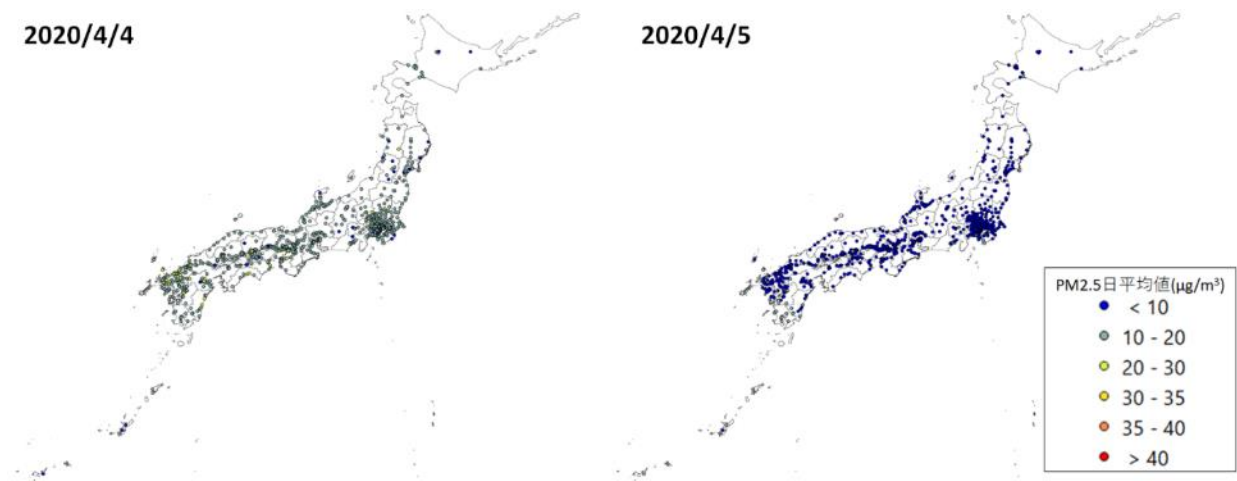


図 4-4-1-10 PM2.5 日平均値全国分布

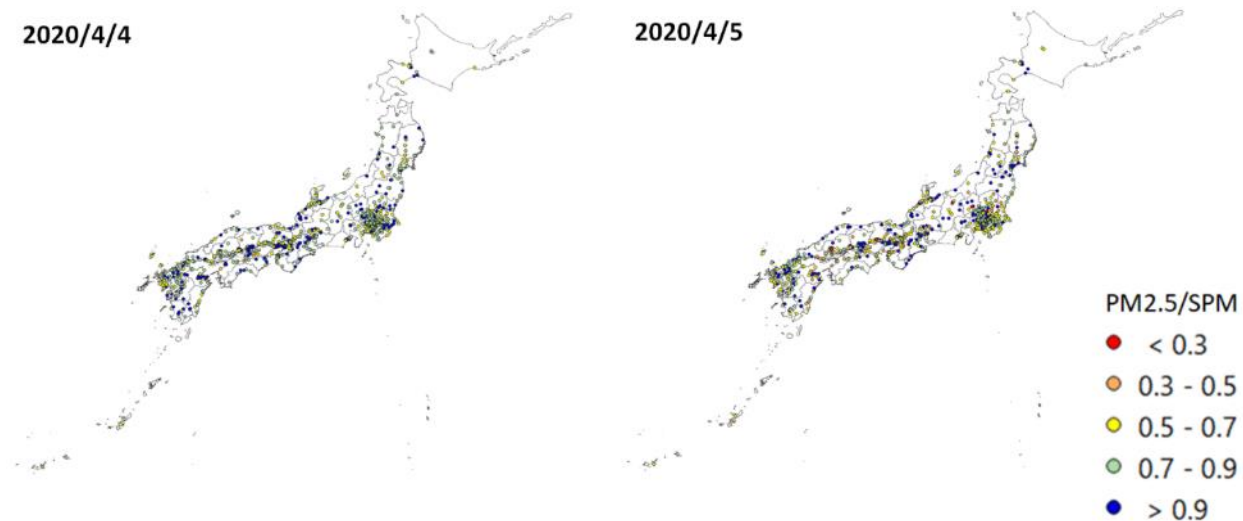


図 4-4-1-11 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

表 4-4-1-2 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が 0.3 以下となった観測地点

黄砂観測日	観測局コード	都道府県	PM2.5 日平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SPM 日平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5/SPM
2020/4/5	8541010	茨城県	4.65	18.29	0.25
	10201510	群馬県	1.24	4.82	0.26
	14209530	神奈川県	5.24	17.53	0.30
	14211510	神奈川県	5.82	19.53	0.30
	20216510	長野県	4.29	20.35	0.21
	28464010	兵庫県	2.29	9.12	0.25
	34201520	広島県	5.29	18.00	0.29

※PM2.5 環境基準：1年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること

SPM 環境基準：1時間値の1日平均値が $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であること

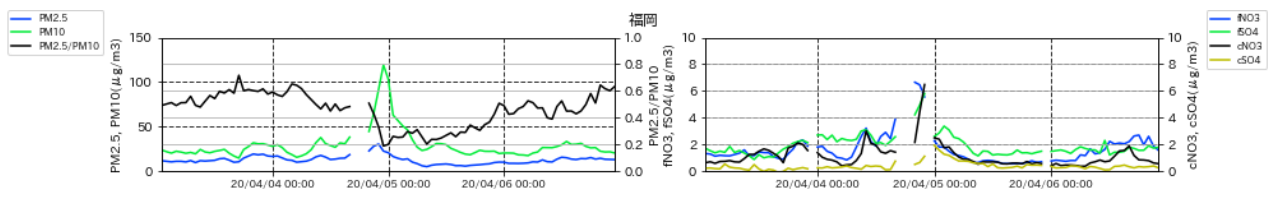


図 4-4-1-12 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

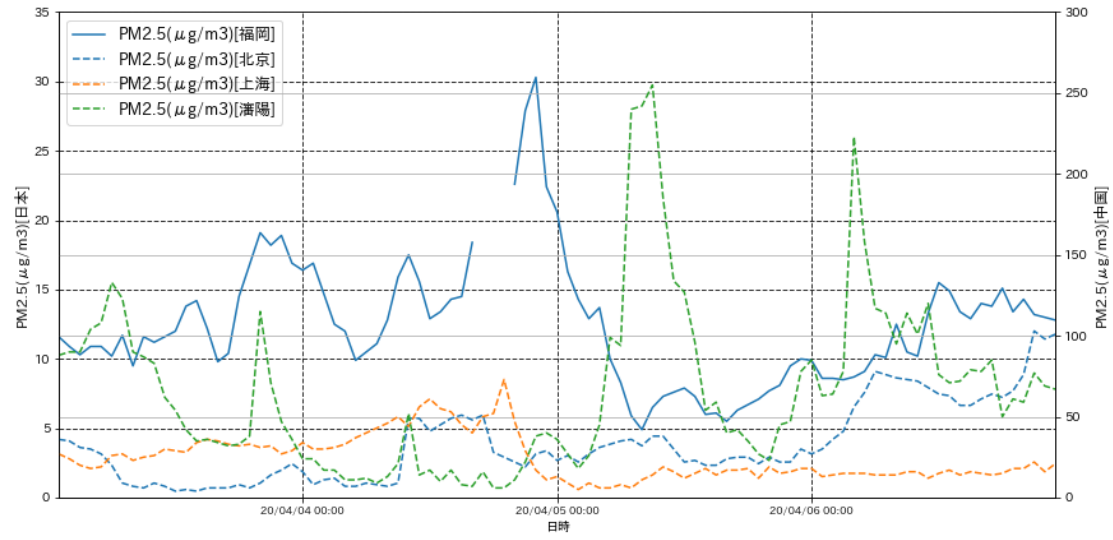


図 4-4-1-13 日本・中国での PM2.5 濃度

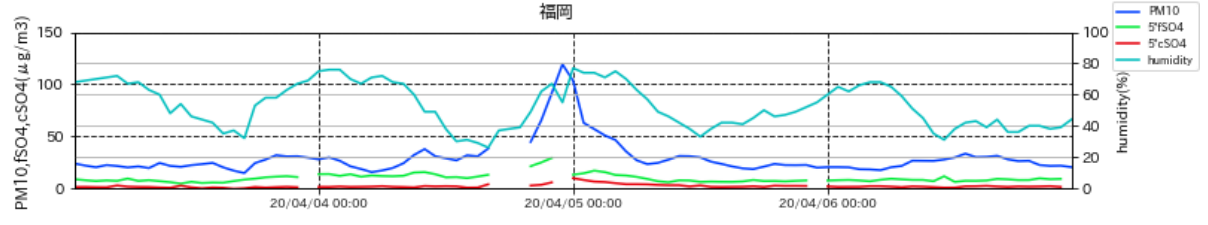


図 4-4-1-14 PM10、 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} 、湿度の経時変化。 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} は値を 5 倍にしてある。

(2) 黄砂事例 2 2020 年 4 月 26 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-2-1、図 4-4-2-2 に示すとおりである。4 月 26 日に広島、高松における 2 地点となった。

天気図(図 4-4-2-3) をみると、黄砂観測の前日には大陸から日本海に低気圧が移動しつつ、その後、黄砂観測日の 4 月 26 日には北日本を東進している様子が見える。黄砂観測日には南には前線が停滞していた。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布をみると、3 時に九州地方で観測された $30\sim 40\mu g/m^3$ の SPM が東に流れていく様子が見られた。SPM は関東地方まで広がりを見せたものの、夜になると濃度が減少していく様子を確認できた(図 4-4-2-4)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると(図 4-4-2-5)、黄砂観測前の 4 月 23 日から 25 日に中国東部や、モンゴル東部で Dust が発生していた。この時の気流の状況について、後方流跡線で確認し

たところ、大阪、松江、福岡における3日前の流跡線は Dust が発生していた地域を通るものがあり、大陸からの移流があったことが示唆される(図 4-4-2- 6)。さらに、CFORS においても、Dust および Sulfate による大陸からの影響が日本全域に及んでいる様子が現れている (図 4-4-2- 7)。

