
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 SO_4^{2-}/NO_3^- 比を比較した。その結果 SO_4^{2-}/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 $16.4\mu g/m^3$ 、日平均値 $35\mu g/m^3$ の超過率は4.93%で、前年度と比較して、平均濃度（前年度： $15.2\mu g/m^3$ ）、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 $16.5\mu g/m^3$ 、日平均値 $35\mu g/m^3$ 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： $16.3\mu g/m^3$ ）、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。

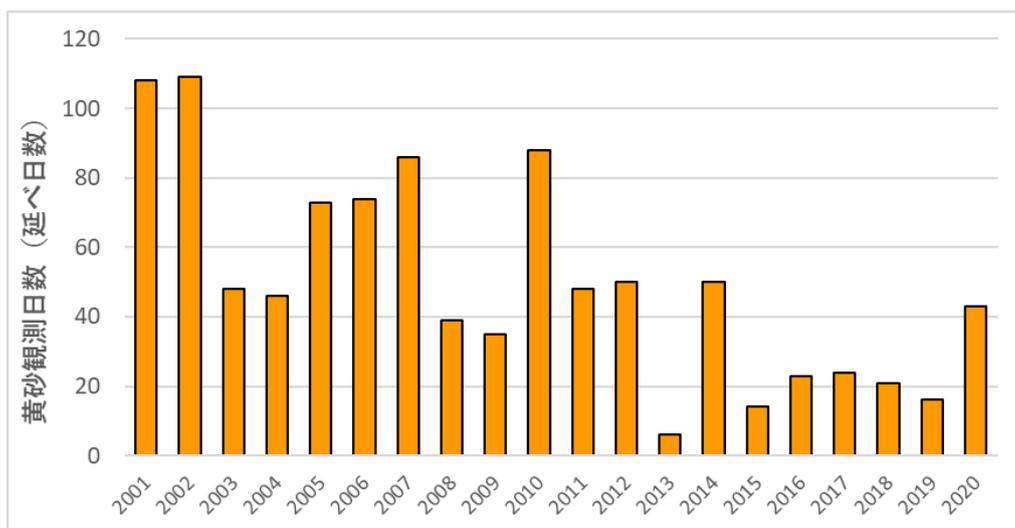


図 2-1-1 黄砂観測日数（延べ日数）の経年変化

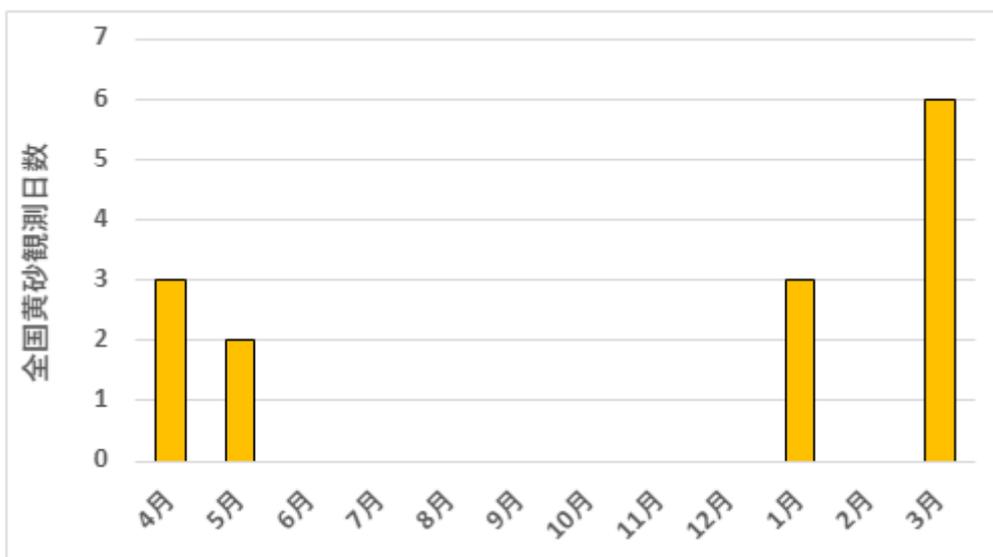


図 2-1-2 黄砂観測日の経月変化 (2020 年度)

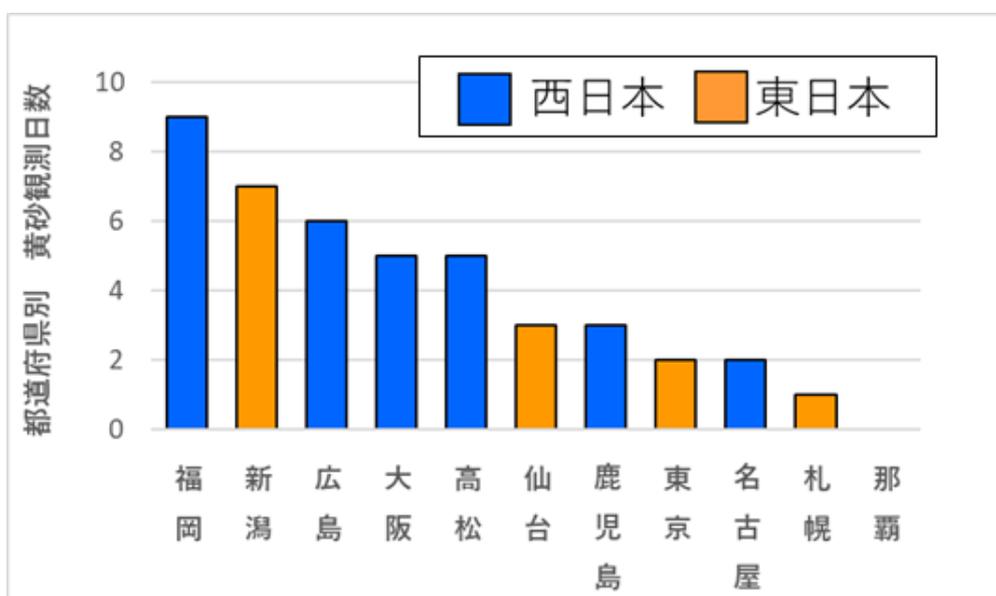


図 2-1-3 黄砂日の地点別日数 (2020 年度)

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）。

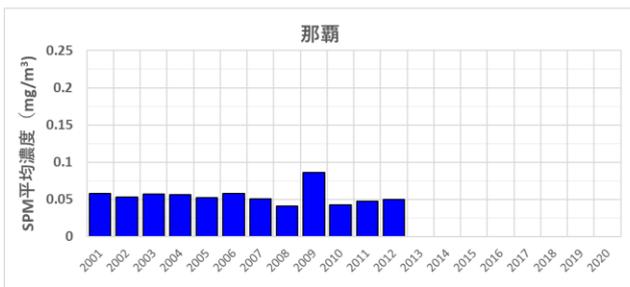
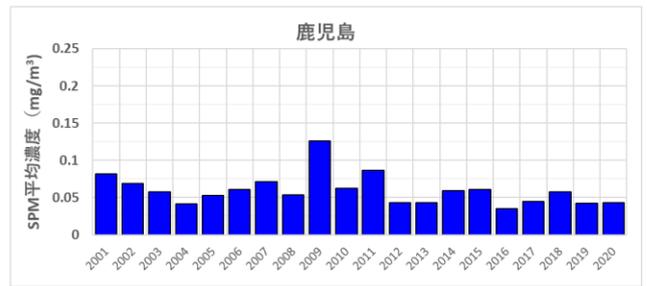
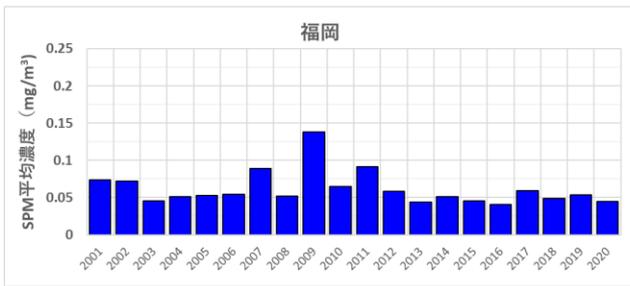
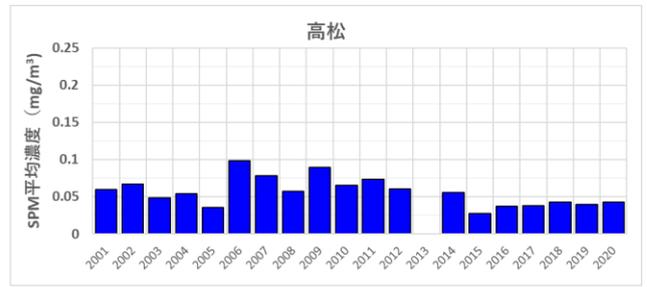
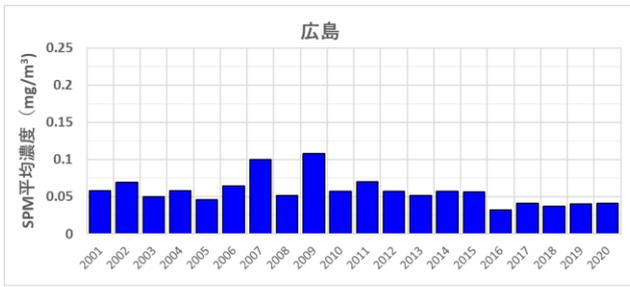
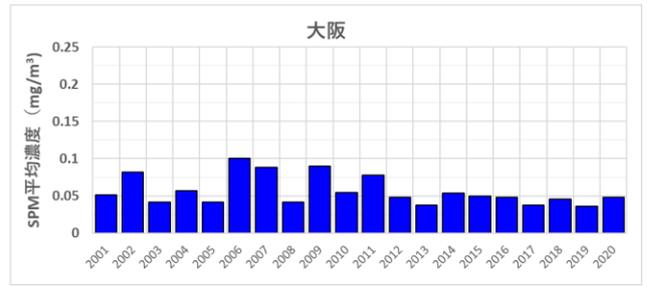
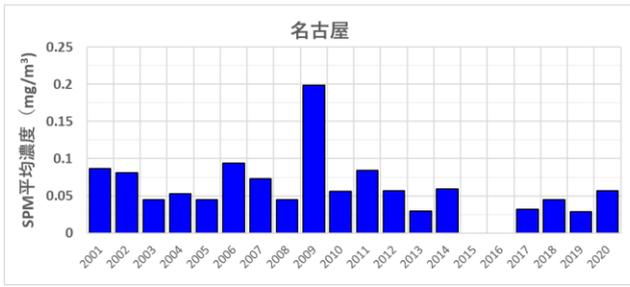
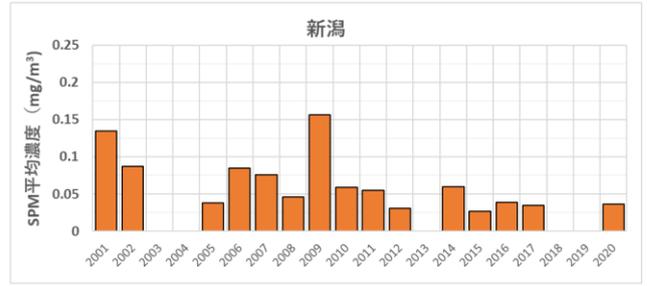
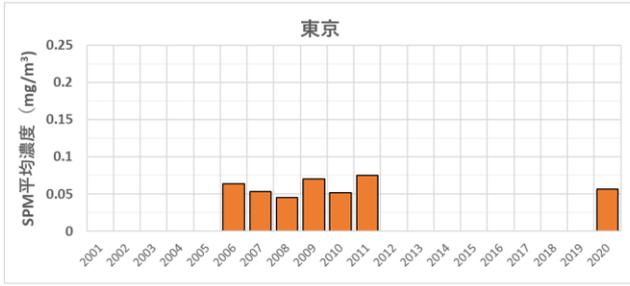
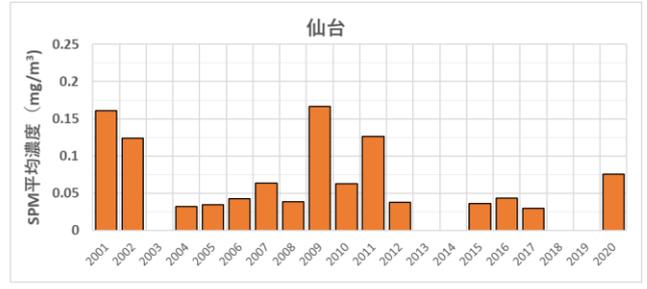
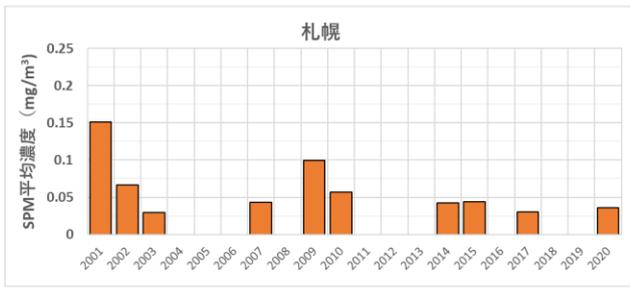


図 2-2-1 黄砂観測地点における SPM 平均濃度の推移 (2001 年度から 2020 年度)

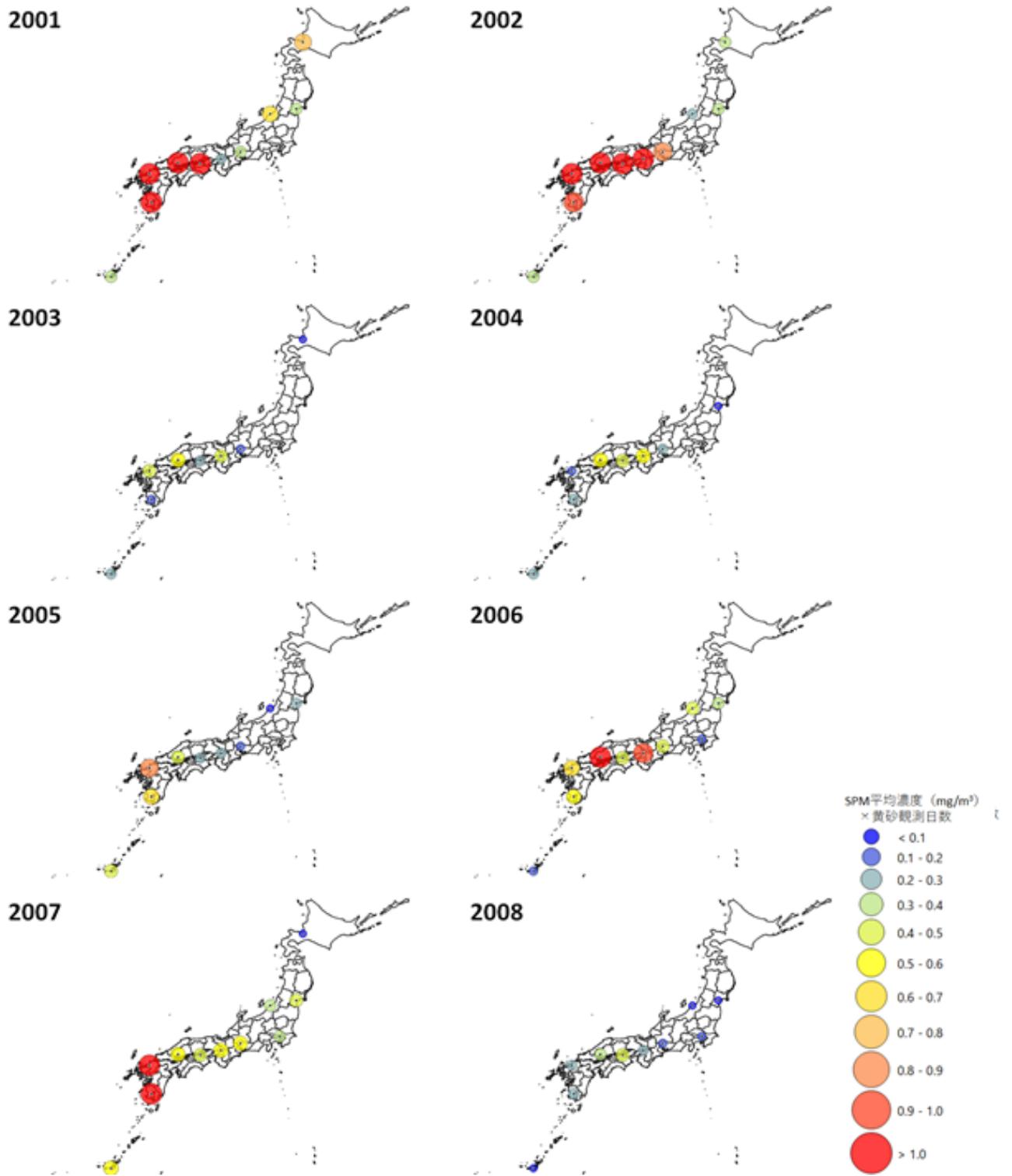


図 2-2-2 黄砂日の SPM 平均濃度と観測日数との積算値(1) (2001 年度から 2008 年度)

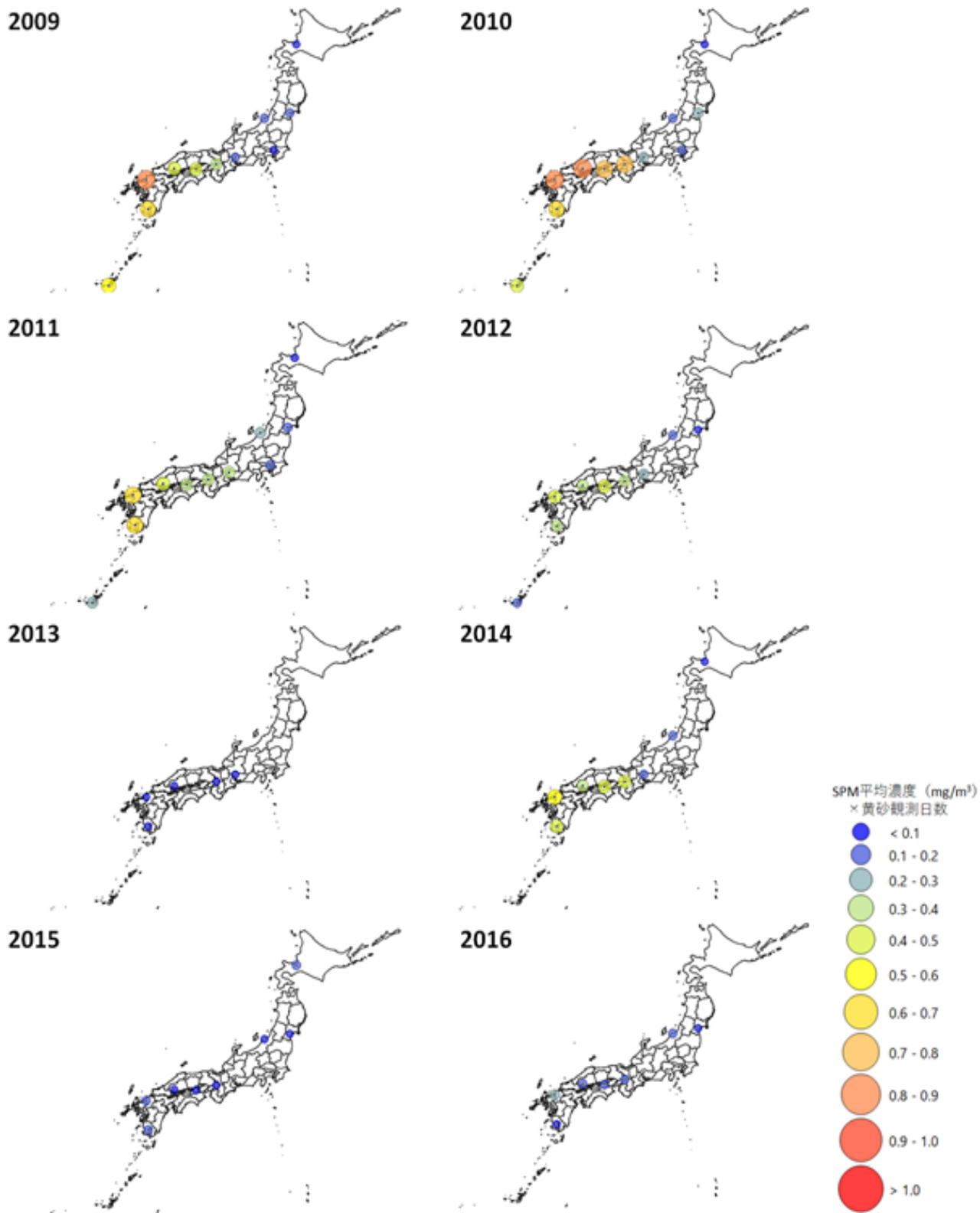


図 2-2-3 黄砂日の SPM 平均濃度と観測日数との積算値(2) (2009 年度から 2016 年度)

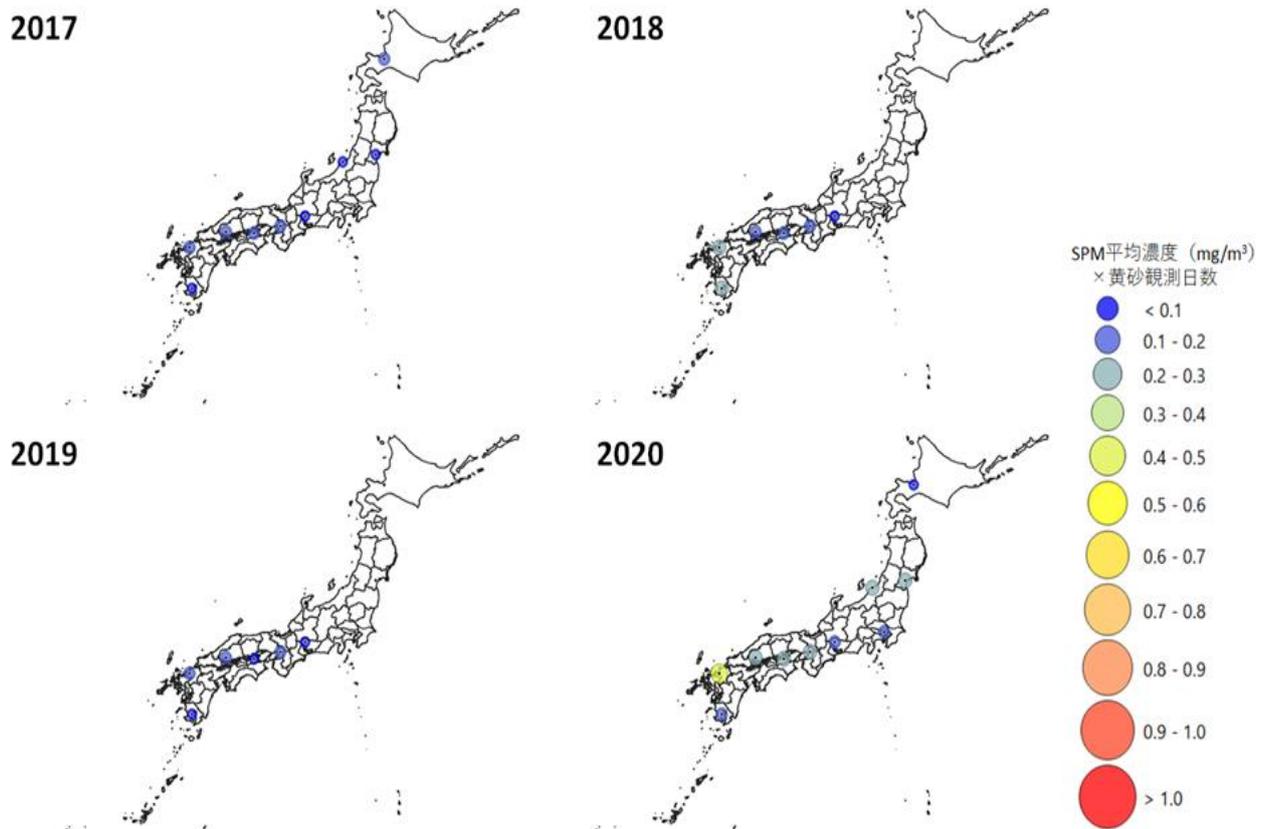


図 2-2-4 黄砂日の SPM 平均濃度と観測日数との積算値(3) (2017 年度から 2020 年度)

(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。

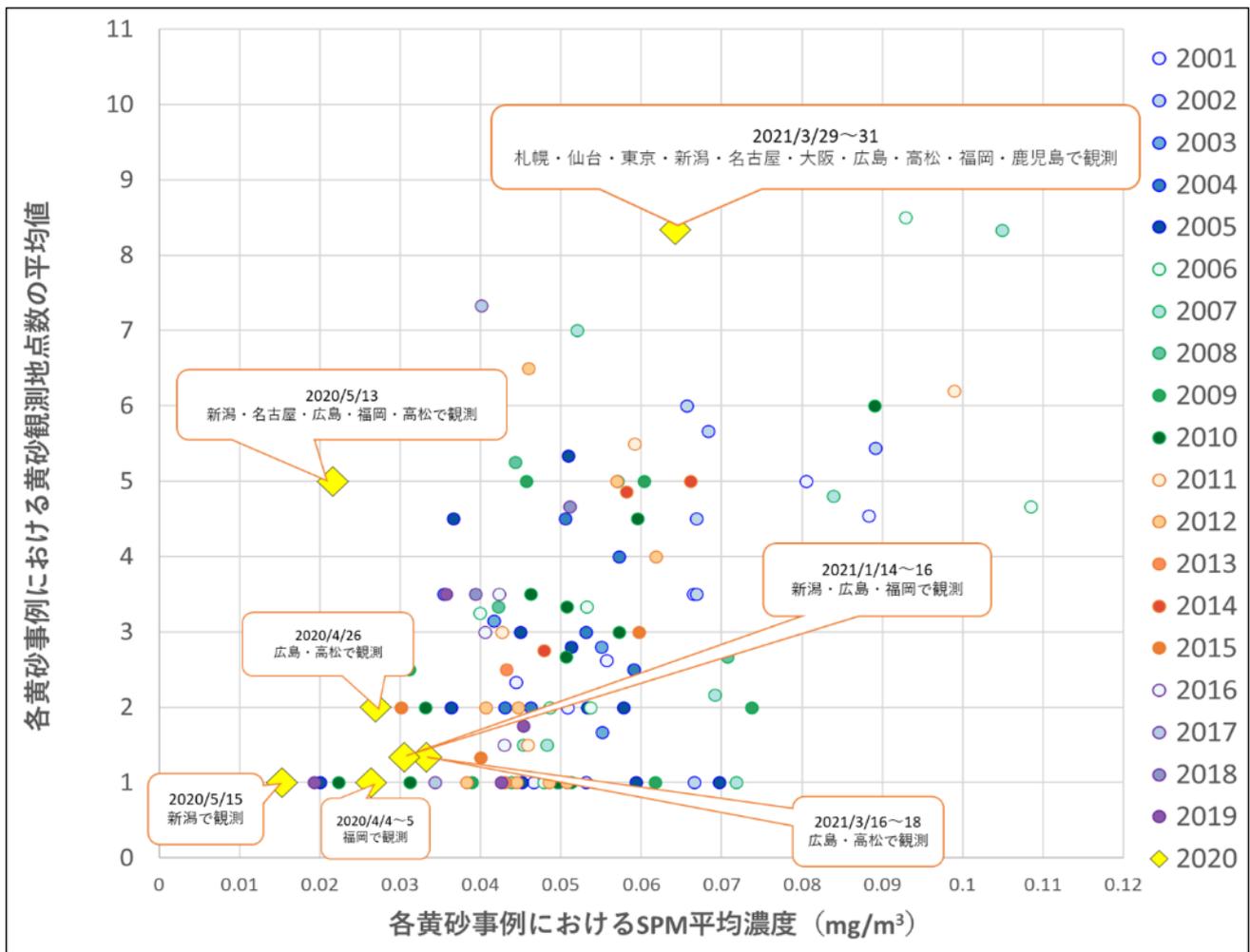


図 2-2-5 2001 年度から 2020 年度に観測された各黄砂事例の黄砂強度

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。

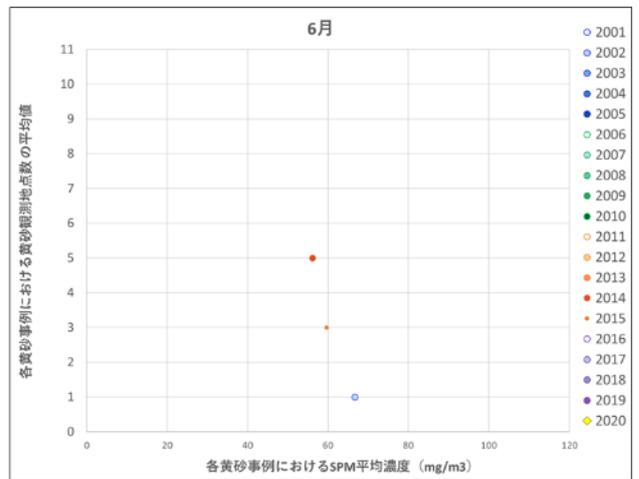
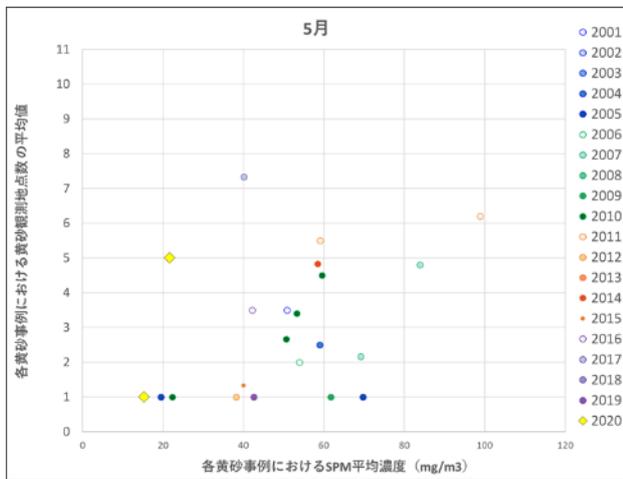
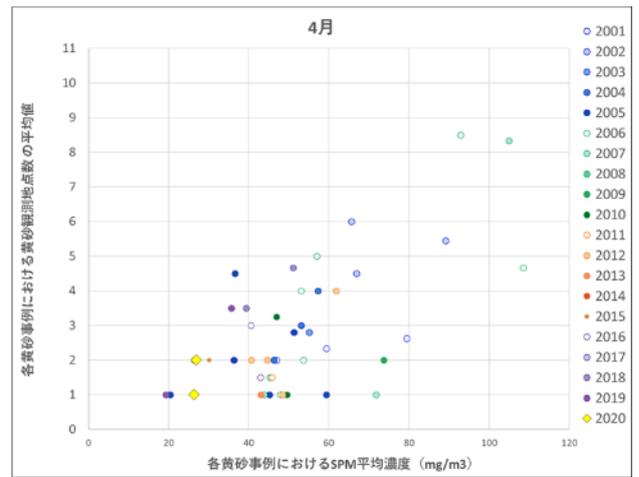
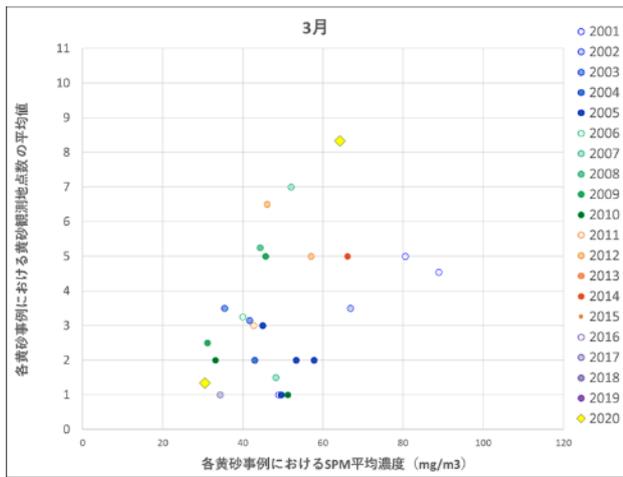
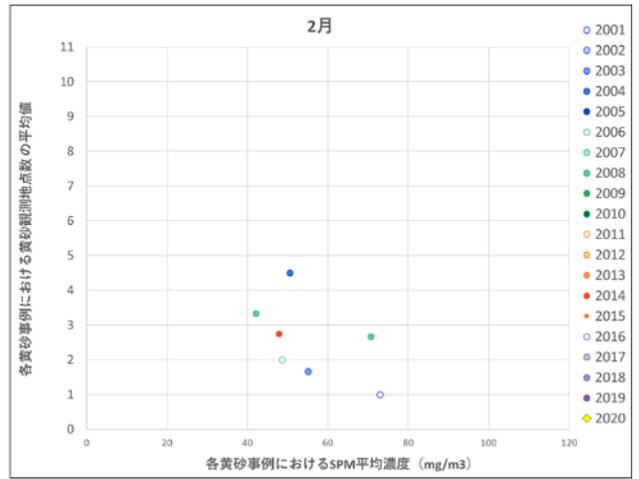
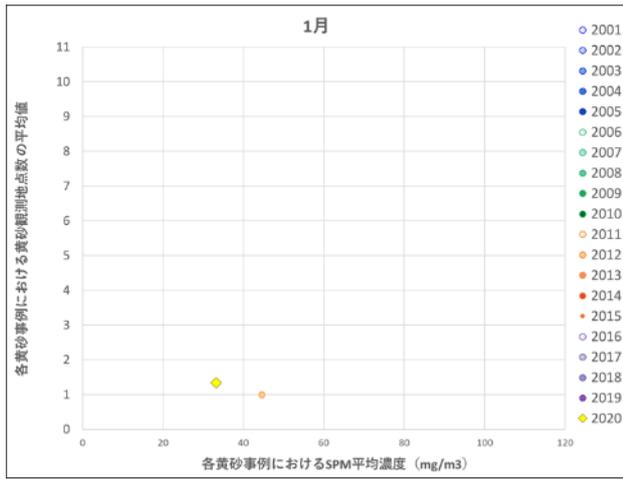


図 2-2-6 2001 年度から 2020 年度に観測された各黄砂事例の月別黄砂強度 (1 月から 6 月)

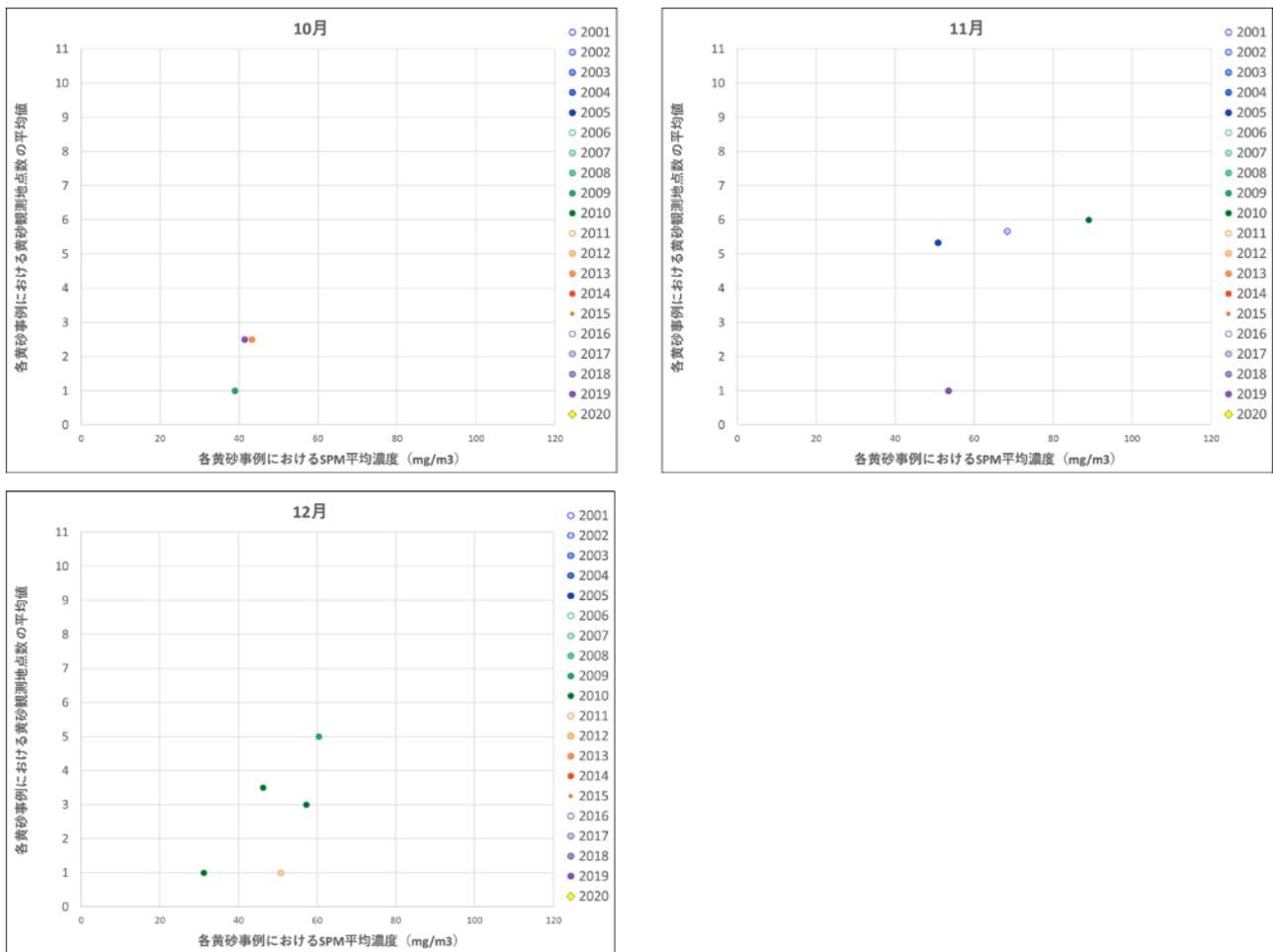


図 2-2-7 2001 年度から 2020 年度に観測された各黄砂事例の月別黄砂強度 (10 月から 12 月)

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、NO_x 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。

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ザーチャート (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・空間的変化を確認するため、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。

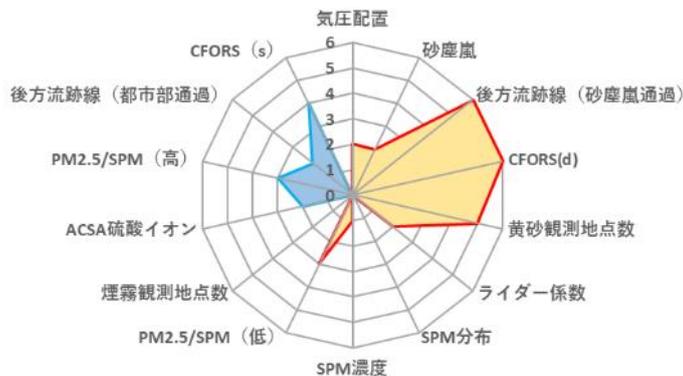


図 4-2-2 黄砂の特徴を示すレーダーチャート (例)

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 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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。

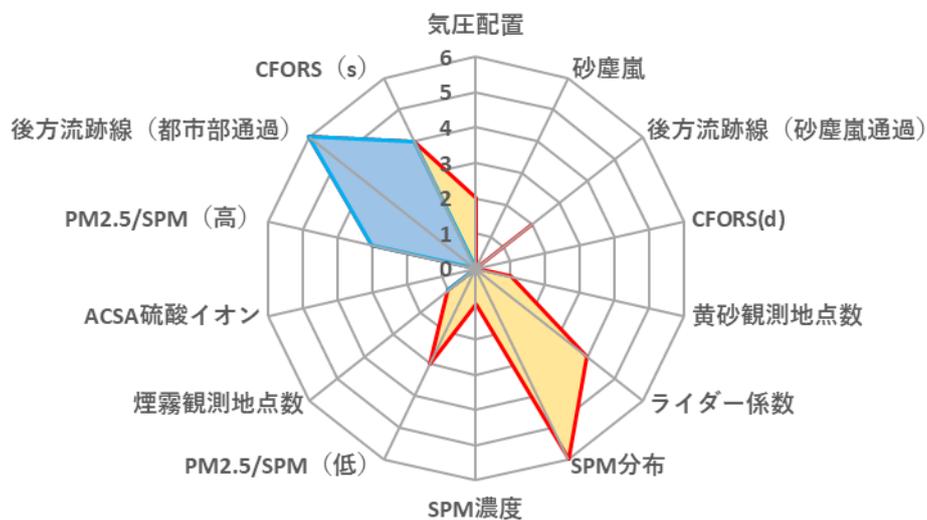


図 4-4-1-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

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										

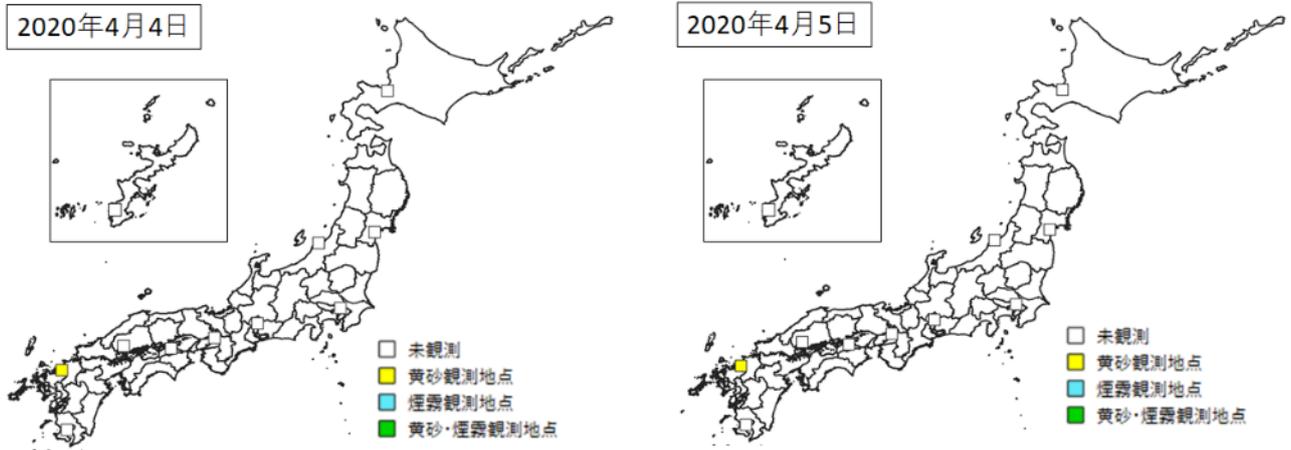


図 4-4-1-2 黄砂観測地点

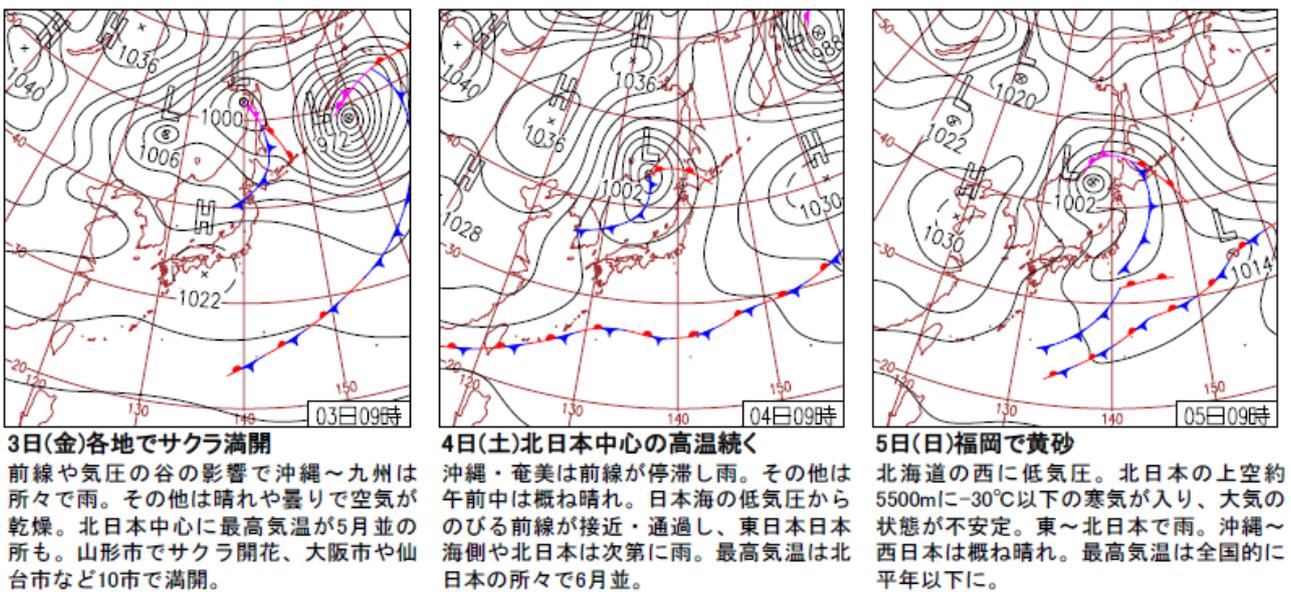


図 4-4-1-3 天気図

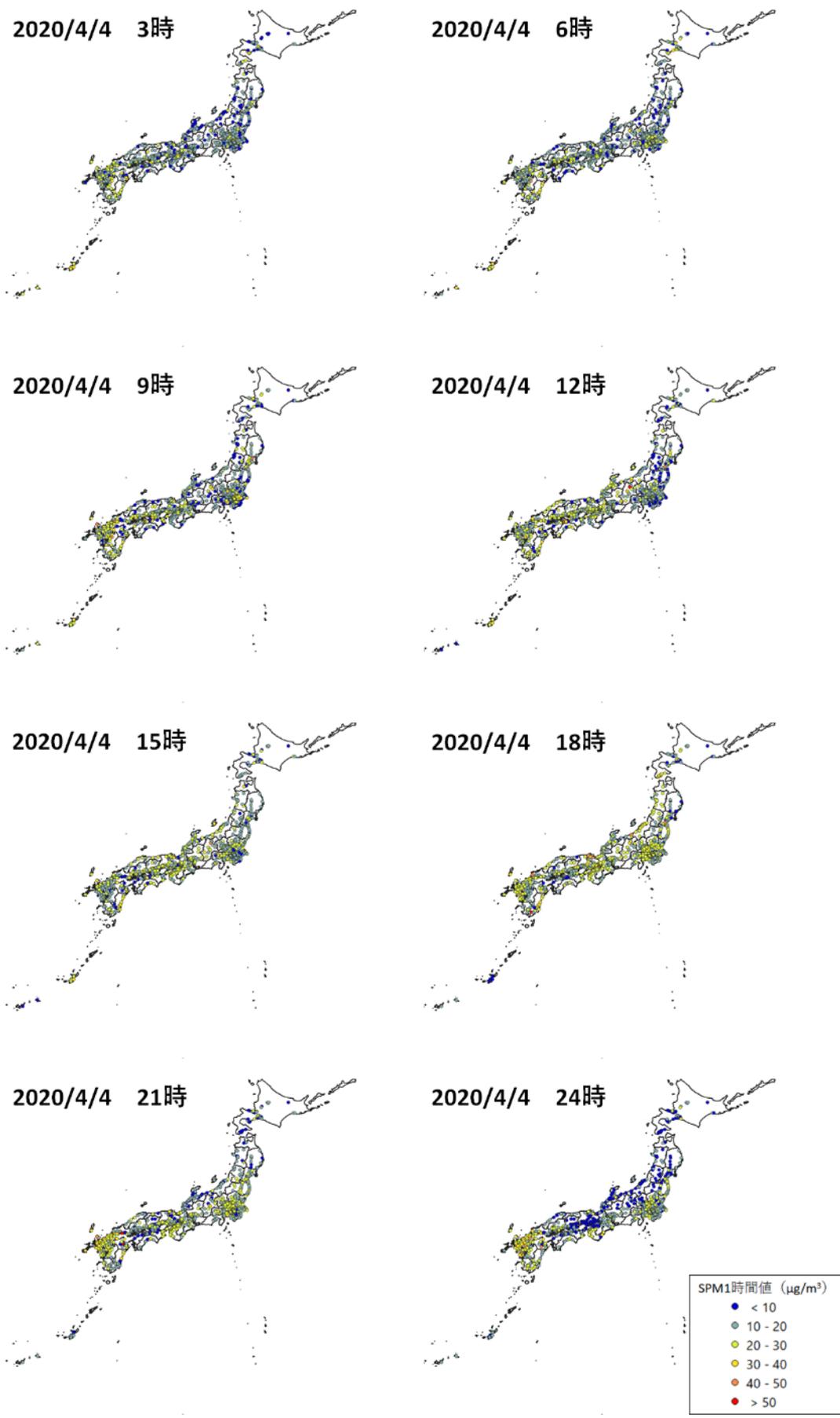


図 4-4-1-4 SPM1 時間値濃度全国分布(1) (2020 年 4 月 4 日)