またライダー黄砂消散係数について、黄砂が観測された広島・高松に近い地点として、大阪・松江のデータを参照し、近接する常時監視局における SPM 濃度の 1 時間値と比較した (図 4-4-2- 8)。黄砂観測日である 4 月 26 日にかけて、松江において黄砂消散係数と SPM 濃度がともに上昇する様子が見られる。大阪では、黄砂消散係数はやや増加する傾向が見られるが、変化はあまり明確ではなく、SPM 濃度は増減を繰り返しながら、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の値となっている。PM2.5 の日平均値は西日本の広い範囲で $20\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっており、環境基準値を超えるほどではないが、濃度上昇が見られた (図 4-4-2- 9)。

図 4-4-2- 10 には、各測定局における PM2.5/SPM 比を示している。図 4-4-2- 10 の全国分布では、黄砂が観測されている地点でも PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下になっておらず、値が大きい傾向が見られた。

赤穂における人為起源系汚染物質の fSO_4^{2-} と cNO_3^- については、黄砂観測日である 4 月 26 日の正午前から上昇し、夕方頃にそれぞれ、 $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ に近いピークとなっていることがわかる。福岡においても同様な傾向が見られ、濃度のピークはそれぞれ、 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ほどとなっている (図 4-4-2- 11)。また両地点で両者ともその後、濃度は下降に転じている。

なお、北京、瀋陽では、黄砂観測日 4 月 26 日の午前に、PM2.5 濃度の 1 時間値が一時 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の値を示している (図 4-4-2- 12)。

また、本事例における湿度の時系列 (図 4-4-2- 13) には PM10 が急激に上昇し 26 日 12 時ころにピークを迎え、その後下降している。この時間帯は広島の黄砂観測時間と一致している。また、そのピーク時直後には湿度が下がっている様子が見られる。

以上の通り、本事例は、東アジア域における Dust により 4 月 26 日昼頃から、若干の人為起源系汚染物質を含んだ黄砂が飛来した弱い黄砂事例と思われる。

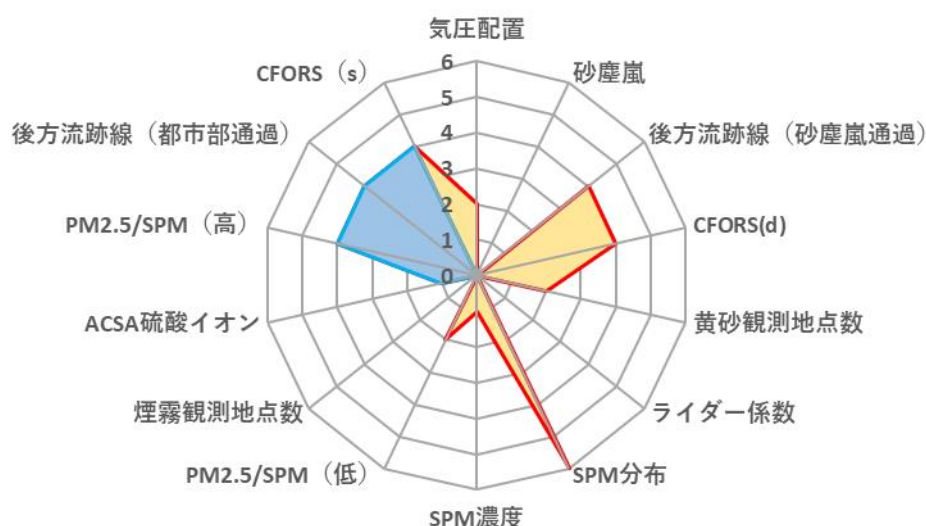


図 4-4-2- 1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-2-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名									
2020/4/26	2	広島	高松								

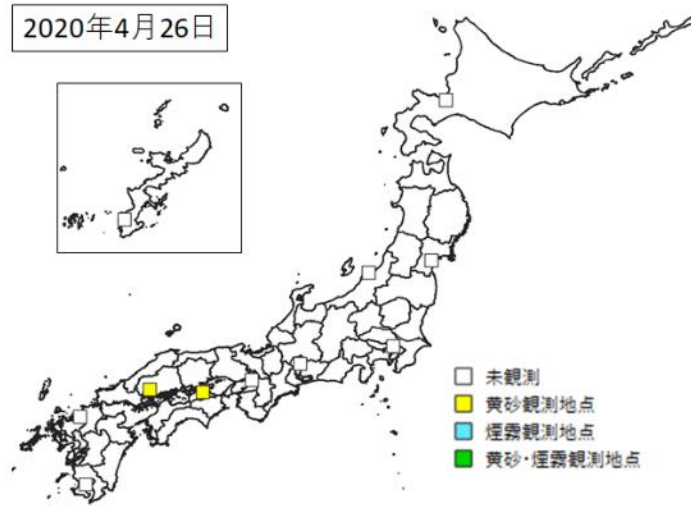


図 4-4-2-2 黄砂観測地点

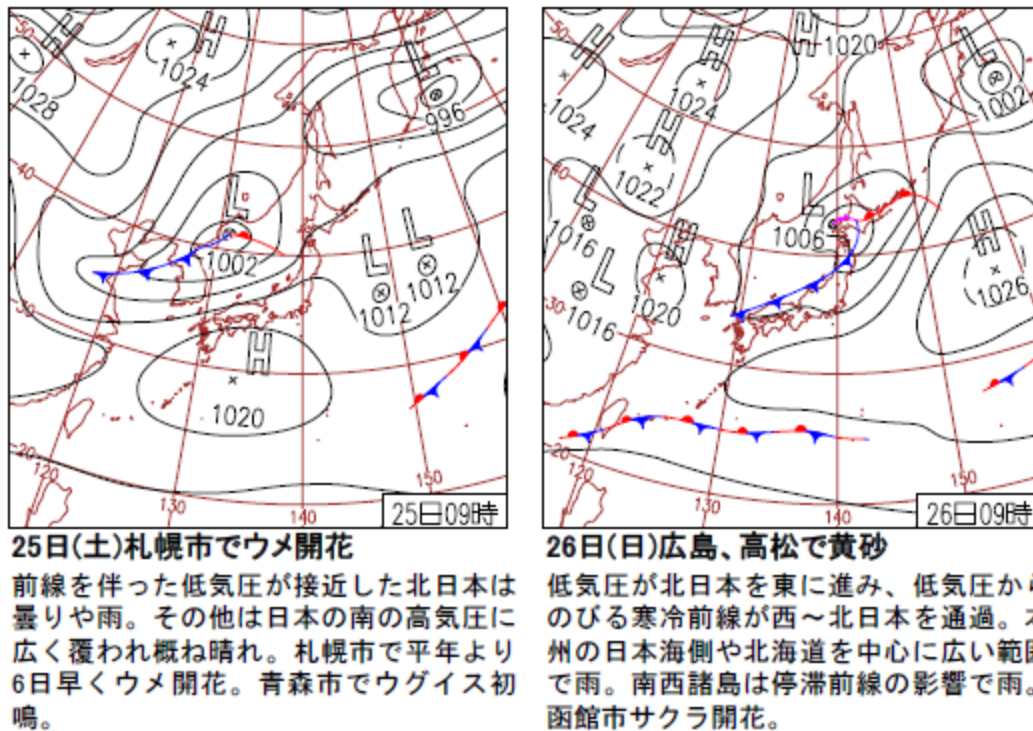


図 4-4-2-3 天気図

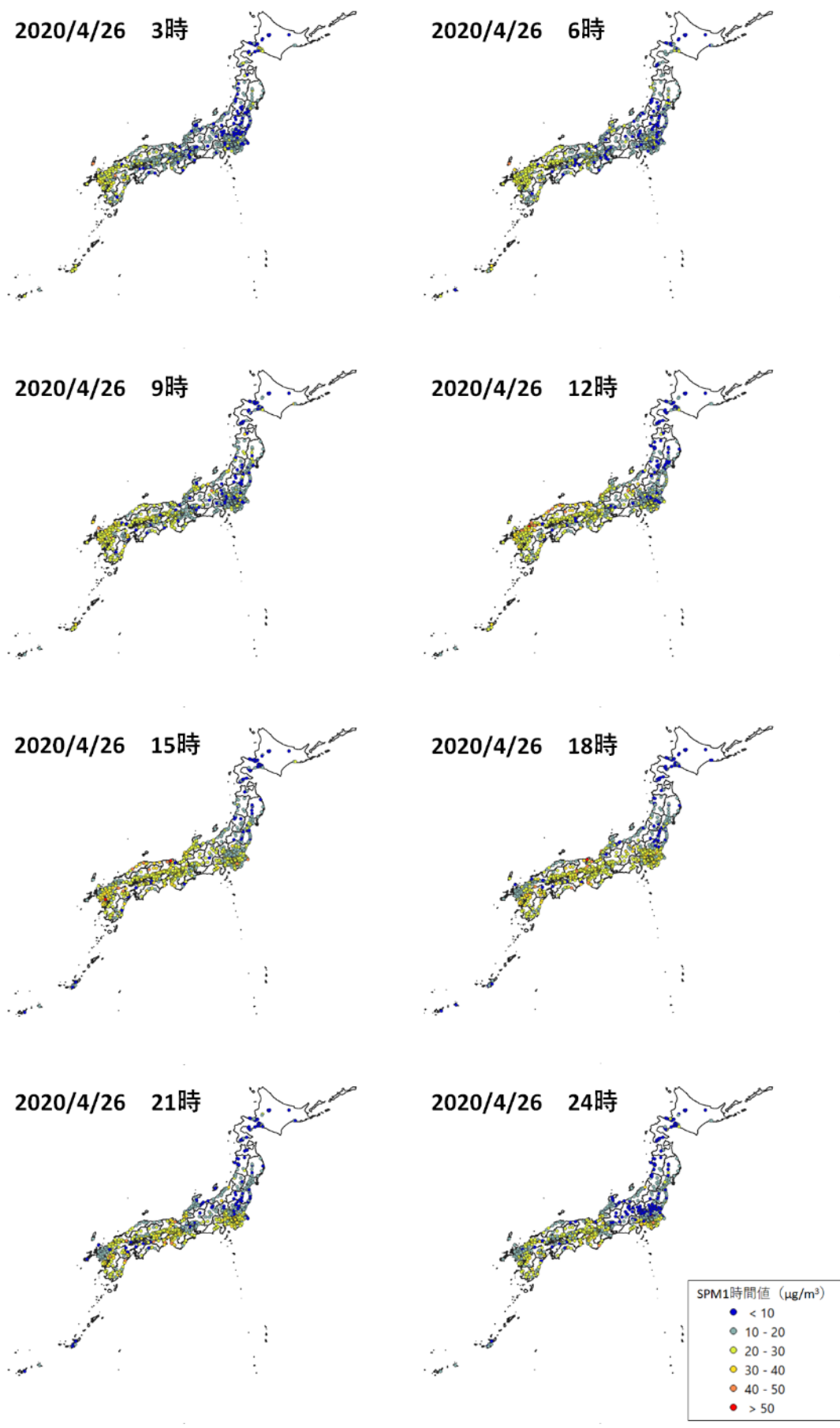


図 4-4-2-4 SPM1 時間値濃度全国分布 (2020 年 4 月 26 日)

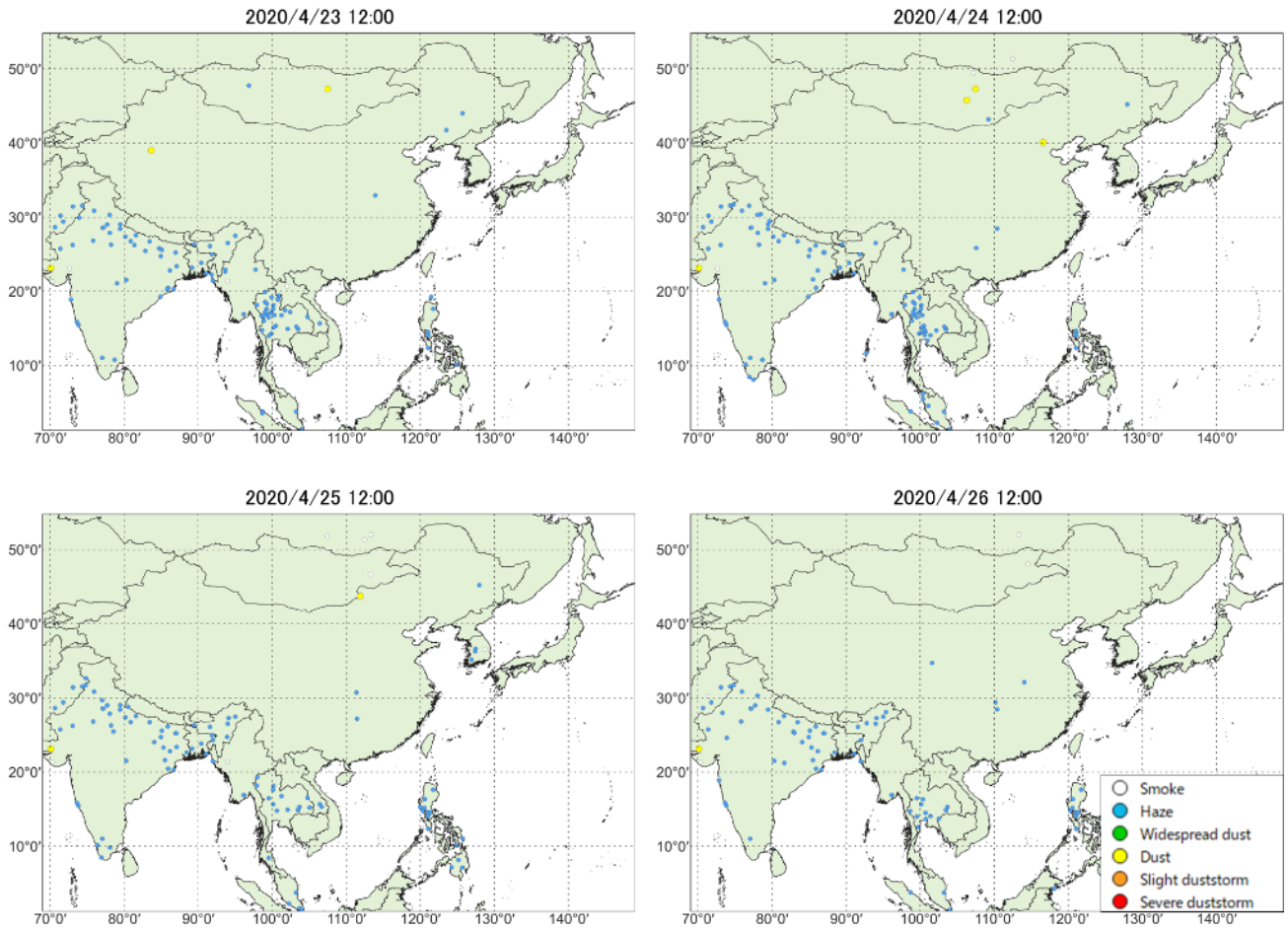


図 4-4-2-5 砂塵嵐発生状況

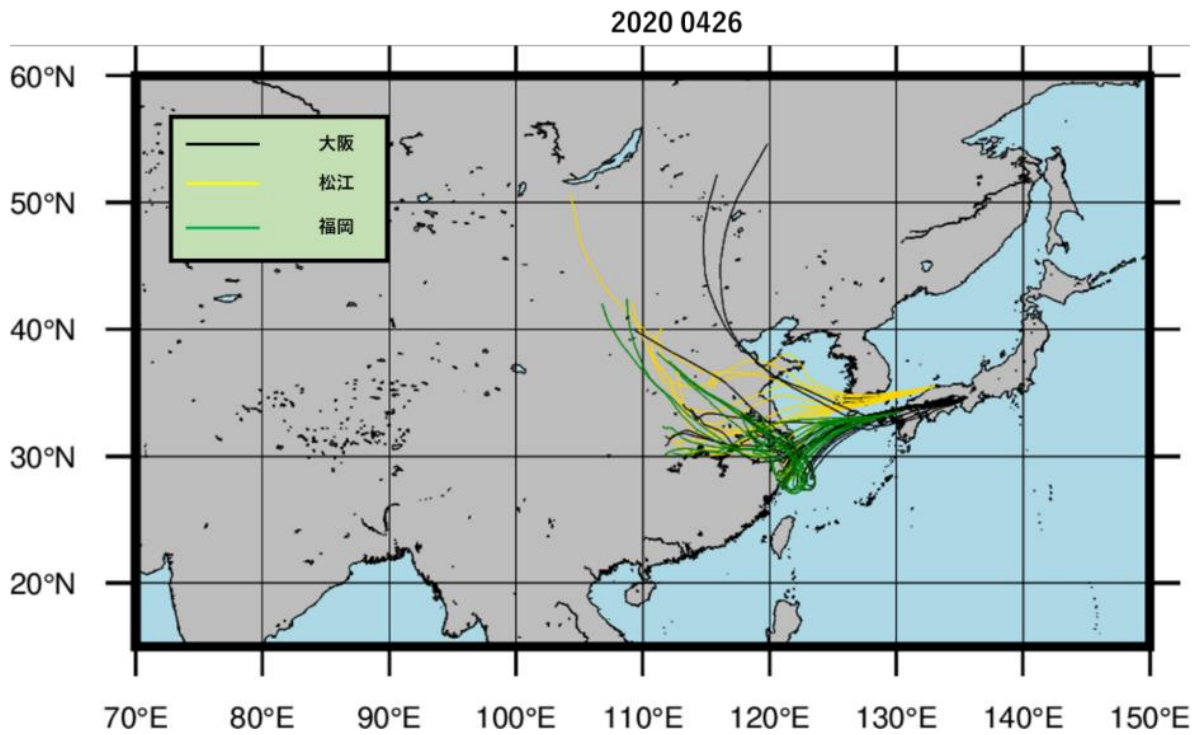


図 4-4-2-6 後方流跡線 (72 時間前より)