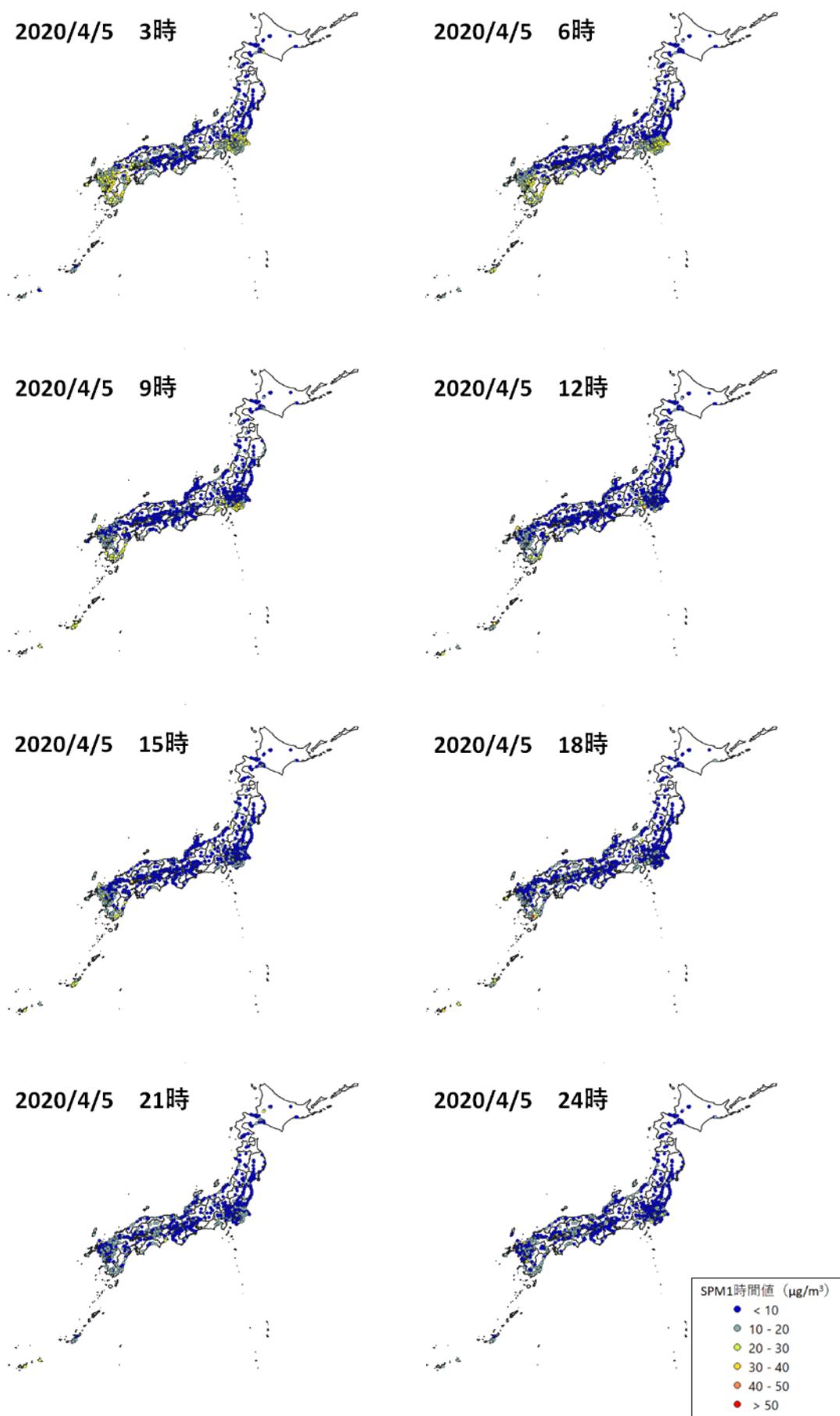


図 4-4-1-5 SPM1 時間値濃度全国分布(2) (2020 年 4 月 5 日)

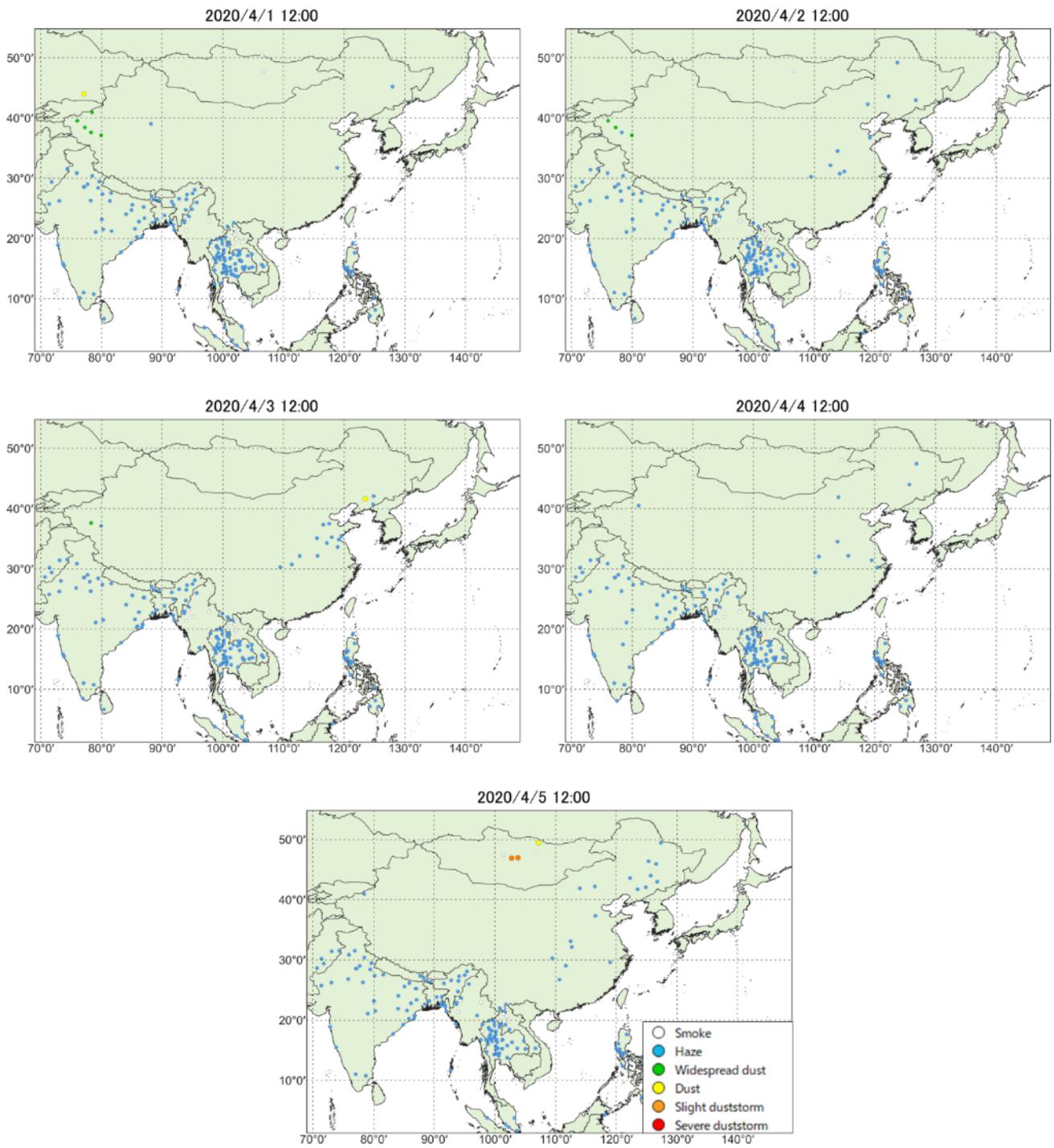


图 4-4-1-6 砂塵嵐発生状況

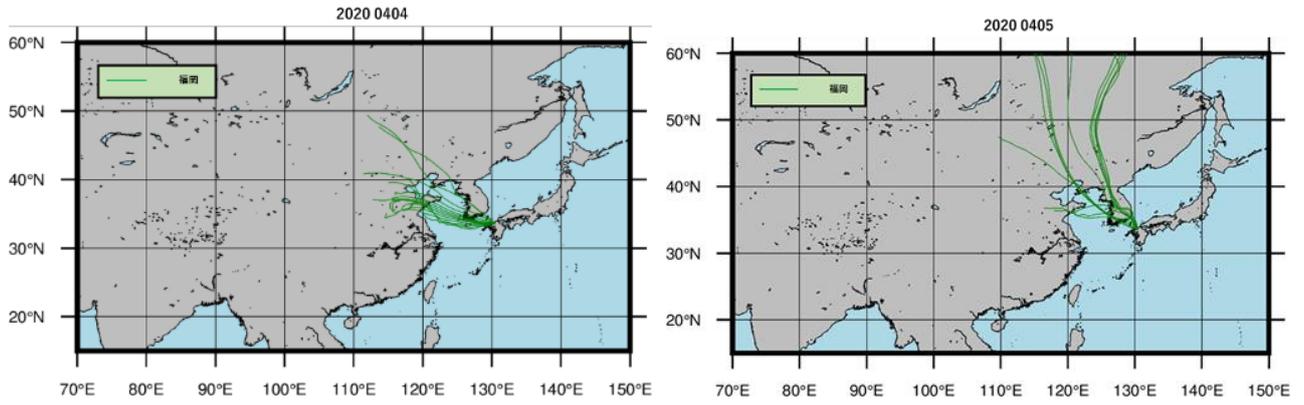


図 4-4-1-7 後方流跡線 (72 時間前より)

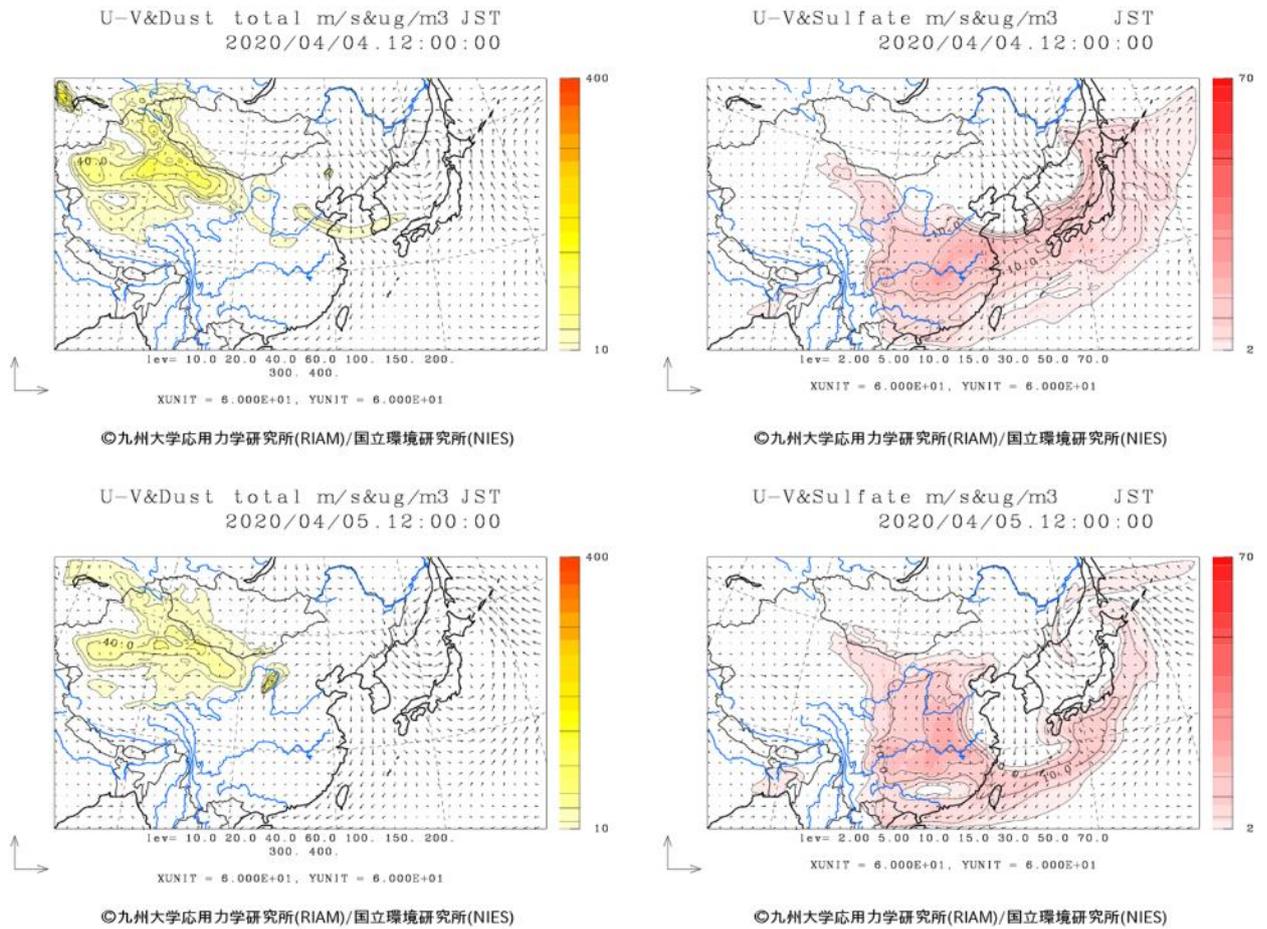


図 4-4-1-8 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果

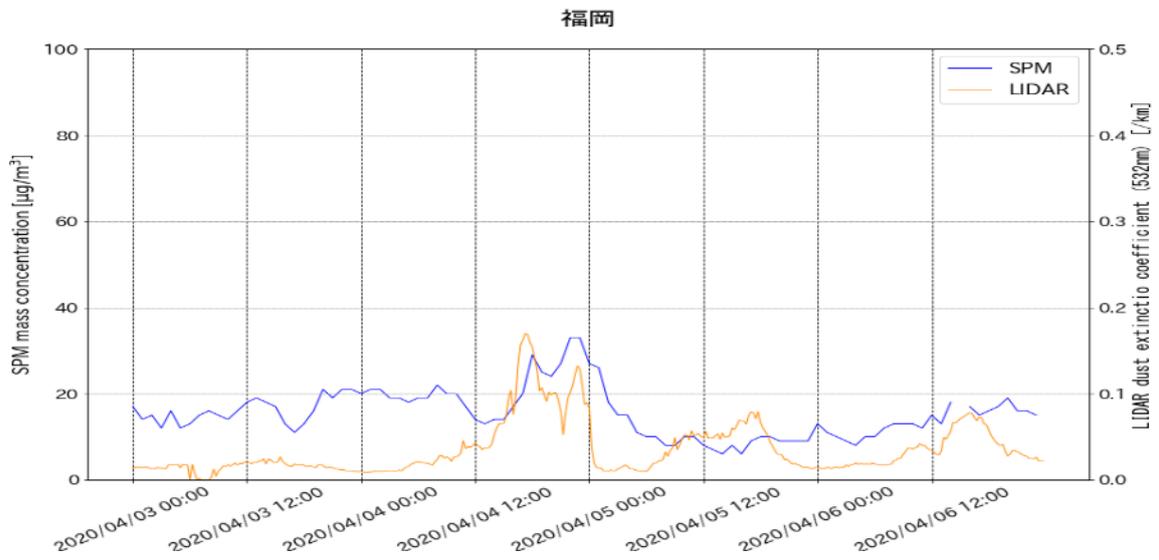


図 4-4-1-9 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (福岡)

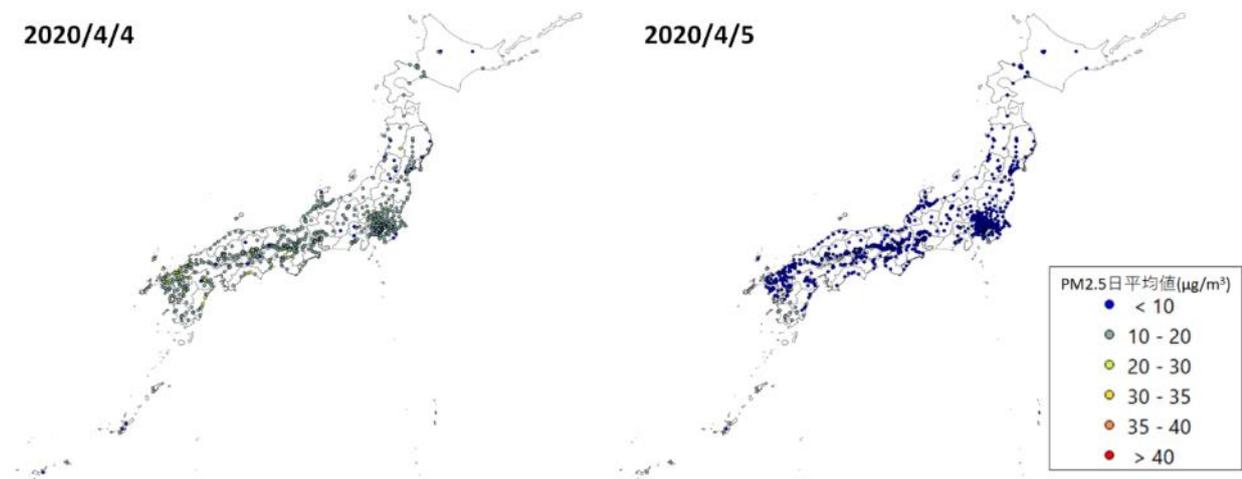


図 4-4-1-10 PM2.5 日平均値全国分布

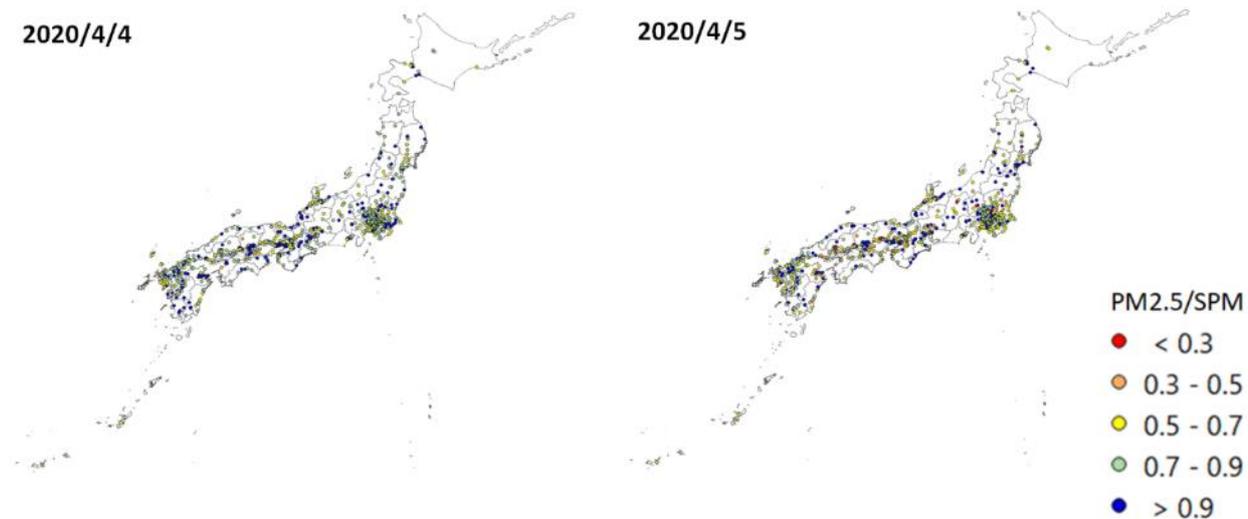


図 4-4-1-11 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

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

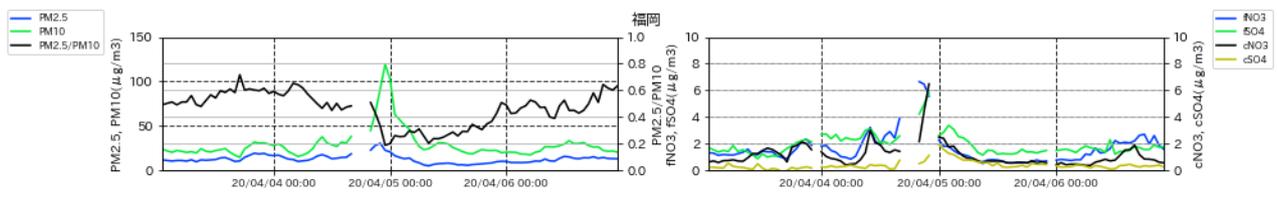


図 4-4-1-12 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

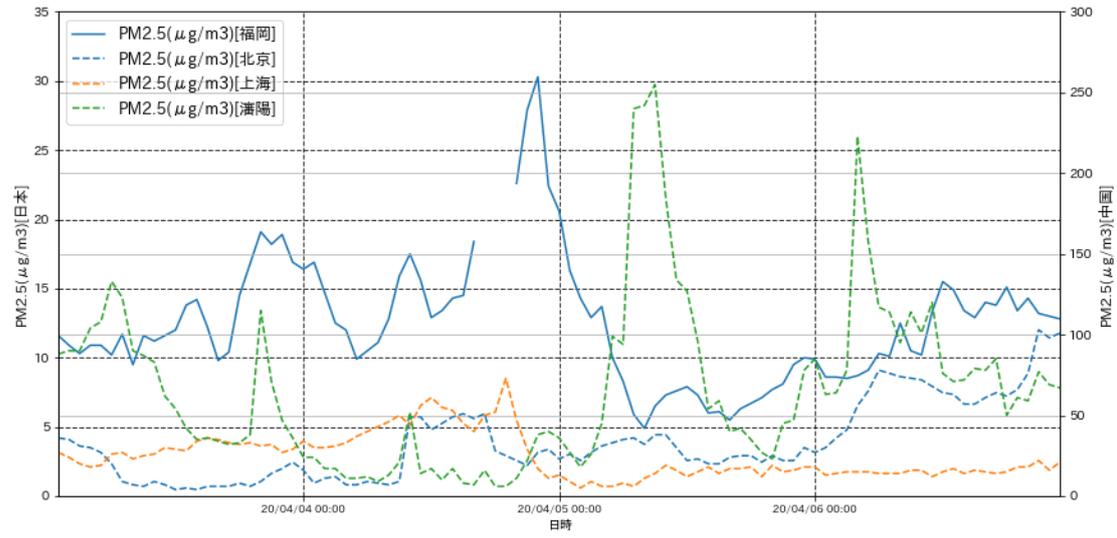


図 4-4-1-13 日本・中国での PM2.5 濃度

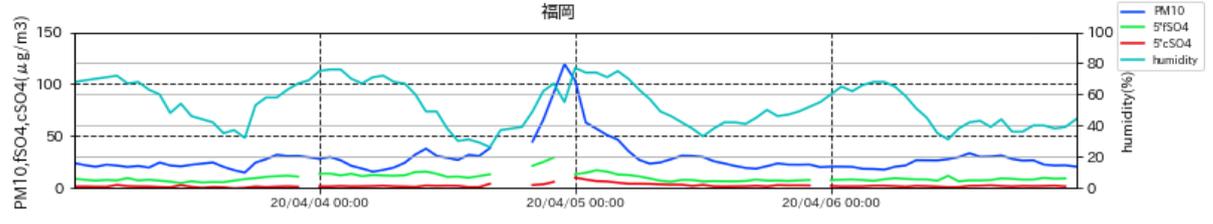


図 4-4-1-14 PM10、 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} 、湿度の経時変化。 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} は値を 5 倍にしてある。

(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日間の流跡線は 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。

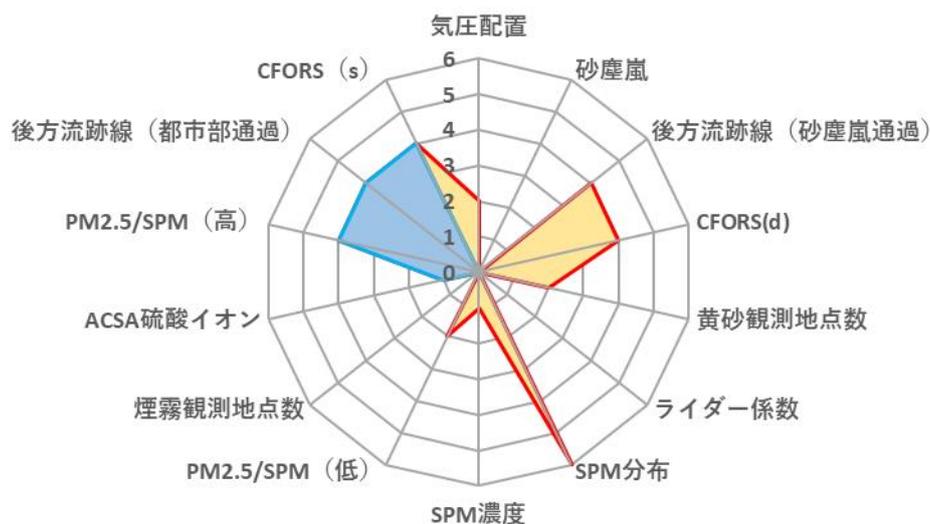


図 4-4-2- 1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

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								

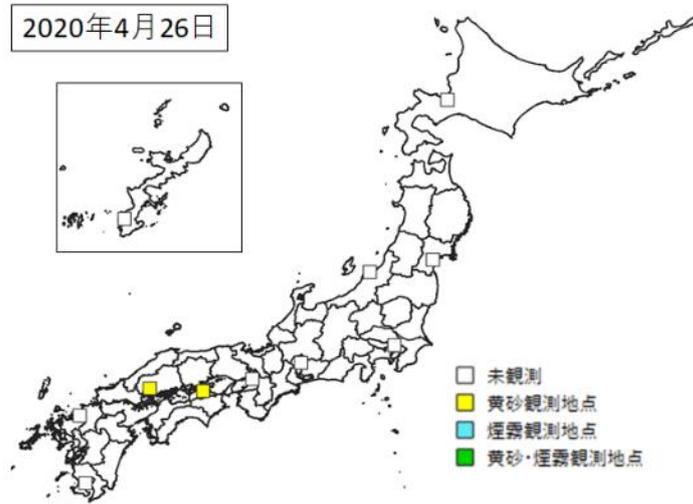


図 4-4-2-2 黄砂観測地点

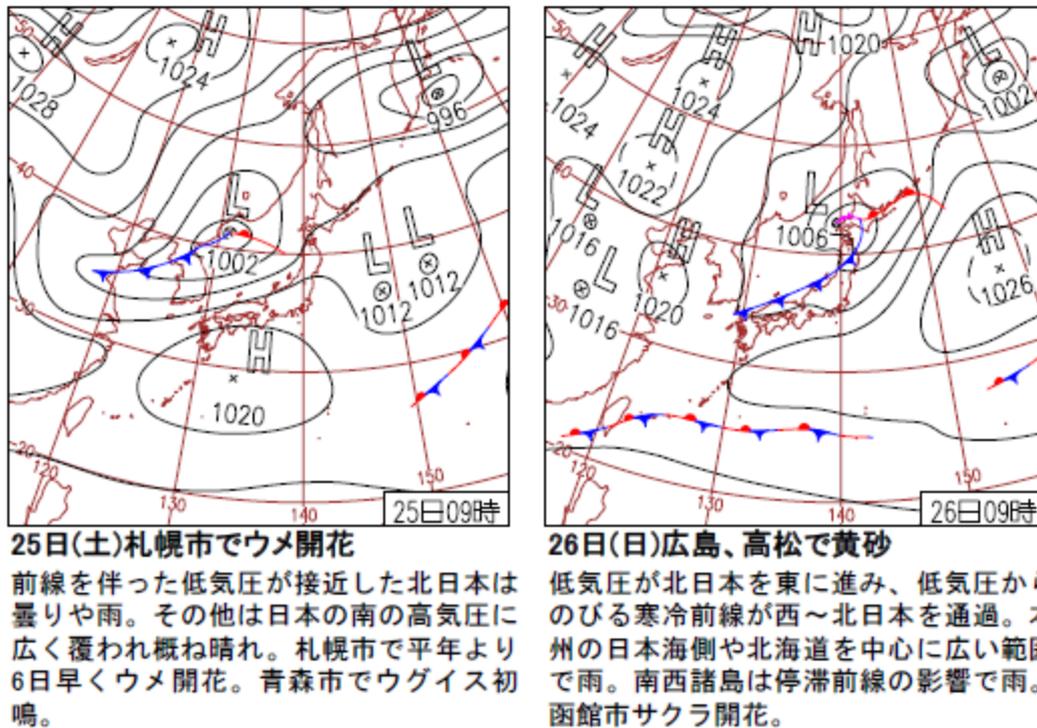


図 4-4-2-3 天気図

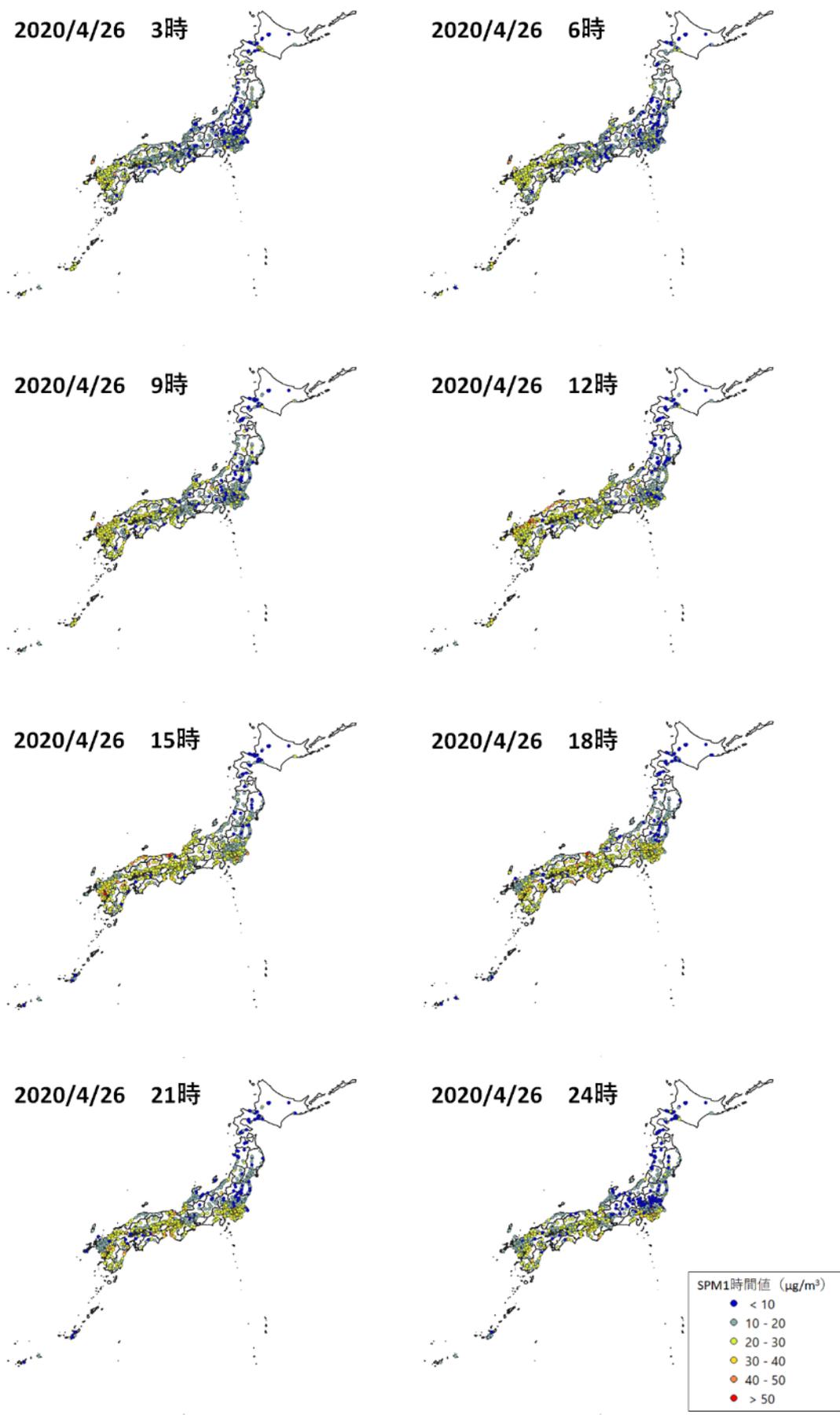


図 4-4-2-4 SPM1 時間値濃度全国分布 (2020 年 4 月 26 日)

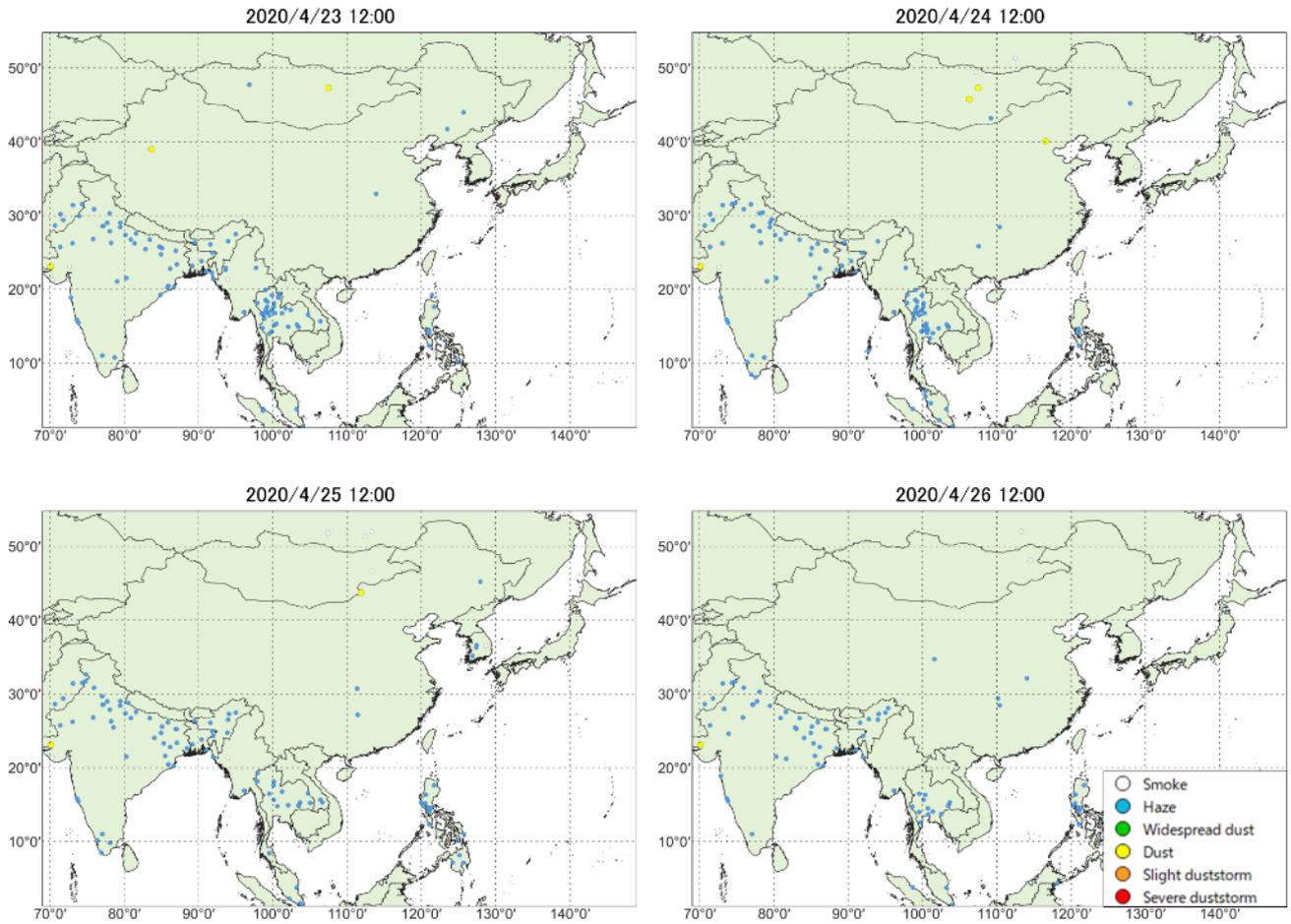


図 4-4-2-5 砂塵嵐発生状況

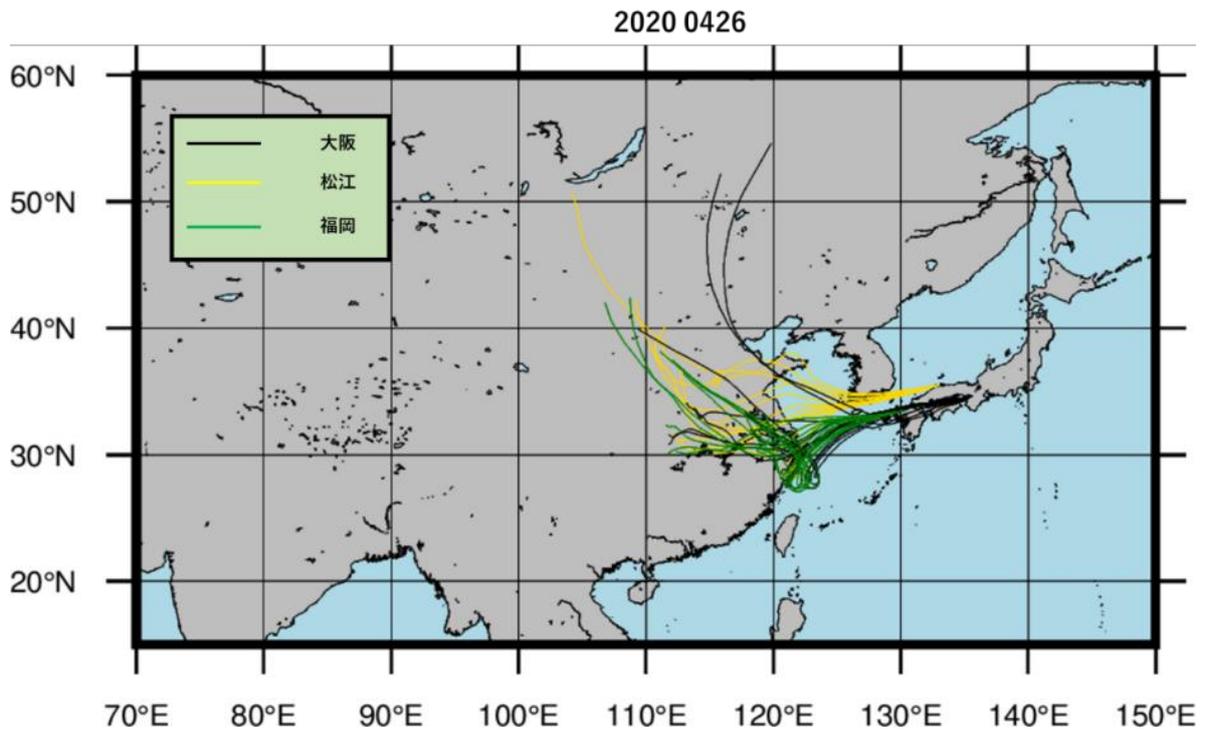


図 4-4-2-6 後方流跡線 (72 時間前より)

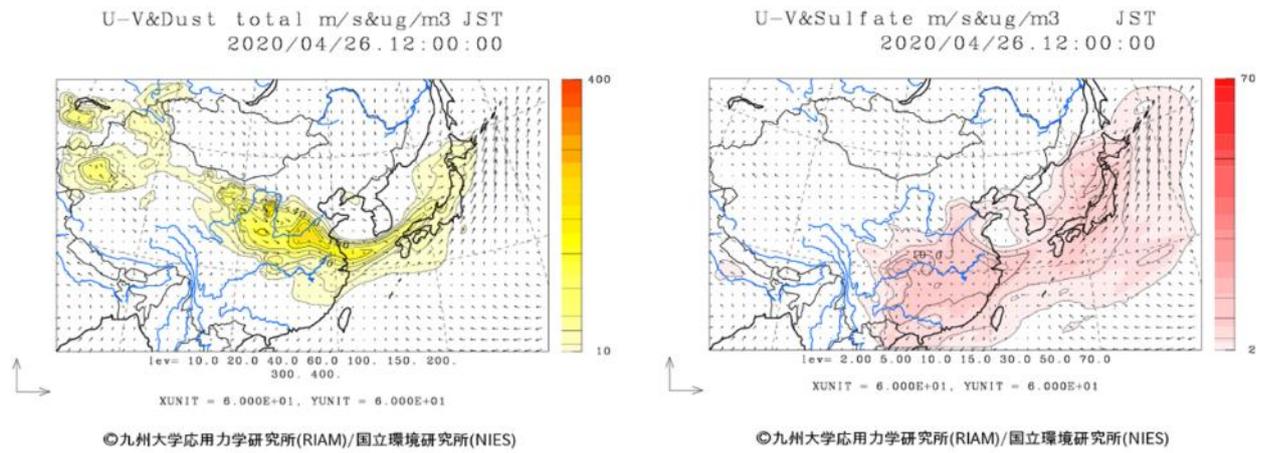


図 4-4-2-7 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果

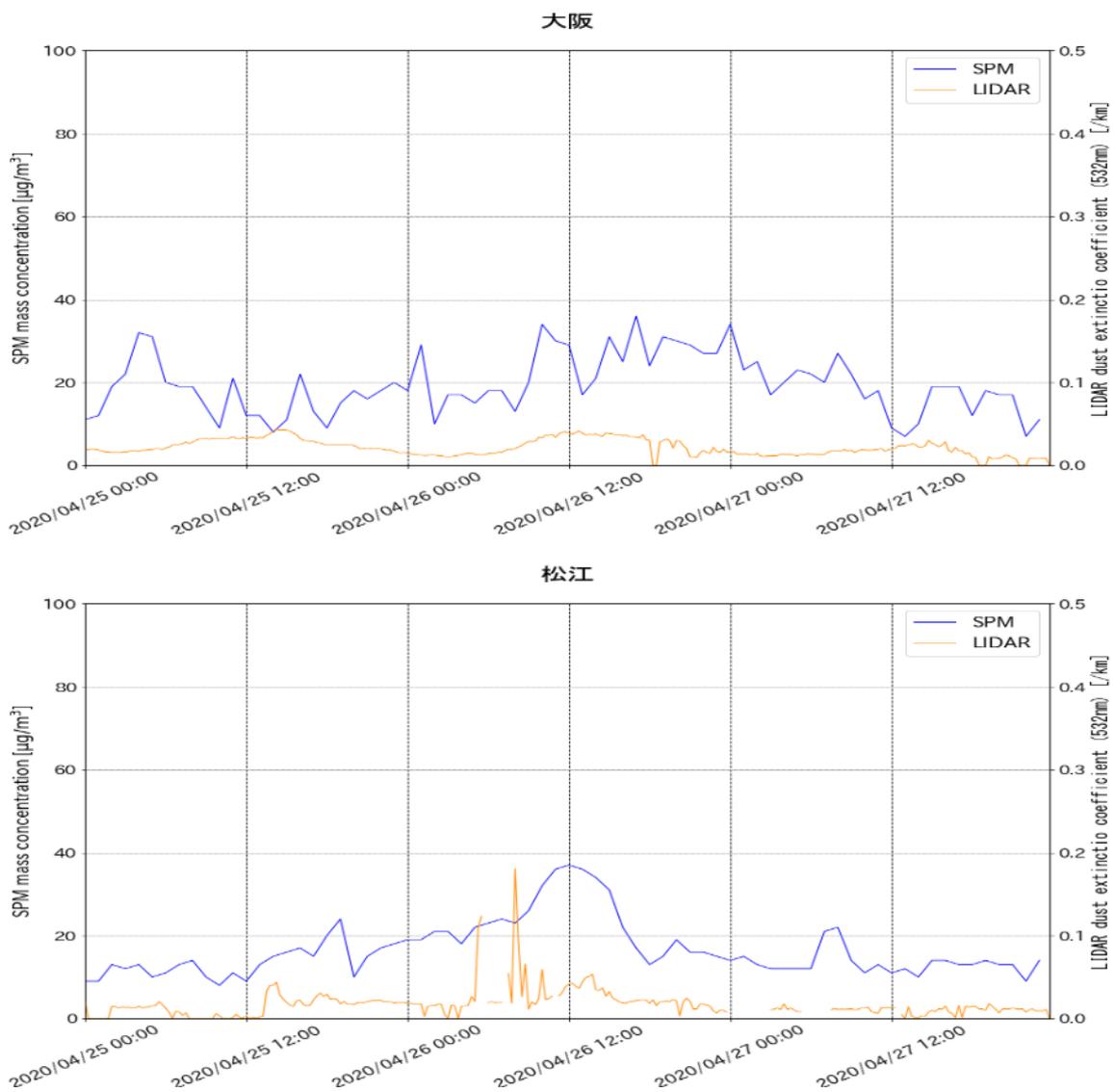


図 4-4-2-8 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪・松江)