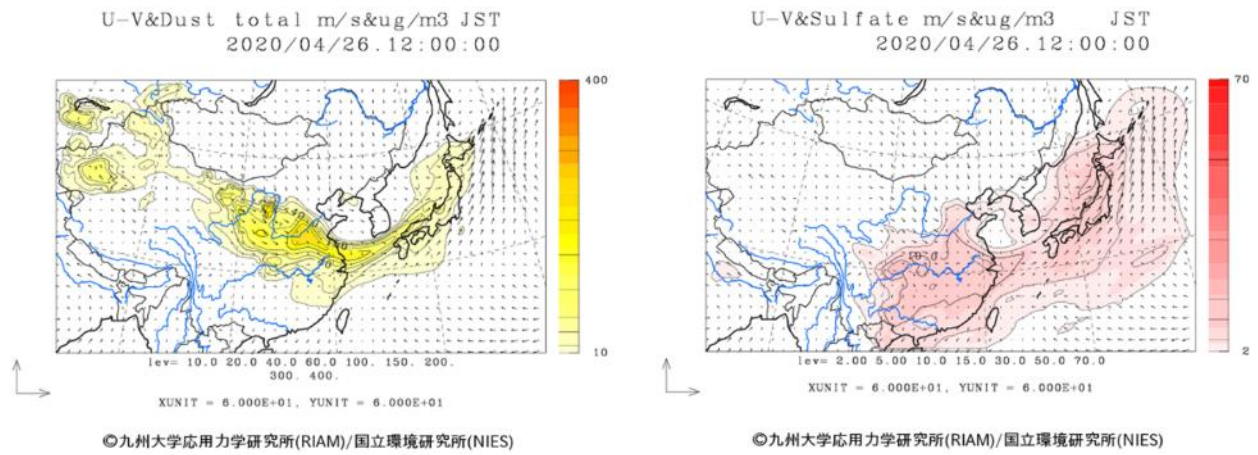


図 4-4-2-7 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果

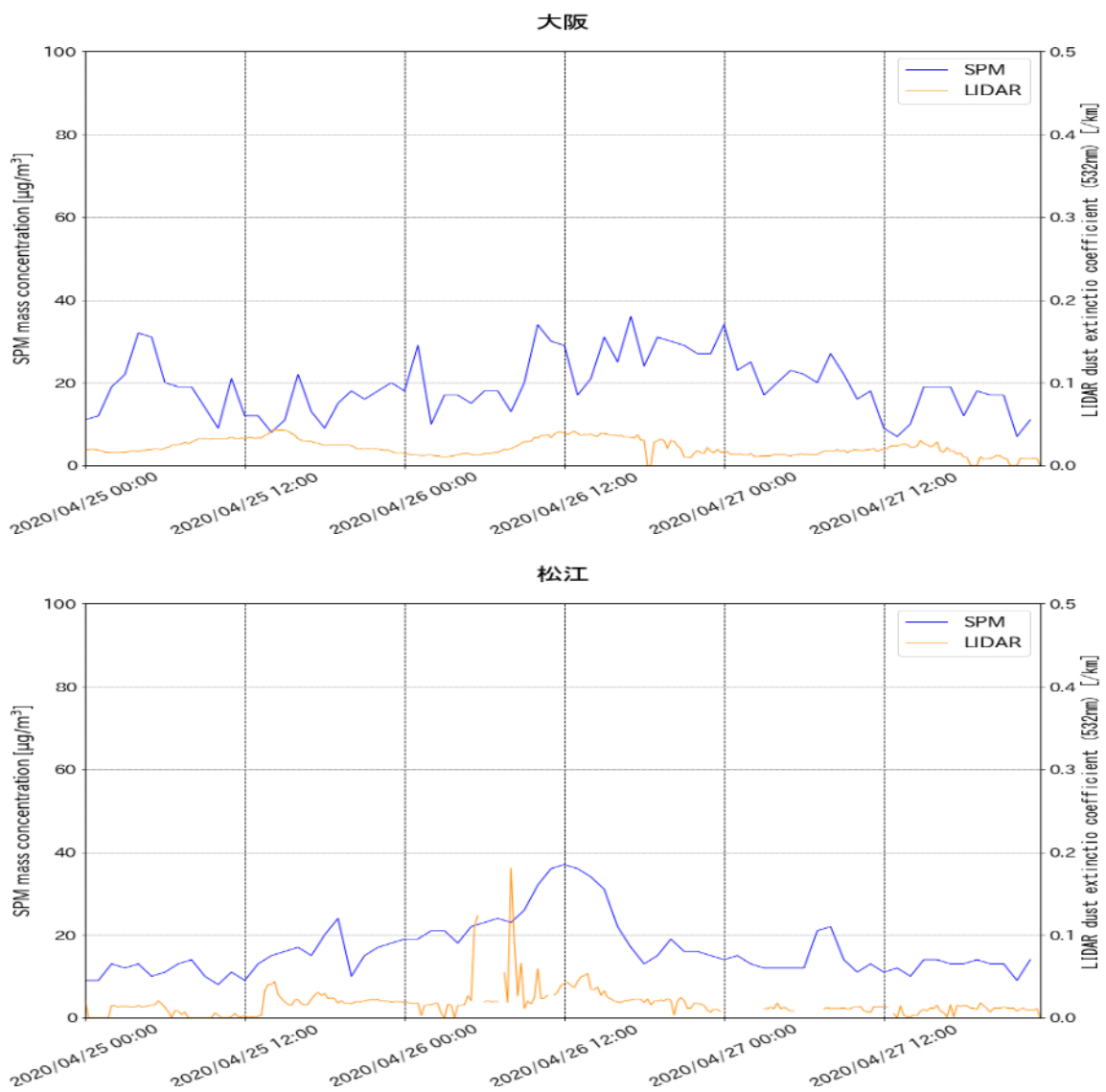


図 4-4-2-8 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪・松江)

2020/4/26

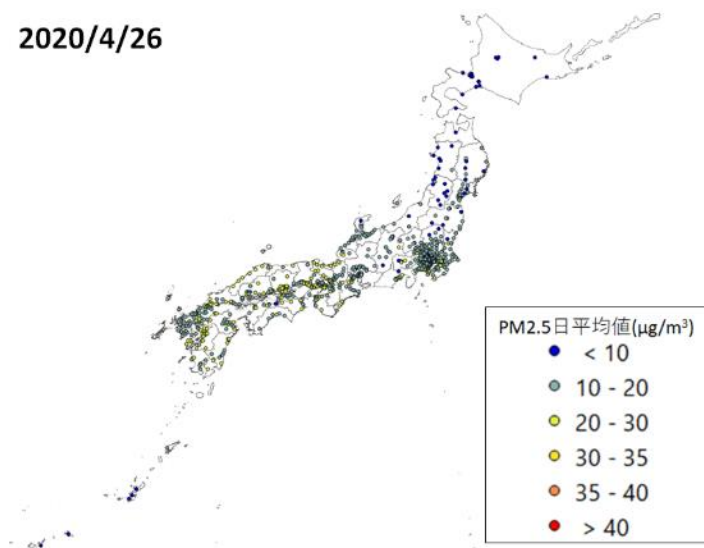


図 4-4-2-9 PM2.5 日平均值全国分布

2020/4/26

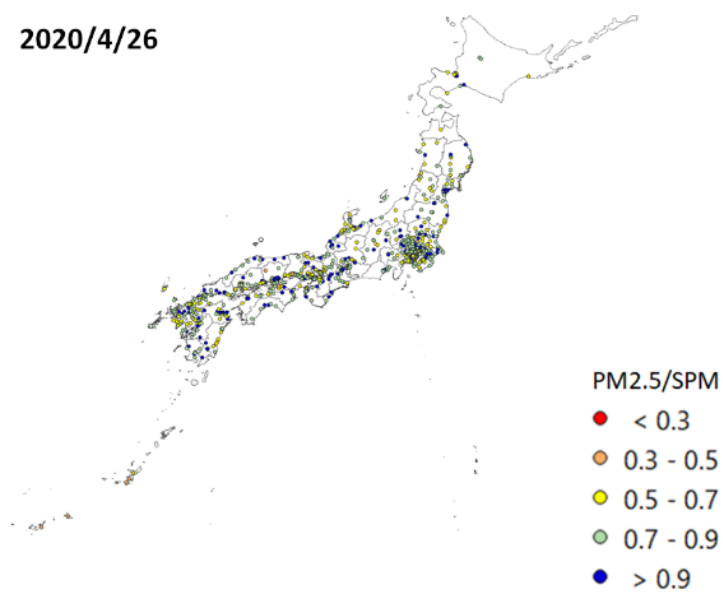
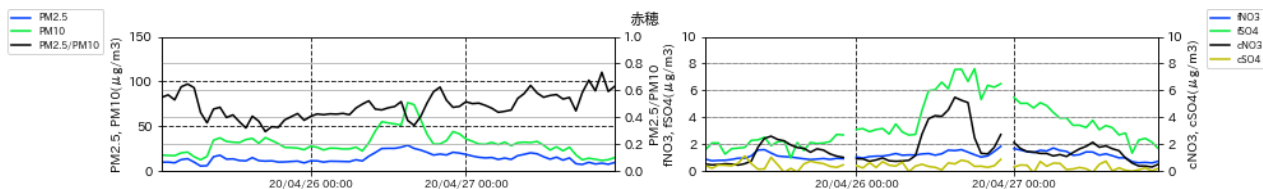


図 4-4-2-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布



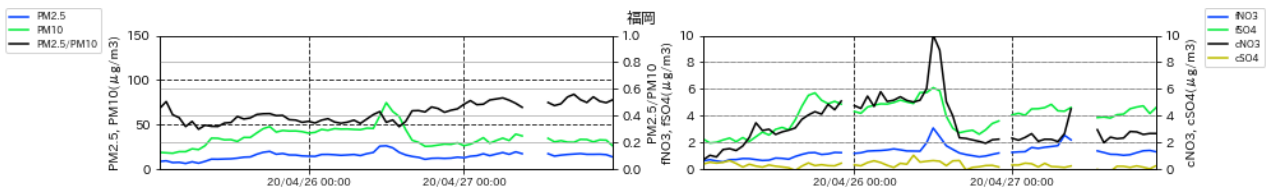


図 4-4-2-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

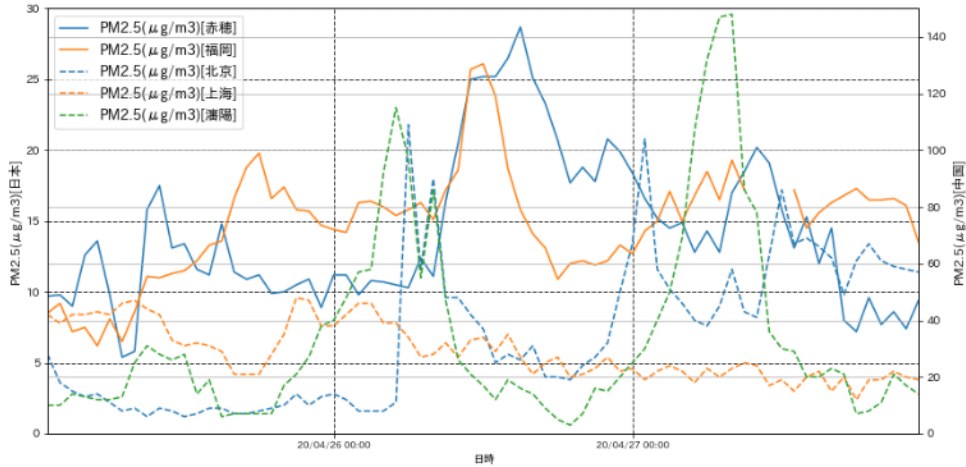


図 4-4-2-12 日本・中国での PM2.5 濃度

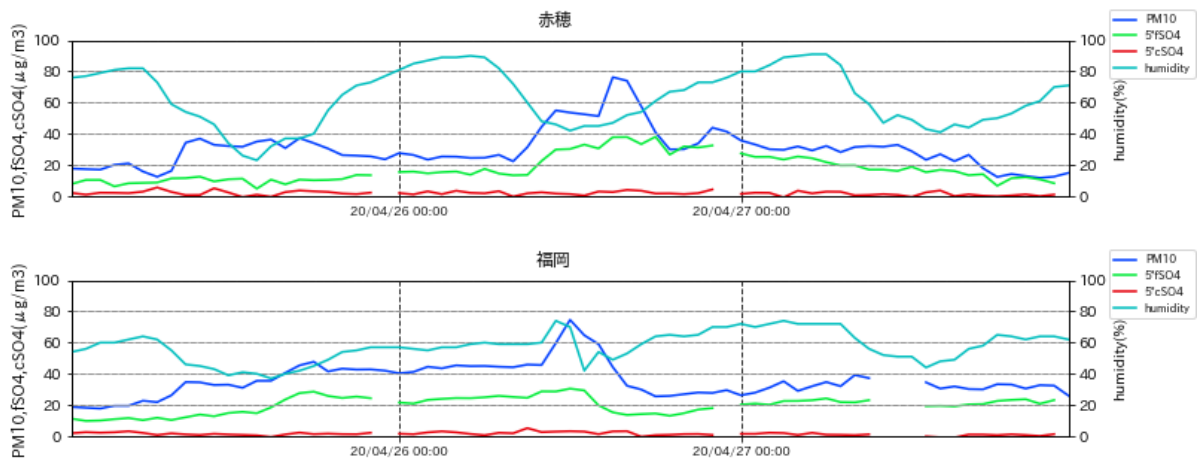


図 4-4-2-13 PM10、 fSO_4^2 、 cSO_4^2 、湿度の経時変化。 fSO_4^2 、 cSO_4^2 は値を 5 倍にしてある。

(3) 黄砂事例 3 2020 年 5 月 13 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-3-1、図 4-4-3-2 に示すとおりである。5 月 13 日に新潟、名古屋、広島、高松、福岡における 5 地点となった。

天気図(図 4-4-3-3) をみると、黄砂観測の前日には大陸から日本海に低気圧が移動しつつ、南には梅雨前線があった。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布をみると、関東地方を中心に $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の濃度上昇が確認できた。朝方には九州地方でも $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ に近い値が確認できているが、午後になると濃度が下がり、

10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となる地点が増加した（図 4-4-3-4）。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況をみると（図 4-4-3-5）、黄砂観測前の5月10日、11日に中国や内モンゴル自治区、モンゴルの比較的広い範囲で Dust や Duststorm が発生していた。この時の気流の状況について、後方流跡線で確認したところ、新潟、富山、大阪、松江、福岡における流跡線は Duststorm が発生していた地域を通るものが多く、大陸からの移流があったことが示唆される（図 4-4-3-6）。さらに、CFORS 予測結果からも、Dust 及び Sulfate について、大陸からの影響が日本全域に影響を及ぼしている様子が見て取れる（図 4-4-3-7）。

ライダー黄砂消散係数（図 4-4-3-8）は、黄砂が観測された地点に近い新潟・東京・大阪・松江・福岡の5地点におけるデータを参照した。新潟において、黄砂観測日前日の5月12日に黄砂消散係数が上昇し、13日にかけてやや高い値となっており、同じ時間帯における SPM 濃度も 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の値を示していることが見て取れる。その他の地点においても、変化は小さいものの、松江・福岡などで黄砂消散係数と SPM 濃度がほぼ同時刻に上昇する様子が見られる。PM2.5 の日平均値は全国的に低く、環境基準値を超える地点は観測されなかった（図 4-4-3-9）。

図 4-4-3-10 及び表 4-4-3-2 には、各測定局における PM2.5/SPM 比とその値が 0.3 以下になった値を示している。図 4-4-3-10 の全国分布では、黄砂が観測されていない地方にも、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下である地点が散見される。そのため確認として、PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM2.5、SPM それぞれの日平均値を表 3-3-2 にまとめた。5月13日は計8地点で PM2.5/SPM 比の値が 0.3 以下となったが、SPM の日平均値及び PM2.5 日平均値はどちらも低い値となっている。そのため、それぞれ濃度が低い値同士で比を算出したため、PM2.5/SPM 比が 0.3 以下となったと考えられる。

福岡における PM2.5/PM10 は黄砂観測日前日から減少し始め5月13日の明け方には 0.2 に近い低い値となっている。人為起源系汚染物質の fSO_4^{2-} と cNO_3^- については、どの地点でも黄砂観測日前日から上昇し、0:00 前後にピークとなっていることがわかる。その後、濃度は下降に転じている。福岡においては黄砂観測前日の昼頃に fSO_4^{2-} が 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に近いピークをとっている（図 4-4-3-11）。

なお、北京では、黄砂観測日前日の5月12日に、PM2.5 濃度の1時間値が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の値を示す時間帯が数時間継続している（図 4-4-3-12）。

また、本事例における湿度の時系列（図 4-4-3-13）に関して、名古屋、赤穂で PM10 が急激に上昇する13日午前に減少する傾向にある。この時間帯は名古屋の黄砂観測時間と一致している。

以上の通り、本事例は、東アジア域における Duststorm により5月13日 0:00 頃から、若干の人為起源系汚染物質を含んだ黄砂が飛来し、西日本から北陸まで広がった比較的広範囲な黄砂事例と思われる。

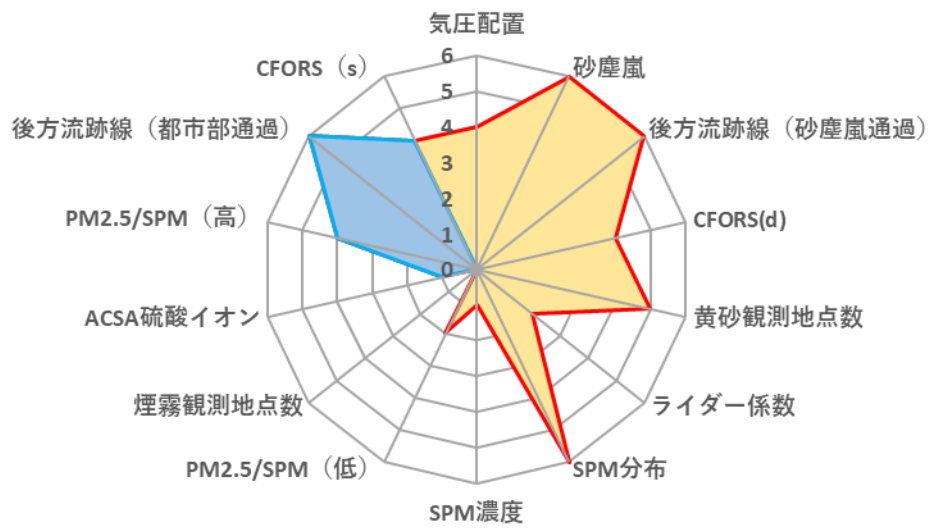


図 4-4-3-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-3-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名									
2020/5/13	5	新潟	名古屋	広島	福岡	高松					

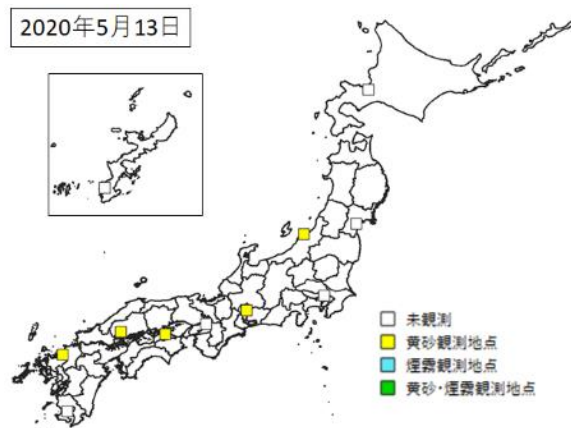
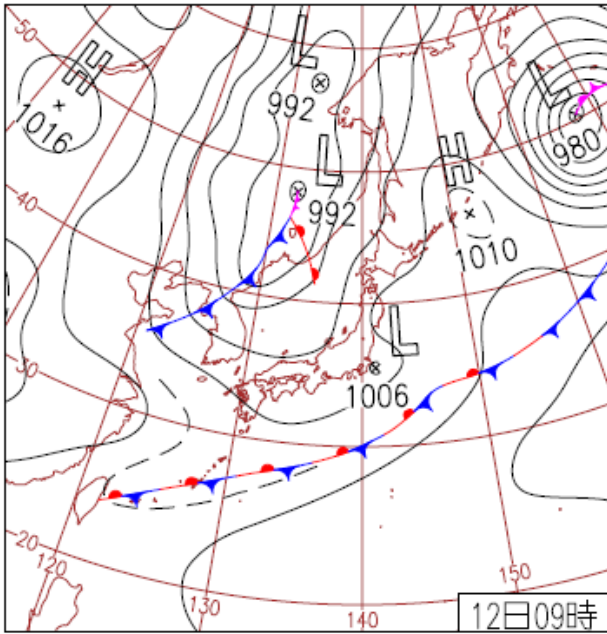
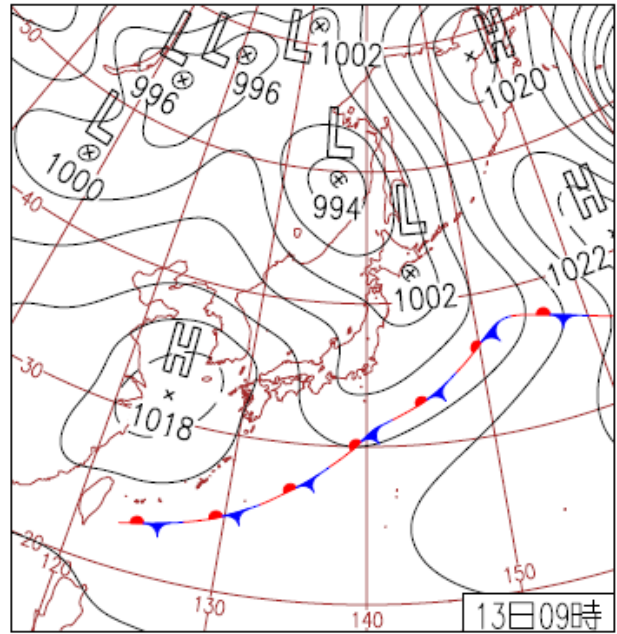


図 4-4-3-2 黄砂観測地点



12日(火)石垣島で猛烈な雨

沖縄・奄美は梅雨前線の影響で雨。沖縄県石垣島では通年1位となる126mm/1hの猛烈な雨。西～北日本は気圧の谷の影響で午後は所々で雨。フィリピンの東で台風第1号発生。



13日(水)西～東日本で黄砂観測

上空約5500mで -24°C 以下の寒気が北日本に流入。東日本～北日本は広く大気の状態が不安定となり、各地で雷を伴った雨。北海道佐呂間の31mm/1hは5月の1位更新。