2020/4/26

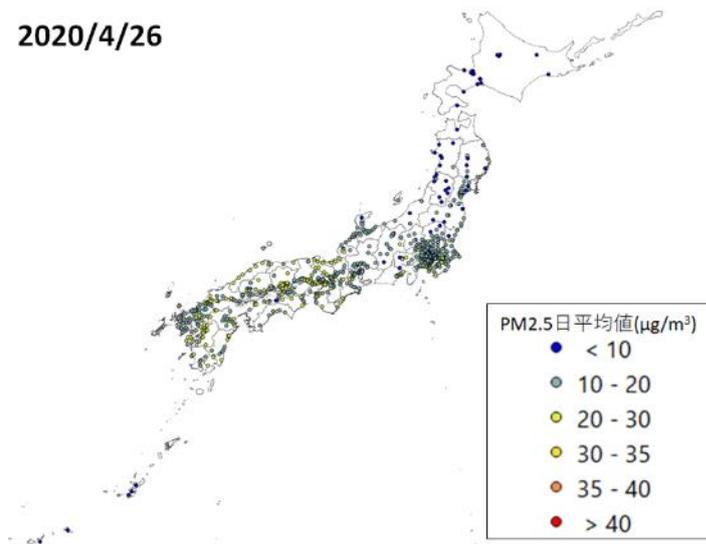


図 4-4-2-9 PM2.5 日平均值全国分布

2020/4/26

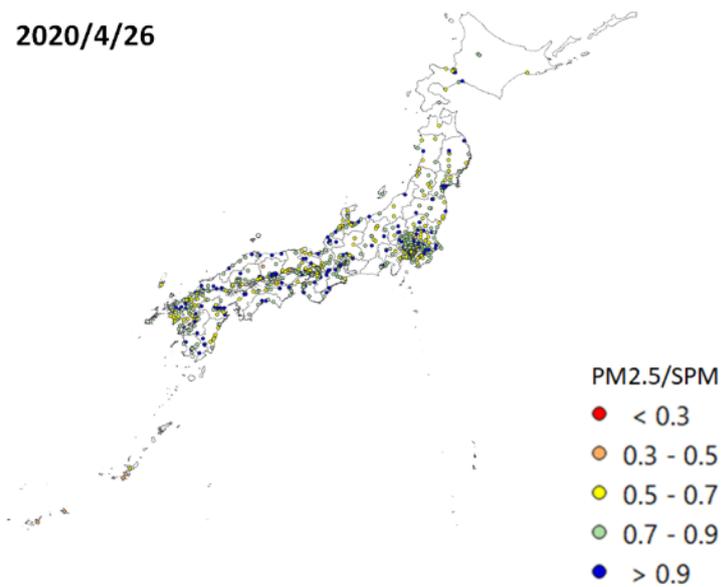
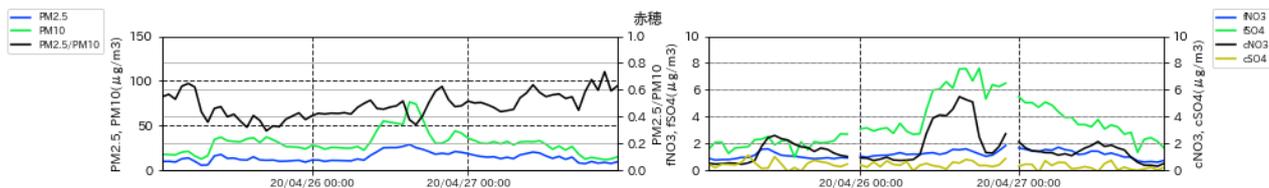


図 4-4-2-10 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布



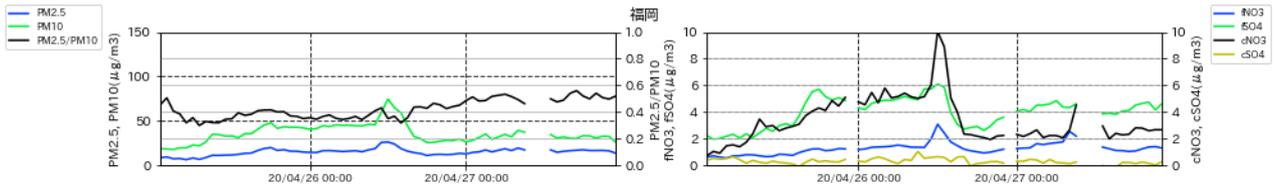


図 4-4-2-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

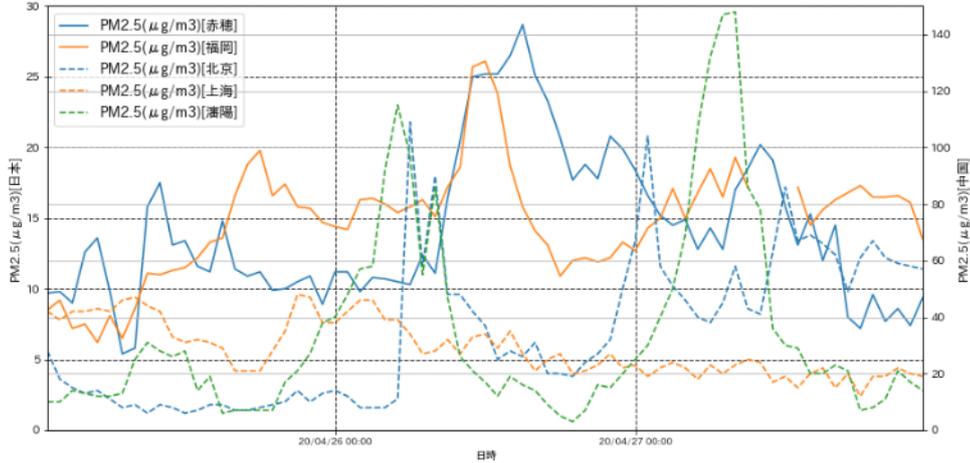


図 4-4-2-12 日本・中国での PM2.5 濃度

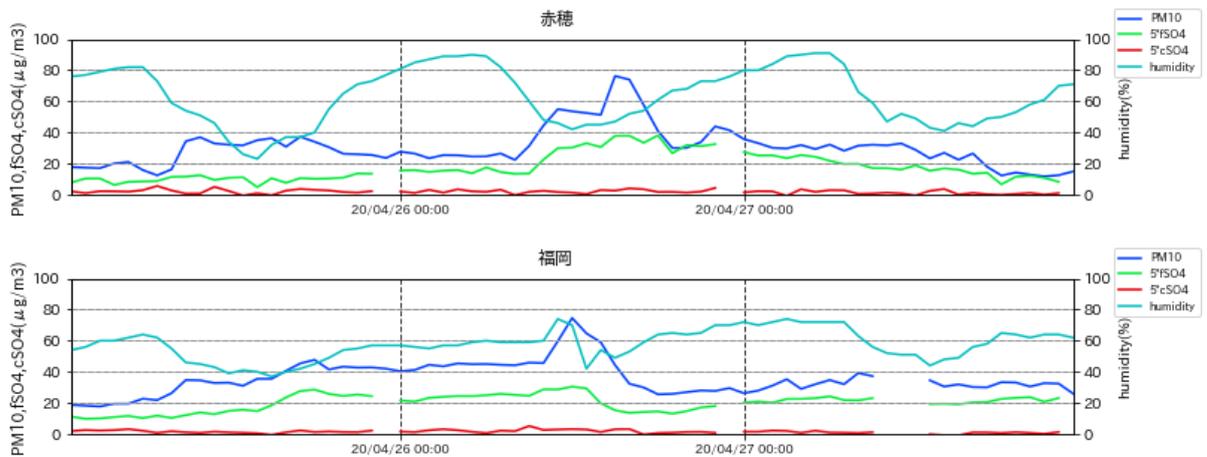


図 4-4-2-13 PM10、 fSO_4^2 、 cSO_4^2 、湿度の経時変化。 fSO_4^2 、 cSO_4^2 は値を 5 倍にしてある。

(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。

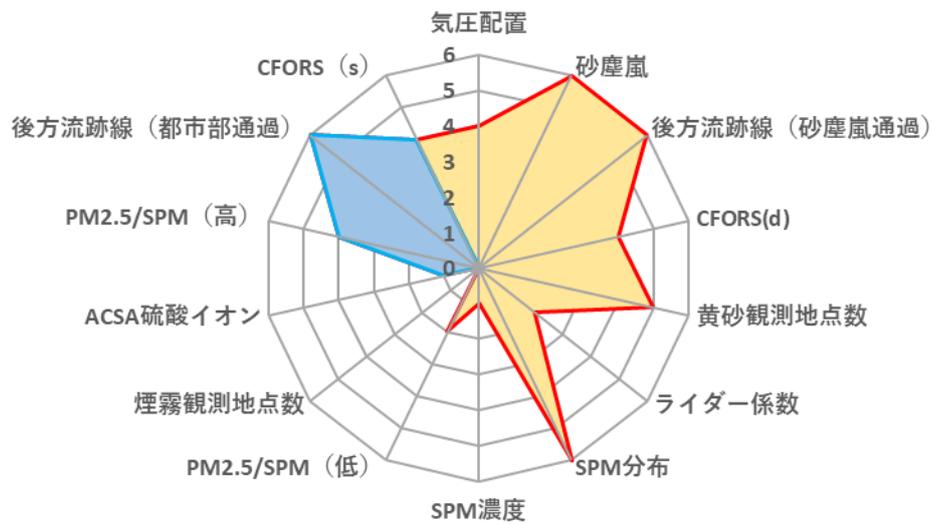


図 4-4-3-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

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					

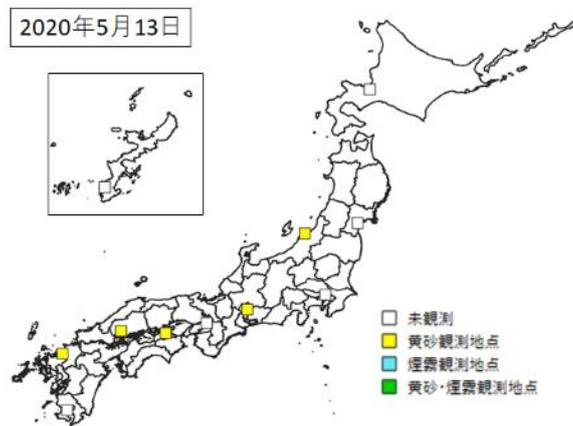
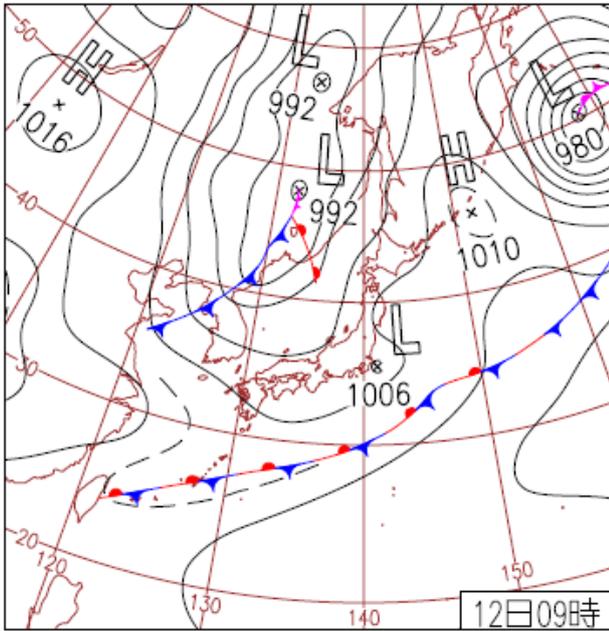
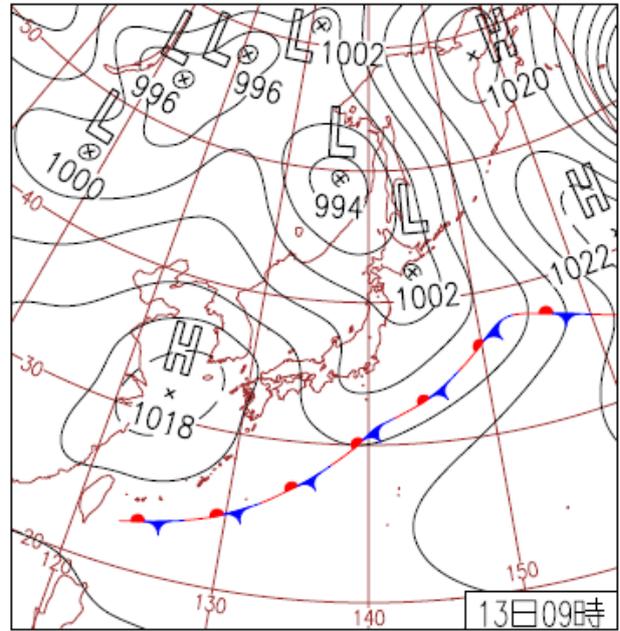


図 4-4-3-2 黄砂観測地点



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

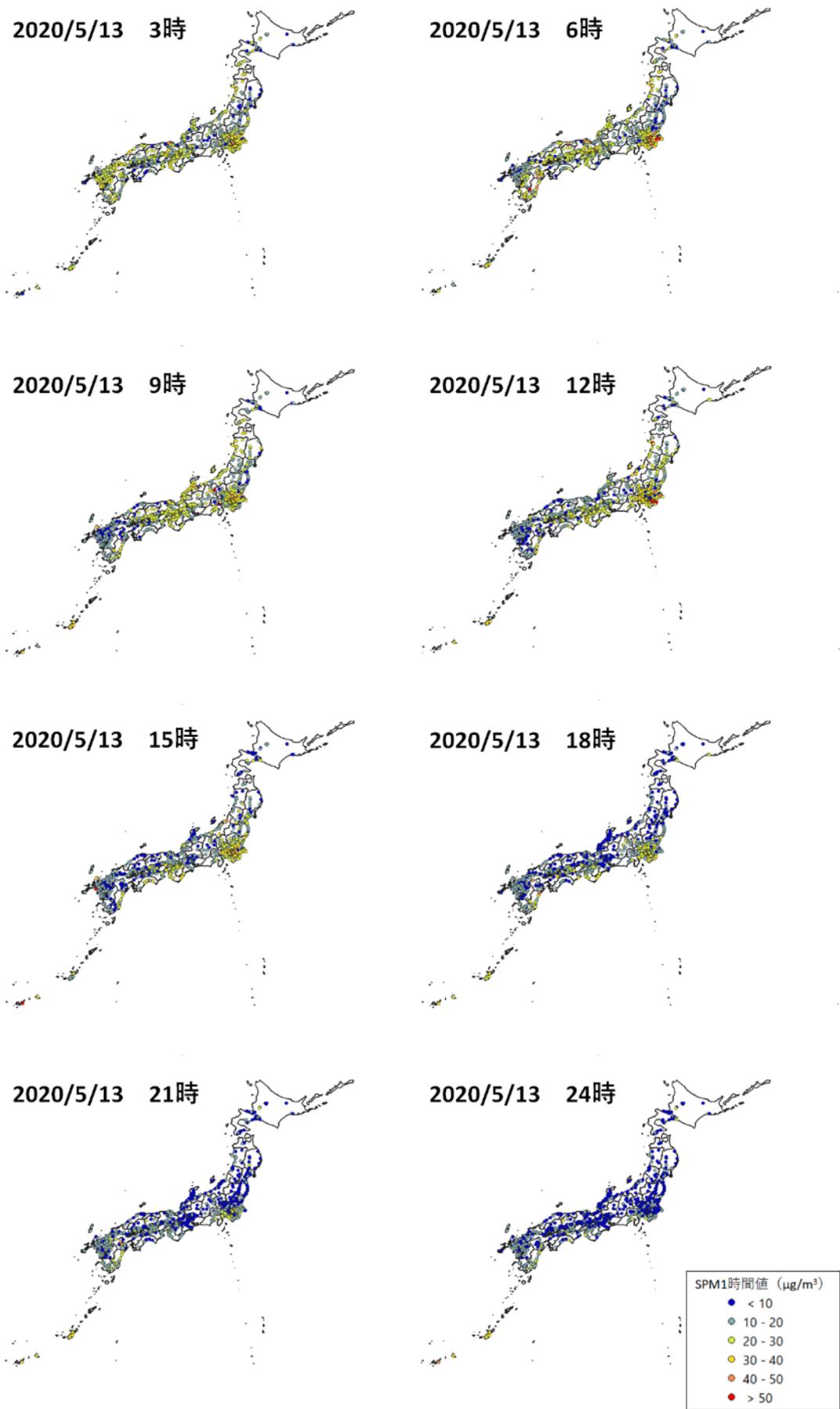


図 4-4-3-4 SPM1 時間値濃度全国分布 (2020 年 5 月 13 日)

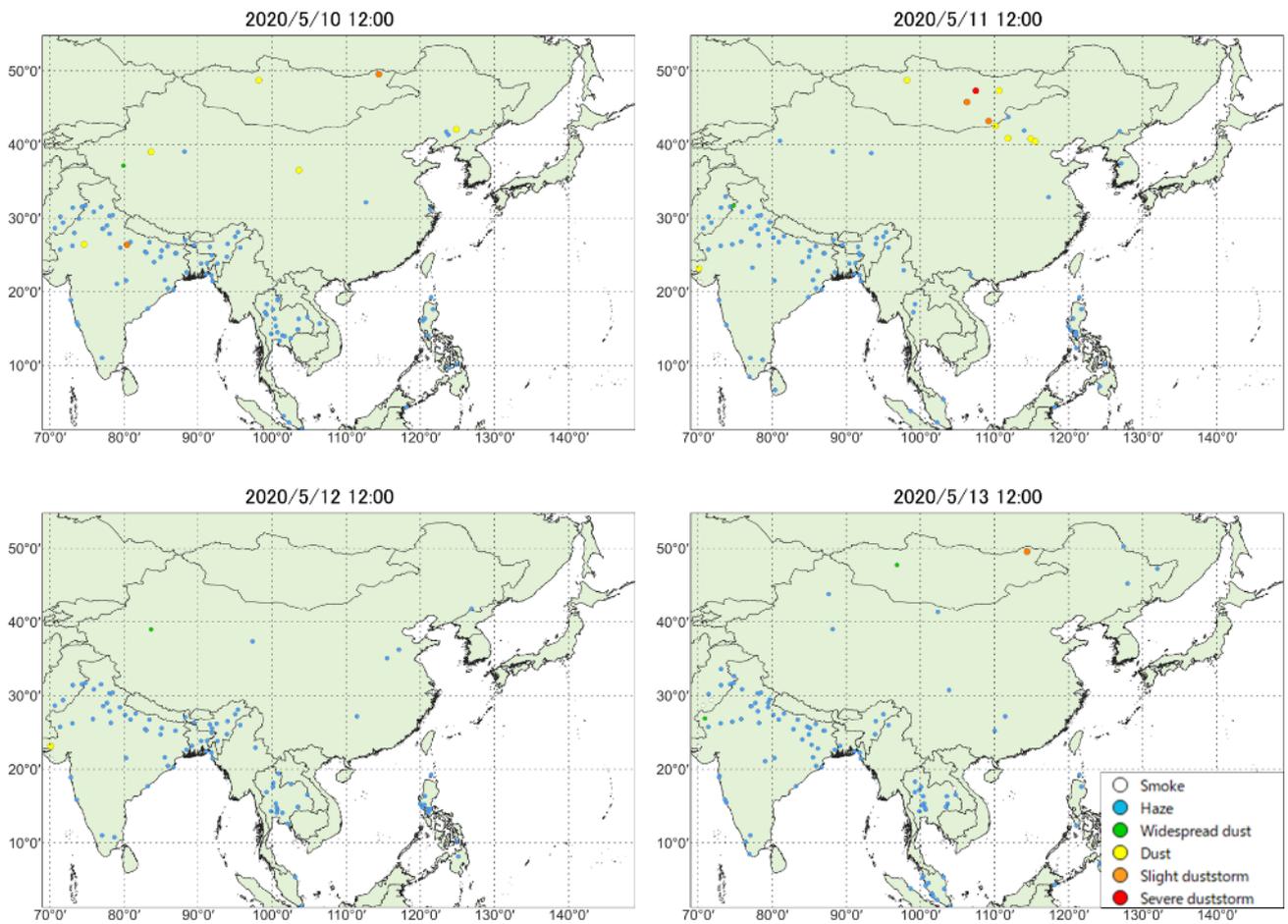


図 4-4-3- 5 砂塵嵐発生状況

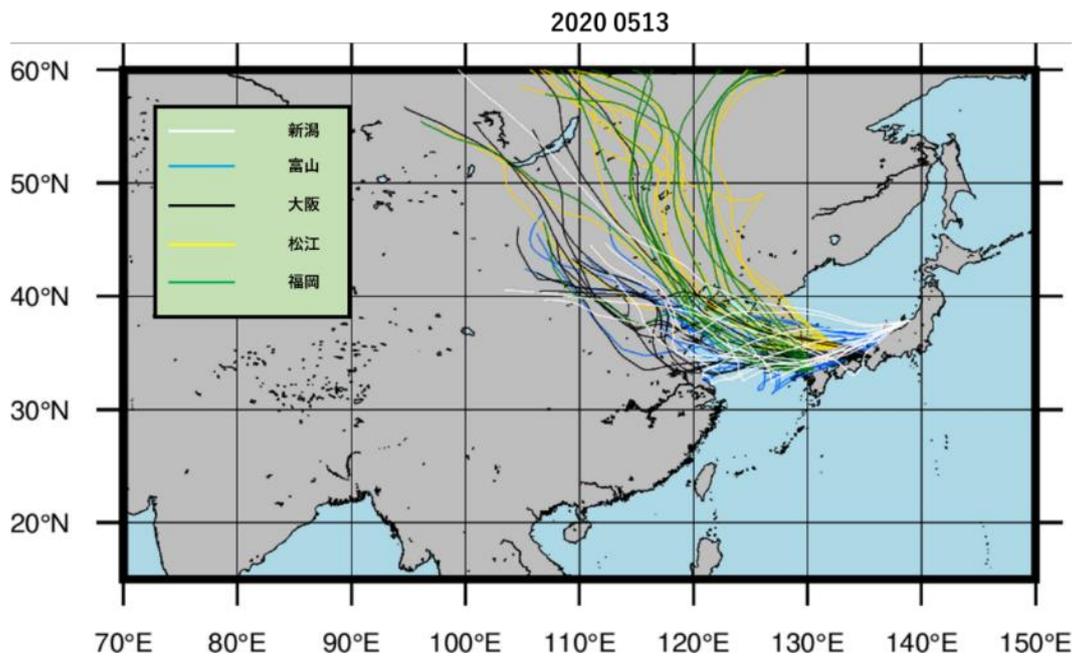


図 4-4-3- 6 後方流跡線 (72 時間前より)

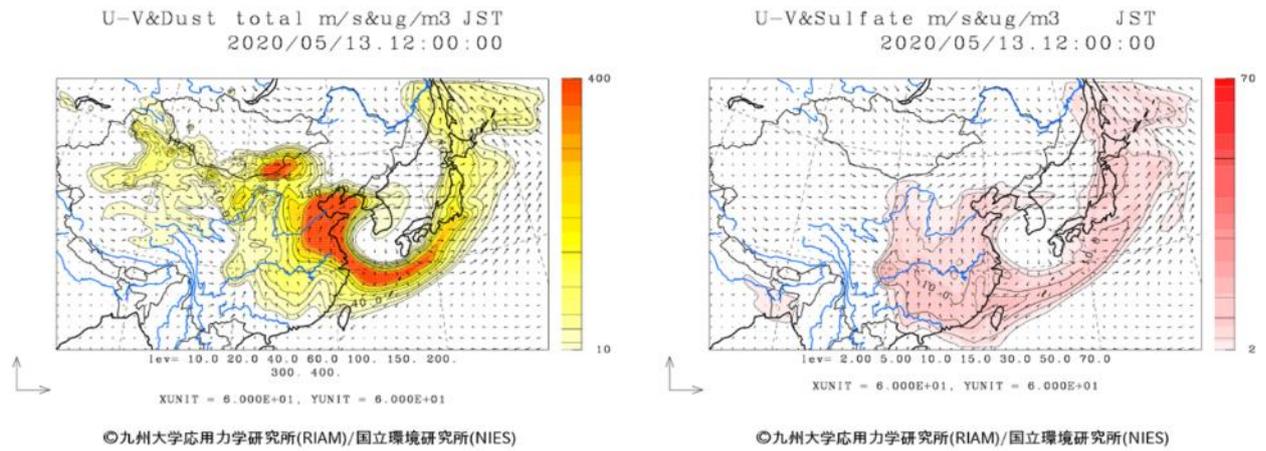
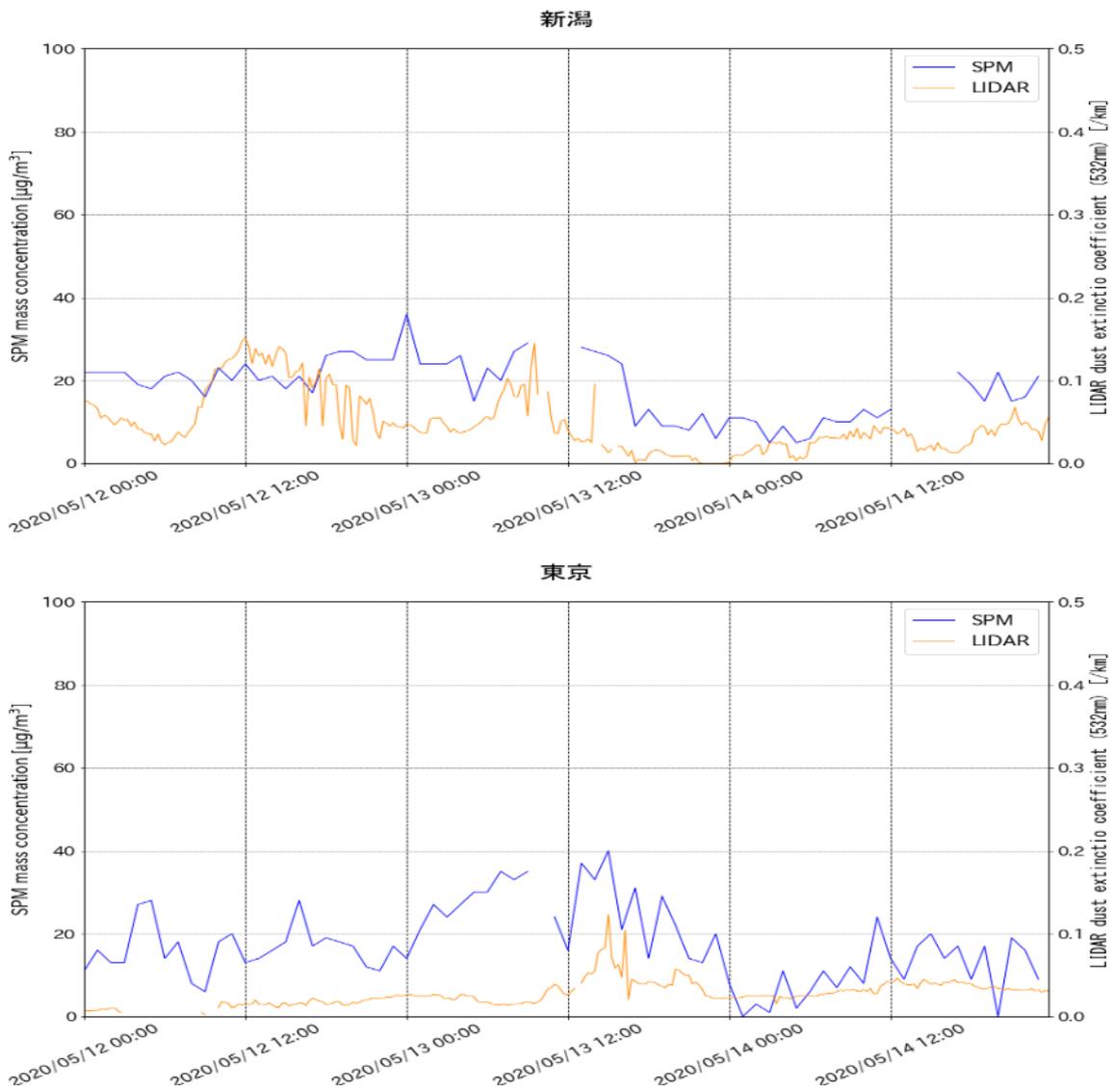


図 4-4-3-7 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果



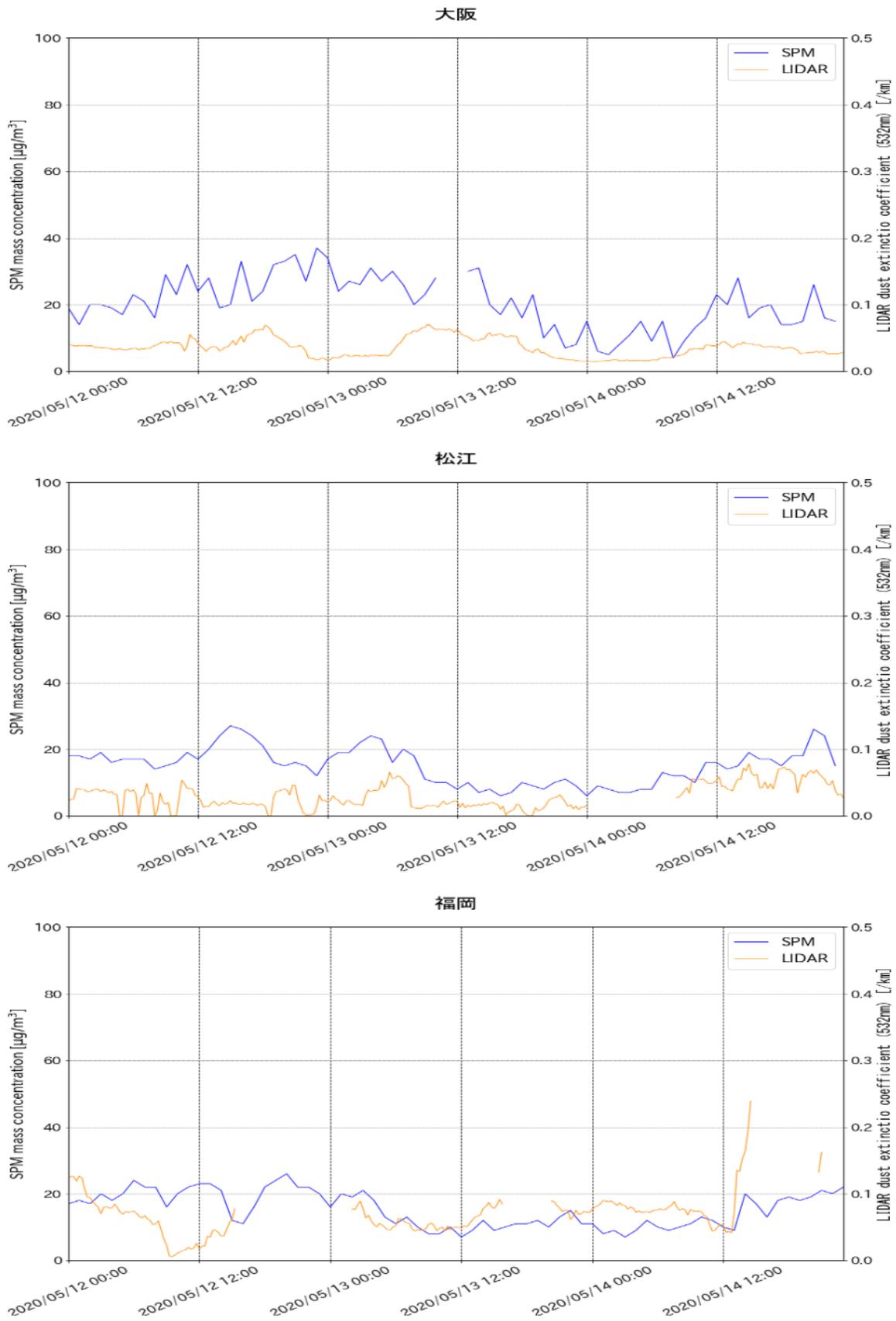


図 4-4-3-8 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (新潟・東京・大阪・松江・福岡)

2020/5/13

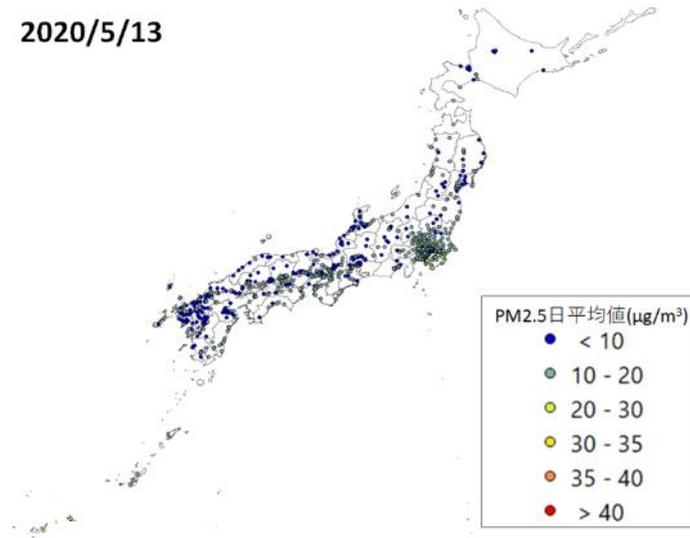


図 4-4-3-9 PM2.5 日平均値全国分布

2020/5/13

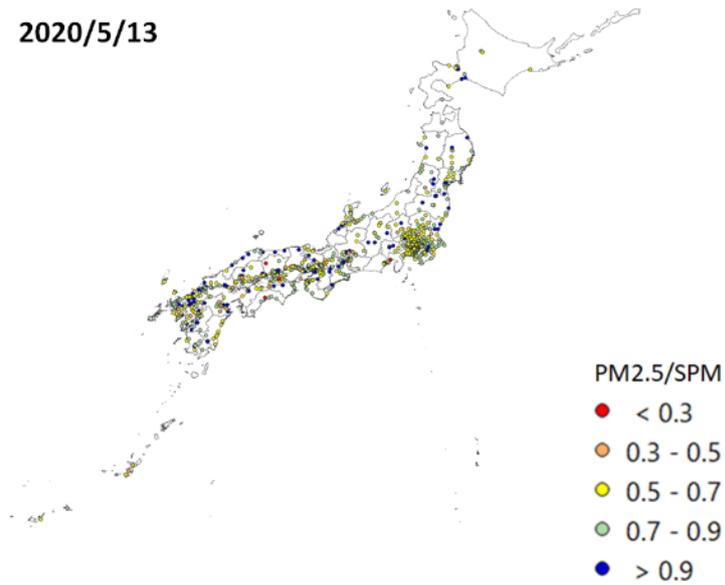


図 4-4-3-10 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

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 mg/m^3 以下であり、かつ、1時間値が 0.20 mg/m^3 以下であること

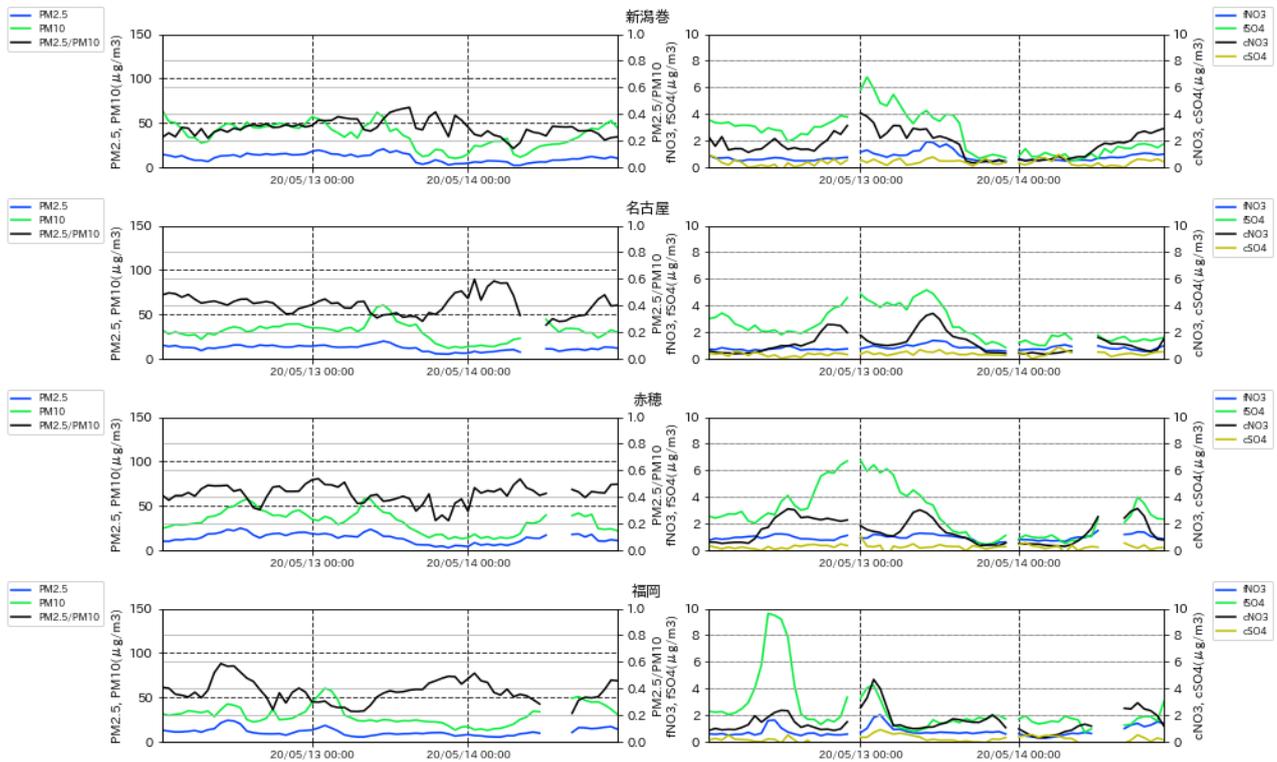


図 4-4-3-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

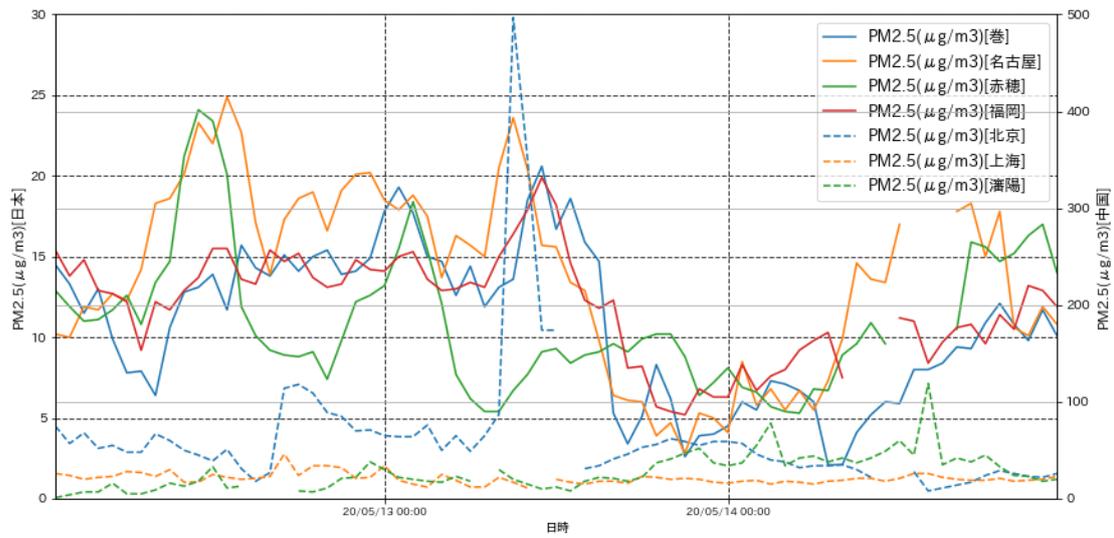


図 4-4-3-12 日本・中国での PM2.5 濃度

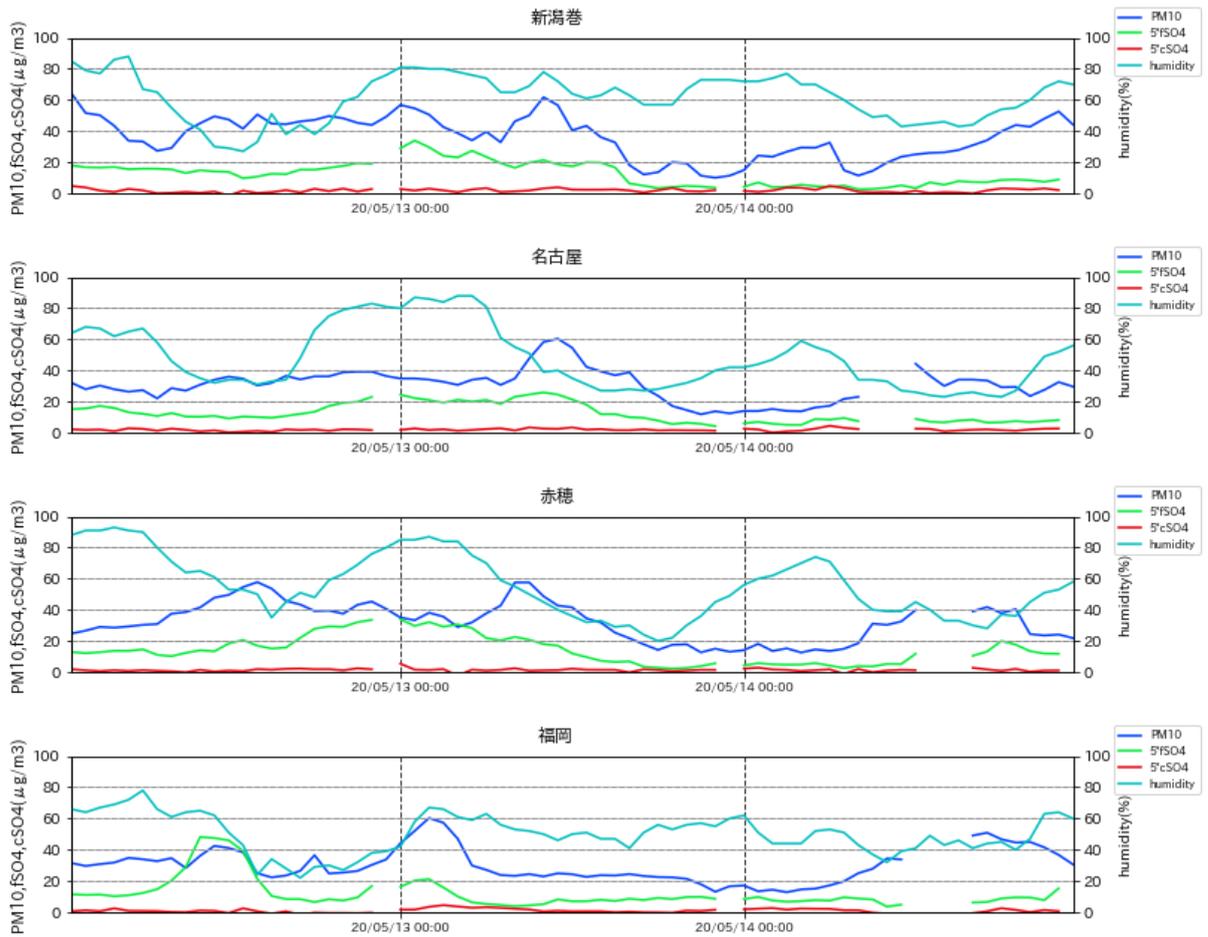


図 4-4-3-13 PM10、 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} 、湿度の経時変化。 fSO_4^{2-} 、 cSO_4^{2-} は値を 5 倍にしてある。

(4) 黄砂事例 4 2020 年 5 月 15 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-4-1、図 4-4-4-2 に示すとおりである。5 月 15 日に新潟における 1 地点となった。

天気図(図 4-4-4-3) をみると、黄砂観測の前日、日本付近は広く高気圧に覆われていた。黄砂観測日の 5 月 15 日には大陸からの低気圧が東進している様子が見られる。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布をみると、全国的に濃度は低い地域が多くみられたが、午後になると九州、瀬戸内地域で濃度が上昇する様子が見られた。しかし 21 時以降は濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下になる地点が増えており、濃度が減少していく様子が確認できた(図 4-4-4-4)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると(図 4-4-4-5)、黄砂観測前の 5 月 13 日、14 日にモンゴルの広い範囲で Dust、Duststorm が発生している様子が見られる。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、新潟、富山における流跡線は 5 月 13 日に Duststorm が発生していた地域を通過しているように見え、大陸からの移流による黄砂の輸送はこの Slight Duststorm による可能性が示唆される(図 4-4-4-6)。さらに、CFORS においては、Dust 及び Sulfate に関して、大陸からの影響が示されている(図 4-4-4-7)。

新潟におけるライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化を比較すると(図 4-4-4-8)、黄砂観測日の前日である 5 月 14 日に黄砂消散係数がやや増加している傾向が見られる。SPM 濃度は、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ に近い値を保っていた。PM_{2.5} の日平均値は全国的に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 4-4-4-9)。

図 4-4-4-10 及び表 4-4-4-2 には、各測定局における PM_{2.5}/SPM 比とその値が 0.3 以下になった値を示している。図 3-4-10 の全国分布では、黄砂が観測されていない地方にも、PM_{2.5}/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、PM_{2.5}/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM_{2.5}、SPM それぞれの日平均値を表 3-4-2 にまとめた。5 月 15 日は計 4 地点で PM_{2.5}/SPM 比の値が 0.3 以下となったが、SPM の日平均値及び PM_{2.5} 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、PM_{2.5}/SPM 比が 0.3 以下となったと考えられる。

また、黄砂観測日である 5 月 15 日の午前から夕方頃まで PM₁₀ が若干上昇傾向にあるが顕著な上昇ではない。PM_{2.5}/PM₁₀ は高い値が継続している。人為起源系汚染物質の fSO₄²⁻は、黄砂観測日の夕方頃にピークとなっているが高い値とはなっていない。(図 4-4-4-11)。

なお、北京では、黄砂観測日前日の 5 月 14 日に、PM_{2.5} 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 4-4-4-12)。