図 4-4-3-3 天気図

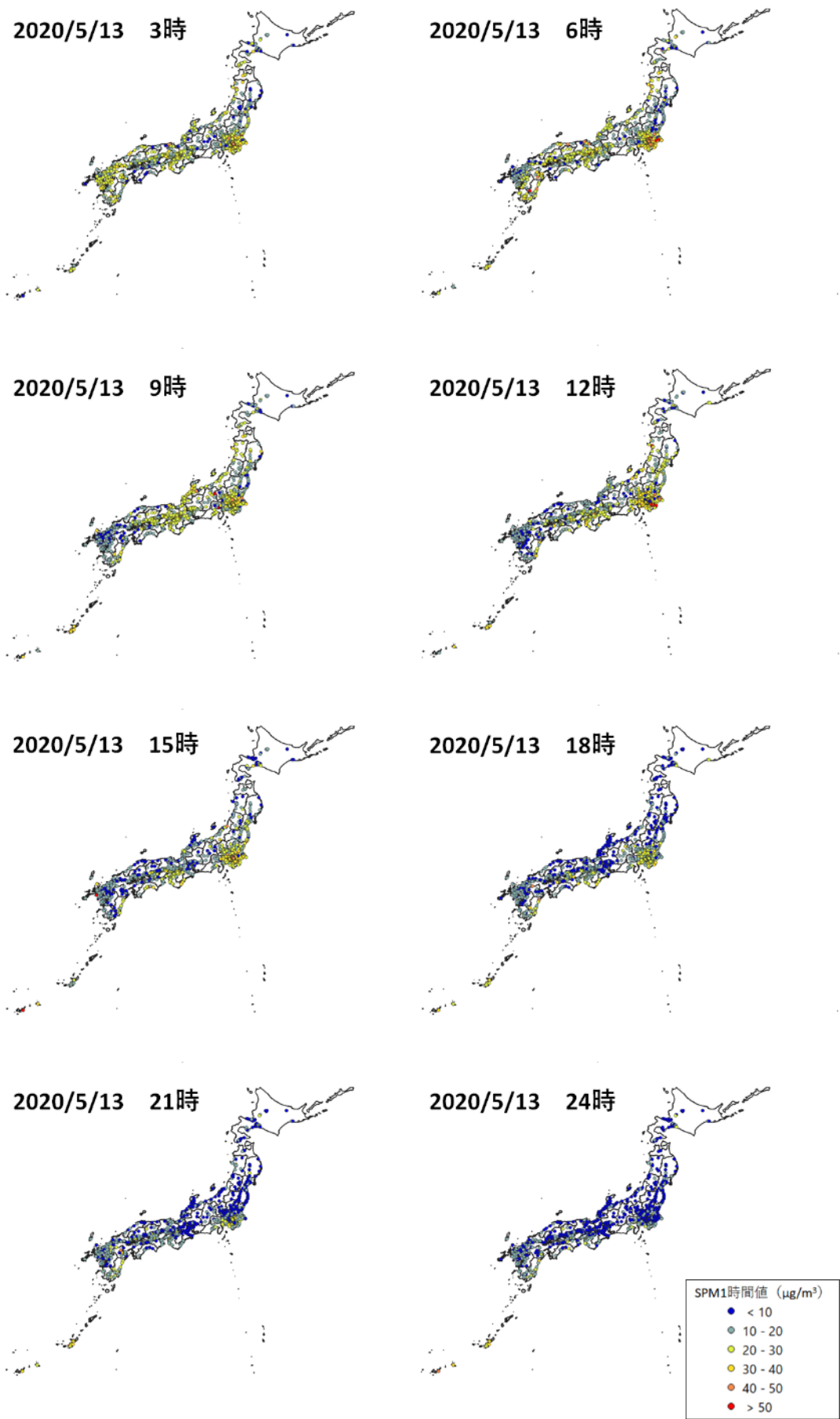


図 4-4-3-4 SPM1 時間値濃度全国分布 (2020 年 5 月 13 日)

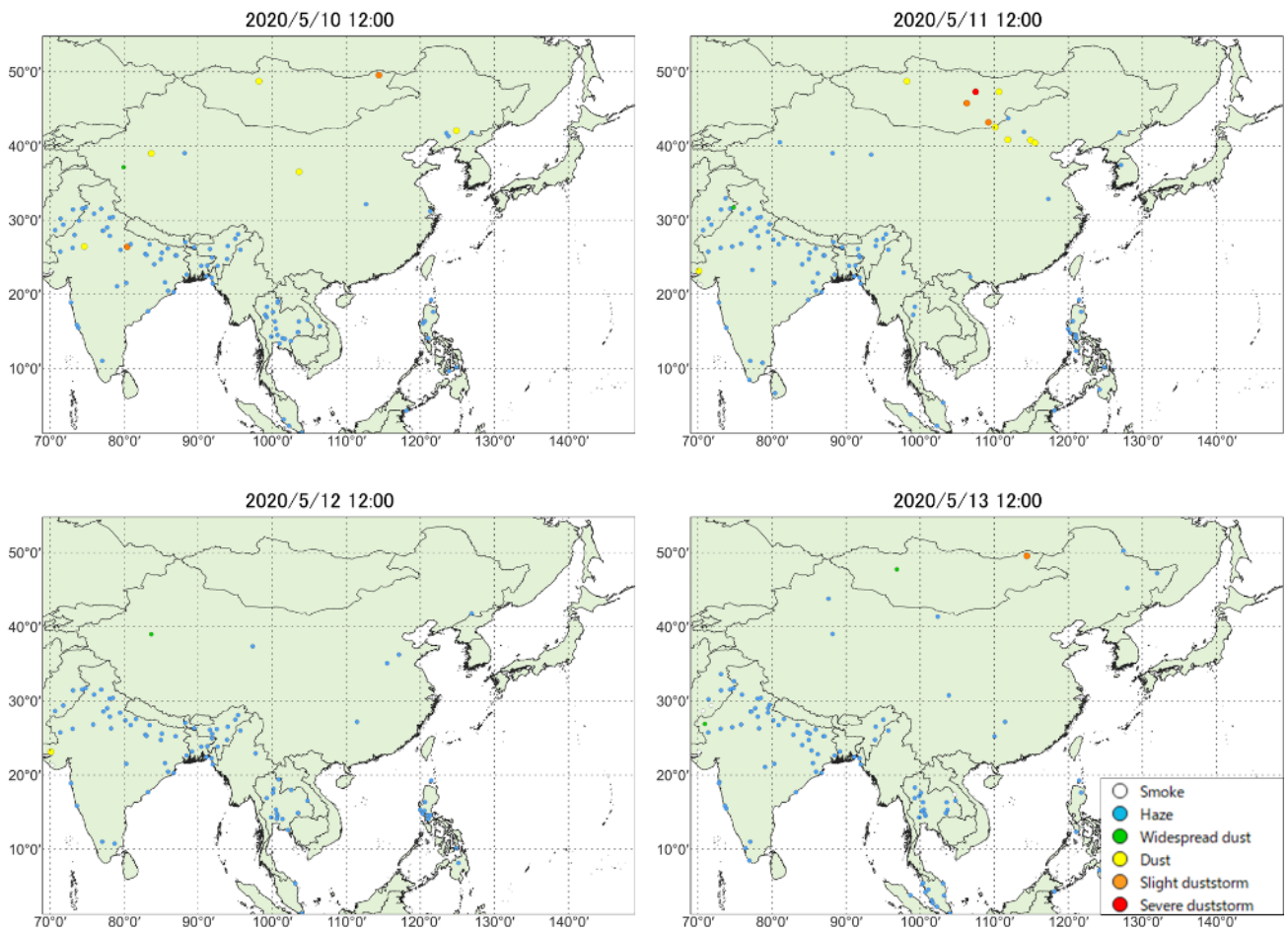


図 4-4-3- 5 砂塵嵐発生状況

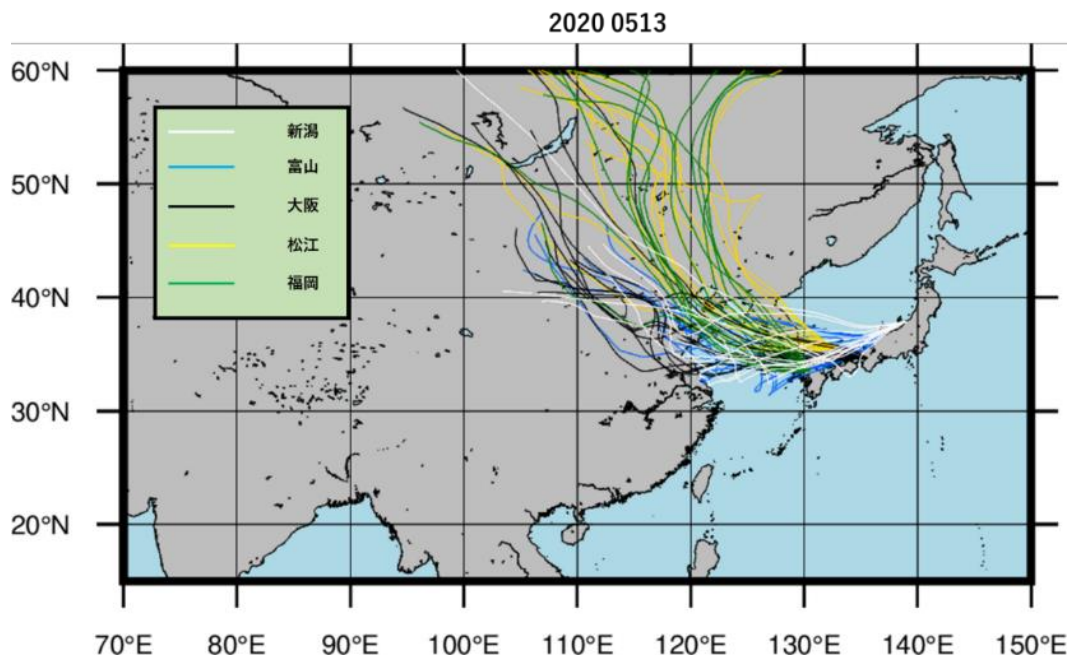


図 4-4-3- 6 後方流跡線 (72 時間前より)

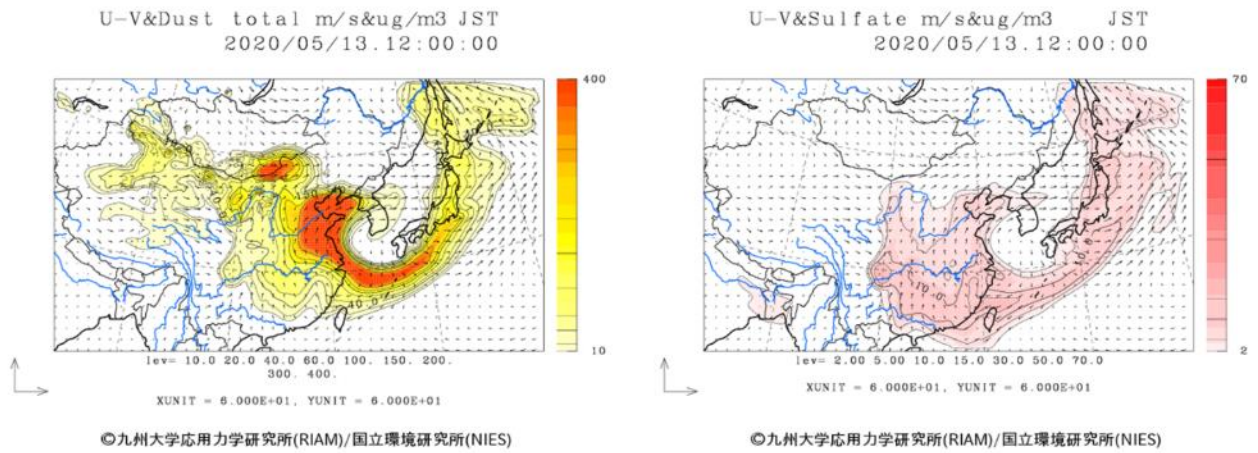
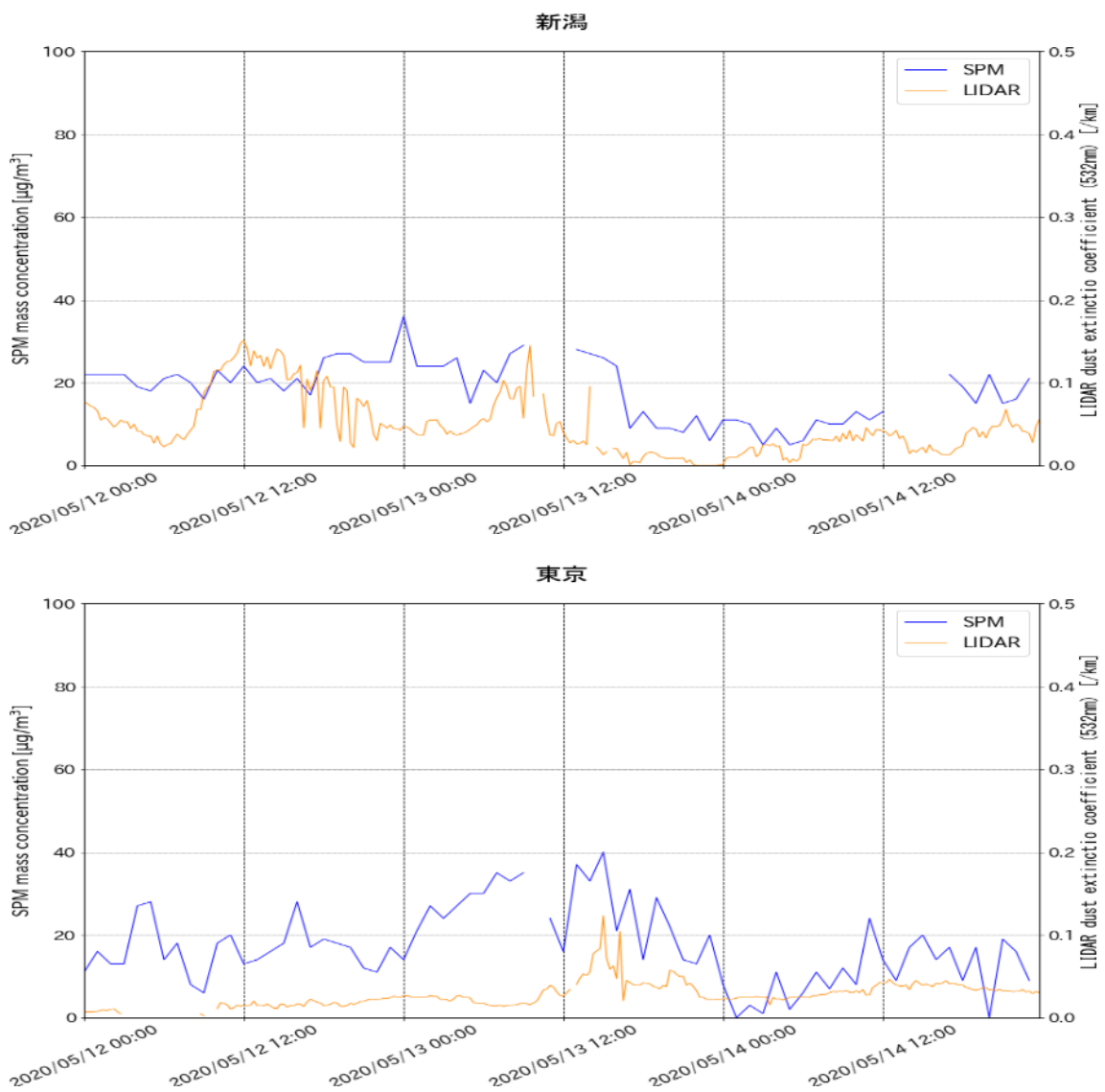


図 4-4-3-7 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果



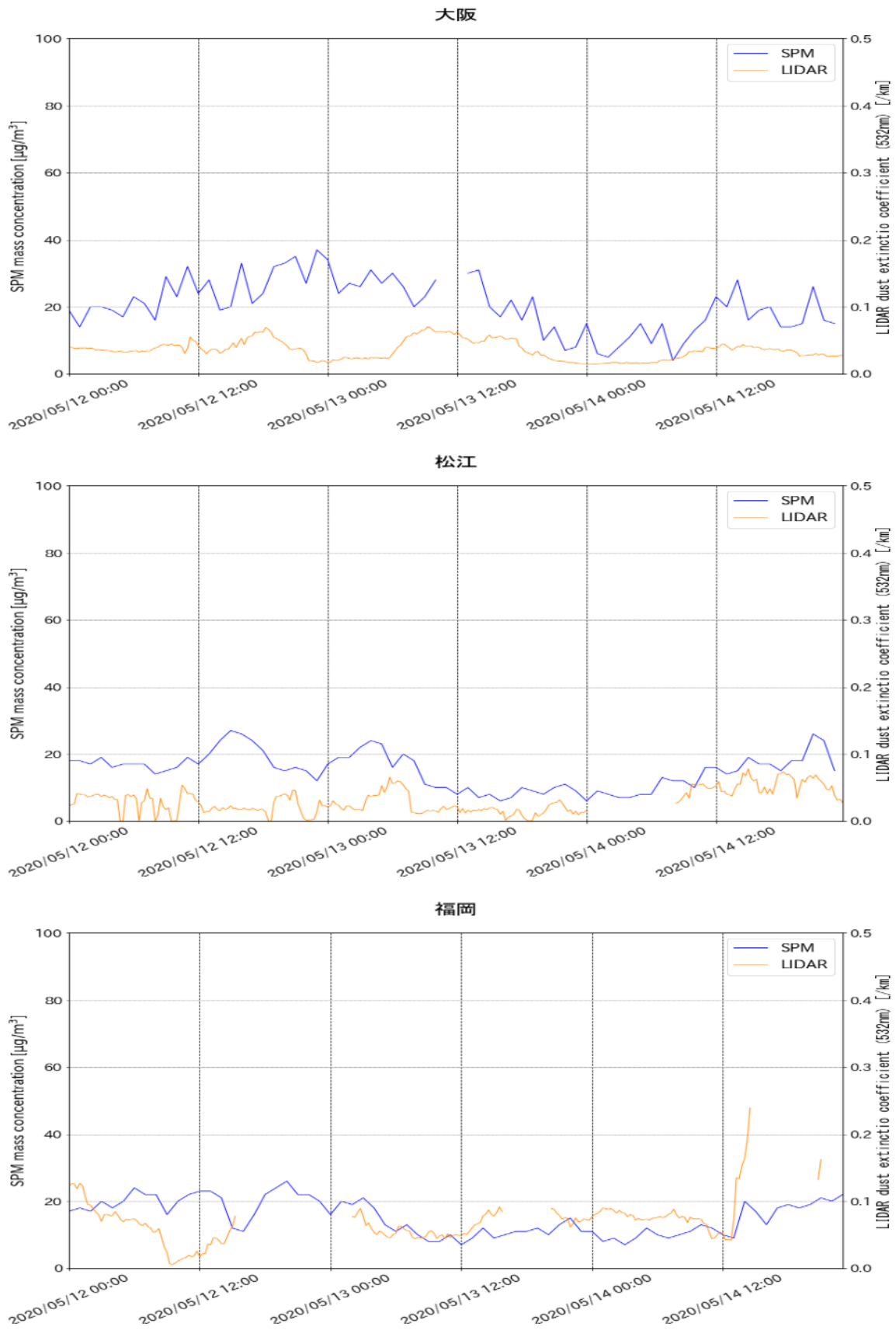


図 4-4-3-8 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (新潟・東京・大阪・松江・福岡)

2020/5/13

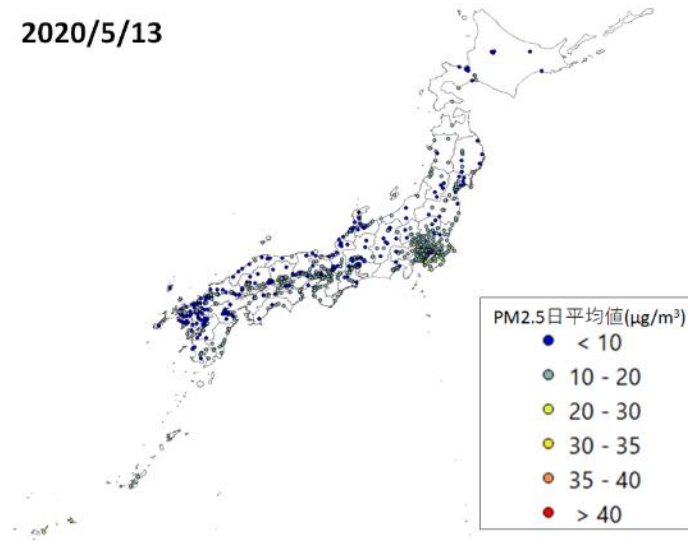


図 4-4-3-9 PM2.5 日平均値全国分布

2020/5/13

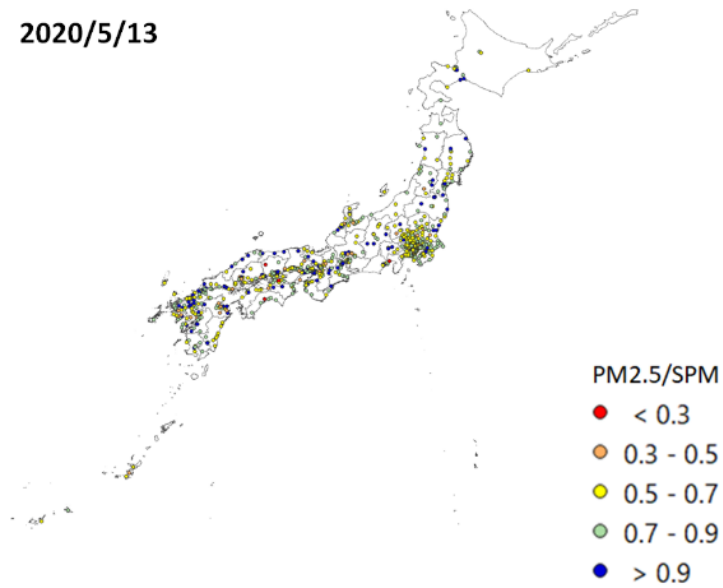


図 4-4-3-10 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

表 4-4-3-2 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値が 0.3 以下となった観測地点

黄砂観測日	観測局コード	都道府県	PM2.5 日平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SPM 日平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5/SPM
2020/5/13	12201120	千葉県	5.76	21.41	0.27
	22382010	静岡県	6.82	22.94	0.30
	33202140	岡山県	1.53	17.82	0.09
	33210010	岡山県	4.88	17.12	0.29