また、本事例における湿度の時系列(図 4-4-4-13) に関しては黄砂飛来時の特徴は見られない。

以上の通り、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。

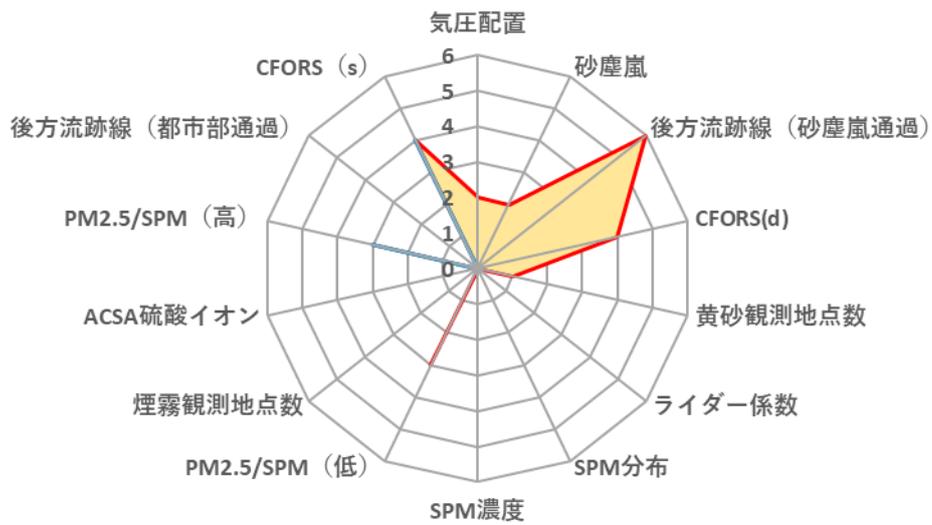


図 4-4-4-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-4-1 黄砂観測日

日付	地点数	観測地点名									
2020/5/15	1	新潟									

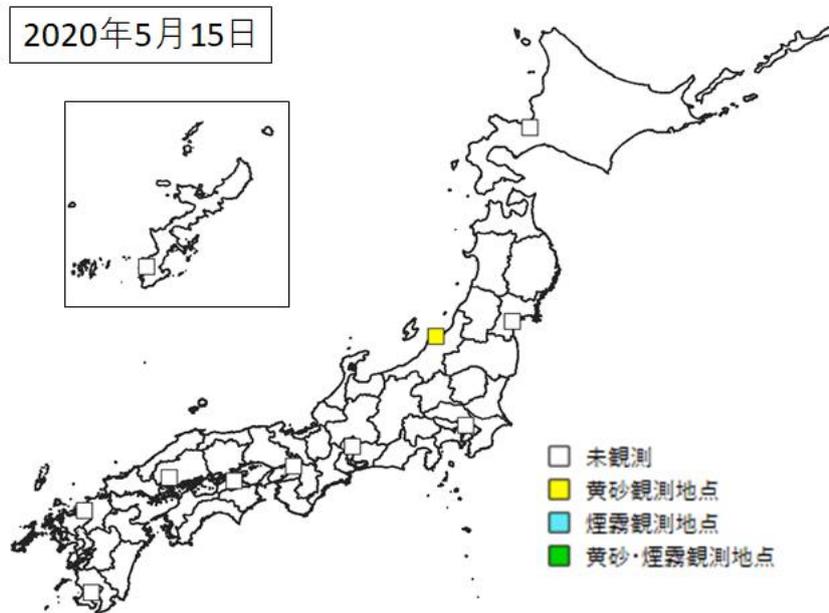
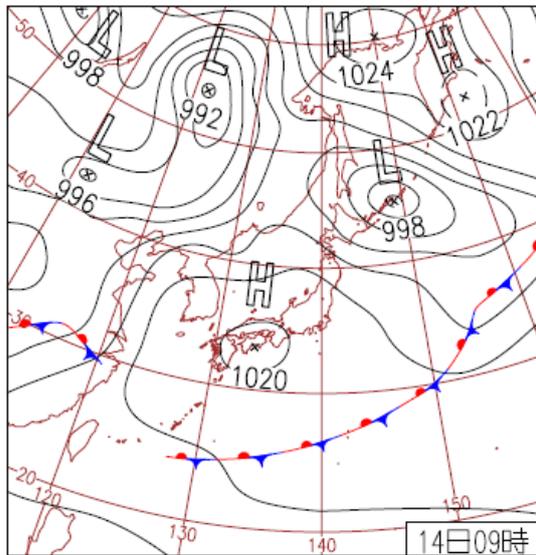
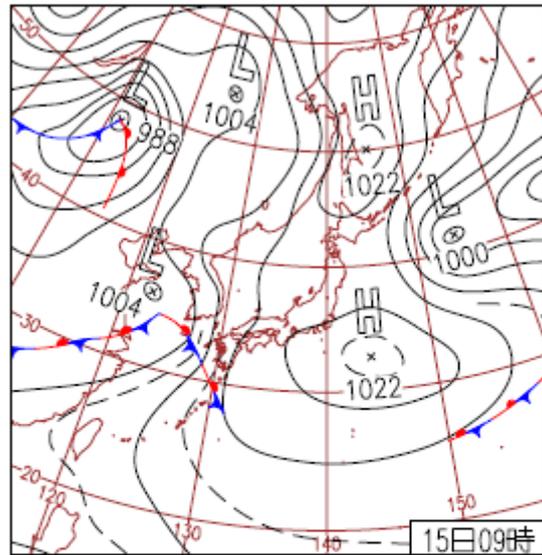


図 4-4-4-2 黄砂観測地点



14日(木)乾燥した晴天

高気圧の中心は夜には日本の東。日中は全国的に概ね晴れ。大分県日田で最高気温31.0℃、長野県松本で最小湿度9%。沖縄や北日本では気圧の谷や湿った空気の影響で一部で雨。



15日(金)西日本は次第に雨

東シナ海の前線や湿った空気の影響で西日本は次第に雨。鹿児島県枕崎では夜遅くに69.5mm/1hの非常に激しい雨。東日本～北日本も次第に曇って、東日本では夕方以降は雨に。

図 4-4-4-3 天気図

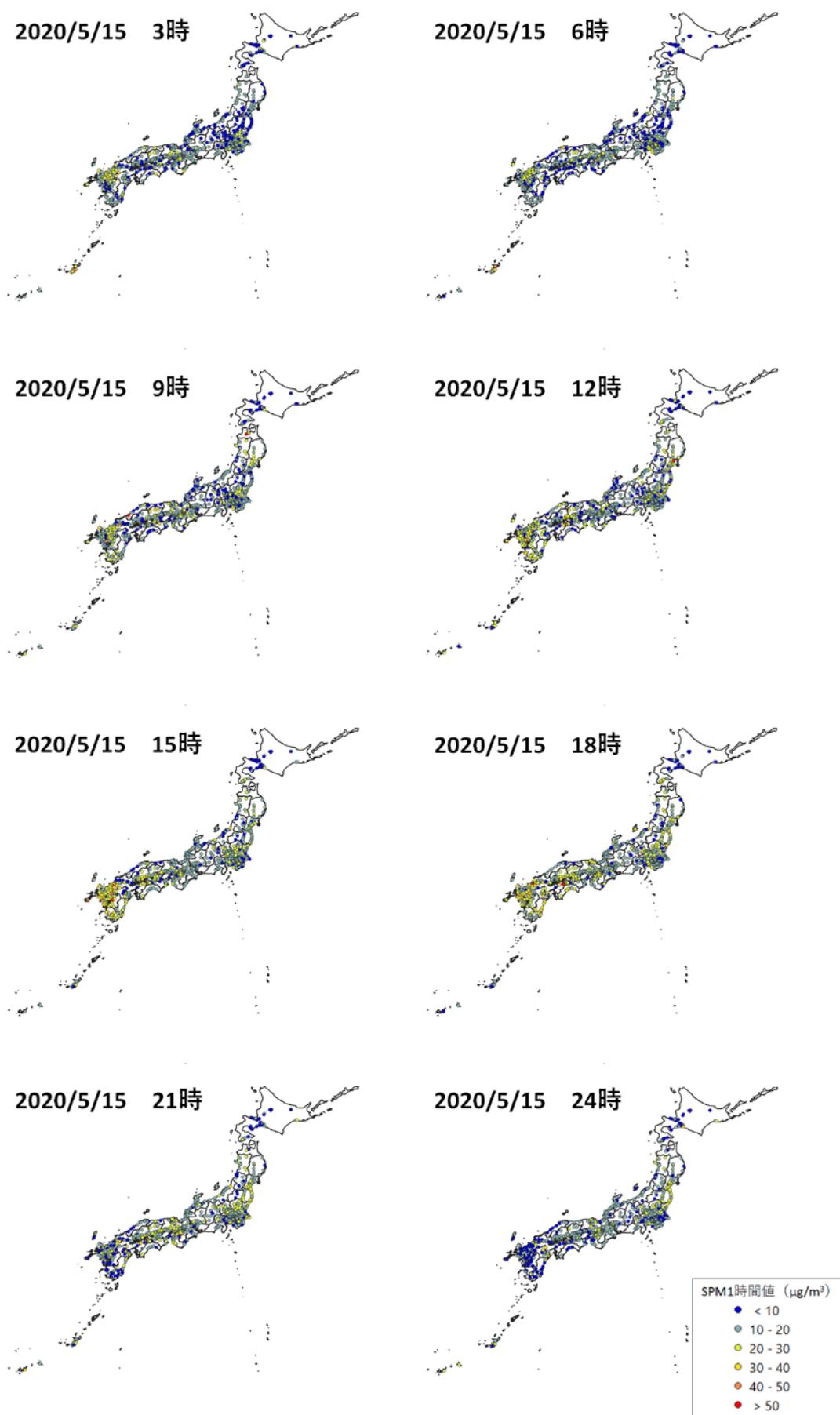


図 4-4-4 SPM1 時間値濃度全国分布 (2020 年 5 月 15 日)

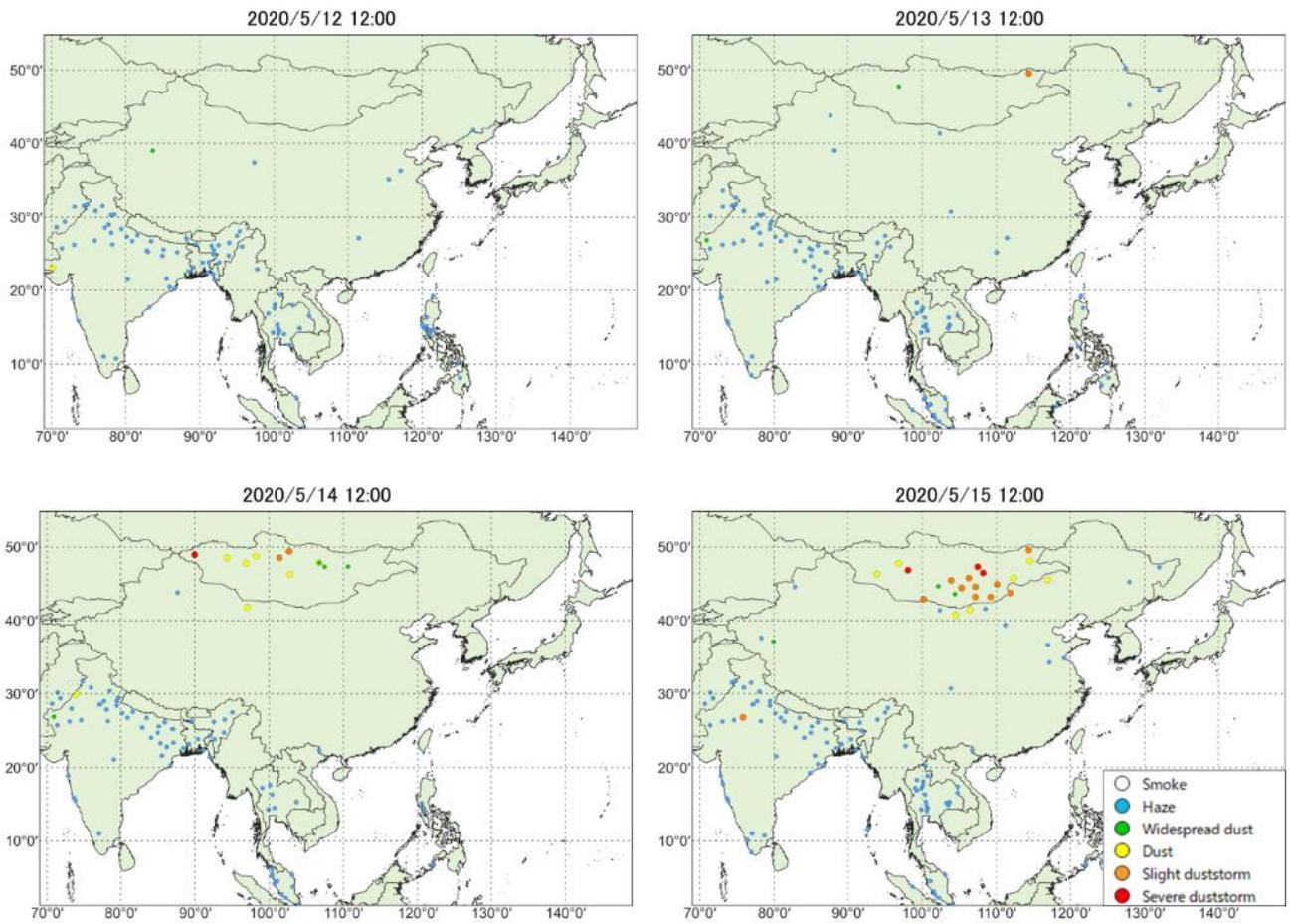


图 4-4-4-5 砂塵嵐発生状況

2020 0515

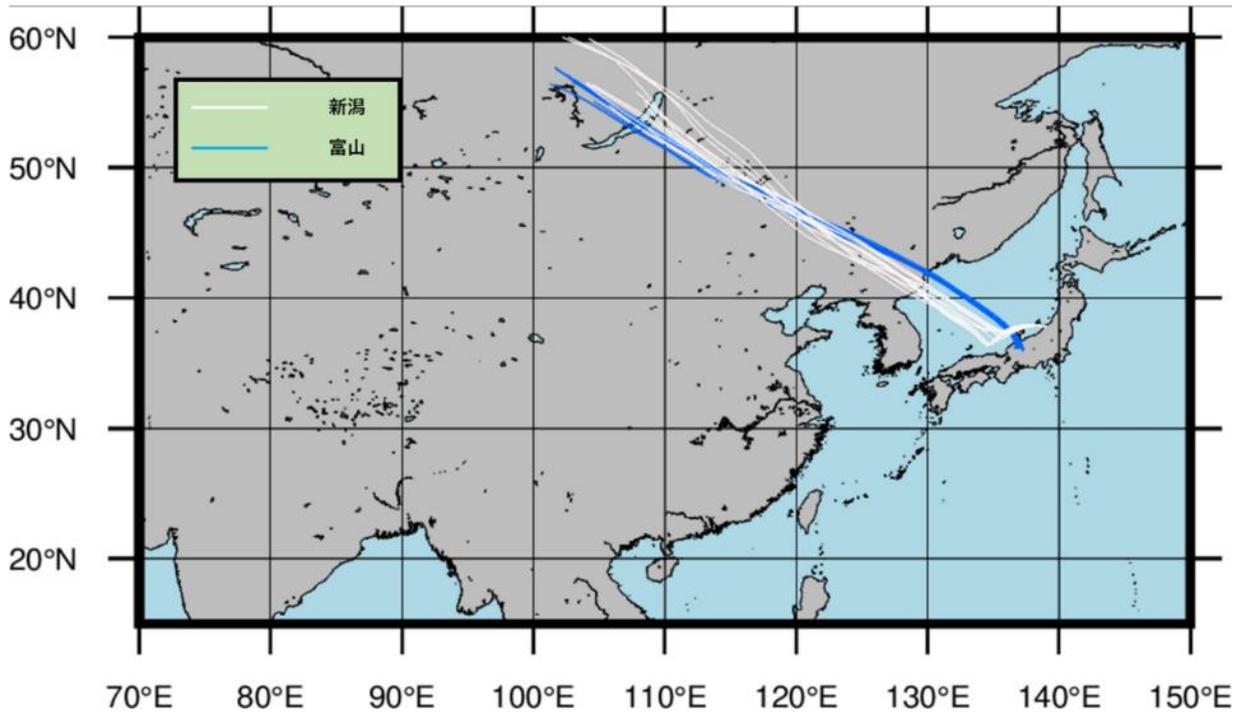


図 4-4-4-6 後方流跡線 (72 時間前より)

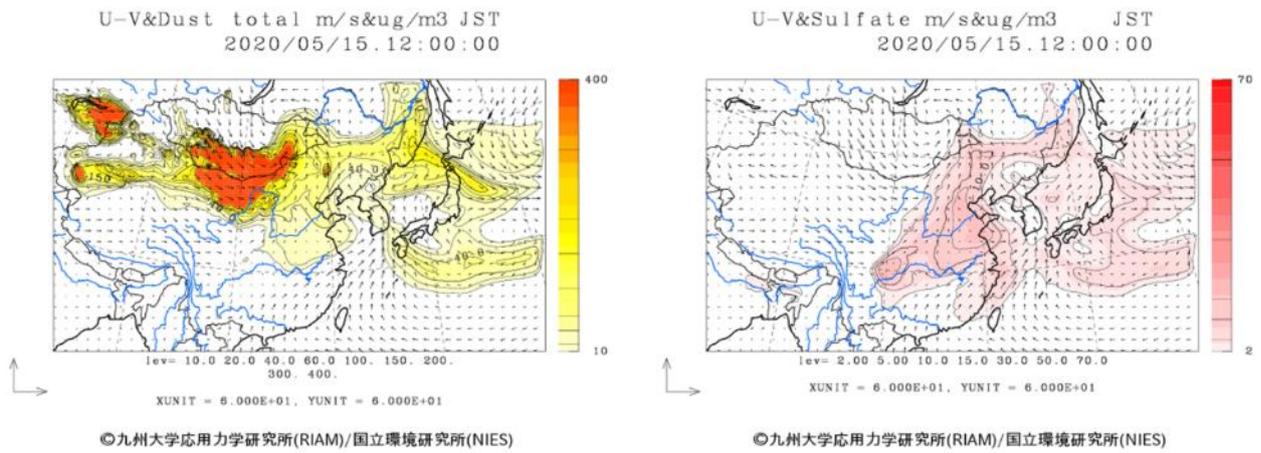


図 4-4-4-7 CFORS(dust (左図) —sulfate (右図))予測結果

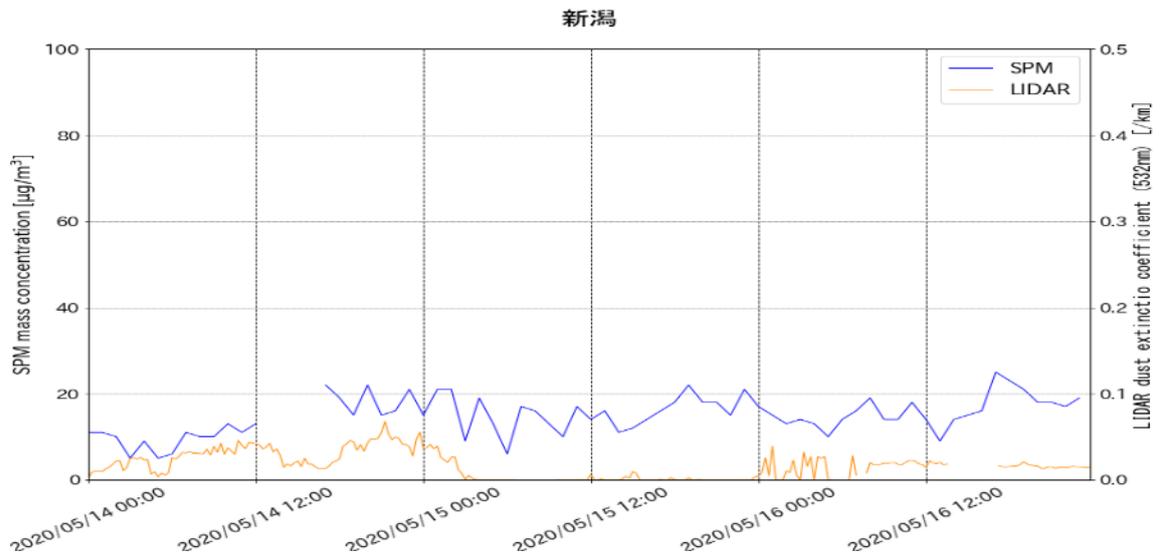


図 4-4-4-8 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化(新潟)

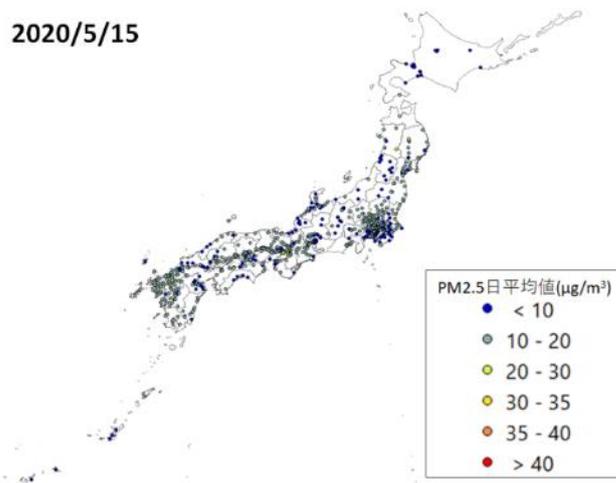


図 4-4-4-9 PM2.5 日平均値全国分布

2020/5/15

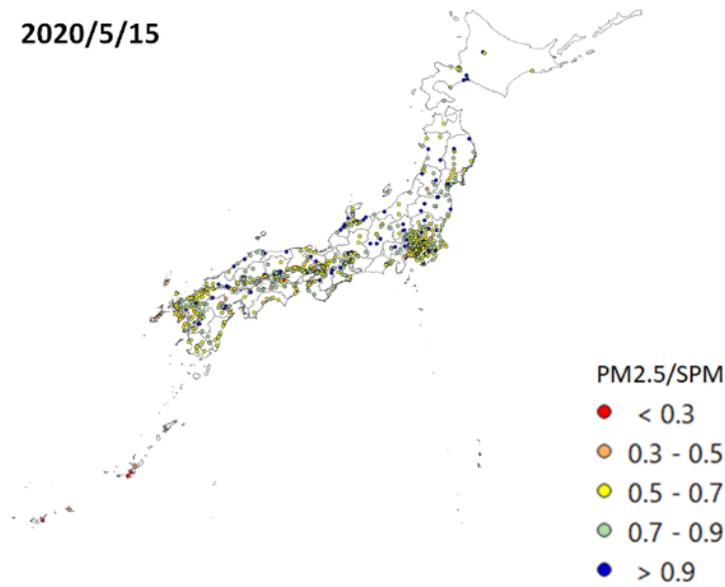


図 4-4-4-10 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

表 4-4-4-2 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
2020/5/15	37201090	香川県	4.06	15.88	0.26
	47211050	沖縄県	4.47	23.41	0.19
	47207020	沖縄県	5.41	22.76	0.24
	47201140	沖縄県	5.35	18.53	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

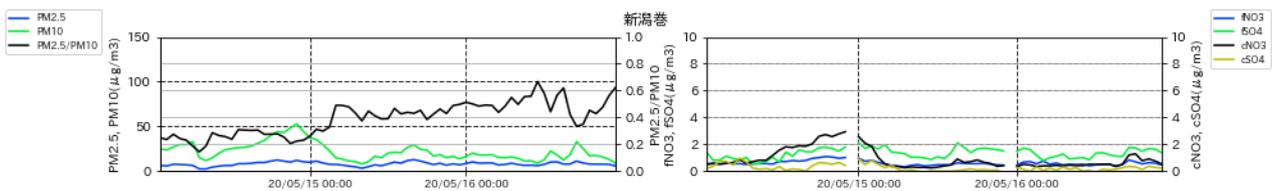


図 4-4-4-11 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

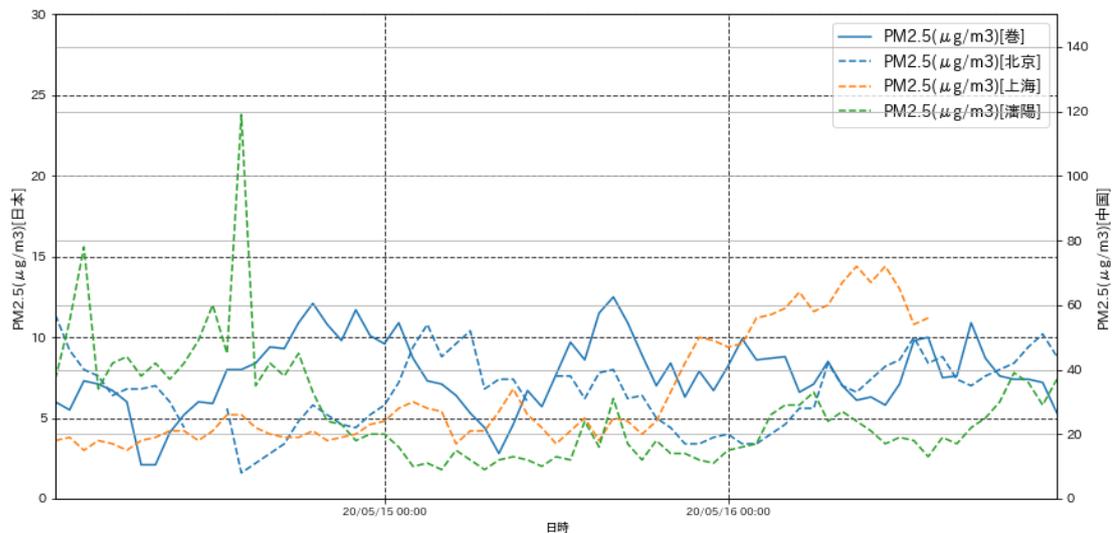


図 4-4-12 日本と中国での PM2.5 濃度

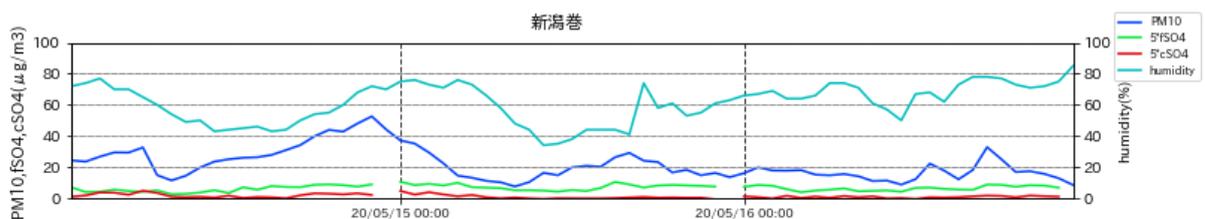


図 4-4-13 PM10、fSO₄²⁻、cSO₄²⁻、湿度の経時変化。ただし、湿度は新潟のデータを使用した。fSO₄²⁻、cSO₄²⁻は値を 5 倍にしてある。

(5) 黄砂事例 5 2021 年 1 月 14 日～16 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-5-1、図 4-4-5-2 に示すとおりである。観測期間中の 1 月 14 日から 16 日に広島、新潟、福岡における 3 地点で観測された。

天気図(図 4-4-5-3) をみると、黄砂観測の前日、大陸には低気圧がいくつかあり、黄砂観測日には東進している様子が見える。さらに観測期間中の 15 日に大陸にあった別の低気圧が 16 日に向け日本へ東進していた。

この期間 SPM の 3 時間ごとの全国分布をみると、14 日に西日本で観測された 30~40μg/m³ の SPM 濃度が、東日本に拡大していく様子が見て取れる。翌 15 日には瀬戸内地域で 50μg/m³ を超える地点が所々確認できるが、瀬戸内地域から各地方に拡大していく様子が見られなかった。このことから、瀬戸内地域で発生した局所的な影響によるものだと考えられる。15 日には高濃度域が西に流れていく様子が見られ、東日本では 10μg/m³ 以下となる地点が多く見られた(図 4-4-5-4 から図 4-4-5-6)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると(図 4-4-5-7)、黄砂観測前の 1 月 11 日にモンゴルの西部、南部で Duststorm が発生しており、中国、内モンゴル自治区では 11 日、12 日に Dust が発生している様子が見られる。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、黄砂が観測された地点もしくはその近傍の地点における流跡線は 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と思われる(図 4-4-5- 8)。CFORS 予測結果からは、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見られる (図 4-4-5- 9)。

ライダー黄砂消散係数 (図 4-4-5- 10) は、黄砂が観測された地点に近い新潟・松江・福岡のデータを参照したが、新潟は気象の影響 (しゅう雨・雪) により全て欠損となっていたため、ここには掲載していない。松江では、黄砂観測日の前日である 1 月 13 日から黄砂消散係数が上昇し、その後も高い値を保っている様子が見られる。SPM 濃度も、黄砂消散係数とほぼ同時に上昇し、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となっている。福岡における黄砂消散係数・SPM 濃度の変化は、松江ほど顕著ではないものの、1 月 16 日正午において同時に変化している様子が見られる。PM_{2.5} の日平均値は東日本では濃度が低いが、西日本の広い範囲で $20\sim 35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を観測しており、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 4-4-5- 11)。

図 4-4-5- 12 及び表 4-4-5-2 には、各測定局における PM_{2.5}/SPM 比とその値が 0.3 以下になった値を示している。図 3-5-10 の全国分布では、黄砂が観測されていない地方にも、PM_{2.5}/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、PM_{2.5}/SPM 比の値が 0.3 以下となった地点における PM_{2.5}、SPM それぞれの日平均値を表 3-4-2 にまとめた。1 月 14 日は計 7 地点、1 月 15 日は計 4 地点、1 月 16 日は計 4 地点で PM_{2.5}/SPM 比の値が 0.3 以下となったが、SPM の日平均値及び PM_{2.5} 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、PM_{2.5}/SPM 比が 0.3 以下となったと考えられる。

また、広島で黄砂が観測された 1 月 14 日の正午前から夕方にかけて、赤穂において PM₁₀ の上昇に伴い、PM_{2.5}/PM₁₀ 比が減少しているのがわかる。同じ時間帯に人為起源系汚染物質の SO₄²⁻、NO₃⁻ が粗大粒子、微小粒子ともに赤穂で上昇し、cNO₃⁻ で $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるピークとなっている。PM₁₀、PM_{2.5}/PM₁₀ 比の特徴は黄砂観測期間中の 15 日、16 日の新潟、16 日の福岡でも同様にみられる (図 4-4-5- 13)。

なお、北京では、黄砂観測日前日の 1 月 13 日に、PM_{2.5} 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 4-4-5- 14)。

また、本事例における湿度の時系列 (図 4-4-5- 15) に関しては PM₁₀ の上昇に伴わずかな湿度の減少がみられるが顕著ではない。

以上の通り、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。

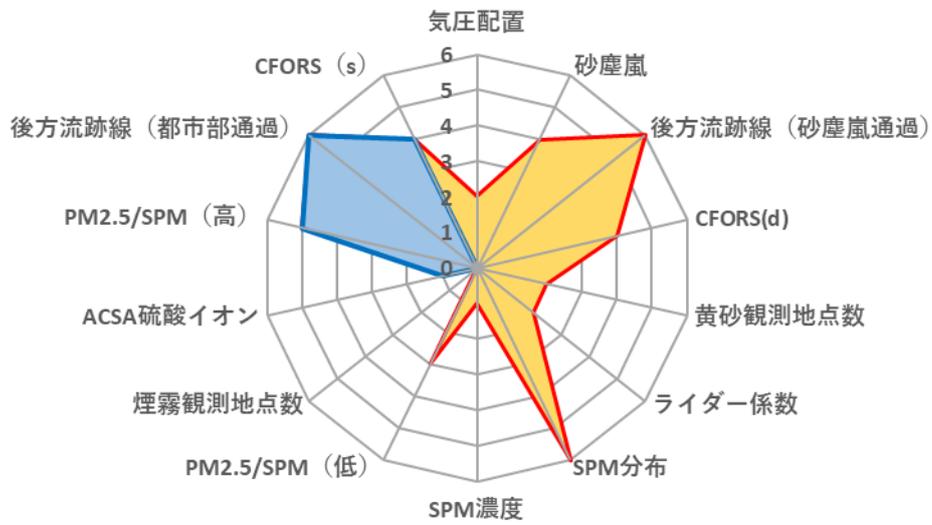
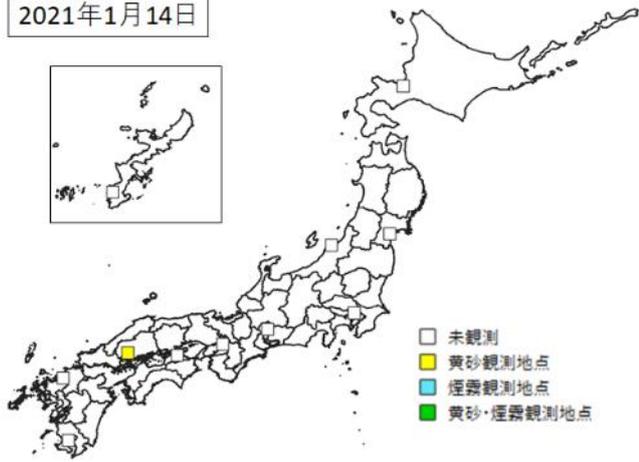


図 4-4-5-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

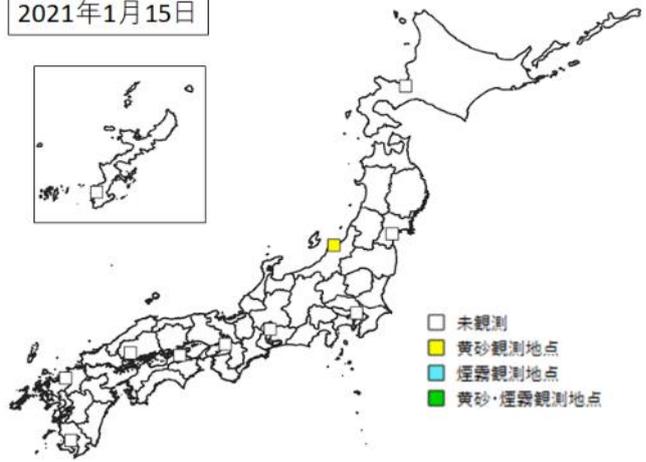
表 4-4-5-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名										
2021/1/14	1	広島										
2021/1/15	1	新潟										
2021/1/16	2	新潟	福岡									

2021年1月14日



2021年1月15日



2021年1月16日

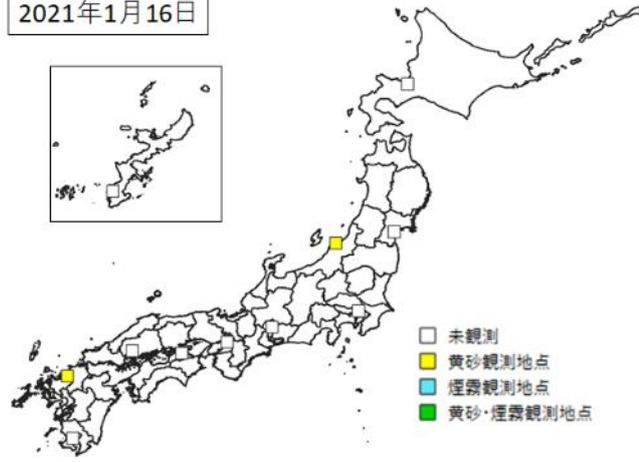
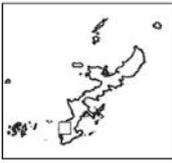
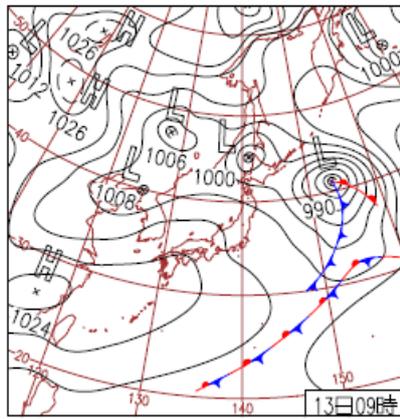
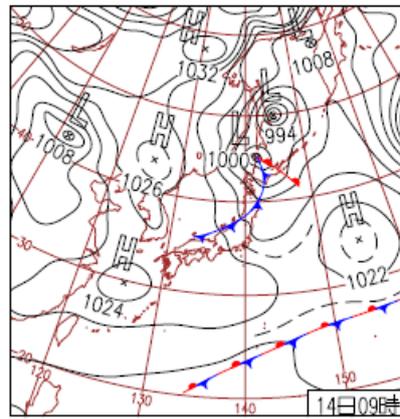


图 4-4-5-2 黄砂観測地点



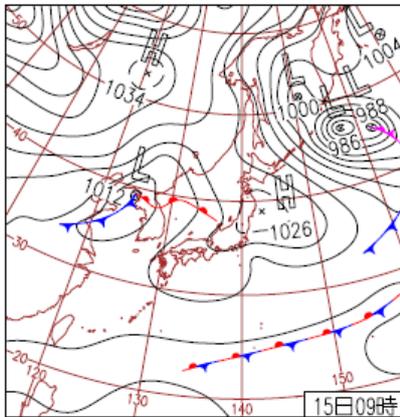
13日(水)寒気弱まる

大陸から東シナ海に高気圧が移動し、午後は前線を伴った低気圧が日本海を東進。沖縄～西日本、東日本太平洋側は晴れや曇り。北陸や北日本は雪や雨で朝晩は雷を伴う所も。



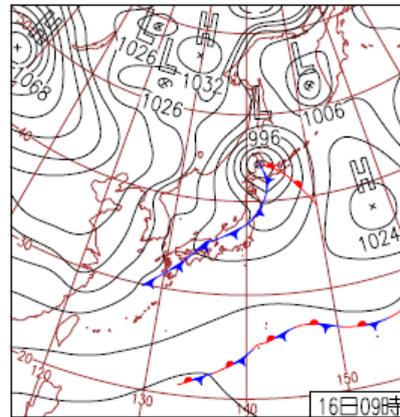
14日(木)広島で黄砂

低気圧が北海道付近を東北東に進み、寒冷前線が北日本を通過。北陸や北日本は雪や雨。沖縄～西日本、東海、関東は高気圧に覆われ晴れ。西～東日本は最高気温が4月並の所も。



15日(金)西日本で春の陽気

関東は気圧の谷や湿った空気の影響で曇りや雨。北海道日本海側は屋頂まで所々雪。その他は高気圧に覆われ晴れ。西日本は暖気流入し、最高気温が4月並の所も。新潟で黄砂。



16日(土)全国的に気温上昇

低気圧が北海道付近を進み寒冷前線が本州を通過。西～北日本の広い範囲で雨や雪。全国的に気温が上がり、徳島県海陽20.4℃など最高気温が1月1位の所も。福岡、新潟で黄砂。

図 4-4-5-3 天気図

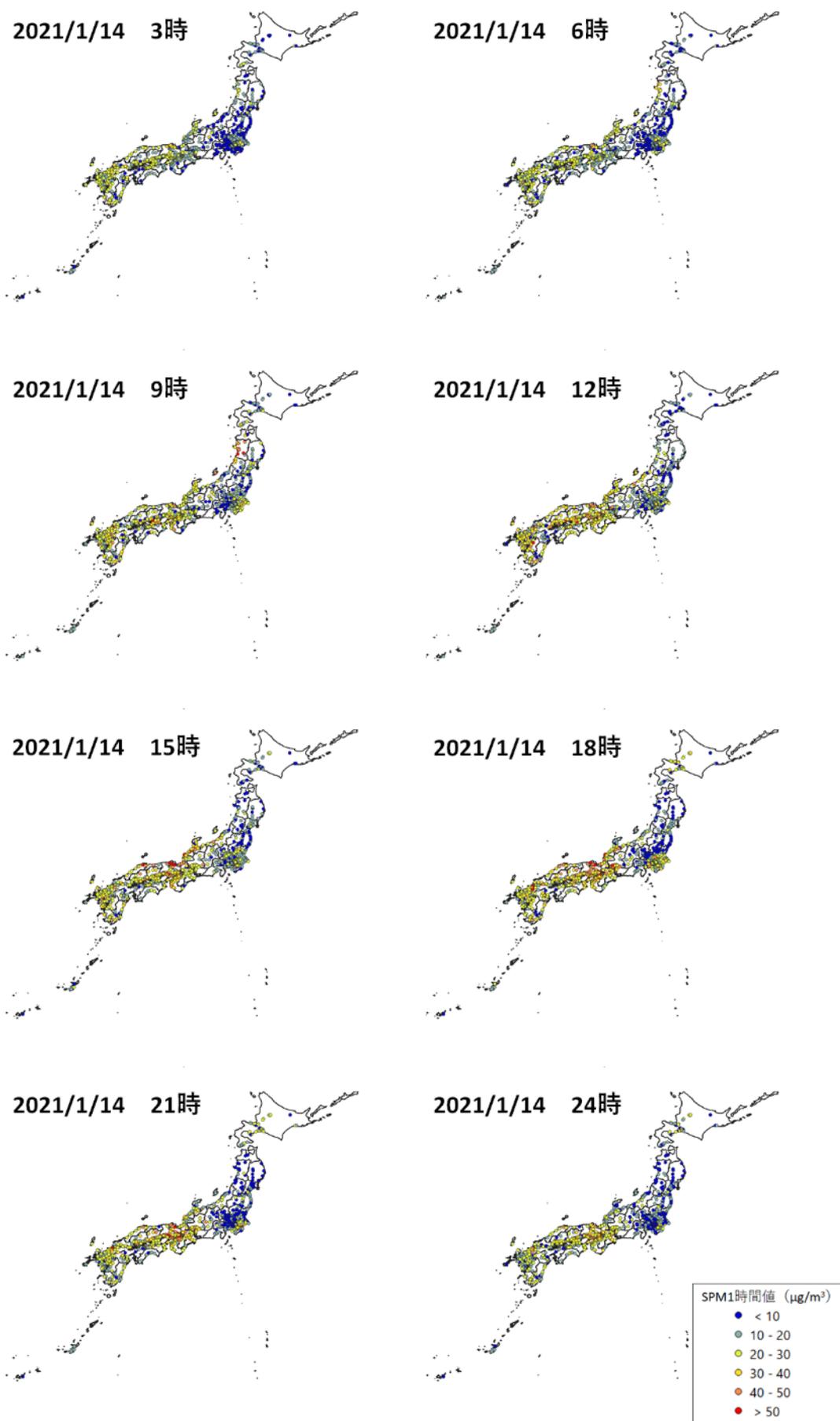


図 4-4-5-4 SPM1 時間値濃度全国分布(1) (2021 年 1 月 14 日)

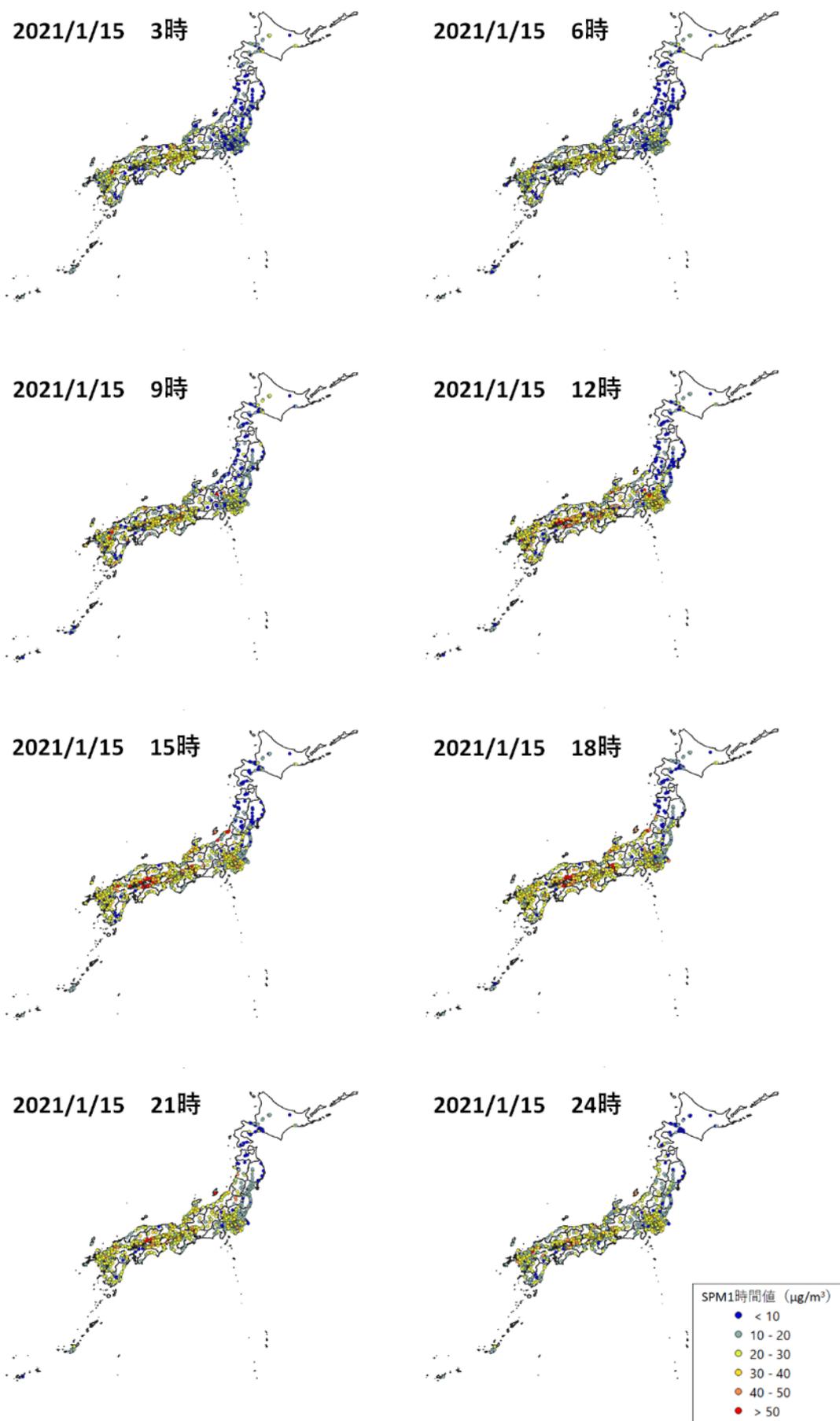


図 4-4-5-5 SPM1 時間値濃度全国分布(2) (2021 年 1 月 15 日)

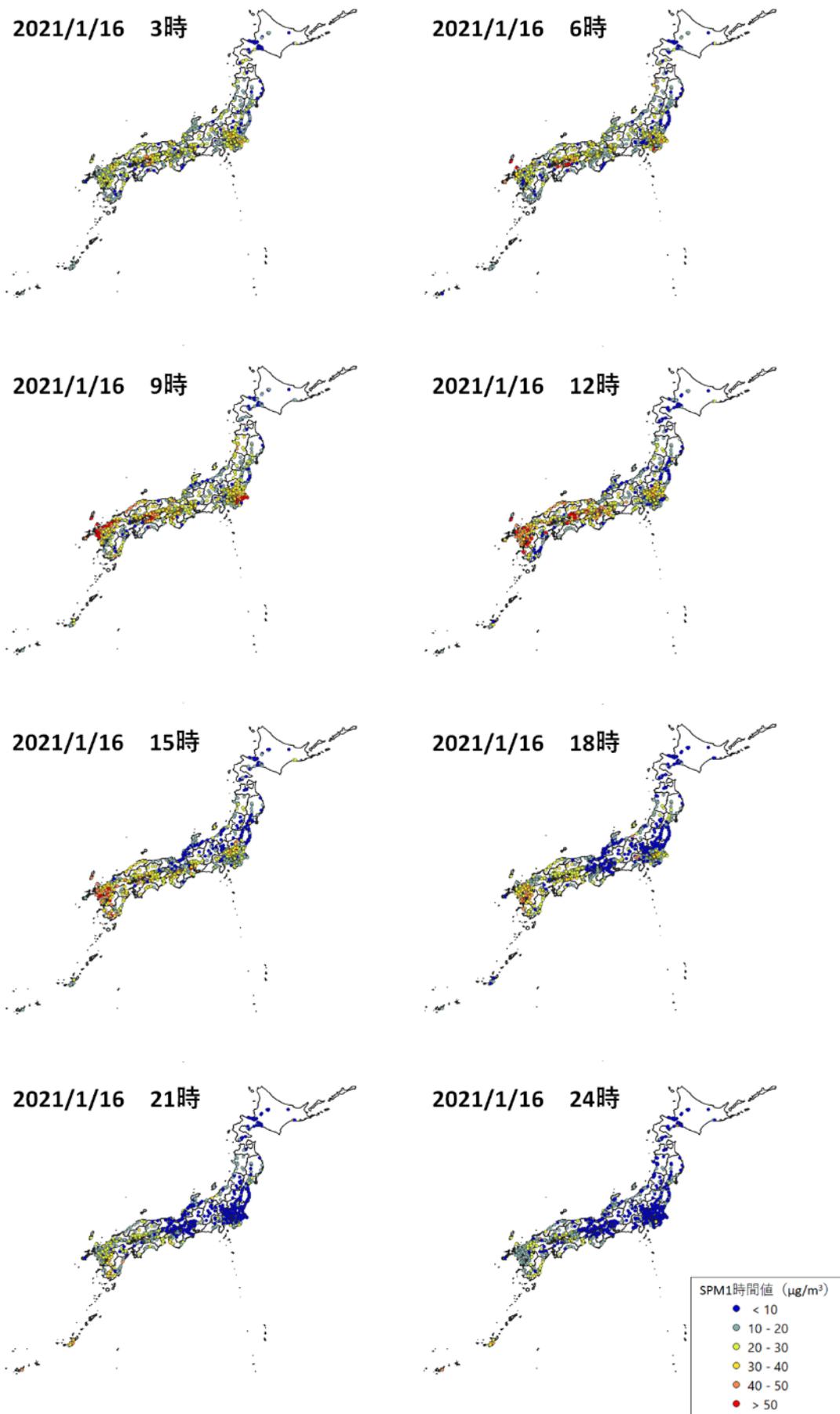


図 4-4-5- 6 SPM1 時間値濃度全国分布(3) (2021 年 1 月 16 日)

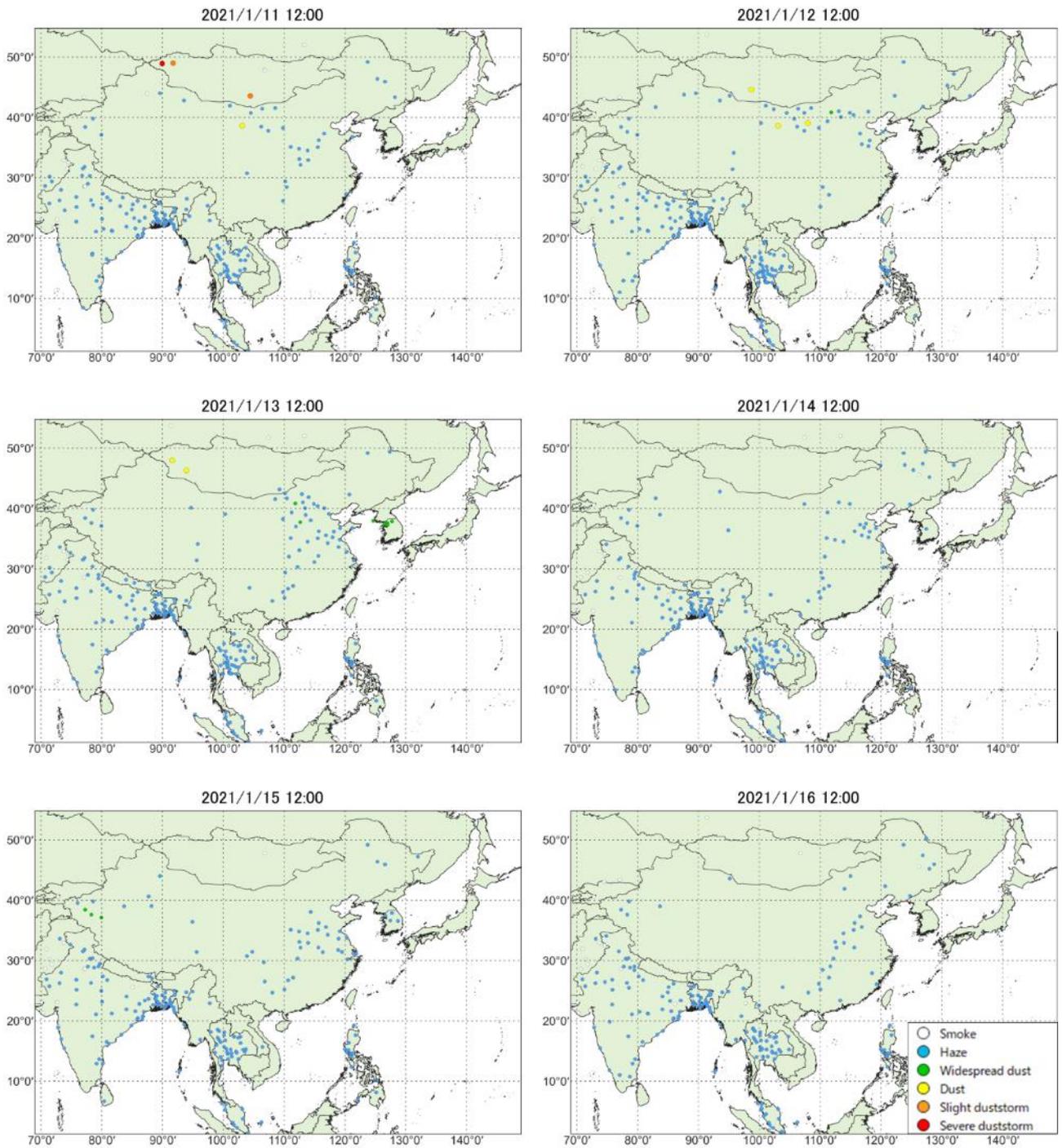


图 4-4-5-7 砂塵嵐発生状況

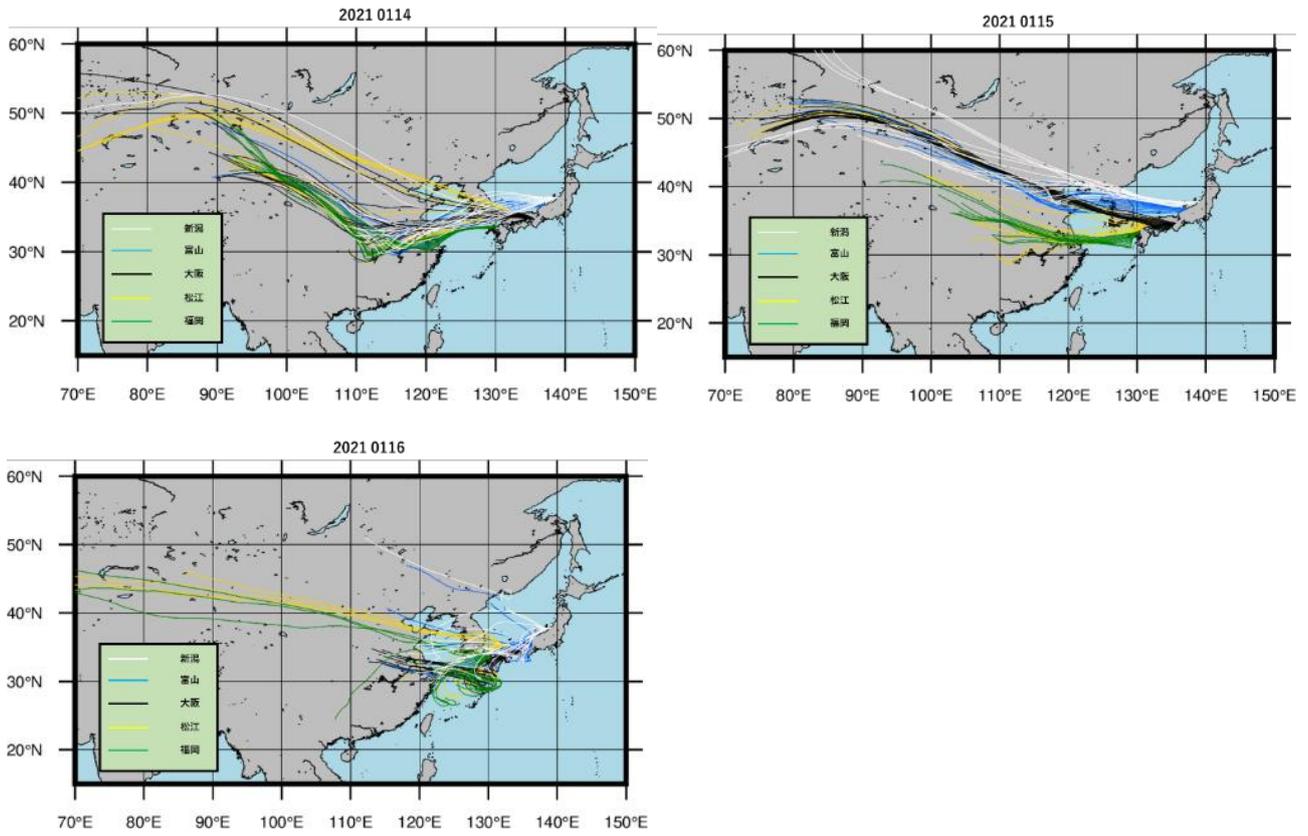
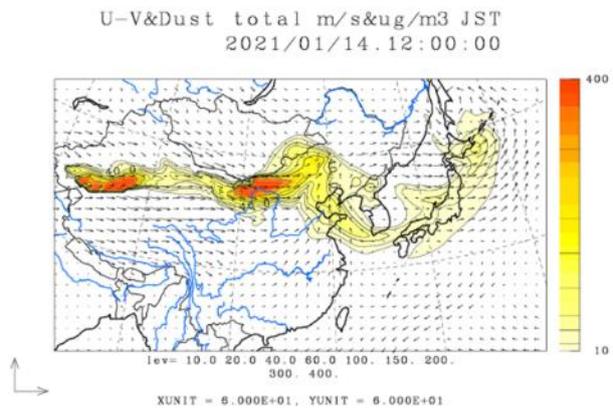
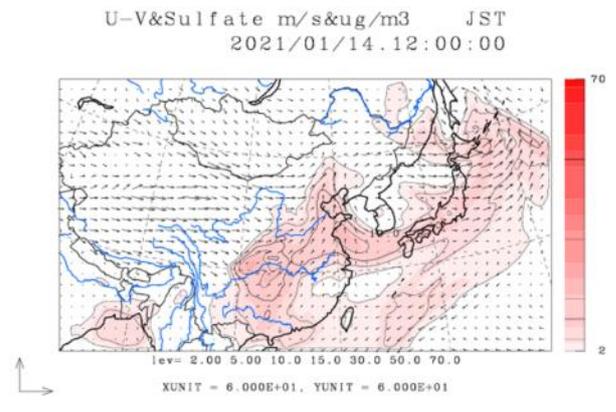


図 4-4-5-8 後方流跡線 (72 時間前より)



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

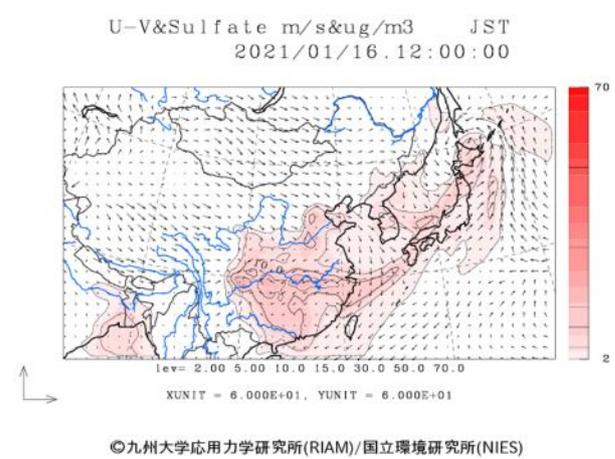
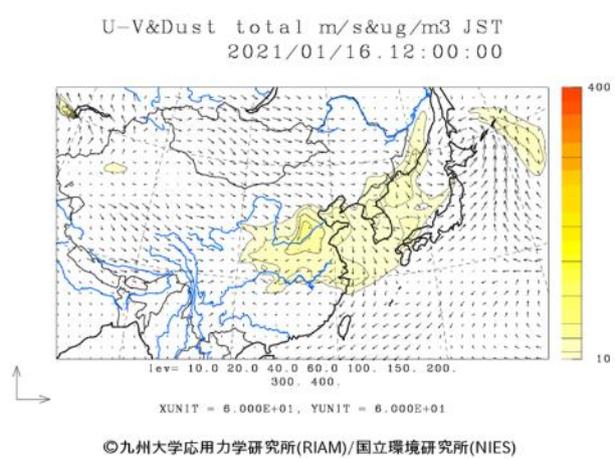
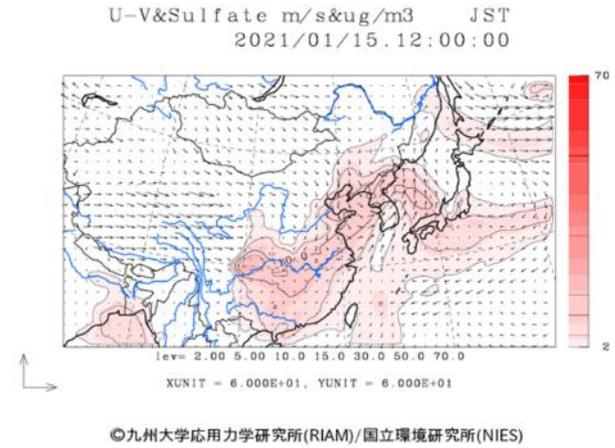
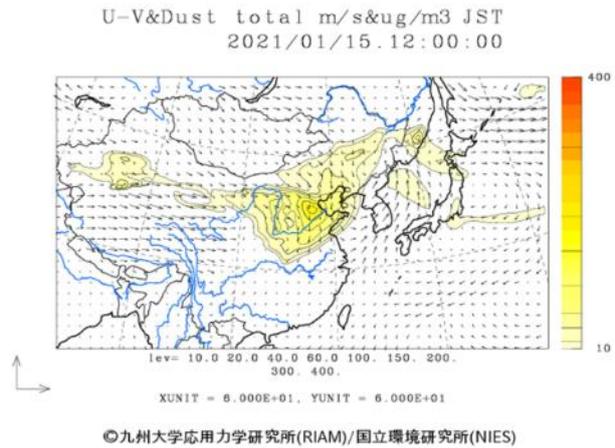
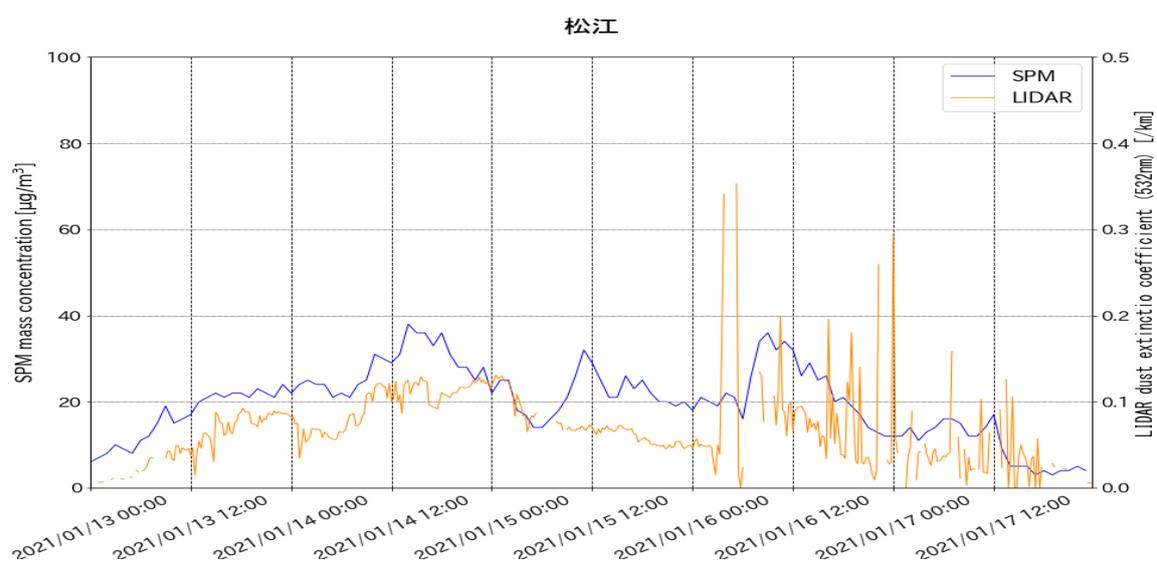


図 4-4-5-9 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果



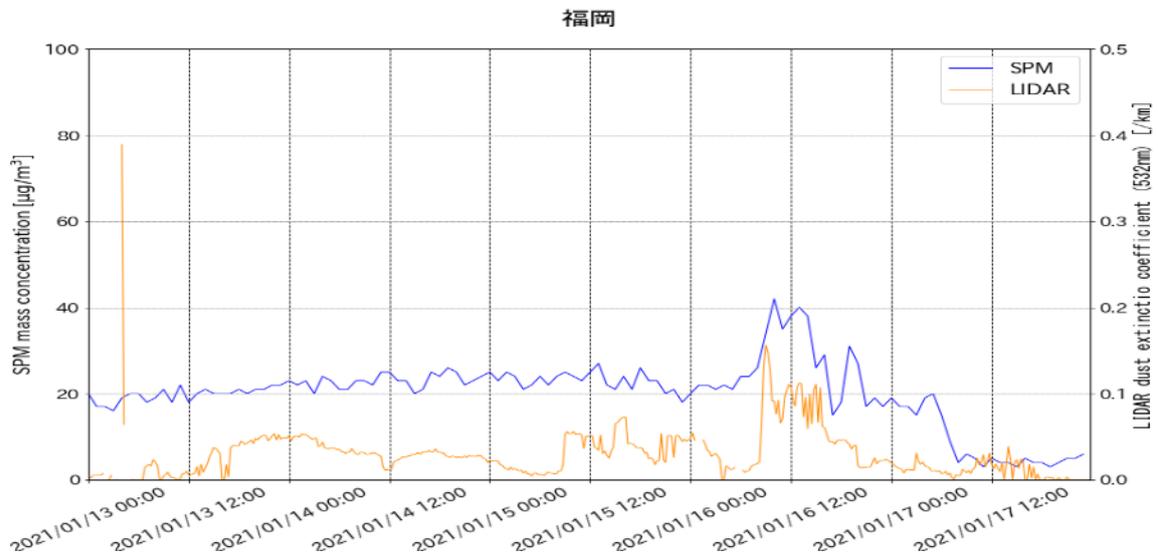


図 4-4-5-10 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (松江・福岡)

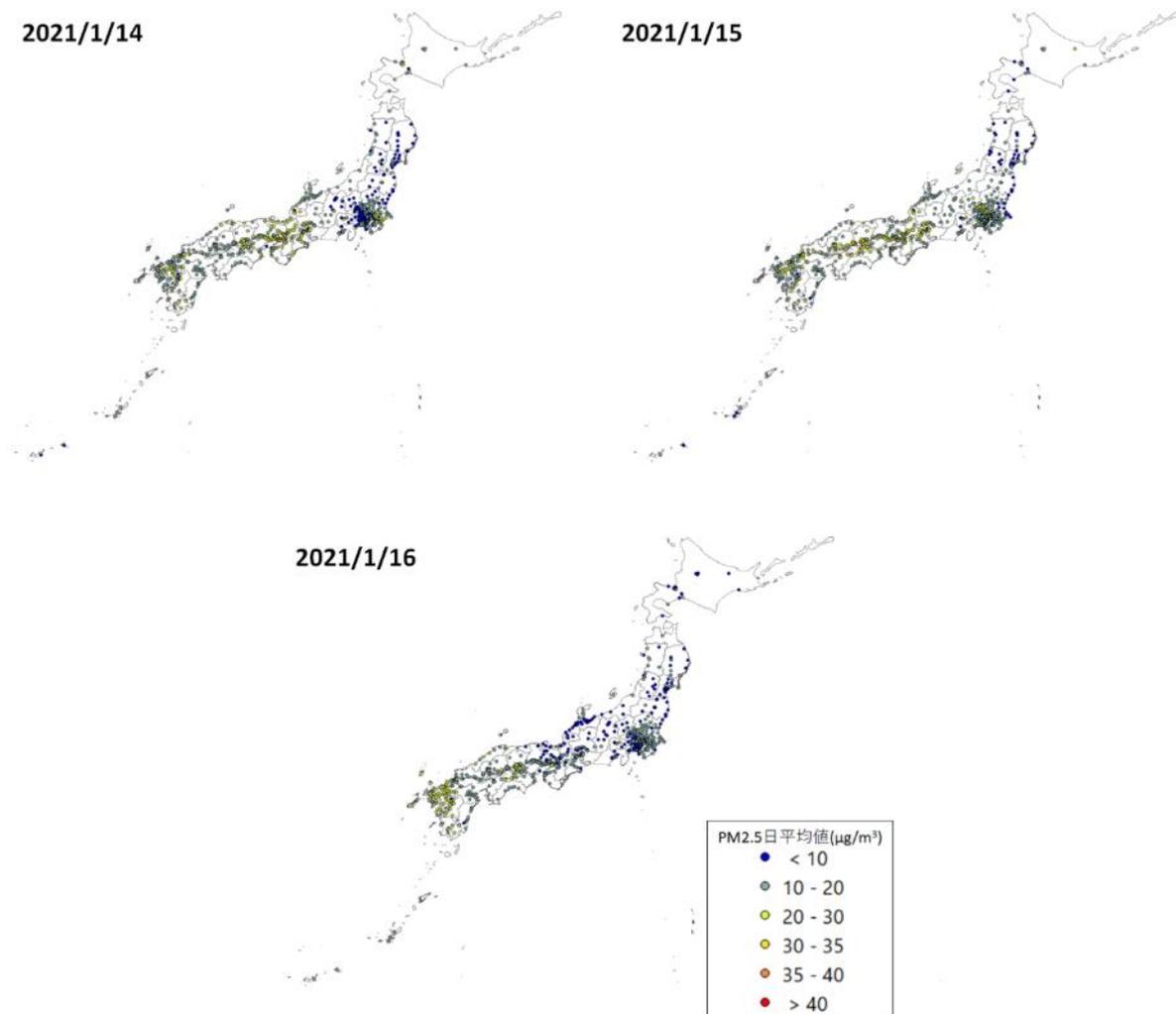


図 4-4-5-11 PM2.5 日平均値全国分布

2021/1/14

2021/1/15

2021/1/16

PM2.5/SPM

● < 0.3

● 0.3 - 0.5

● 0.5 - 0.7

● 0.7 - 0.9

● > 0.9

图 4-4-5-12 PM2.5 日平均值/SPM 日平均值全国分布

表 4-4-5-2 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
2021/1/14	1101520	北海道	1.76	21.24	0.08
	12220010	千葉県	1.47	16.76	0.09
	12225010	千葉県	0.82	17.71	0.05
	23105010	愛知県	0.53	35.76	0.01
	28205010	兵庫県	8.76	35.24	0.25
	38208030	愛媛県	12.24	48.18	0.25
	43208010	熊本県	0.35	17.65	0.02
2021/1/15	12201180	千葉県	7.47	27.88	0.27
	14209010	神奈川県	7.41	24.76	0.30
	23105010	愛知県	13.29	48.41	0.27
	45201060	宮崎県	0.82	12.47	0.07
2021/1/16	14115010	神奈川県	5.59	21.71	0.26
	14209010	神奈川県	4.06	13.88	0.29
	21201010	岐阜県	4.53	19.18	0.24
	29209010	奈良県	8.71	31.0	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

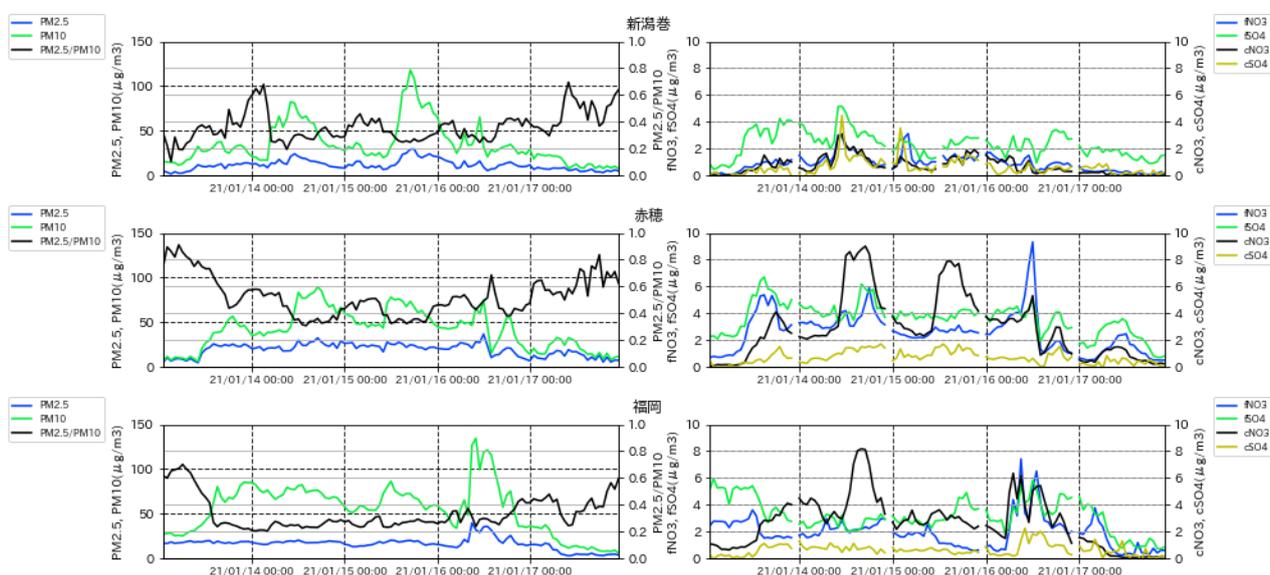


図 4-4-5-13 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

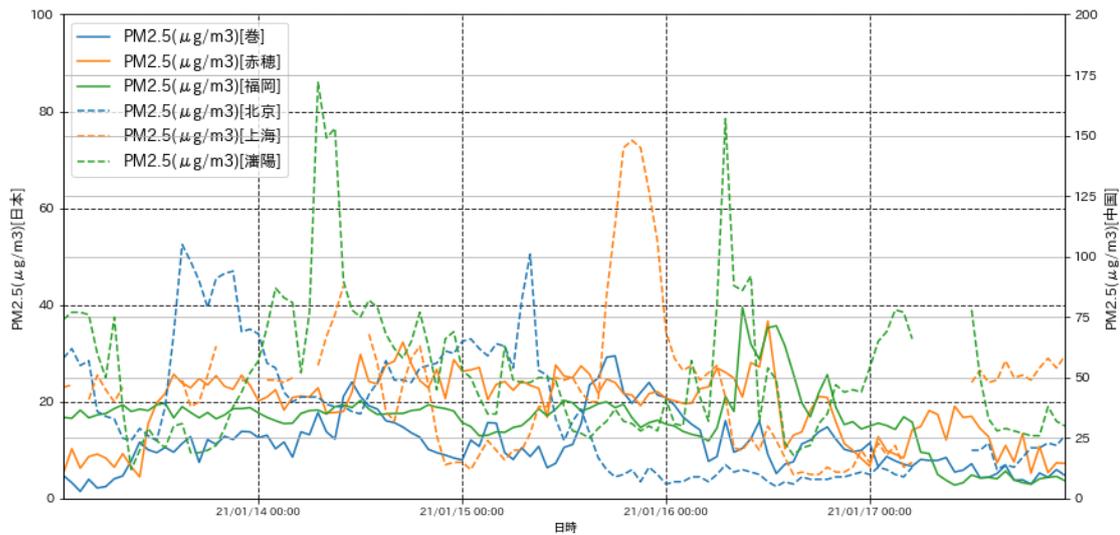


図 4-4-5-14 日本と中国での PM2.5 濃度

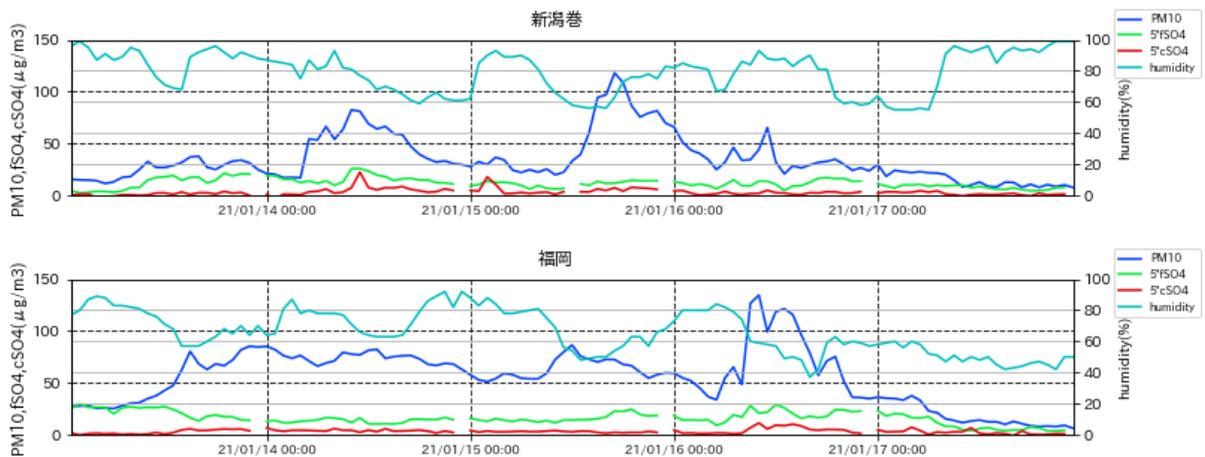


図 4-4-5-15 PM10、fSO₄²⁻、cSO₄²⁻、湿度の経時変化。fSO₄²⁻、cSO₄²⁻は値を 5 倍にしてある。

(6) 黄砂事例 6 2021 年 3 月 16 日～18 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-6-1、図 4-4-6-2 に示すとおりである。3 月 16 日に大阪、3 月 17 日に大阪、福岡、3 月 18 日に福岡で観測された事例である。

天気図(図 4-4-6-3) をみると、黄砂観測の前日、大陸にあった低気圧が、黄砂観測日には東進している様子が見える。さらに観測期間中の 16 日に大陸から西日本にかけのびた前線が 18 日にかけて東進していた。

この期間における SPM の 3 時間ごとの全国分布からは、3 月 16 日から 17 日にかけて、西日本を中心に SPM 濃度が 20～40μ/m³ の地点が多く見られることがわかる。九州・日本海側に所々、50μg/m³ を超える地点が散見されるが、局所的なものにとどまっており、18 日には濃度は全体的に低下する傾向が表れている。(図 4-4-6-4 から図 4-4-6-6)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると(図 4-4-6-7)、黄砂観測前の 3 月 13 日にモンゴルの西部で Dust、Duststorm が発生している。そして 14 日になるとモンゴルの広い範囲で 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、3月17日の流跡線で黄砂が観測された福岡、大阪における一部の流跡線が、Duststormが発生していた地域を通過しており、大陸からの移流があったと思われる(図4-4-6-8)。さらに、CFORSにおいても、Sulfateに関して大陸からの影響が東北・九州などに及んでいる様子が示された(図4-4-6-9)。

図4-4-6-10に、黄砂が観測された大阪・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濃度の経時変化の比較を示す。大阪における黄砂消散係数は、黄砂観測前の3月15日より上昇傾向にあり、3月17日正午頃にピークが見られる。一方、SPM濃度は、黄砂消散係数より早く上昇し、一時的に $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるやや高い数値を示している。福岡における黄砂消散係数、SPM濃度の変化は、大阪ほど顕著ではないが、いずれも3月17日正午頃に上昇している様子が見て取れる。PM2.5の日平均値は3月16日に瀬戸内地域で $30\sim 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっていたが、他の地域では濃度は低い値となっていた。翌17日には瀬戸内地域でも濃度が下がり、環境基準値を超える高濃度は観測されなかった(図4-4-6-11)。

図4-4-6-12及び表4-4-6-2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3-6-10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3-6-2にまとめた。3月16日は計4地点、3月17日は計11地点、3月18日は計10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。

黄砂観測日、観測時間の3月16日22:00ころから大阪においてPM10の上昇に伴い、PM2.5/PM10が減少していく様子が見られる。また、人為起源系汚染物質に関して大阪では3月16日正午頃に fNO_3 濃度の急激な上昇がみられ、一時 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく超えたが、黄砂観測時間の22:00から24:00の間 fSO_4^{2-} 以外が若干上昇しているのみである。福岡においてはPM10、PM2.5/PM10について大阪と同様な傾向が3月16日正午過ぎからみられ、黄砂観測期間でその比は低い値が継続している。(図4-4-6-13)。

なお、北京では、黄砂観測日前日の1月13日に、PM2.5濃度の1時間値が一時 $600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の値を示している(図4-4-6-14)。

また、本事例における湿度の時系列(図4-4-6-15)に関しては黄砂飛来日の3月17日で、昼の湿度の減少の割合がPM10の増加と同期し、高くなっているように見える。福岡においてはあまり顕著な傾向が見られない。

以上の通り、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。

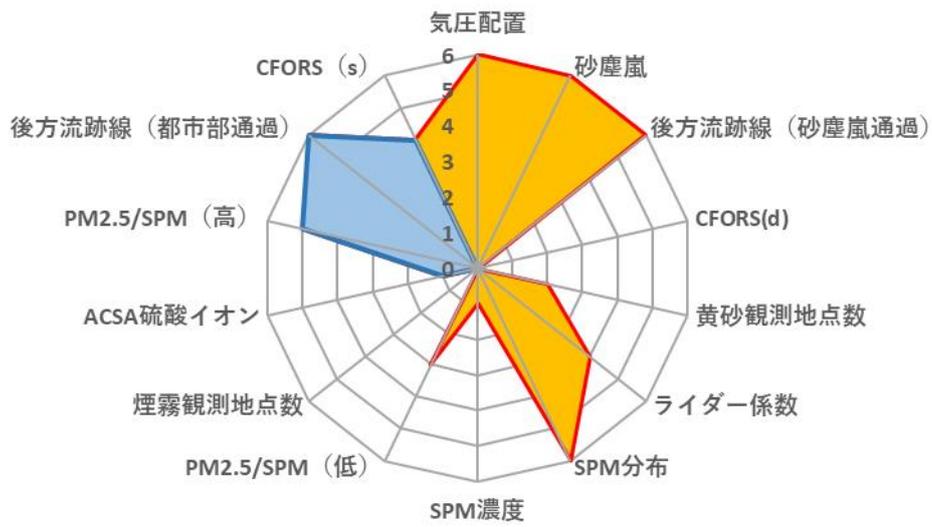


図 4-4-6-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-6-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名										
2021/3/16	1	大阪										
2021/3/17	2	大阪	福岡									
2021/3/18	1	福岡										

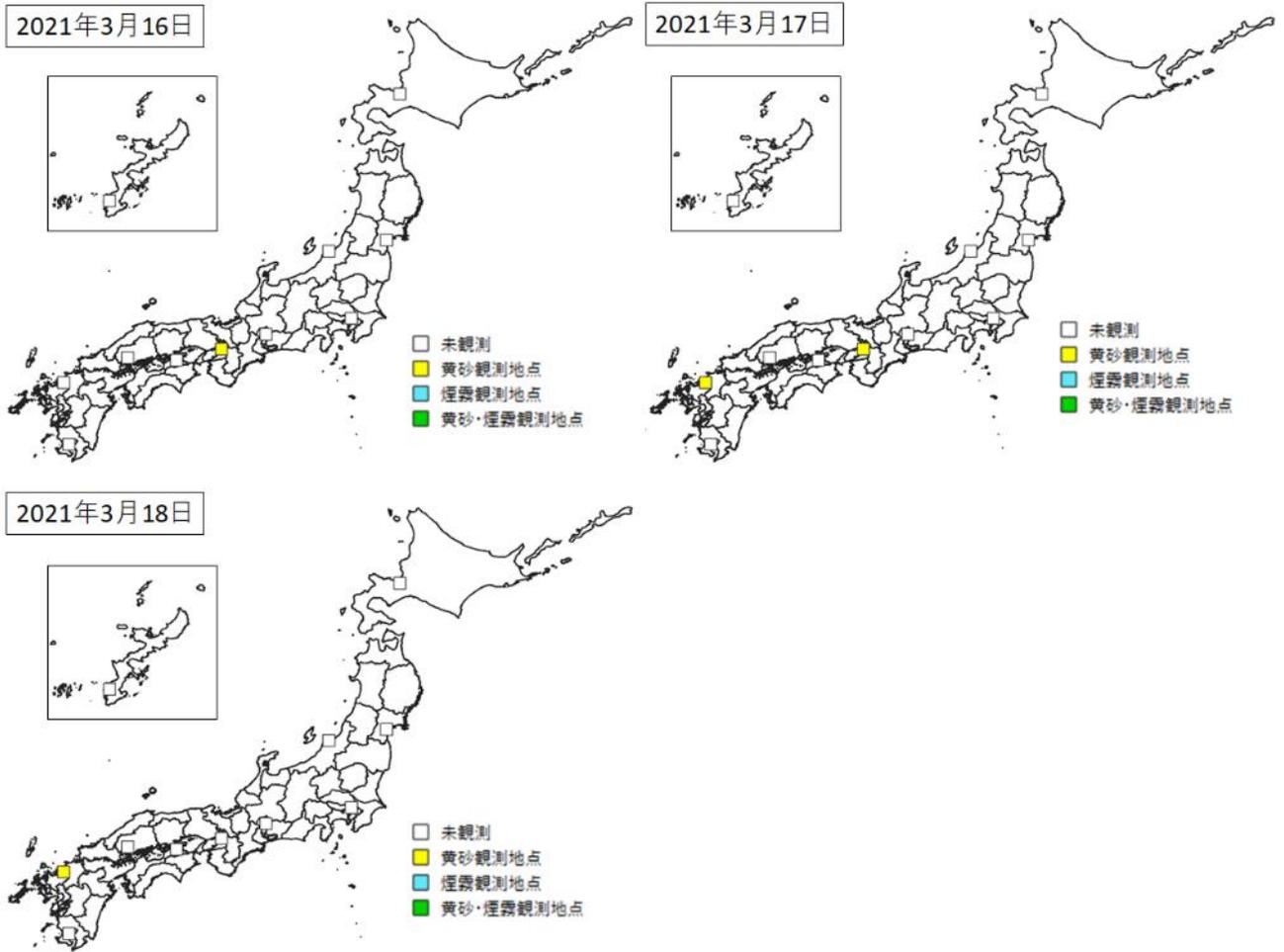
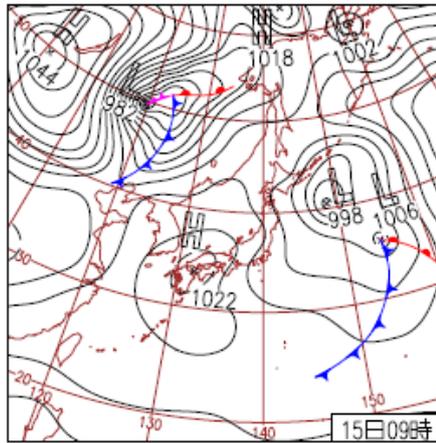
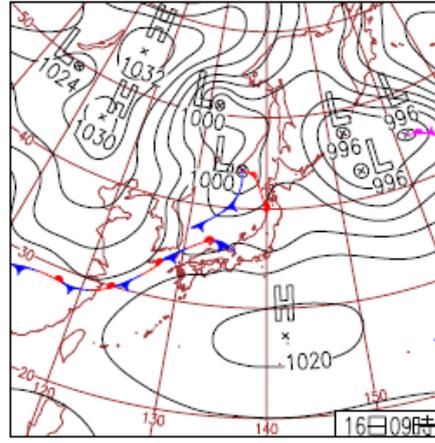


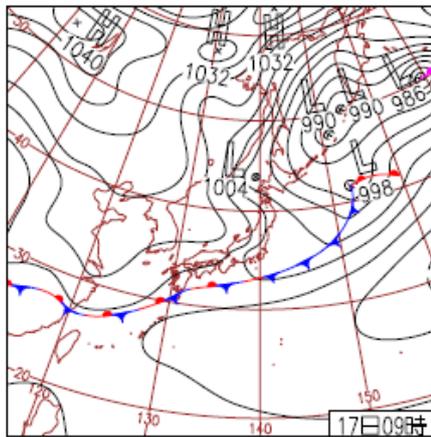
图 4-4-6-2 黄砂観測地点



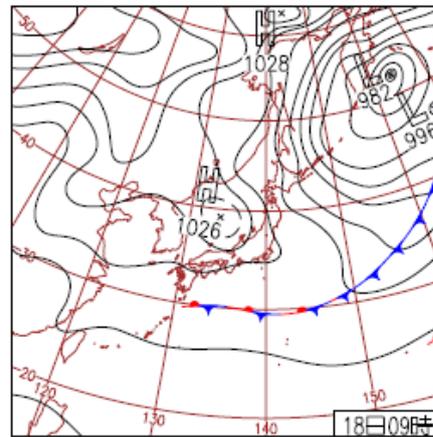
15日(月)和歌山県で震度5弱
 低気圧が三陸沖を東北東進。東シナ海の高気圧が東に移動し西日本を覆う。西日本中心に晴れ、曇っていた北日本も次第に晴れ間が広がる。高知市、松山市、高松市でサクラ開花。



16日(火)京都市などでサクラ開花
 西～北日本は低気圧や前線の影響で日本海側から次第に雨。沖縄と関東は概ね晴れ。最高気温が5月並の所も。宮崎市、下関市、京都市、岐阜市でサクラ開花。茨城県で震度4。



17日(水)西～東日本で気温上昇
 大陸の高気圧に覆われ西日本～東日本で気温上昇。北陸～北海道は雲が多く所々で雨や雪。鹿児島市、熊本市、佐賀市、名古屋市、横浜市でサクラ開花。



18日(木)高気圧に覆われる
 西日本～東日本は日本海の高気圧に覆われ概ね晴れ。寒気の影響を受けた北日本日本海側と前線に近い奄美は曇りや雨。北海道は風が強く、羅臼で最大瞬間風速29.8m/s。

図 4-4-6-3 天気図

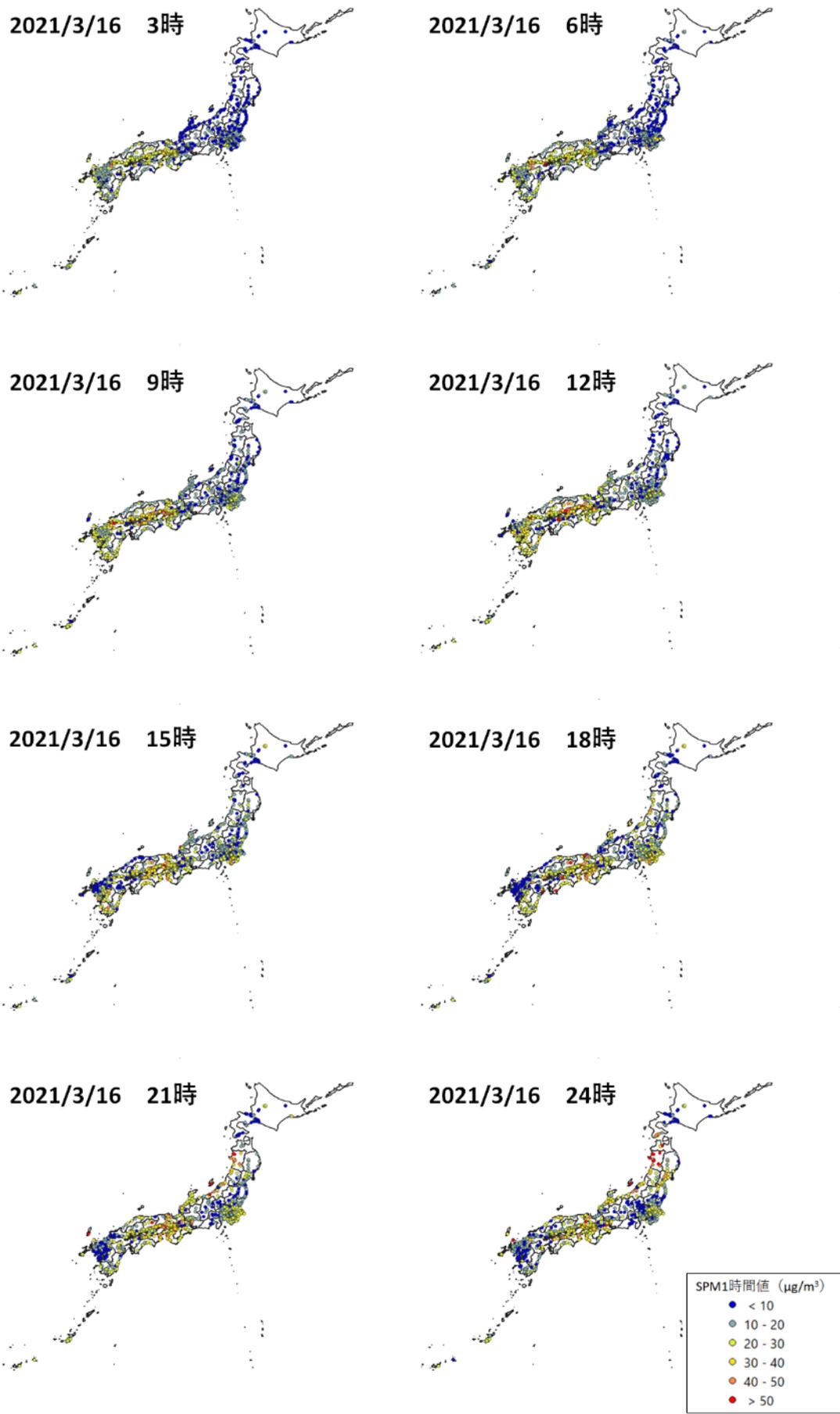


図 4-4-6-4 SPM1 時間値濃度全国分布(1) (2021 年 3 月 16 日)

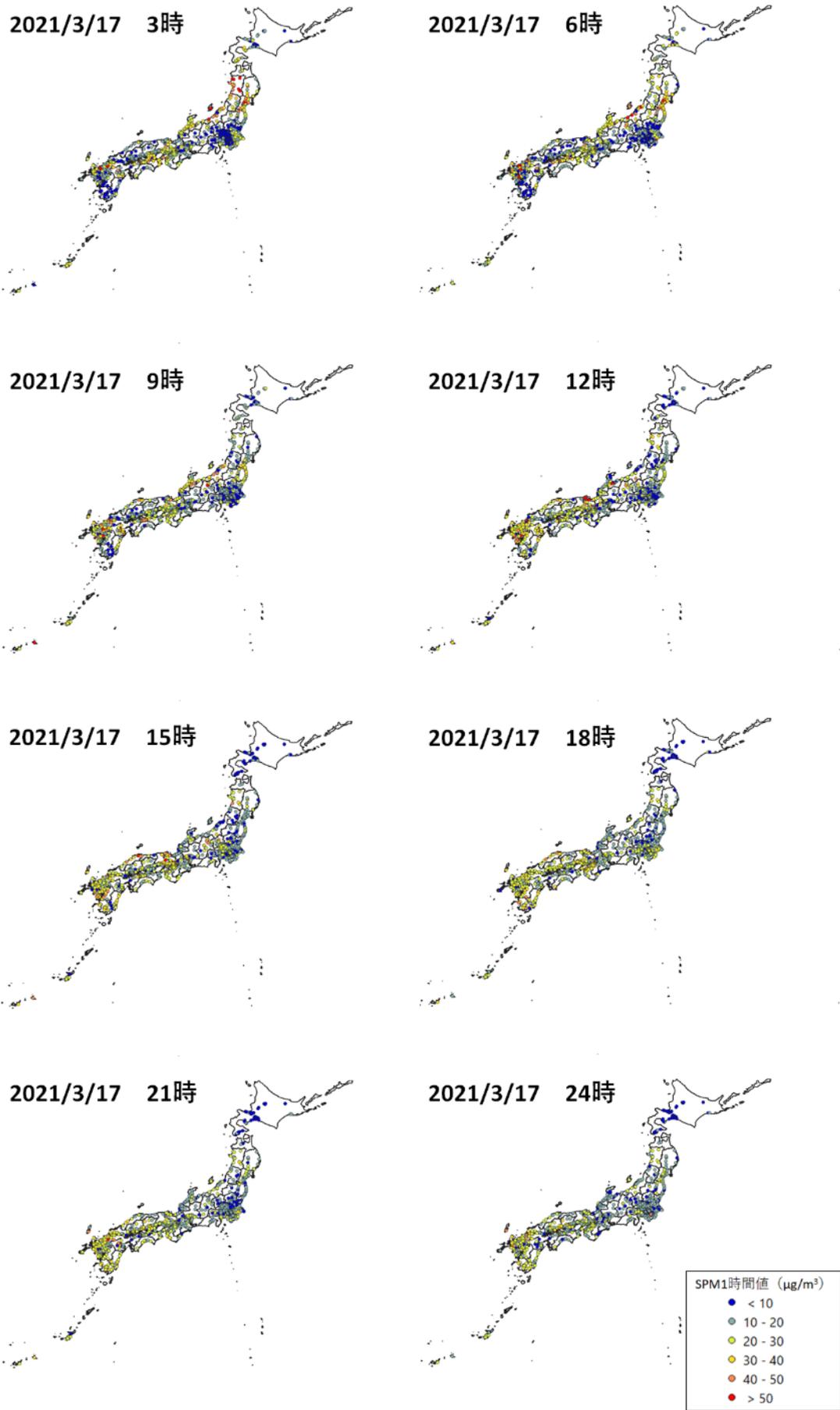


図 4-4-6-5 SPM1 時間値濃度全国分布(2) (2021 年 3 月 17 日)