	37201080	香川県	0.35	19.59	0.02
	37201550	香川県	4.29	25.06	0.17
	39381030	高知県	0.59	11.82	0.05
	43201140	熊本県	7.12	25.24	0.28

※PM2.5 環境基準：1年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること

SPM 環境基準：1時間値の1日平均値が $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であること

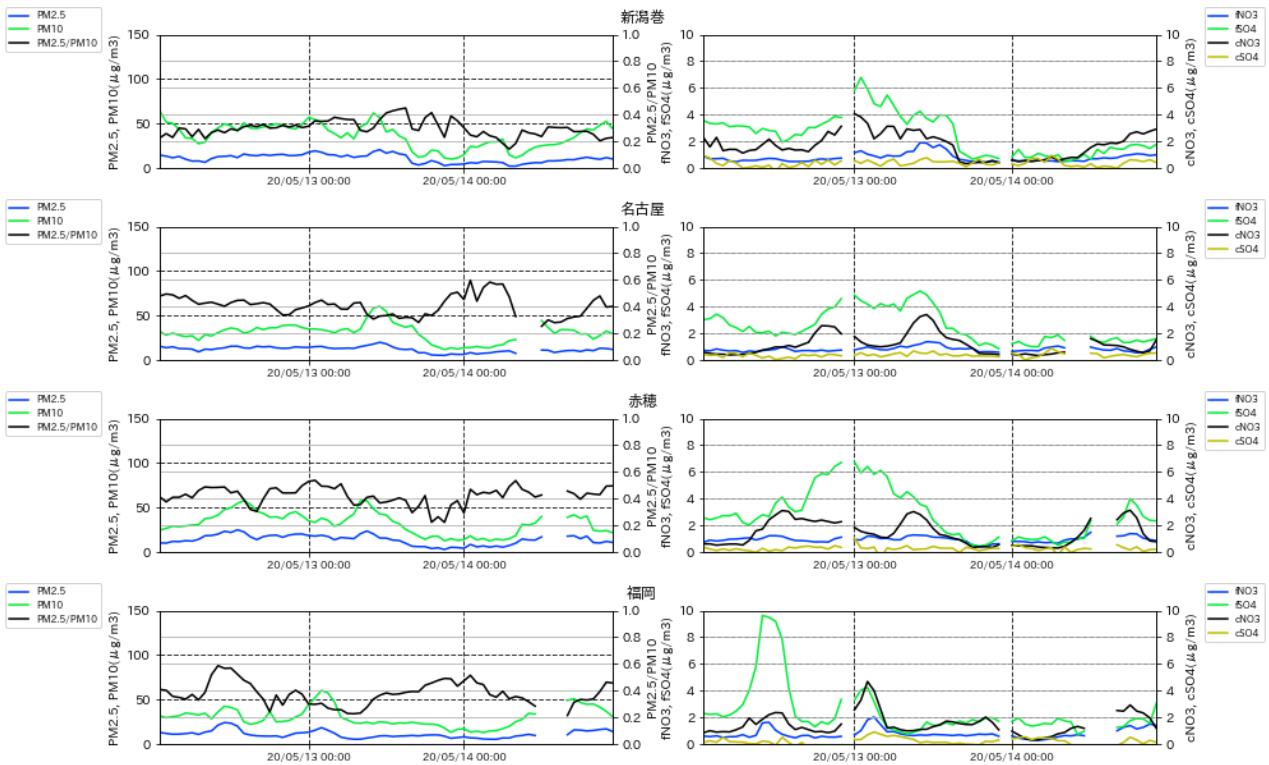


図 4-4-3-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

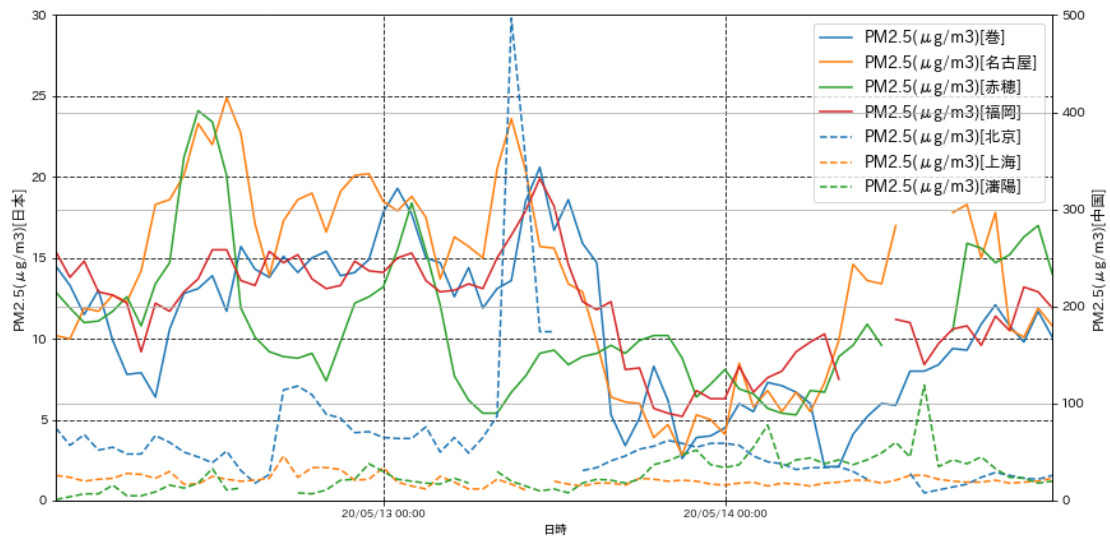


図 4-4-3-12 日本・中国での PM2.5 濃度

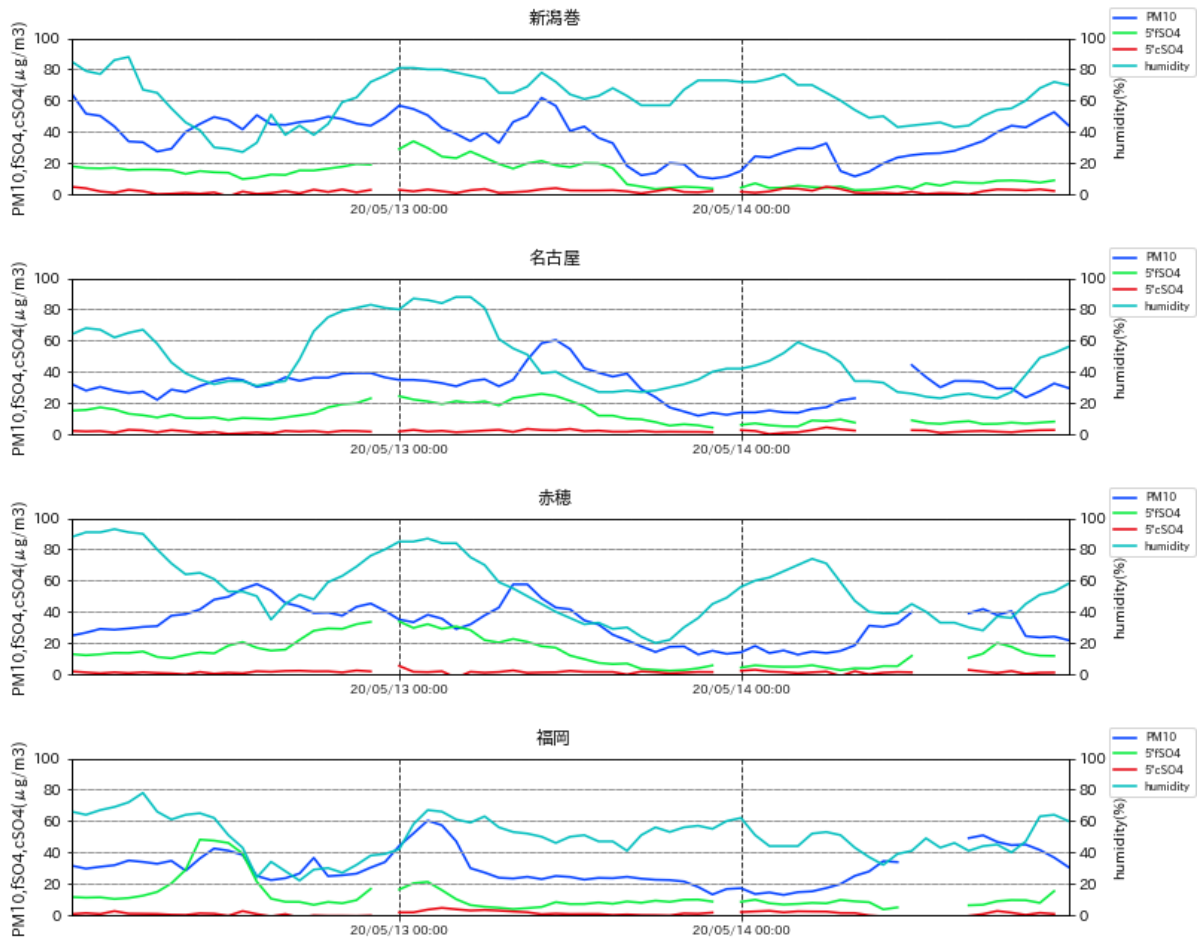


図 4-4-3-13 PM10、 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} 、湿度の経時変化。 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} は値を 5 倍にしてある。