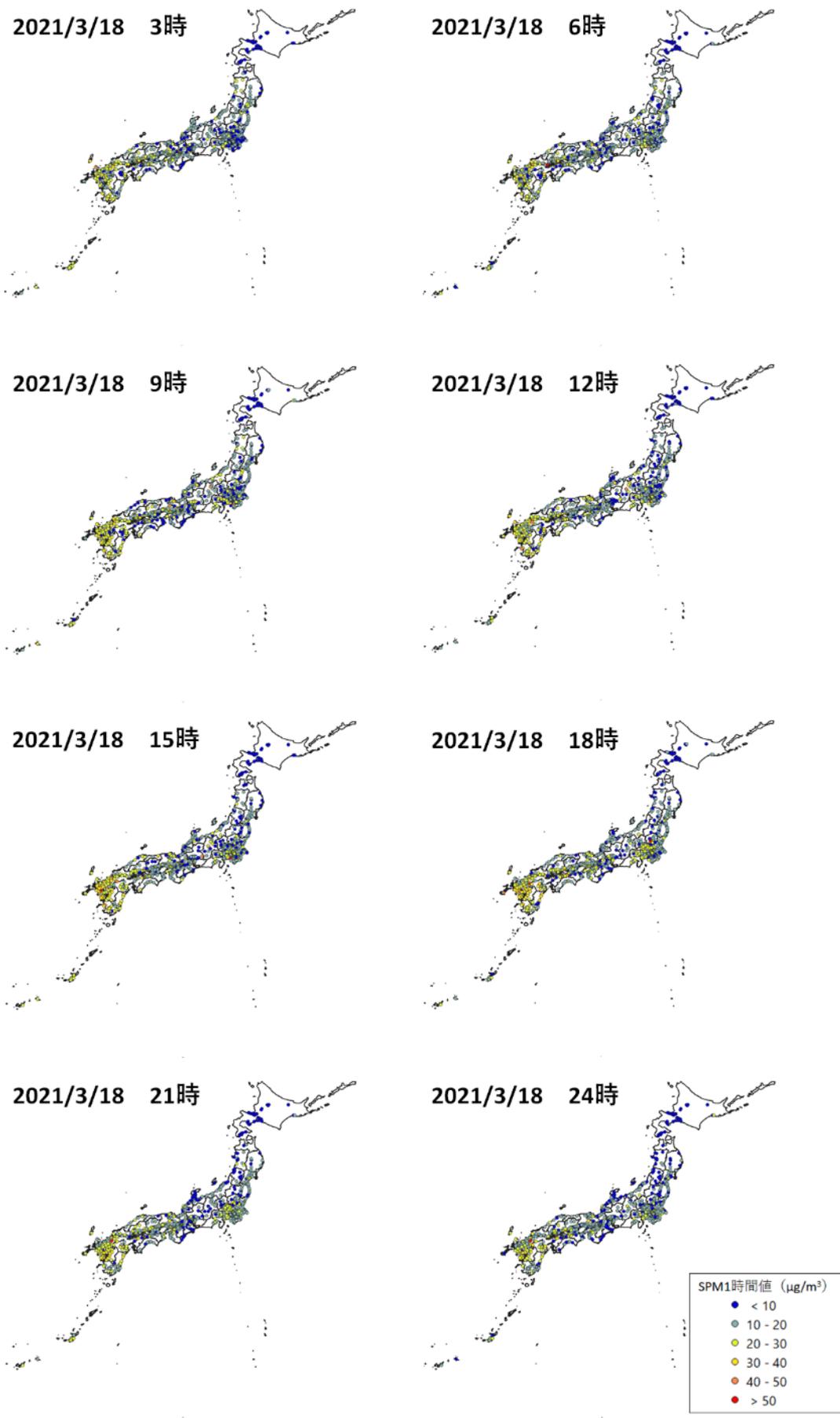


図 4-4-6-6 SPM1 時間値濃度全国分布(3) (2021 年 3 月 18 日)

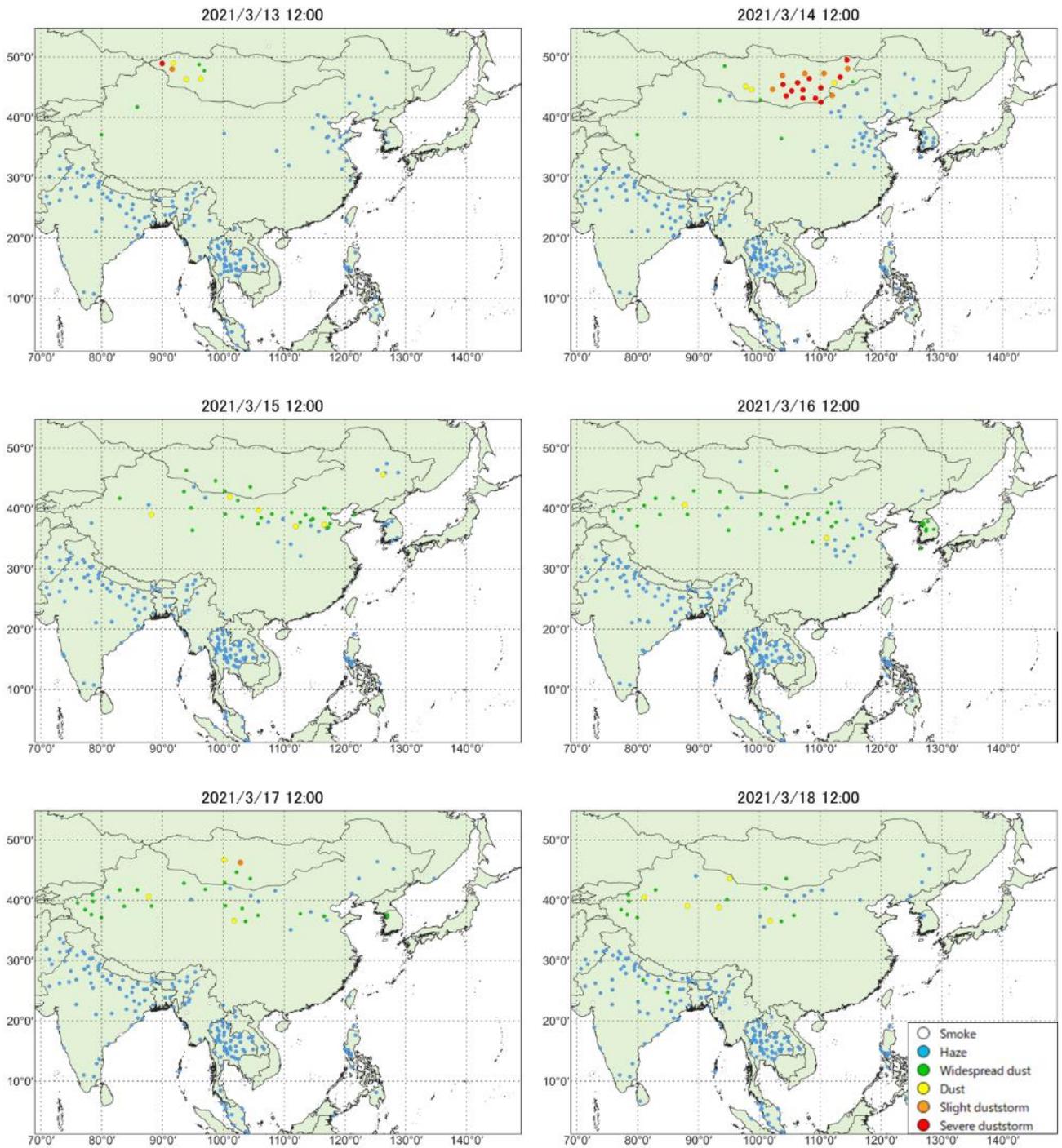


图 4-4-6-7 砂塵嵐発生状況

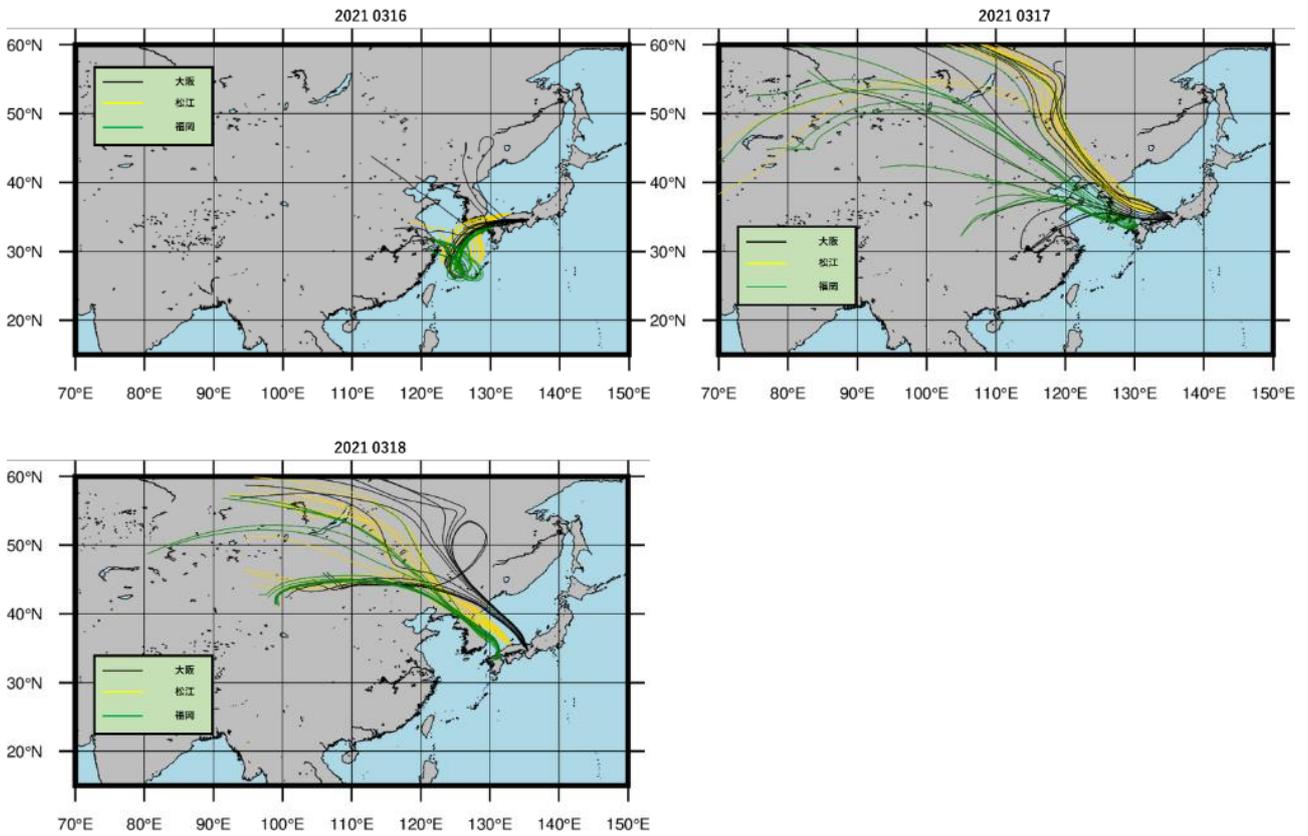
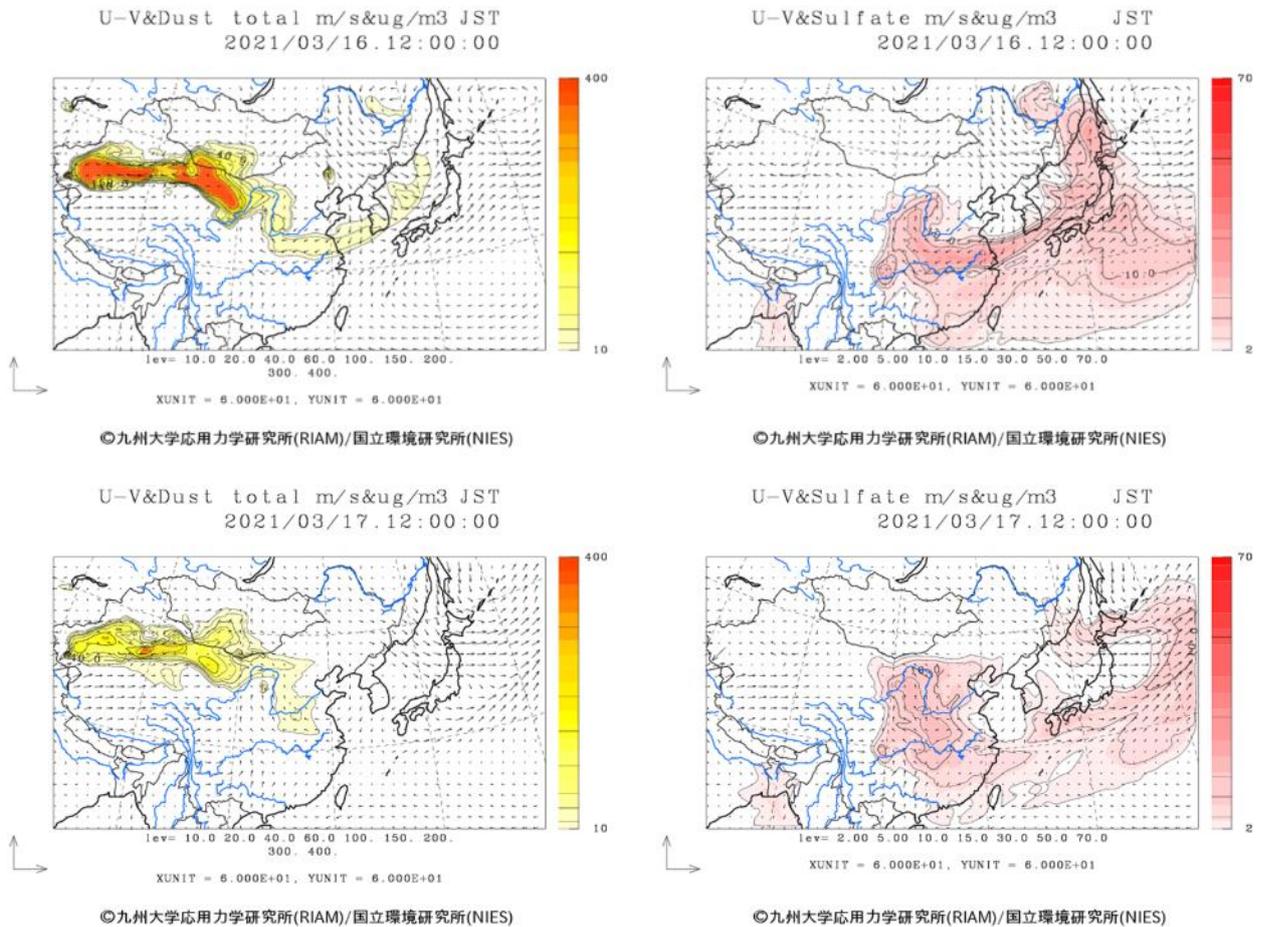


図 4-4-6-8 後方流跡線 (72 時間前より)



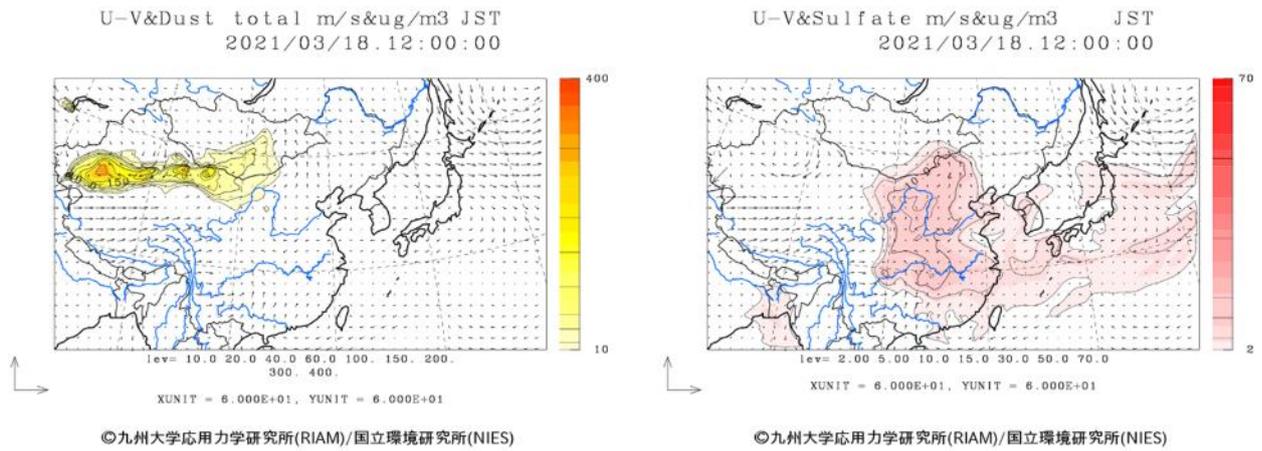


図 4-4-6-9 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果

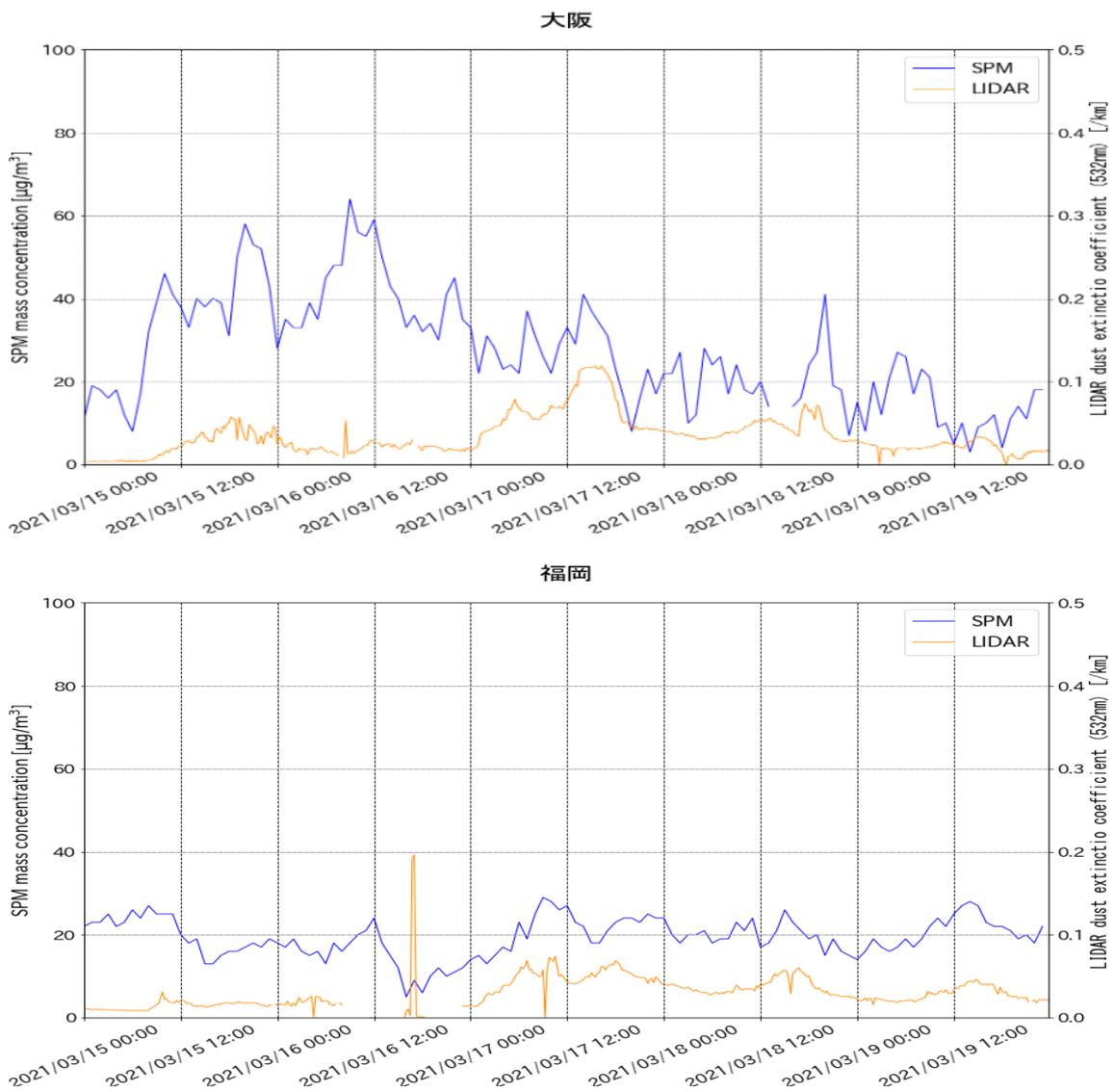


図 4-4-6-10 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (大阪・福岡)

2021/3/16

2021/3/17

2021/3/18

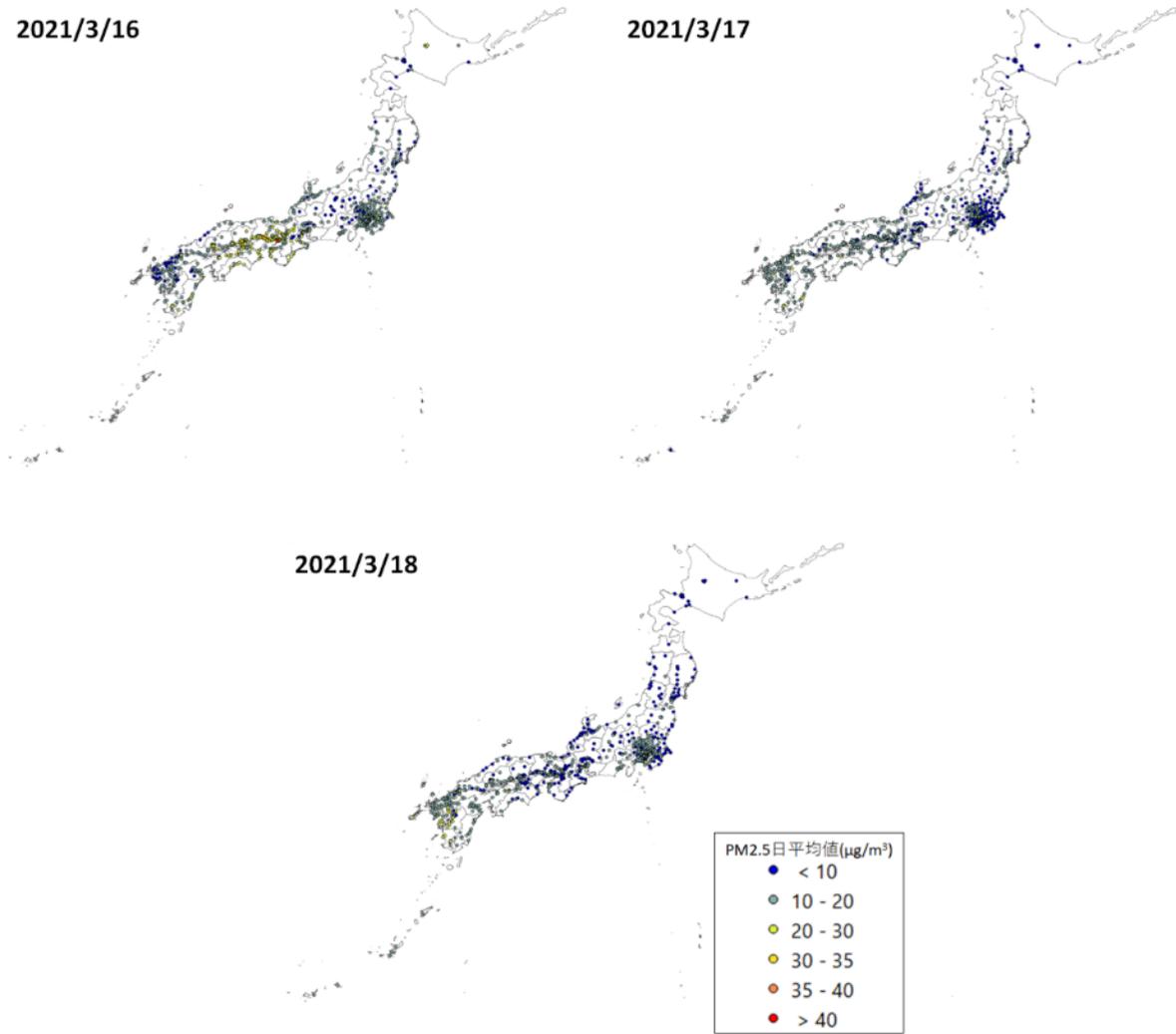


图 4-4-6-11 PM2.5 日平均值/全国分布

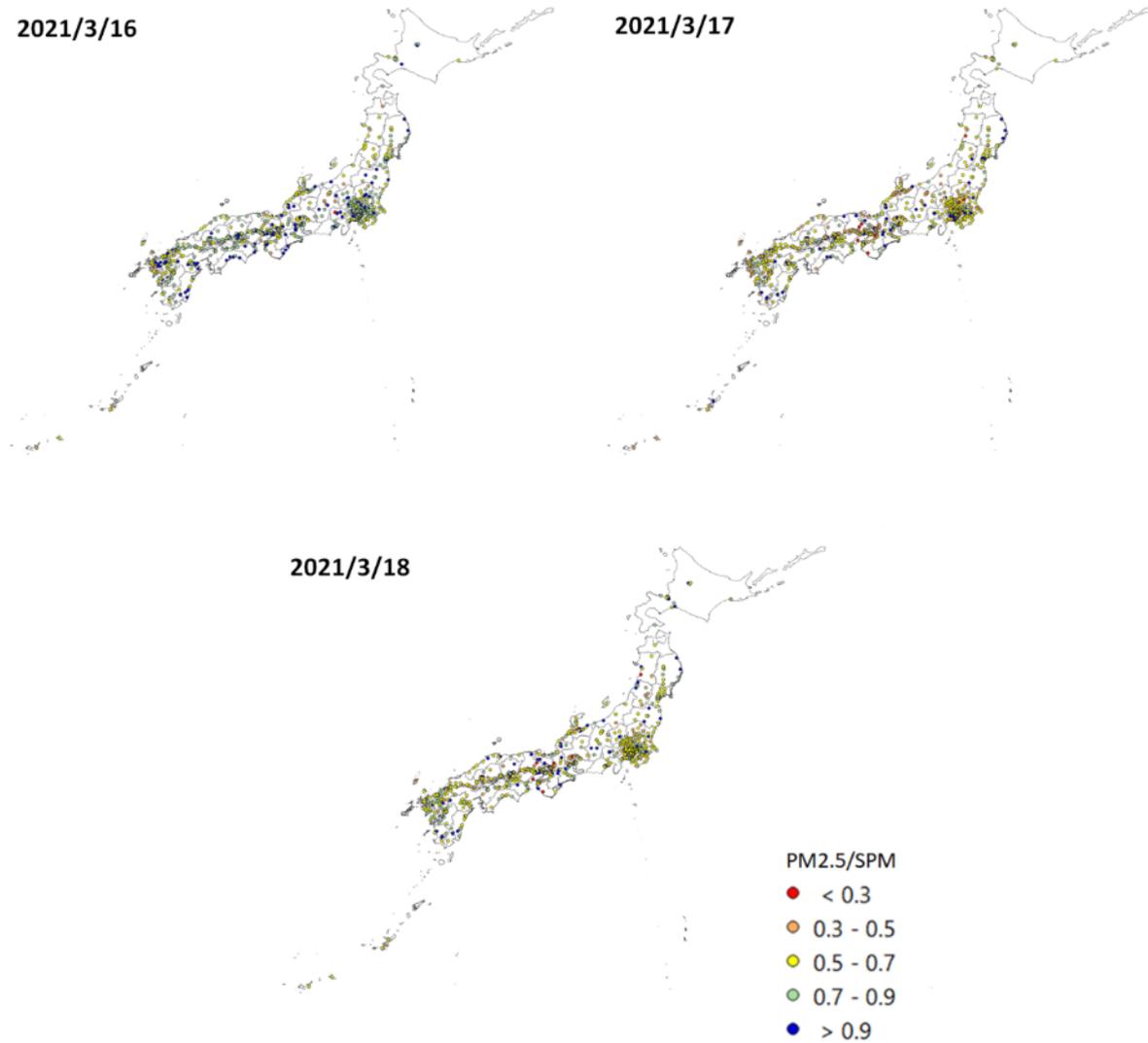


図 4-4-6-12 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

表 4-4-6-2 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
2021/3/16	4105530	宮城県	2.41	9.53	0.25
	14209010	神奈川県	0.76	16.35	0.05
	19207030	山梨県	2.00	9.88	0.20
	21201020	岐阜県	2.35	15.41	0.15
2021/3/17	5205010	秋田県	2.47	20.47	0.12
	8206010	茨城県	7.06	24.47	0.29
	8541010	茨城県	5.41	23.41	0.23
	12201180	千葉県	5.18	18.53	0.28
	14209010	神奈川県	3.18	12.24	0.26
	21201010	岐阜県	0.65	15.29	0.04
	28205010	兵庫県	8.18	29.47	0.28

	28213010	兵庫県	7.29	27.76	0.26
	28641010	兵庫県	11.29	44.00	0.26
	29425010	奈良県	8.06	27.35	0.29
	30206010	和歌山県	6.76	23.29	0.29
2021/3/18	5205010	秋田県	5.41	18.24	0.30
	11201030	埼玉県	2.18	13.12	0.17
	11201040	埼玉県	1.82	16.12	0.11
	12204530	千葉県	6.18	21.18	0.29
	21201030	岐阜県	1.65	9.18	0.18
	25201080	滋賀県	6.06	21.18	0.29
	26204010	京都府	2.24	19.24	0.12
	28205010	兵庫県	5.18	19.35	0.27
	28641010	兵庫県	9.00	34.82	0.26
	30206010	和歌山県	0.12	14.65	0.01

※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

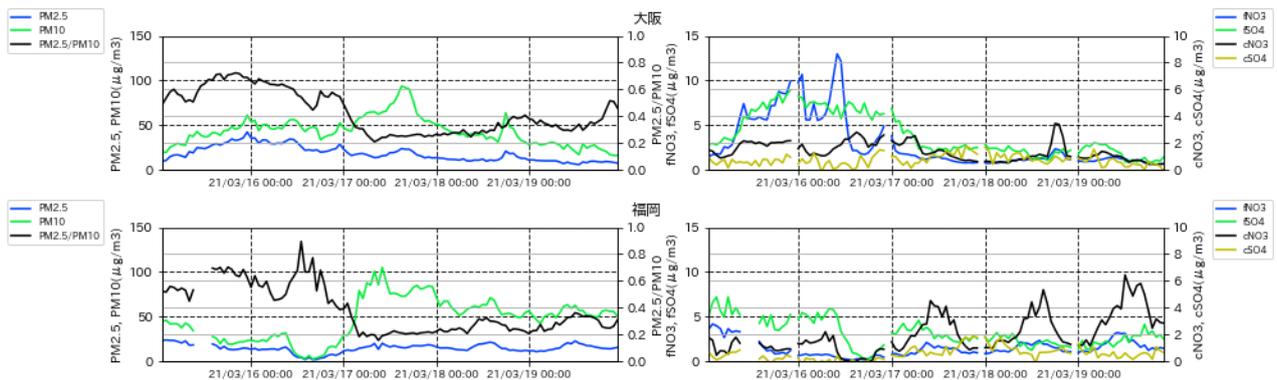


図 4-4-6-13 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

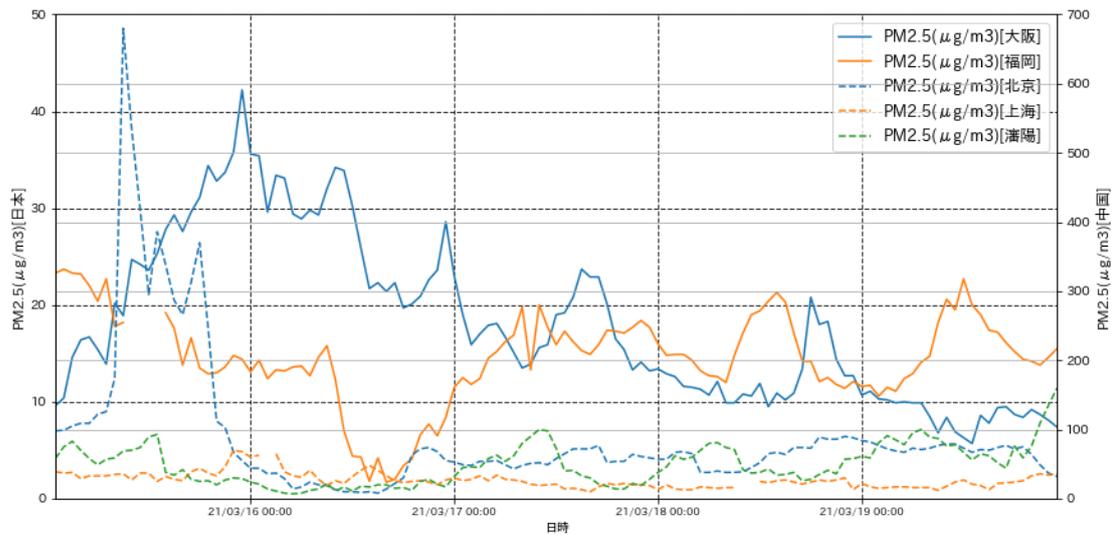


図 4-4-6-14 日本と中国での PM2.5 濃度

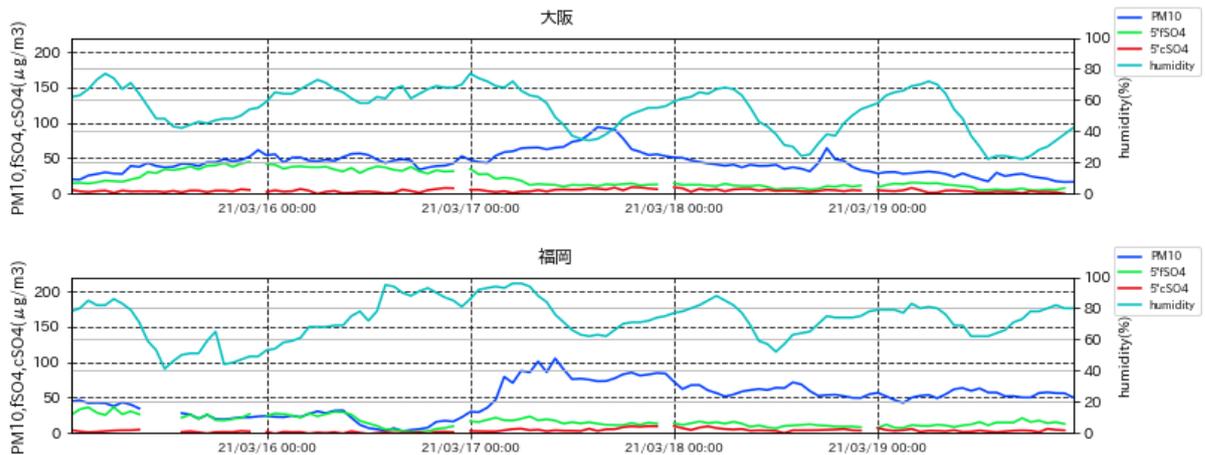


図 4-4-6-15 PM10、fSO₄²⁻、cSO₄²⁻、湿度の経時変化。fSO₄²⁻、cSO₄²⁻は値を 5 倍にしてある。

(7) 黄砂事例 7 2021 年 3 月 29 日～31 日

本事例における黄砂の観測地点数は、表 4-4-7- 1、図 4-4-7- 2 に示すとおりである。3 月 29 日から 31 日にかけて、日本全国広範囲で黄砂が観測された事例である。

天気図(図 4-4-7- 3) をみると、黄砂観測の前日、日本の西部には多くの低気圧があり、黄砂観測日には東進していた。

この期間 における SPM の 3 時間ごとの全国分布を見ると、3 月 29 日午後から 30 日にかけて、九州・中国地方・日本海側および関東地方に、SPM 濃度が 50μg/m³ を超える地点が拡大してゆく様子が表れている(図 4-4-7-4 から図 4-4-7-6)。31 日になると九州地方では高濃度の地点は少なくなるが、関東地方は依然として 50μg/m³ を超える地点が多い様子が見て取れる。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると(図 4-4-7- 7)、黄砂観測前の 3 月 26 日にモンゴル西部で、27 日にモンゴル東部、内モンゴル自治区で 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、黄砂が観測された地点またはそれに近い地点でほとんどの

流跡線が Slight Duststorm などが発生していた地域を通っており、大陸からの移流があったことを示唆している(図 4-4-7-8)。さらに CFORS においても、特に Sulfate に関して、大陸からの影響が日本全域に及んでいる様子が表れている (図 4-4-7-9)。

ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化の比較を図 4-4-7-10 に示す。ライダー黄砂消散係数に関しては、札幌・新潟・東京・大阪・松江・福江・福岡におけるデータを用い、それぞれ近接する常時監視局における SPM 濃度と比較した。全ての地点において、黄砂消散係数と SPM 濃度の上昇が顕著に見られている。SPM 濃度は、札幌・東京以外の地点では、一時的に $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高い値を示している。PM2.5 の日平均値は 29 日には西日本の広い範囲で環境基準を超える高濃度となっており、翌 30 日には高濃度の範囲が東日本にまで広がっている様子が見られた。31 日には濃度上昇は収まったものの、環境基準値を超える地点が全国的に散見された (図 4-4-7-11)。

図 4-4-7-12 及び表 4-4-7-2 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 4-4-7-12 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 3-7-2 にまとめた。3月29日は計3地点、3月30日は計4地点、3月31日は計2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。

それぞれの地点で 3月29日の観測時間ころから PM10 の上昇に伴い、PM2.5/PM10 が減少し、3月31日夕方ころには PM10 は低い値、PM2.5/PM10 は上昇傾向に転じている様子が見られる。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、特に名古屋から西日本にかけ fSO_4^{2-} が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える時間帯が 3月29日午後から 30日にかけて多くの地点でみられる。(図 4-4-7-13)。

なお、北京、瀋陽では、黄砂観測日前日の 3月28日に PM2.5 濃度の 1時間値がそれぞれ $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の値を示す時間が数時間継続している (図 4-4-7-14)。

また、本事例における湿度の時系列 (図 4-4-7-15) に関しては黄砂飛来日の 3月30日で、PM10 の増加に伴い、湿度が減少している様子が顕著に表れている。

以上の通り、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。

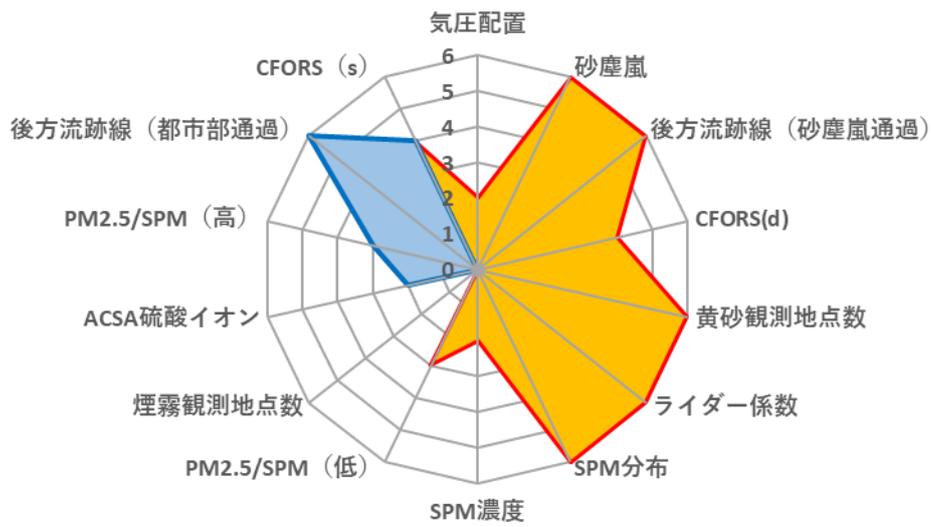


図 4-4-7-1 黄砂の特徴を示すレーダーチャート

表 4-4-7-1 黄砂観測地点

日付	地点数	観測地点名										
2021/3/29	7	仙台	新潟	広島	大阪	福岡	鹿児島	高松				
2021/3/30	10	札幌	仙台	新潟	名古屋	東京	広島	大阪	福岡	鹿児島	高松	
2021/3/31	8	仙台	新潟	東京	広島	大阪	福岡	鹿児島	高松			

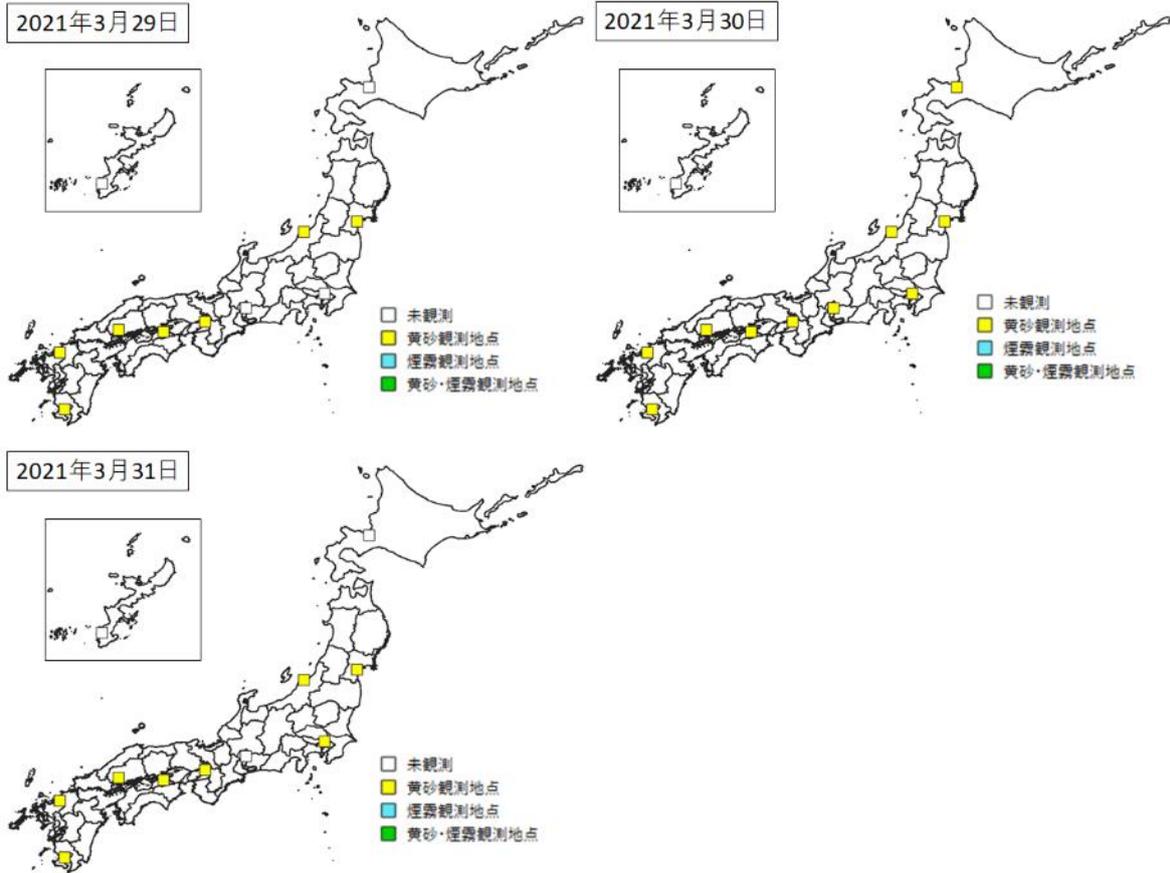
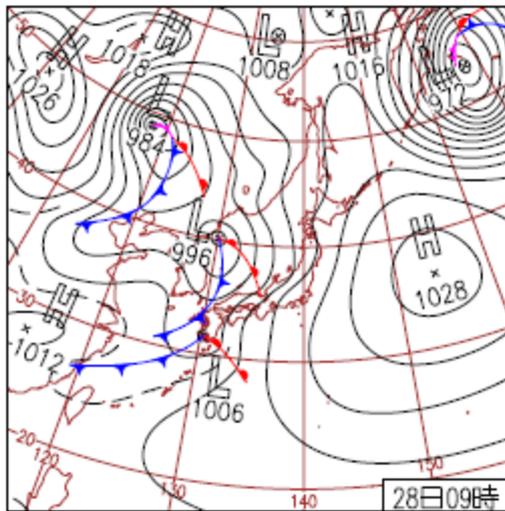
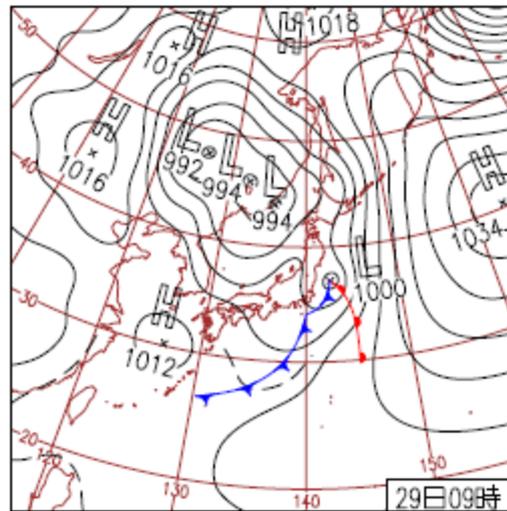


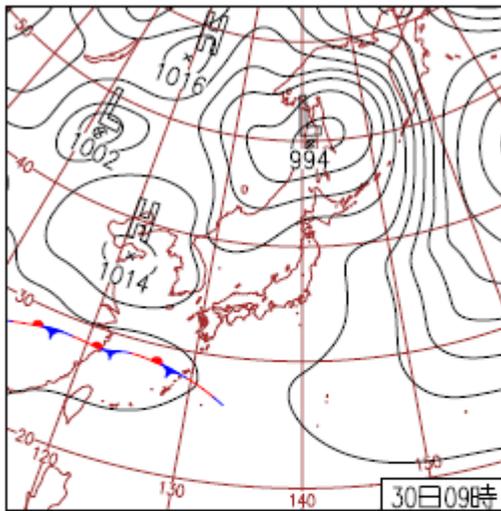
図 4-4-7-2 黄砂観測地点



28日(日)仙台市でサクラ開花
 日本海と日本の南岸を低気圧が進み、全国的に雨。西日本太平洋側では非常に激しい雨を観測し、1時間降水量が3月1位の所も。北海道では12か所で最高気温が3月の1位を記録。

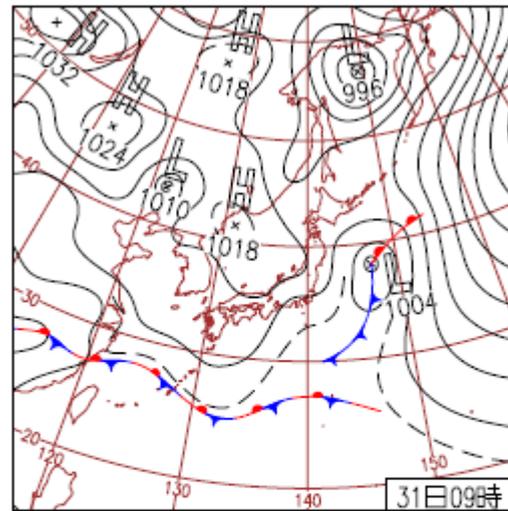


29日(月)西～北日本で黄砂観測
 北海道と沖縄で曇りの他は、概ね晴れ。北日本で7月並に気温上昇した所も。中国東北区付近を東進する低気圧を回り、黄砂が日本付近に飛来。西日本～北日本の広い範囲で観測。



30日(火) 東京で黄砂観測

日本付近は気圧の谷となり、全国的に雲が多く九州南部や沖縄では雨。東京を含む西～北日本の広い範囲で黄砂を観測。東京での観測は2011年5月3日以来10年ぶり。



31日(水) 黄砂続く

日本海の高気圧に覆われ、西日本～北日本は概ね晴れ。停滞する前線の影響で沖縄・奄美は曇り。西日本～北日本で黄砂を観測。沖縄県西表島の最高気温29.7℃は3月の記録更新。

図 4-4-7-3 天気図

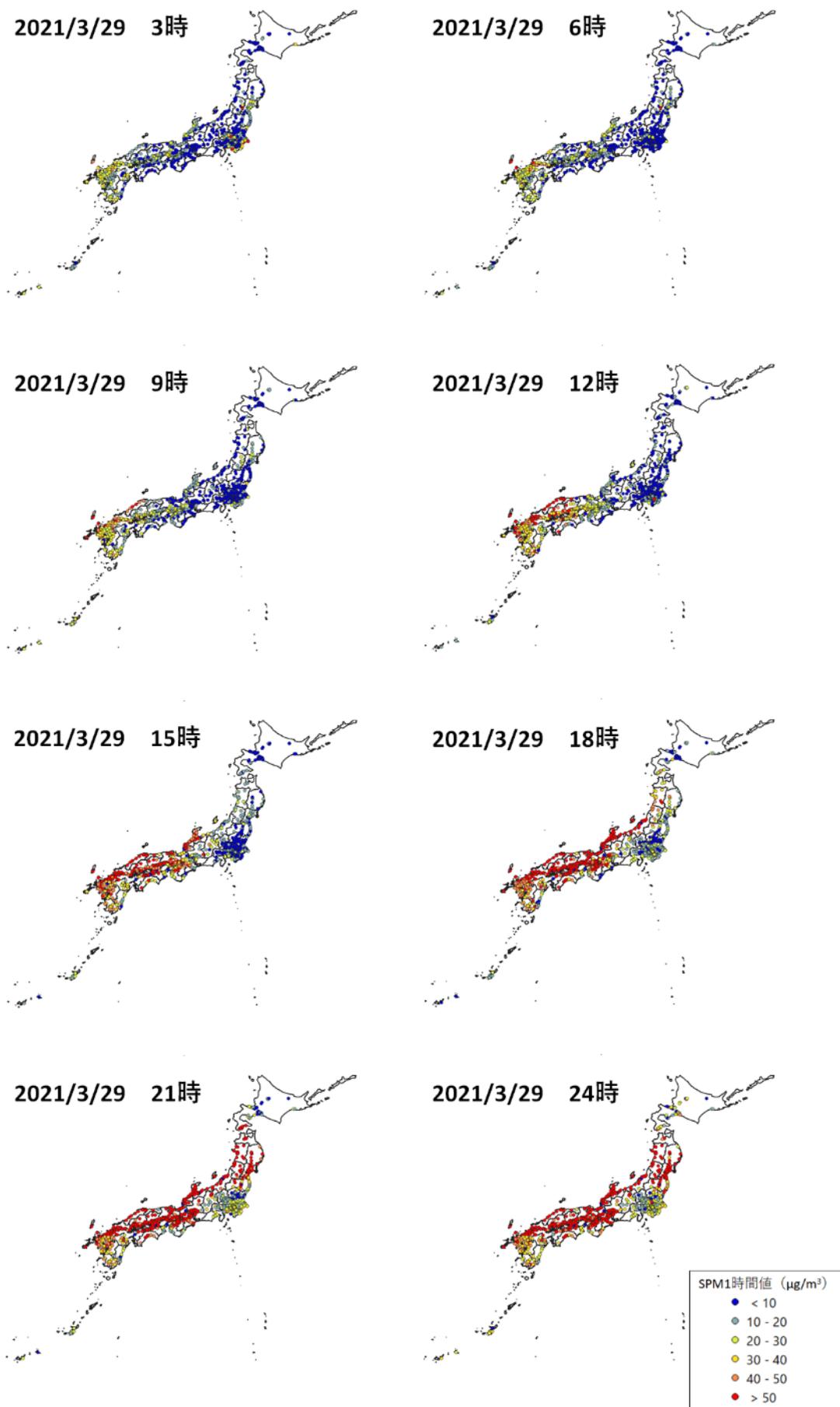


図 4-4-7-4 SPM1 時間値濃度全国分布(1) (2021 年 3 月 29 日)

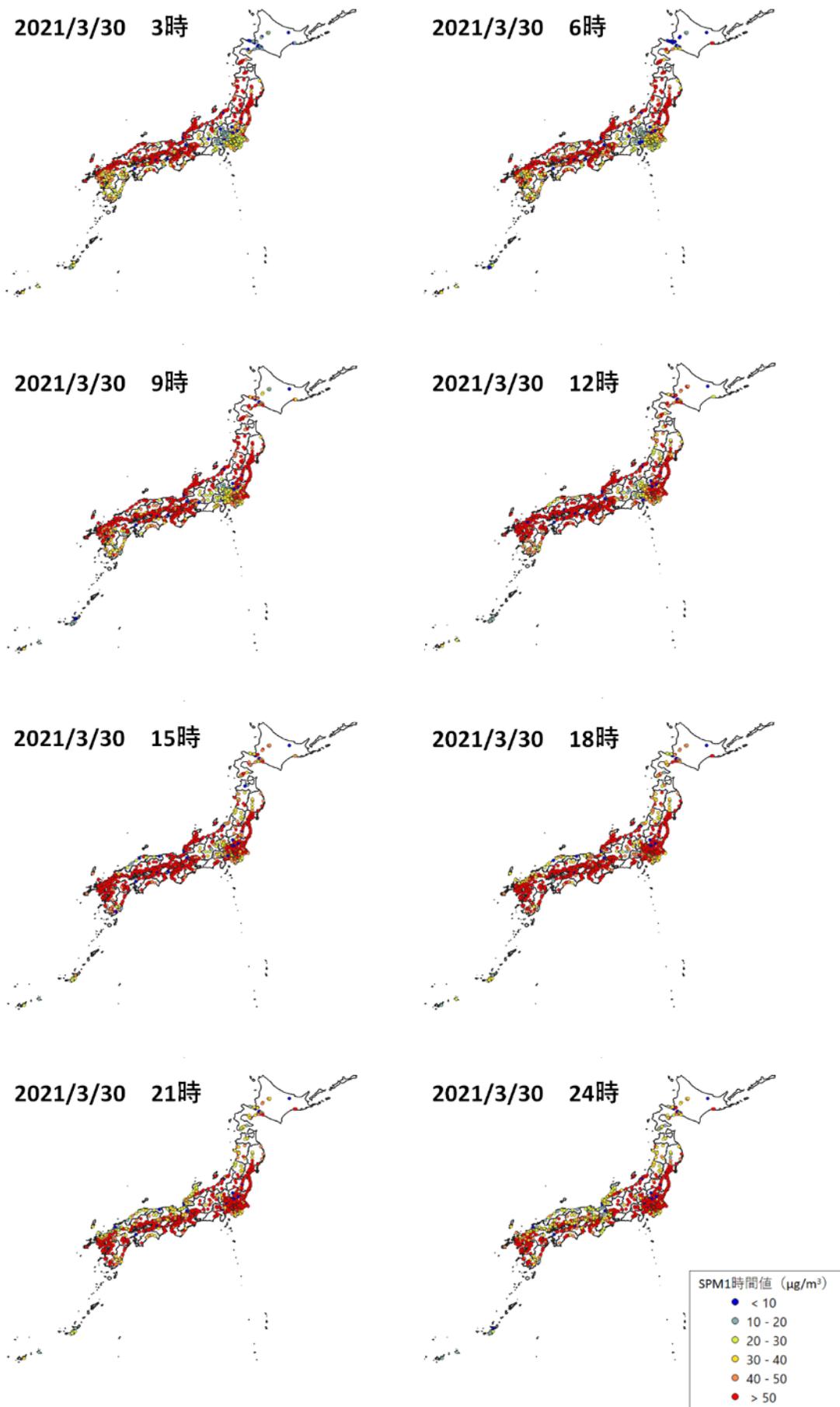


図 4-4-7-5 SPM1 時間値濃度全国分布(2) (2021 年 3 月 30 日)

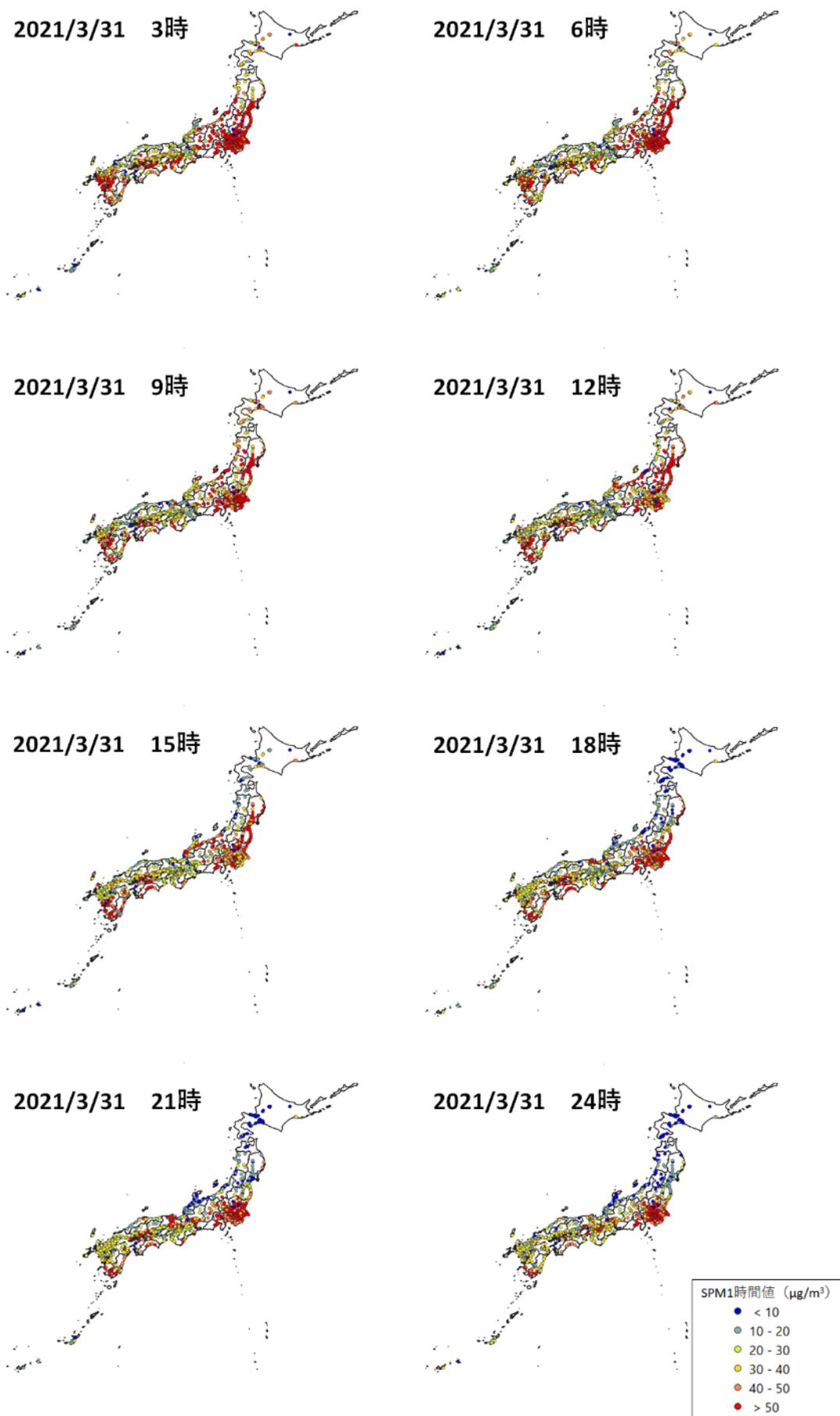


図 4-4-7-6 SPM1 時間値濃度全国分布(3) (2021 年 3 月 31 日)

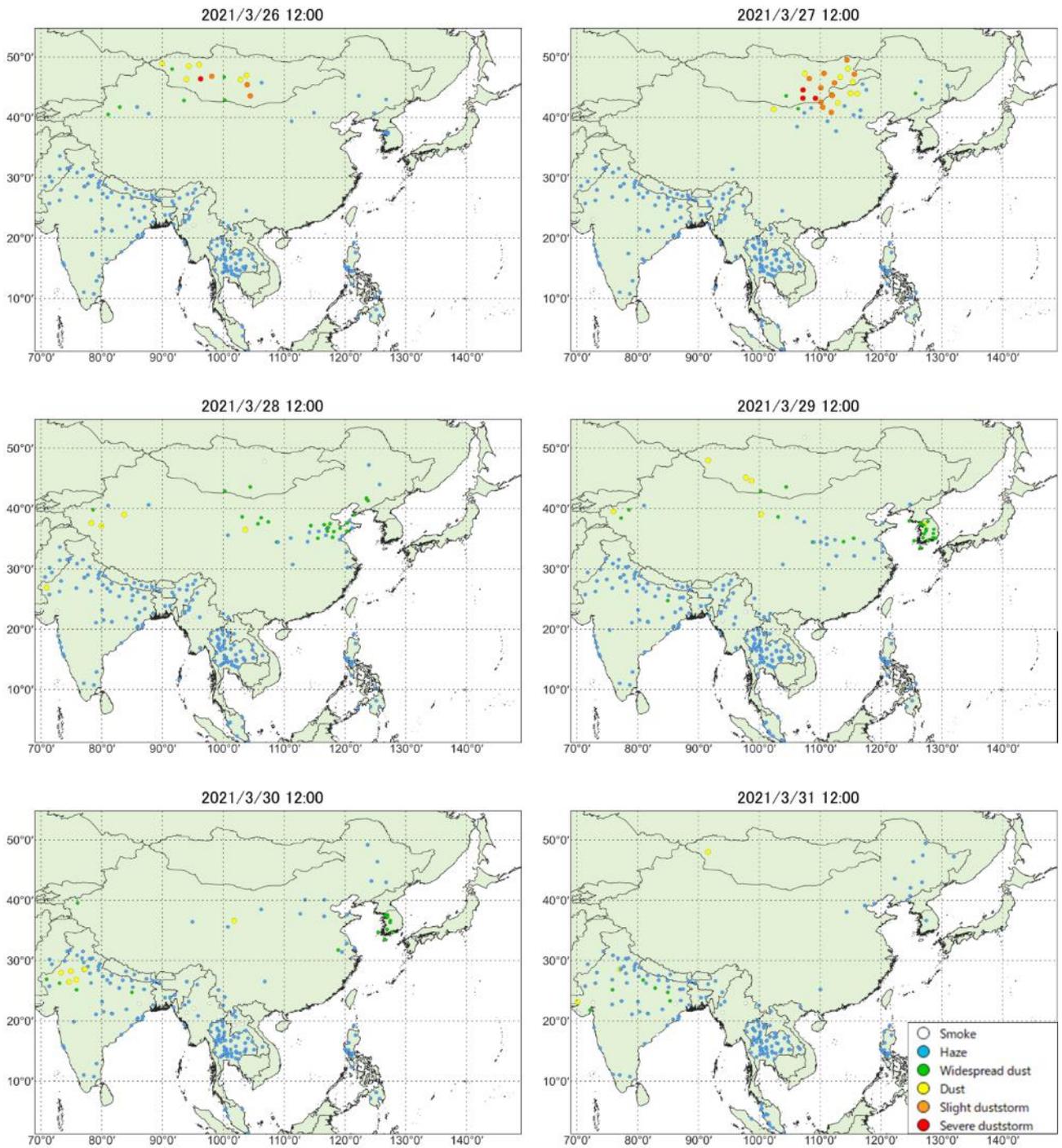


图 4-4-7-7 砂塵嵐発生状況

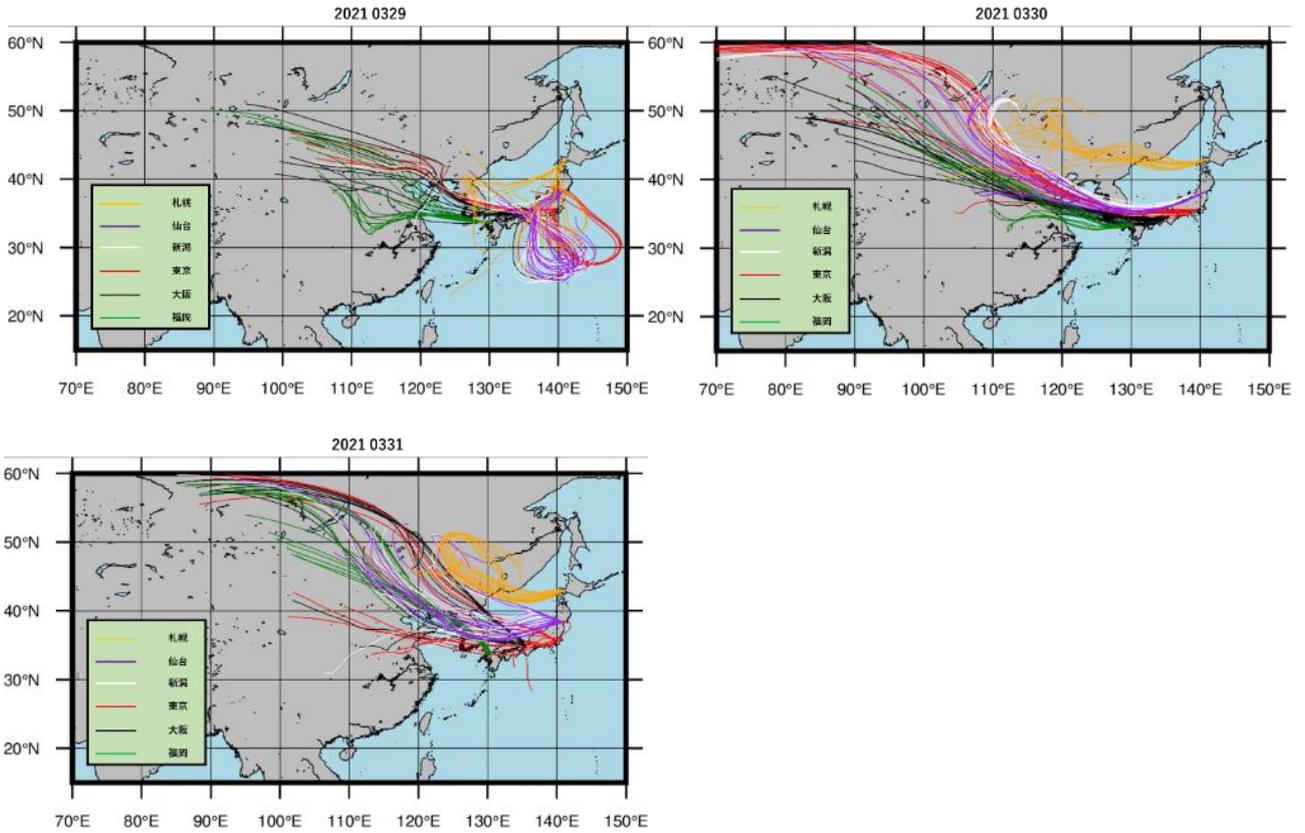
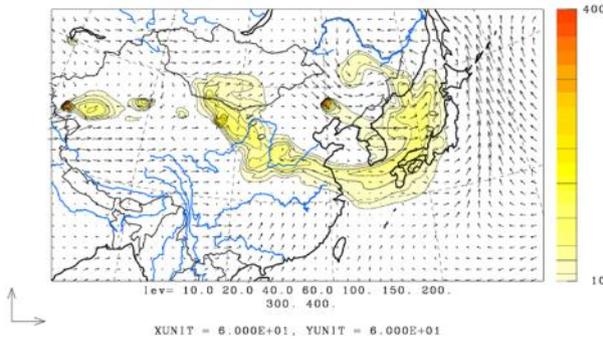


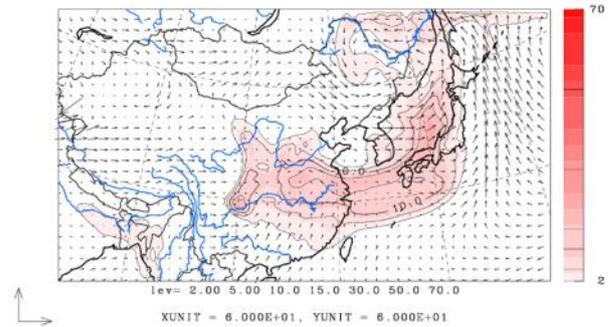
図 4-4-7-8 後方流跡線 (72 時間前より)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2021/03/29. 12:00:00



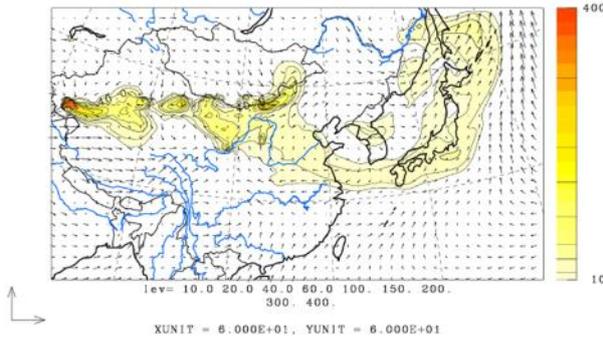
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2021/03/29. 12:00:00



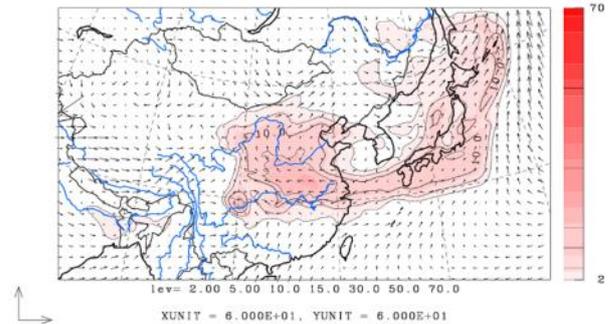
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2021/03/30. 12:00:00



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2021/03/30. 12:00:00



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

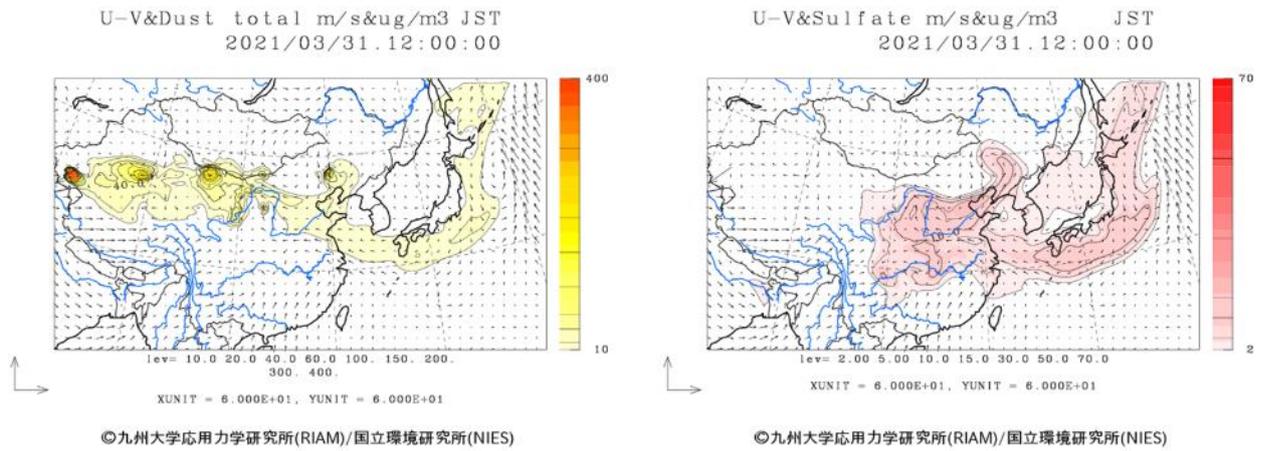
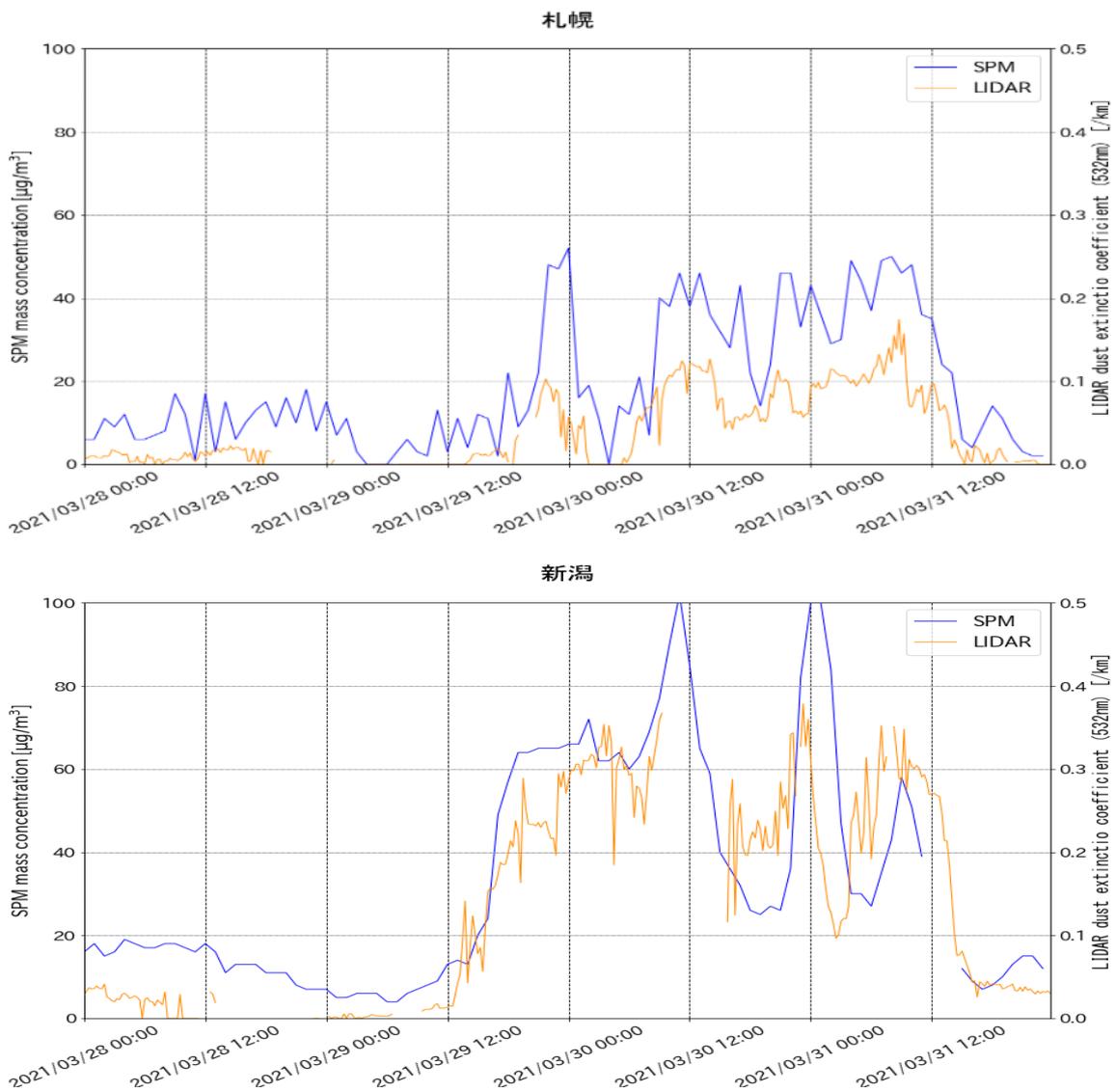
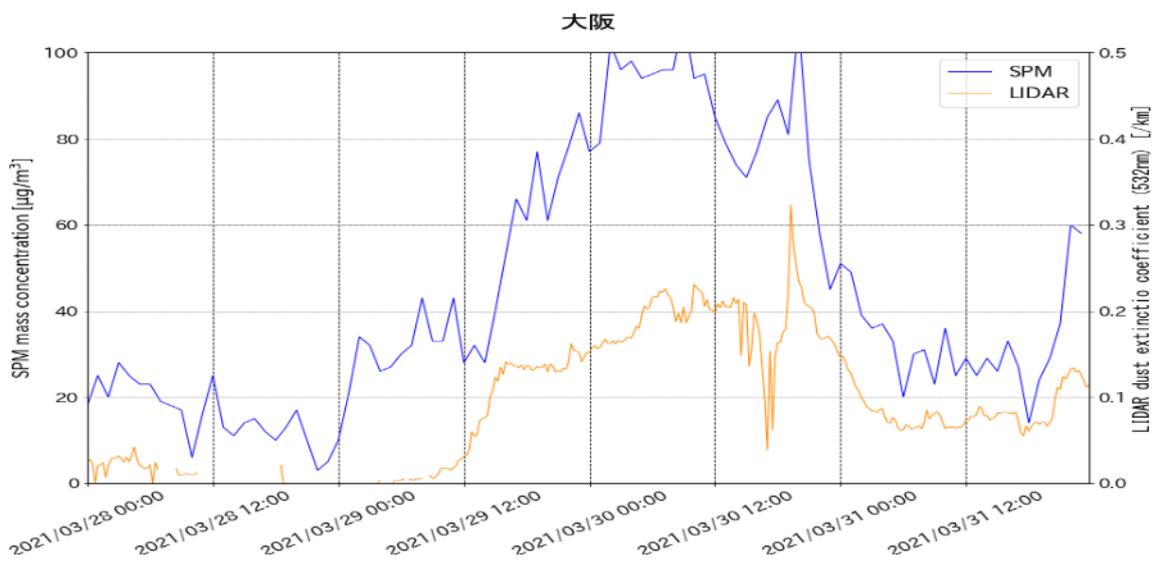
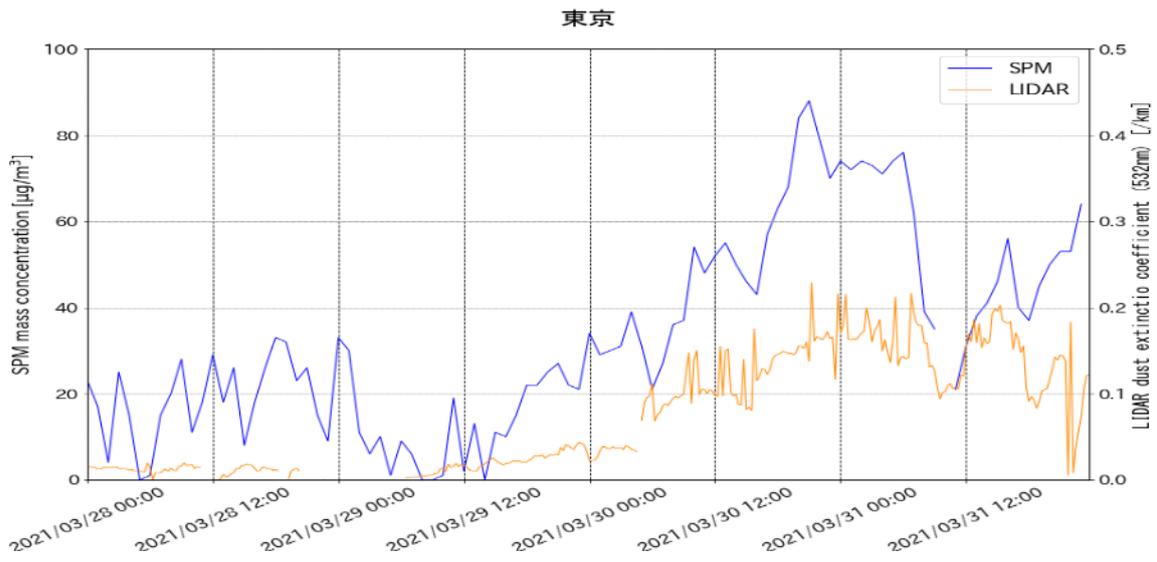


図 4-4-7-9 CFORS(dust (左図) - sulfate (右図))予測結果





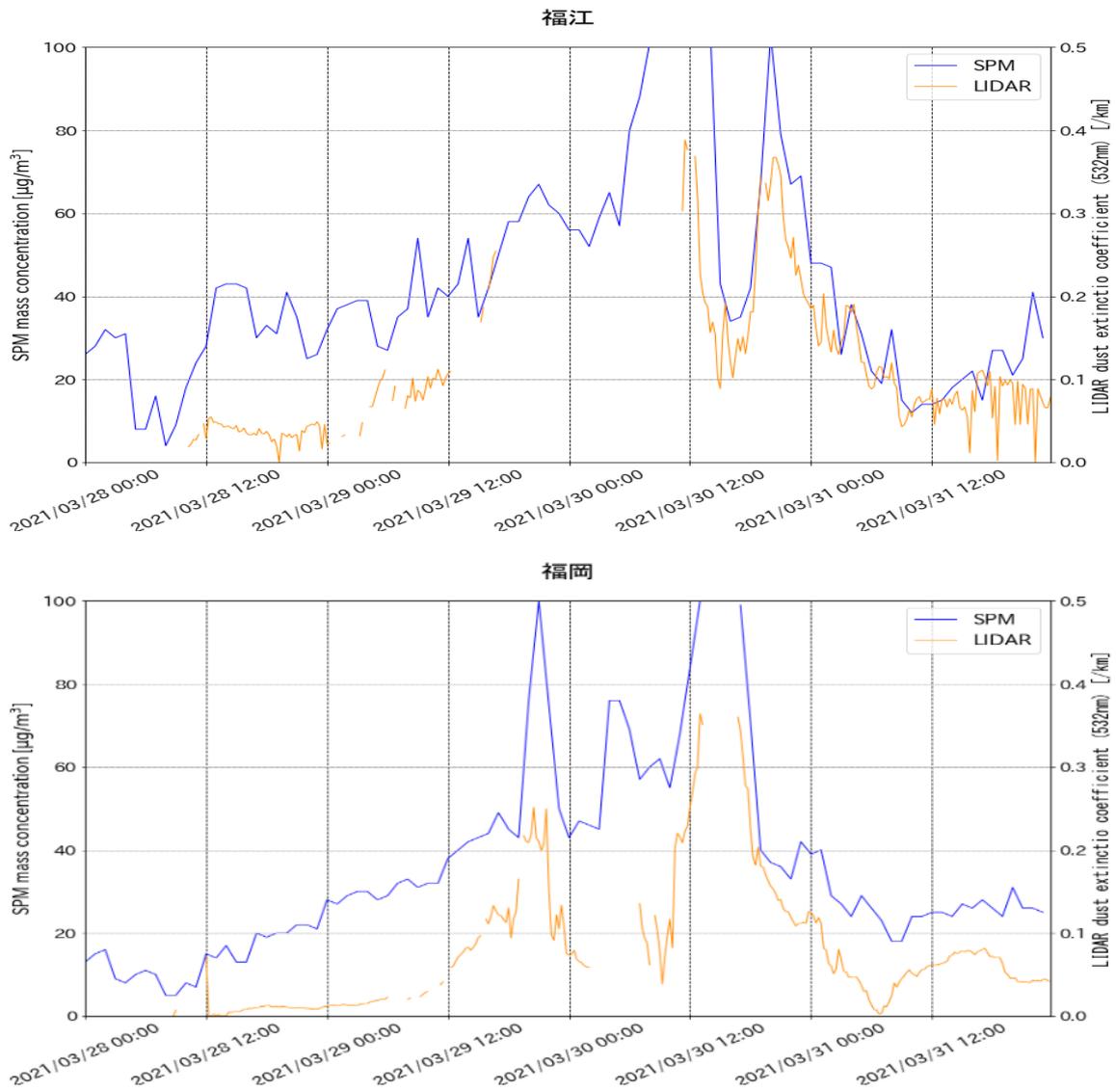


図 4-4-7-10 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (札幌・新潟・東京・大阪・松江・福江・福岡)

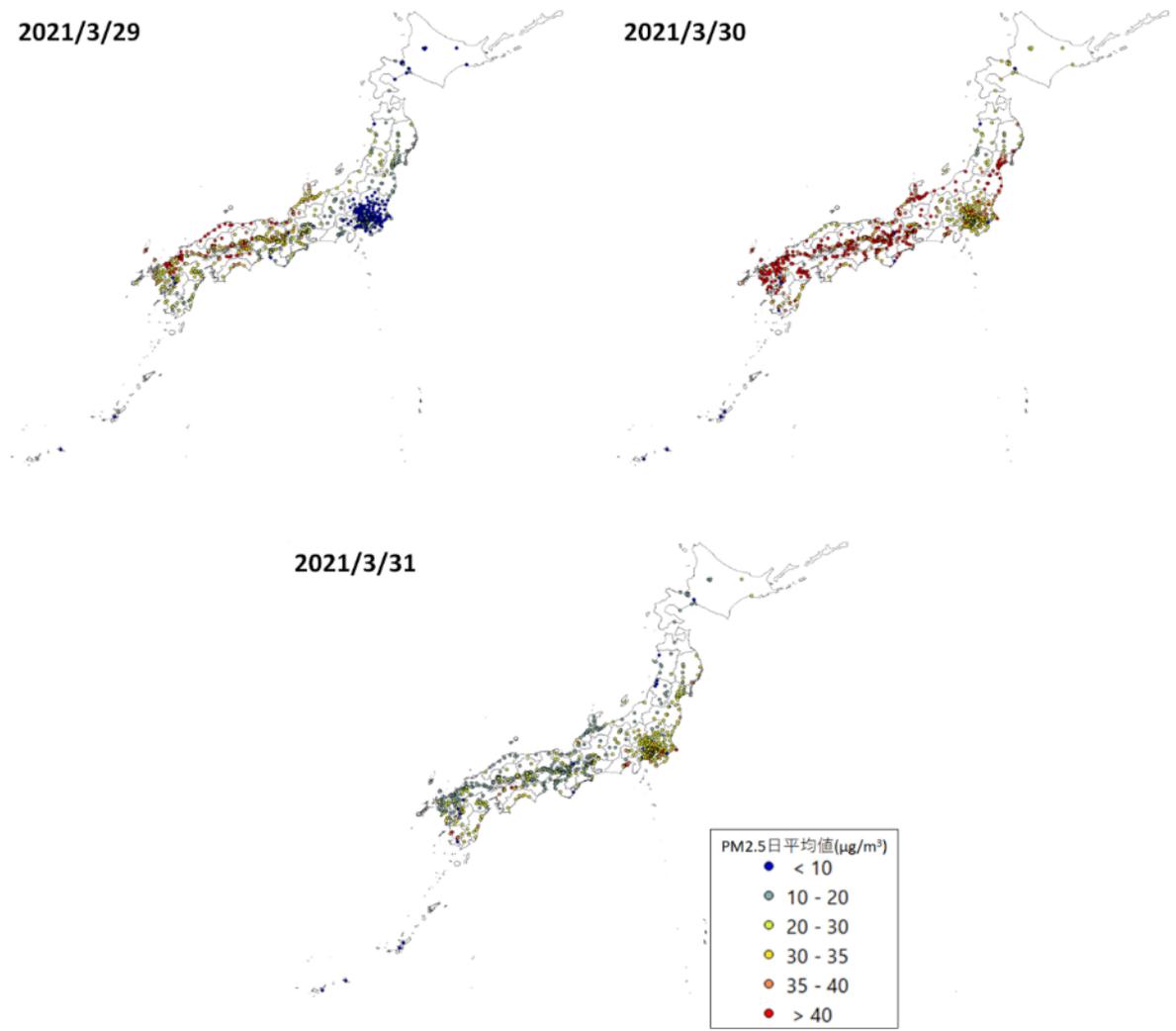


图 4-4-7- 11 PM2.5 日平均值/全国分布

2021/3/29

2021/3/30

2021/3/31

PM2.5/SPM
 ● < 0.3
 ● 0.3 - 0.5
 ● 0.5 - 0.7
 ● 0.7 - 0.9
 ● > 0.9

図 4-4-7-12 PM2.5 日平均値/SPM 日平均値全国分布

表 4-4-7-2 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
2021/3/29	8402010	茨城県	7.06	24.47	0.29
	12208010	千葉県	8.65	32.06	0.27
	30203010	和歌山県	1.88	46.82	0.04
	47206020	沖縄県	7.06	24.47	0.29
2021/3/30	11214510	埼玉県	15.06	74.71	0.20
	30301030	和歌山県	7.53	75.82	0.10
	44341020	大分県	19.29	69.94	0.28
	47201140	沖縄県	8.59	28.88	0.30
2021/3/31	8541010	茨城県	19.29	67.47	0.29
	47207020	沖縄県	5.00	16.71	0.30

※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

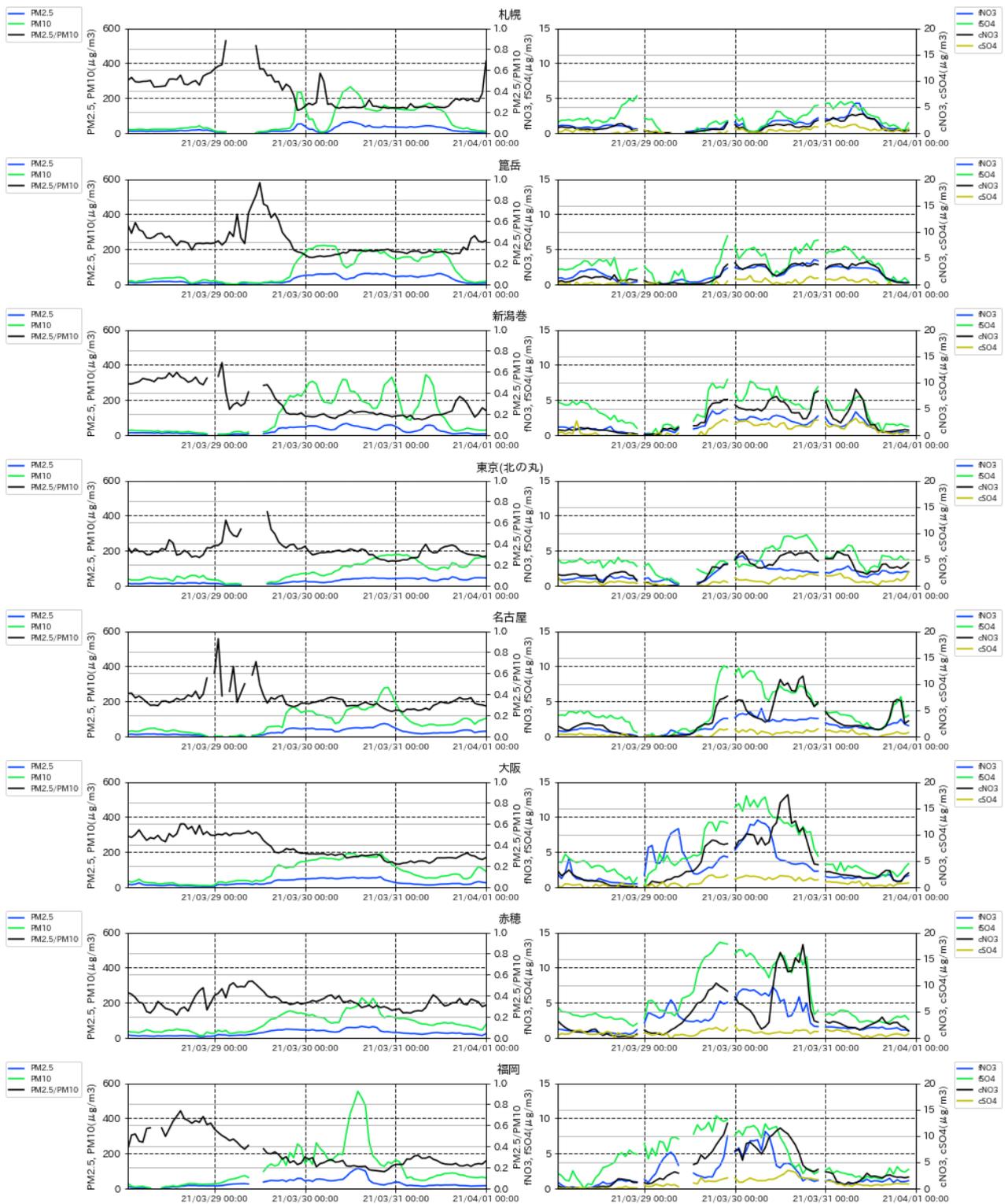


図 4-4-7-13 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

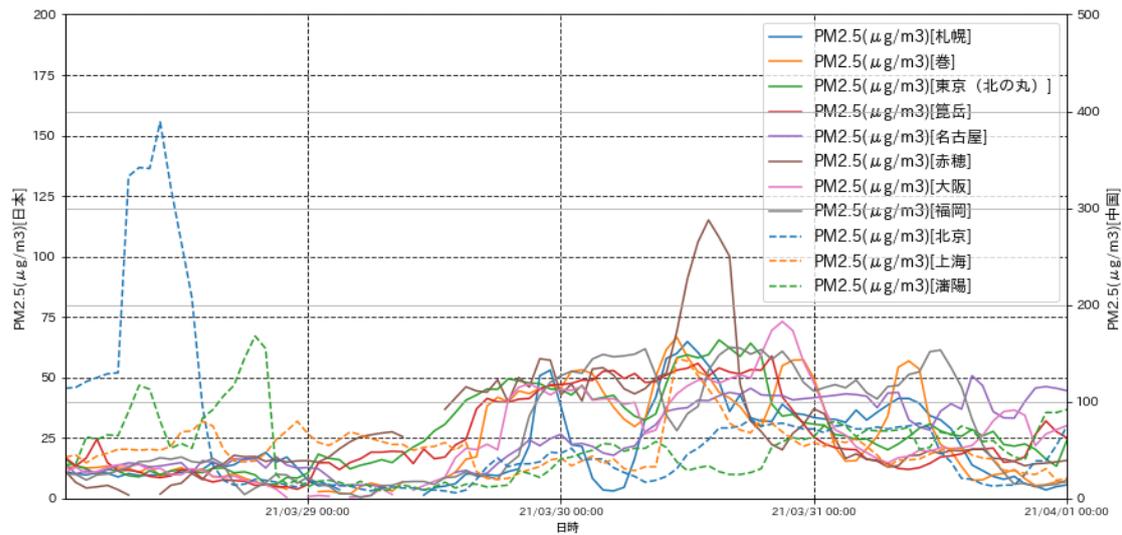
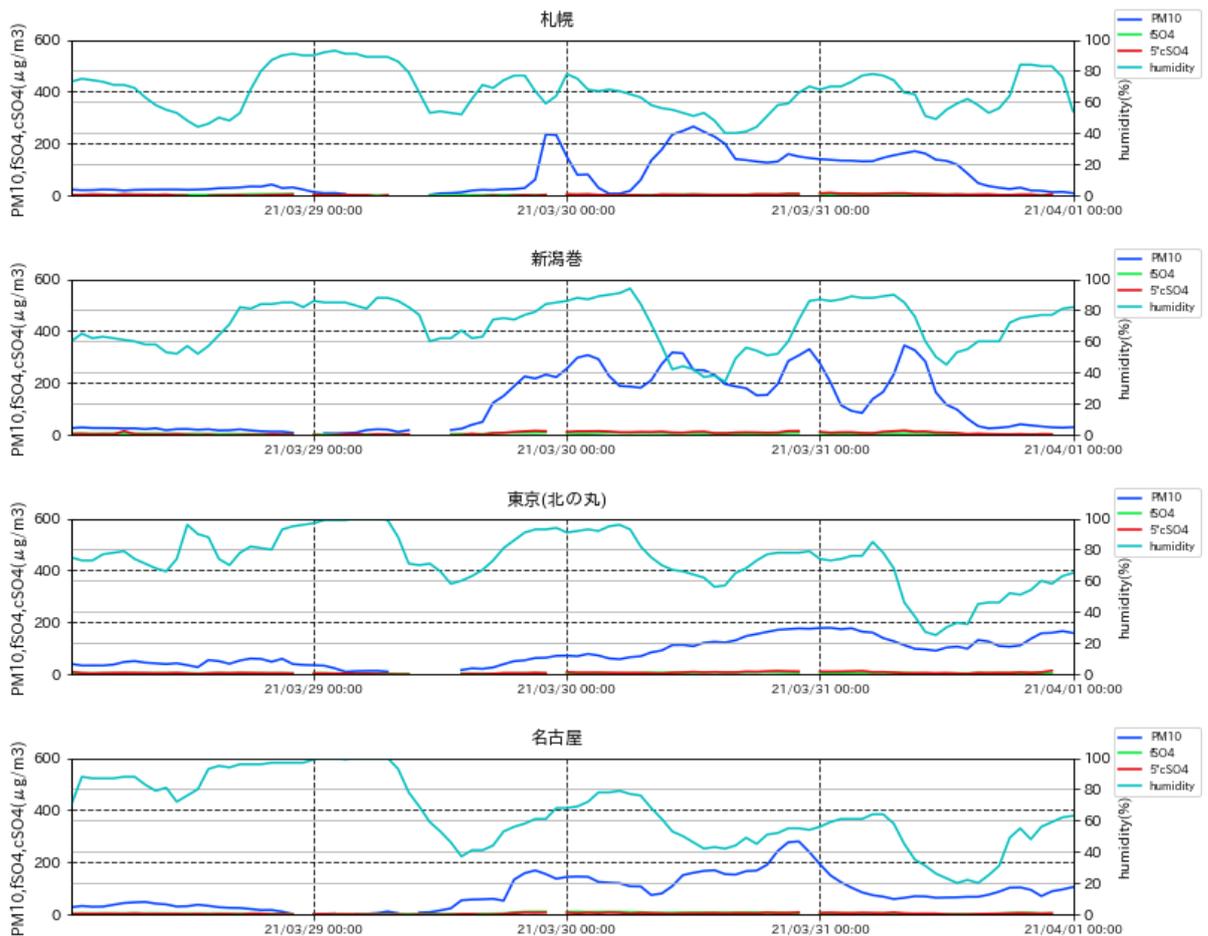


図 4-4-7-14 日本と中国での PM2.5 濃度



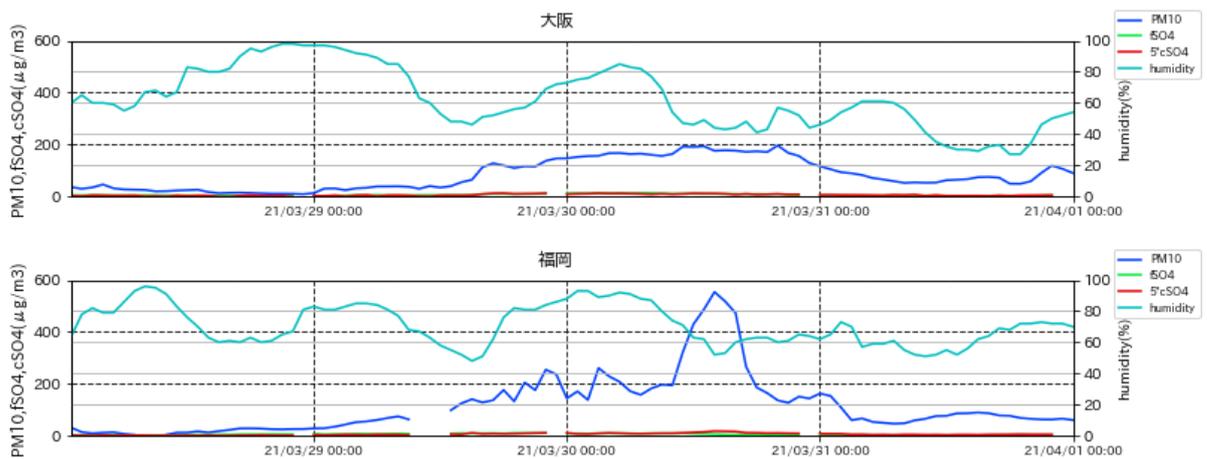


図 4-4-7-15 PM10、fSO₄²⁻、cSO₄²⁻、湿度の経時変化。fSO₄²⁻、cSO₄²⁻は値を 5 倍にしてある。

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

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ため、ここではさらに詳細な解析を行った。

図 4-5-1 は東京におけるライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化を示す。通常、大陸からの SPM など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、図 4-5-1 における SPM 濃度は 3 月 29 日正午過ぎから上昇し始め、3 月 30 日のピークが 80μg/m³ 以上となっている。また、図 4-5-2 は湿度の経時変化を示すが 3 月 29 日や 30 日の夜間に 100% に近い値をとるなど湿度が非常に高くなっている。このことより事例 7 において関東には SPM 高濃度の湿った空気が流れ込んだ可能性がある。すなわち大陸から太平洋に気流が吹き出し、再び、日本に戻ってくる移流があったことを示唆している。

このことを調べるために図 4-5-3 に黄砂事例 7 における後方流跡線の日本付近の拡大図で関東の 3 地点 (筑波、東京、千葉) からの後方流跡線を示した。3 月 29 日に 3 地点全てで大陸からの後方流跡線が南東北を通り太平洋に抜け、その後、関東に戻ってきている様子が見て取れる。後方流跡線のデータを見るとこの状況は 3 月 29 日 0:00 以降、7:00 頃まで継続していた。

上記より事例 7 において関東 (東京) で SPM が高い値となっているのは、大陸からの黄砂を含む空気塊が太平洋を抜けて日本に戻ってきた結果であることを示唆している。

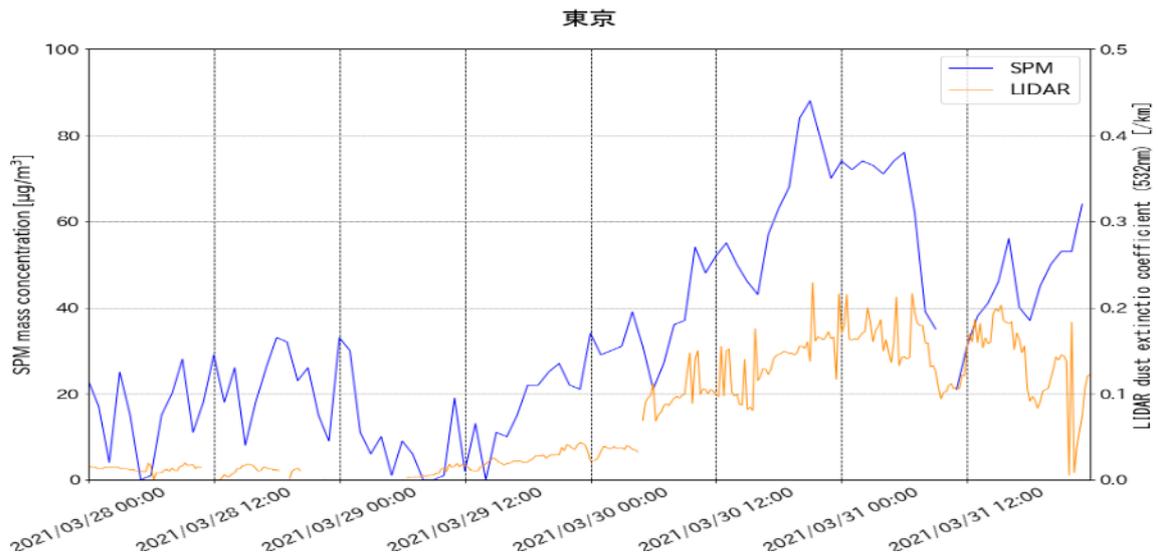


図 4-5-1 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化 (東京)

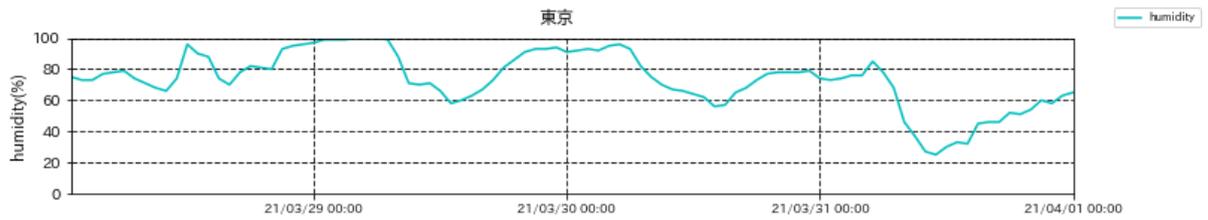


図 4-5-2 湿度の経時変化。

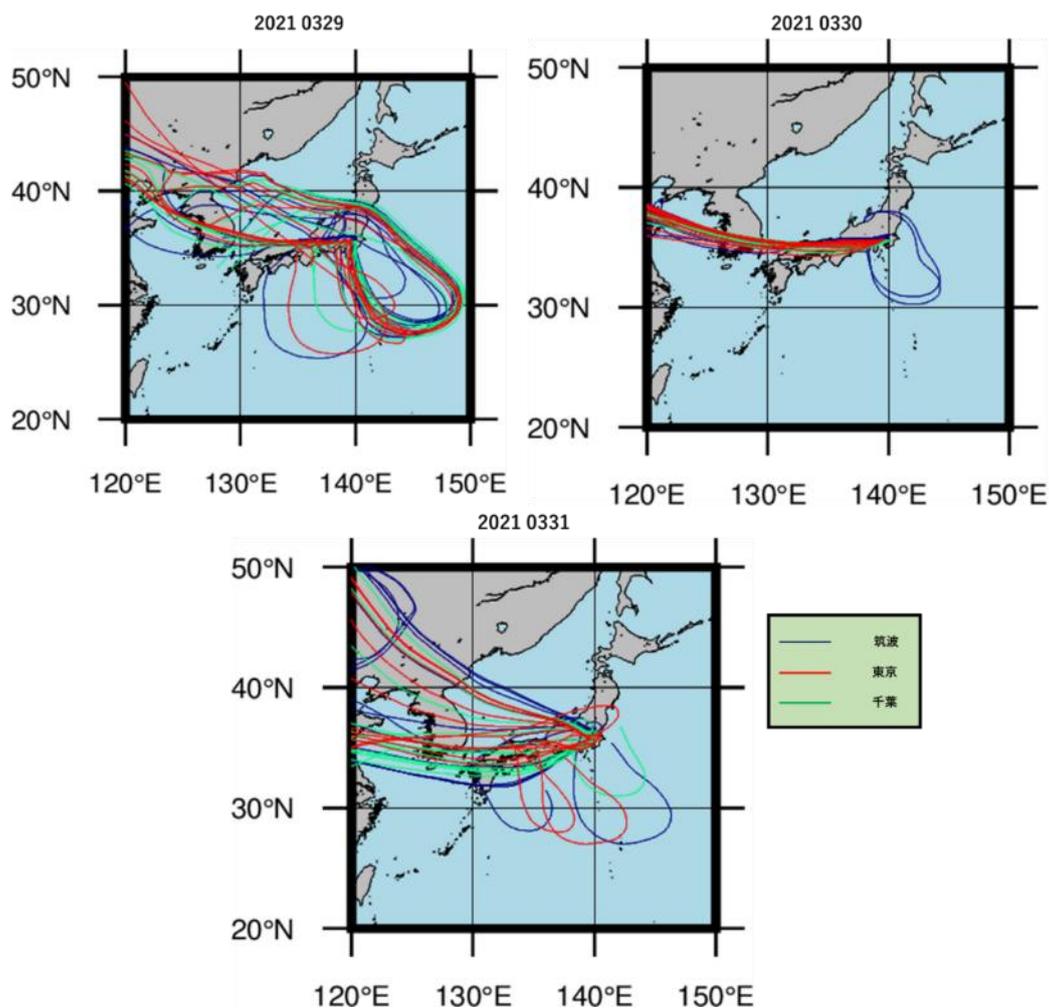


図 4-5-3 黄砂事例 7 における後方流跡線（72 時間前より）の日本付近の拡大図。関東の 3 地点からの後方流跡線を示している。また、各地点、各黄砂観測日の 0:00 から 12:00 までの 1 時間ごと 13 時間分の、起点からさかのぼるデータを作図に利用した。これにより、ある黄砂観測日のある地点からは、13 の後方流跡線が作図される。出発高度は、SPM 濃度との関連を評価するため地表面に近い 1500m とした。

5 2020 年度における煙霧日の事例解析

5.1 解析手法

(1) 煙霧観測地点

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。

(2) 解析項目

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

解析対象は、2020年度に5.1(1)で述べた方法で決定した11事例（計21日）である（表5-2-1）。煙霧時のPM2.5/SPMの値は0.60から0.97の範囲であり、黄砂時(0.60から0.85)と比較してやや高い範囲の数値となった。また、ACSAのPM2.5/PM10は黄砂時(0.19から0.53)と比較し、煙霧時は0.42から0.63と高い値であった。

表 5-2-1 2020年度の煙霧日一覧（SPMおよびPM2.5濃度： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

事例	No..	期日			黄砂の規模		SPM 平均濃度	PM2.5/SPM	PM2.5/PM10
		年	月	日	地点数	PM2.5 平均濃度			
1	1	2020	5	2	14	28.74	36.36	0.81	0.60
	2	2020	5	3	14	22.42	29.75	0.78	0.55
2	3	2020	6	4	15	24.31	33.17	0.74	0.59
3	4	2020	8	3	15	29.04	46.23	0.65	0.56
	5	2020	8	4	26	31.69	49.55	0.66	0.58
	6	2020	8	5	32	33.44	52.26	0.67	0.61
	7	2020	8	6	37	25.83	41.42	0.66	0.58
	8	2020	8	7	24	28.22	45.68	0.63	0.51
	9	2020	8	8	21	31.09	52.54	0.60	0.42
	10	2020	8	9	13	20.66	34.86	0.62	0.49
4	11	2020	8	25	10	20.81	32.55	0.72	0.53
5	12	2020	12	30	11	7.21	9.01	0.83	0.53
	13	2020	12	31	10	3.50	3.42	0.85	0.51
6	14	2021	1	7	10	5.66	6.77	0.97	0.59
7	15	2021	1	19	12	5.83	6.55	0.83	0.57
8	16	2021	2	2	16	11.12	14.11	0.88	0.51
	17	2021	2	3	10	7.11	7.88	0.87	0.61
9	18	2021	2	7	20	19.59	24.62	0.90	0.52
	19	2021	2	8	13	10.37	12.96	0.94	0.63
10	20	2021	2	16	10	6.17	8.35	0.85	0.56
11	21	2021	3	15	11	20.18	24.13	0.93	0.63

※ 「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5月2日：北海道、東北、関東、東海、近畿、四国、中国での観測のため札幌、箕岳、東京、名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2020年5月3日：北海道、関東、東海、近畿、四国、中国での観測のため札幌、新潟巻、東京、名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2020年6月4日：関東、東海、近畿、四国、中国での観測のため東京、名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2020年8月3日：東北、関東、四国、中国、九州での観測のため箕岳、東京、大阪、赤穂、福岡、五島の平均

2020年8月4日：東北、北陸、近畿、四国、中国、九州での観測のため箕岳、巻、東京、大阪、赤穂、福岡、五島の平均

2020年8月5日、6日：東北、北陸、関東、東海、近畿、四国、中国、九州での観測のため箕岳、巻、東京、名古屋、大阪、赤穂、隠岐、福岡、五島の平均

2020年8月7日：東北、関東、東海、近畿、四国、中国、九州での観測のため箕岳、東京、名古屋、大阪、赤穂、隠岐、福岡、五島の平均

2020年8月8日：北陸、関東、東海、近畿、四国、中国、九州での観測のため巻、東京、名古屋、大阪、赤穂、隠岐、福岡、五島の平均

2020年8月9日：北陸、関東、東海、四国、中国での観測のため巻、東京、名古屋、赤穂、隠岐の平均

2020年8月25日：近畿、四国、中国、九州での観測のため赤穂、隠岐、福岡、五島の平均

2020年12月30日：北海道、東北、北陸、関東、近畿、中国、九州での観測のため札幌、箕岳、巻、東京、大阪、赤穂、福岡、五島の平均

2020年12月31日：北海道、東北、北陸、中国での観測のため札幌、箕岳、巻、隠岐の平均

2021年1月7日：北海道、東北、北陸、中国、九州での観測のため札幌、箕岳、巻、赤穂、隠岐、福岡の平均

2021年1月19日：北海道、東北、北陸、関東での観測のため札幌、箕岳、巻、東京の平均

2021年2月2日：北海道、東北、北陸、中国での観測のため札幌、箕岳、巻、赤穂、隠岐、福岡の平均

2021年2月3日：北海道、東北、北陸、中国での観測のため札幌、箕岳、巻、隠岐の平均

2021年2月7日：北海道、北陸、東海、近畿、四国、中国、九州での観測のため札幌、巻、名古屋、大阪、赤穂、隠岐、福岡の平均

2021年2月8日：北海道、東北、北陸、東海、近畿、四国、中国、九州での観測のため札幌、箕岳、巻、名古屋、大阪、赤穂、福岡の平均

2021年2月16日：北海道、東北、北陸、中国での観測のため札幌、箕岳、巻、隠岐の平均

2021年3月15日：近畿、四国、中国、九州での観測のため赤穂、隠岐、福岡の平均

5.3 煙霧日の解析結果

(1) 煙霧事例1 2020年5月2日

本事例は、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（表5-3-1-1、図5-3-1-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図5-3-1-3）、4月30日にモンゴルでDustが、5月1日にモンゴルでDust、Slight Duststormが発生している様子が見られる。このときの気流を後方流跡線で確認（図5-3-1-4）したところ、札幌の流跡線でDustが発生した領域の近くを通っていることがわかる。さらにCFORS（図5-3-1-5）においても、DustおよびSulfateが日本全域に影響を及ぼしている様子が示されている。

この期間におけるライダー黄砂消散係数とSPM濃度の経時変化を比較したところ、ライダー黄砂消

散係数は、新潟において断続的な上昇が見られた他は、全国的に極めて低い傾向にあった。また SPM は仙台、東京、大阪ではやや値が大きい時間帯が存在したものの、その他の地点では目立った変動は見られなかった（図 5-3-1-6）。

PM2.5 濃度は、5 月 2 日は環境基準である $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が多く全国的に高濃度であったが、翌 3 日は濃度が下がり、環境基準 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となった（図 5-3-1-7）。

また、PM2.5/PM10 比は低い値となっていない。東京では 5 月 1 日正午頃から PM10、PM2.5 が増加傾向になるが、その後のピーク時においても顕著に高い濃度となっていない。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については fSO_4^{2-} と cNO_3^- が、多くの地点で煙霧観測日に高い値となる傾向が見られ、特に東京、大阪、赤穂で 5 月 3 日 0:00 前後に $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度となっている（図 5-3-1-8）。

なお、北京では、日本での煙霧が観測された日の前日、5 月 1 日に一時、約 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度の PM2.5 を観測している（図 5-3-1-9）。

以上から、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 fSO_4^{2-} 混合した弱い煙霧事例と考えられる。

表 5-3-1-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
		津	宇都宮	横浜	高松	下関	徳島	網走	盛岡	奈良	和歌山
2020/5/2	14	函館	前橋	熊谷	水戸						
		横浜	京都	宇都宮	前橋	熊谷	静岡	岐阜	水戸	奈良	甲府
2020/5/3	14	彦根	徳島	釧路	福井						

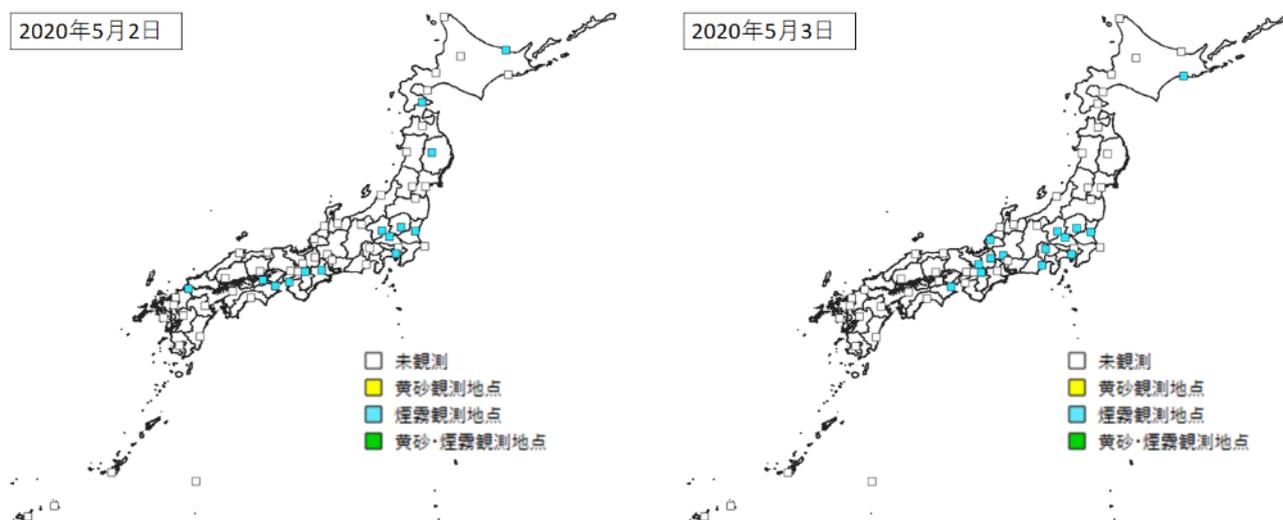
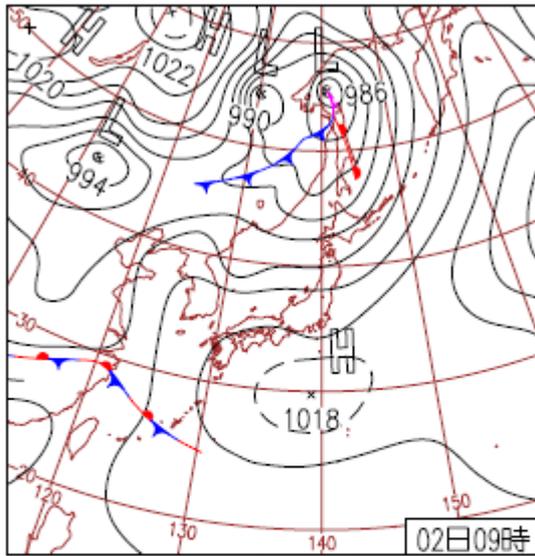
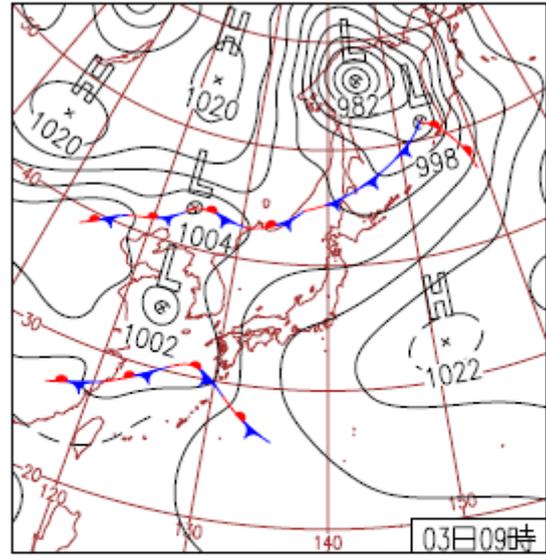


図 5-3-1-1 煙霧観測地点



2日(土)西日本～東北は真夏日

九州～東北は概ね晴れ。最高気温は長野県南信濃33.1℃、また宮城県名取32.1℃は5月1位。沖縄・奄美は停滞する前線の影響で雨。沖縄県渡嘉敷の日降水量198.5mmは5月1位。



3日(日)帯広市サクラ満開

前線の影響で南西諸島～西日本は雨。沖縄県久米島では47mm/1hの激しい雨。東日本～北日本は晴れて気温が上昇し、東北の内陸中心に真夏日。帯広市のサクラは開花翌日に満開。

図 5-3-1-2 天気図

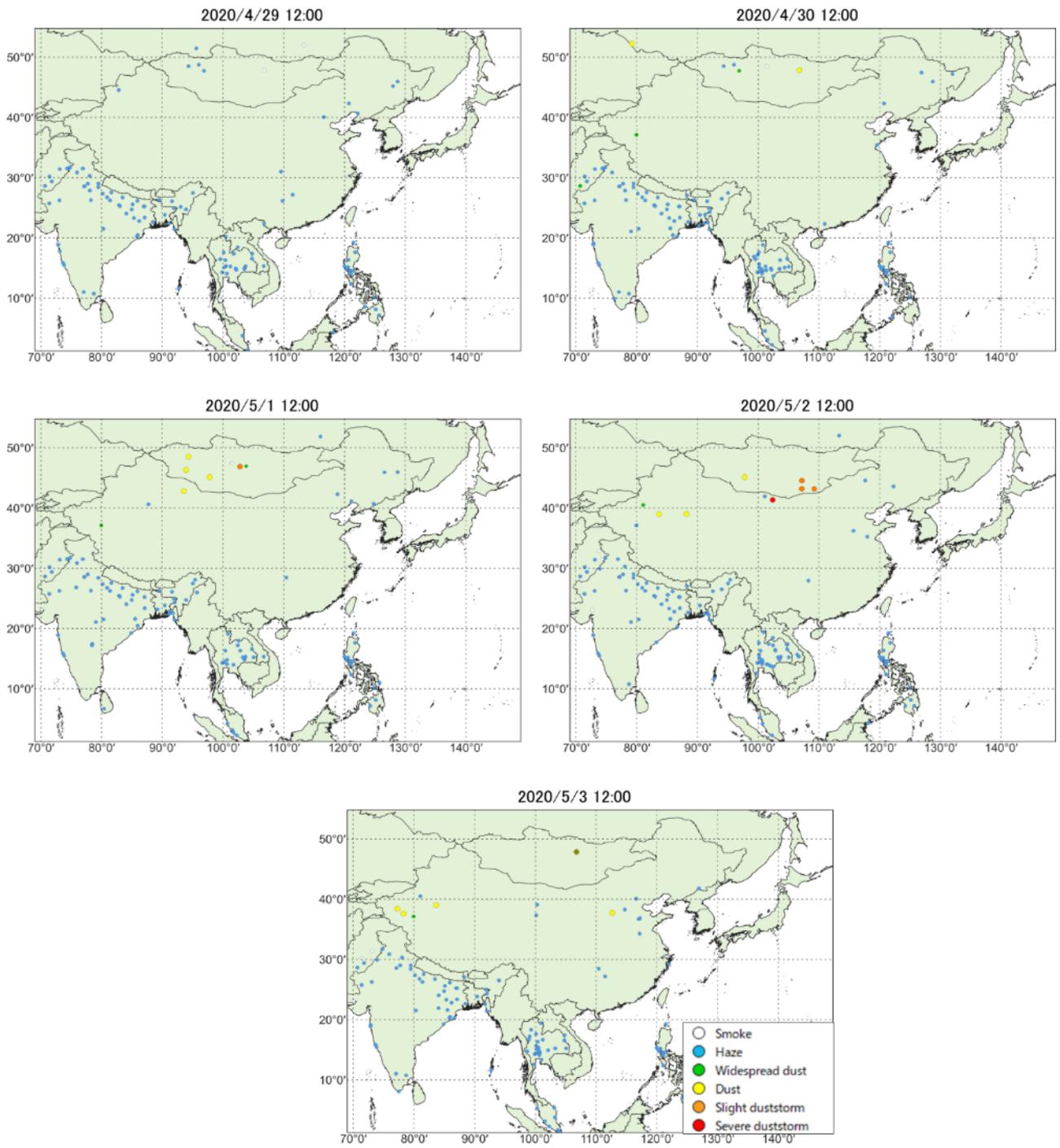


图 5-3-1-3 砂塵嵐発生状況

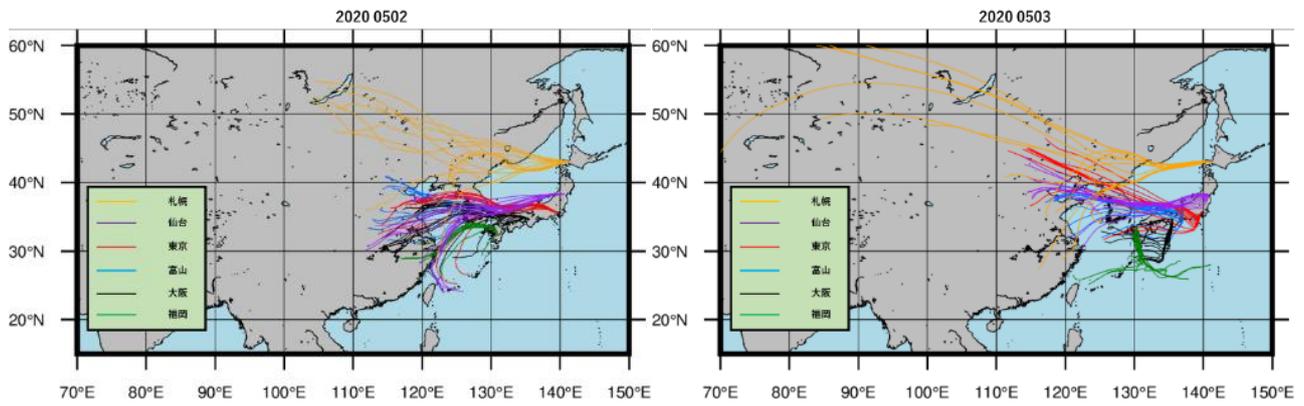


図 5-3-1-4 後方流跡線 (72 時間前より)

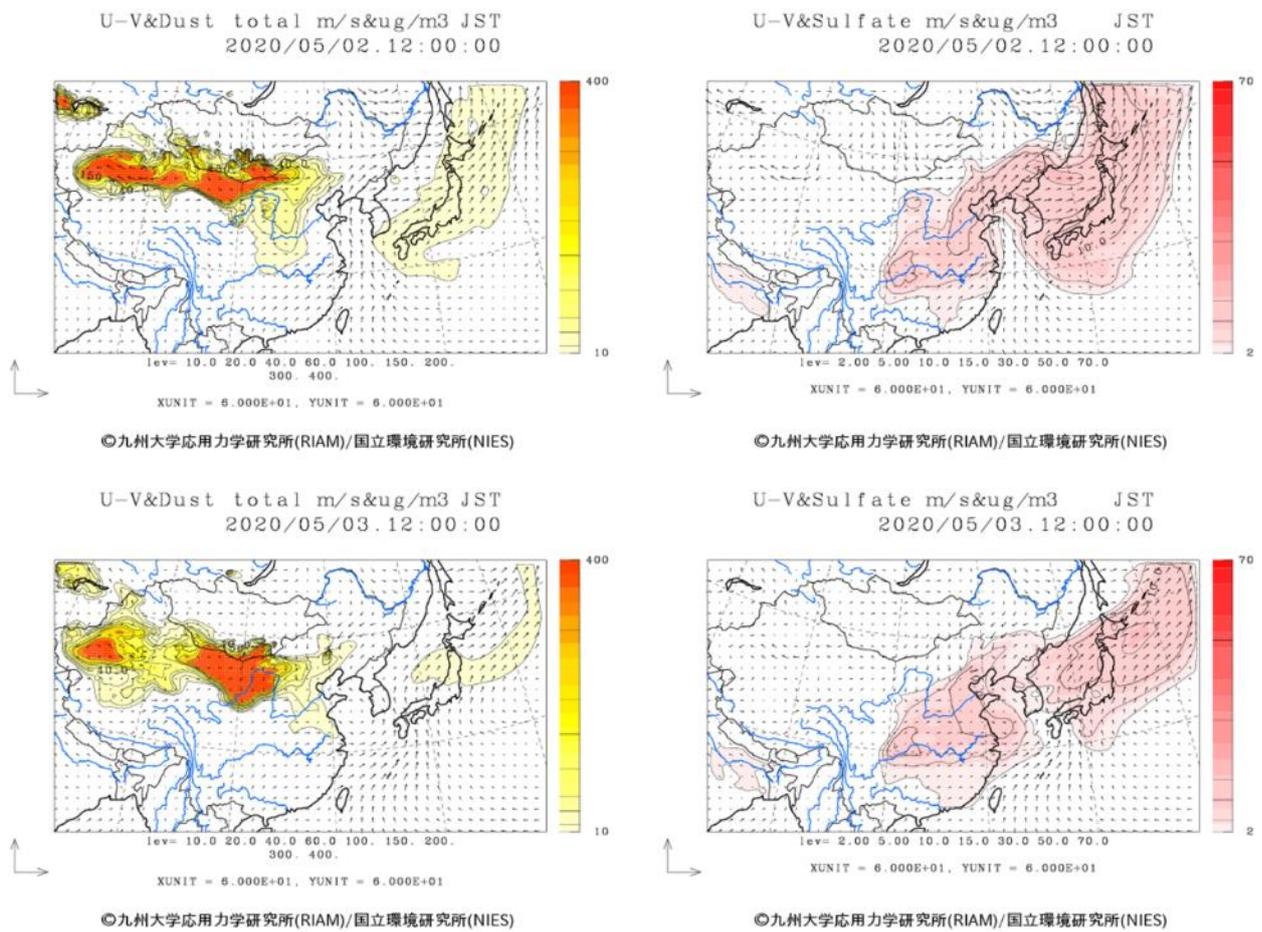
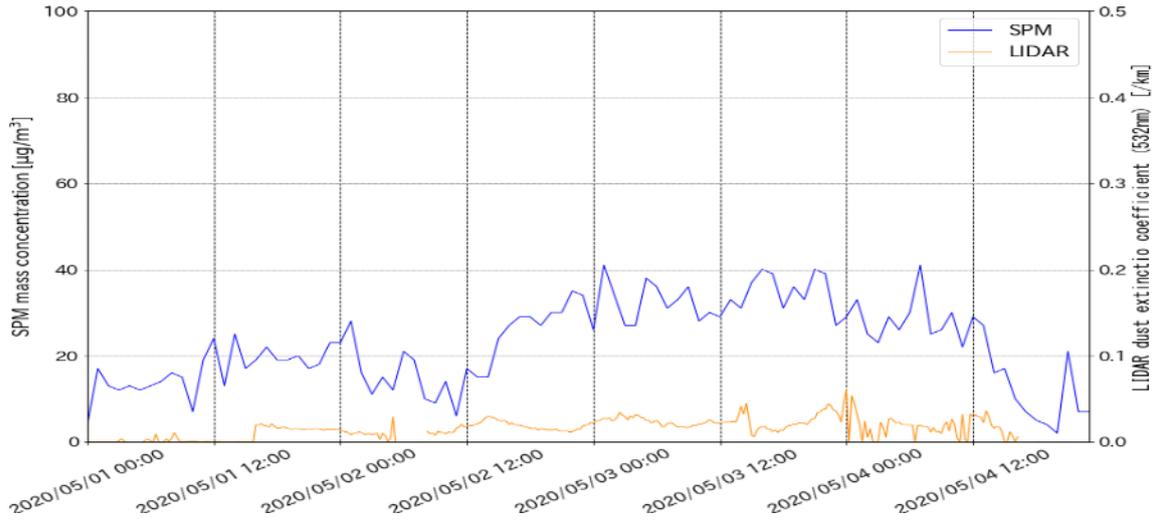
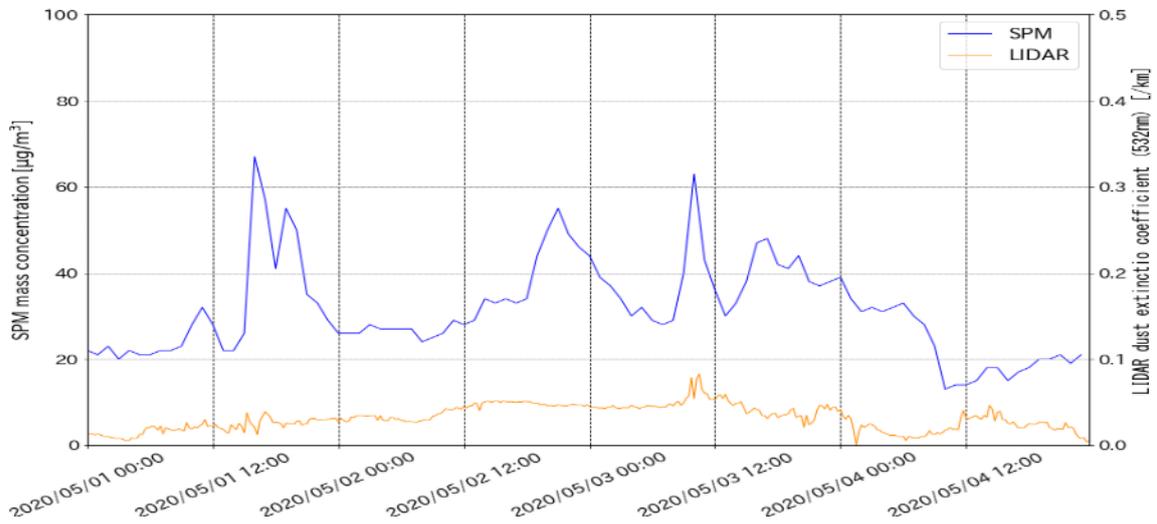


図 5-3-1-5 CFORS 予測結果

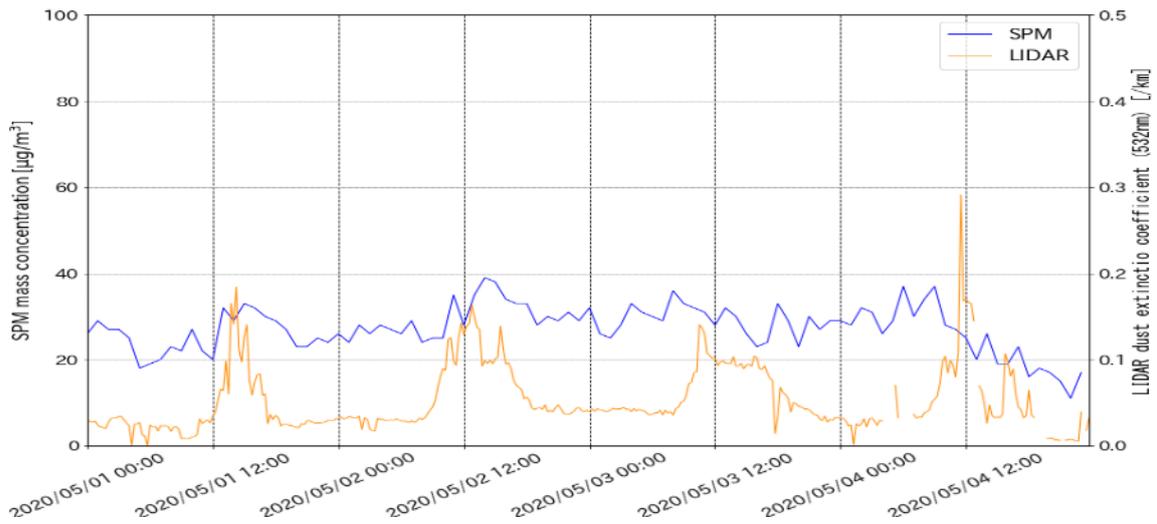
札幌

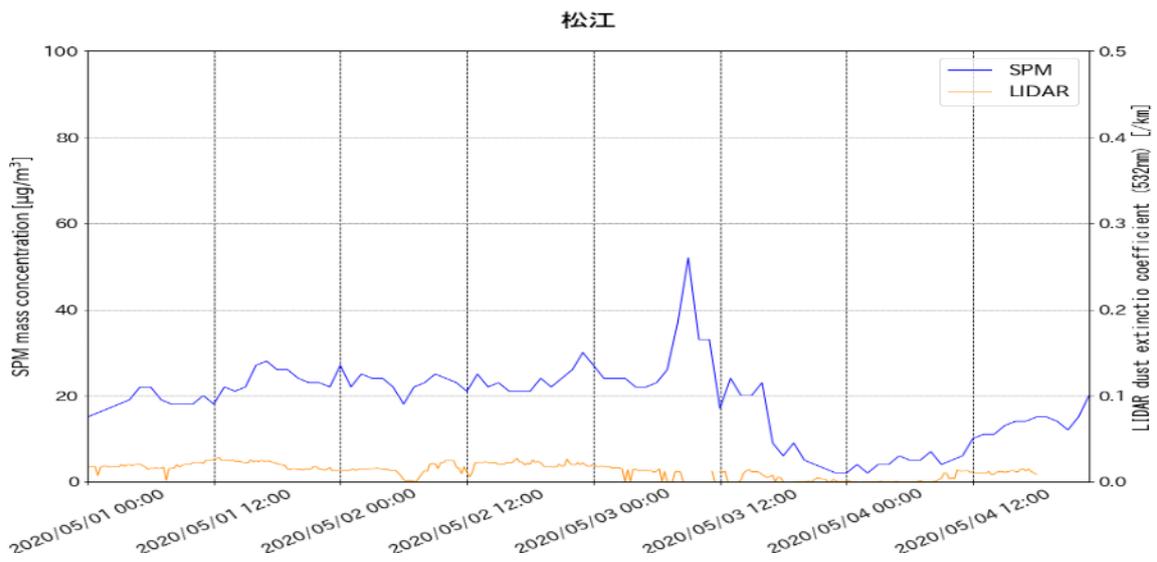
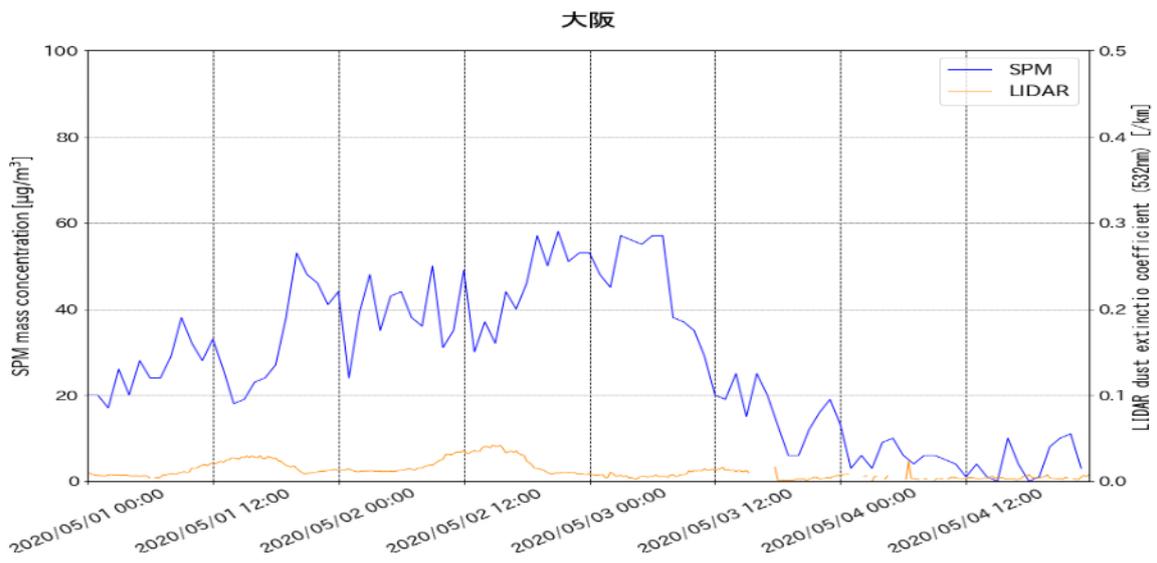
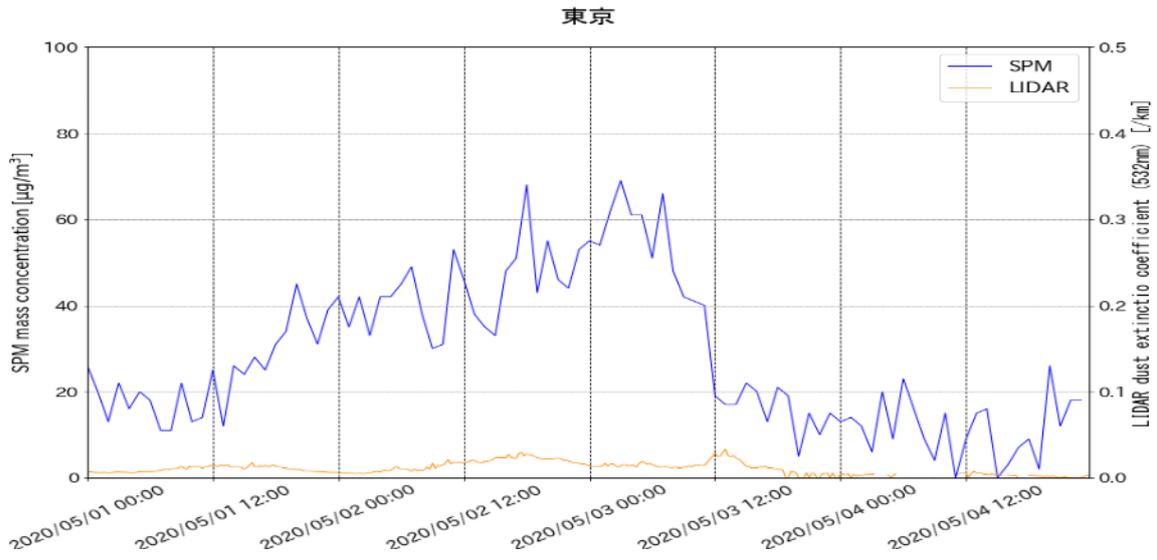


仙台



新潟





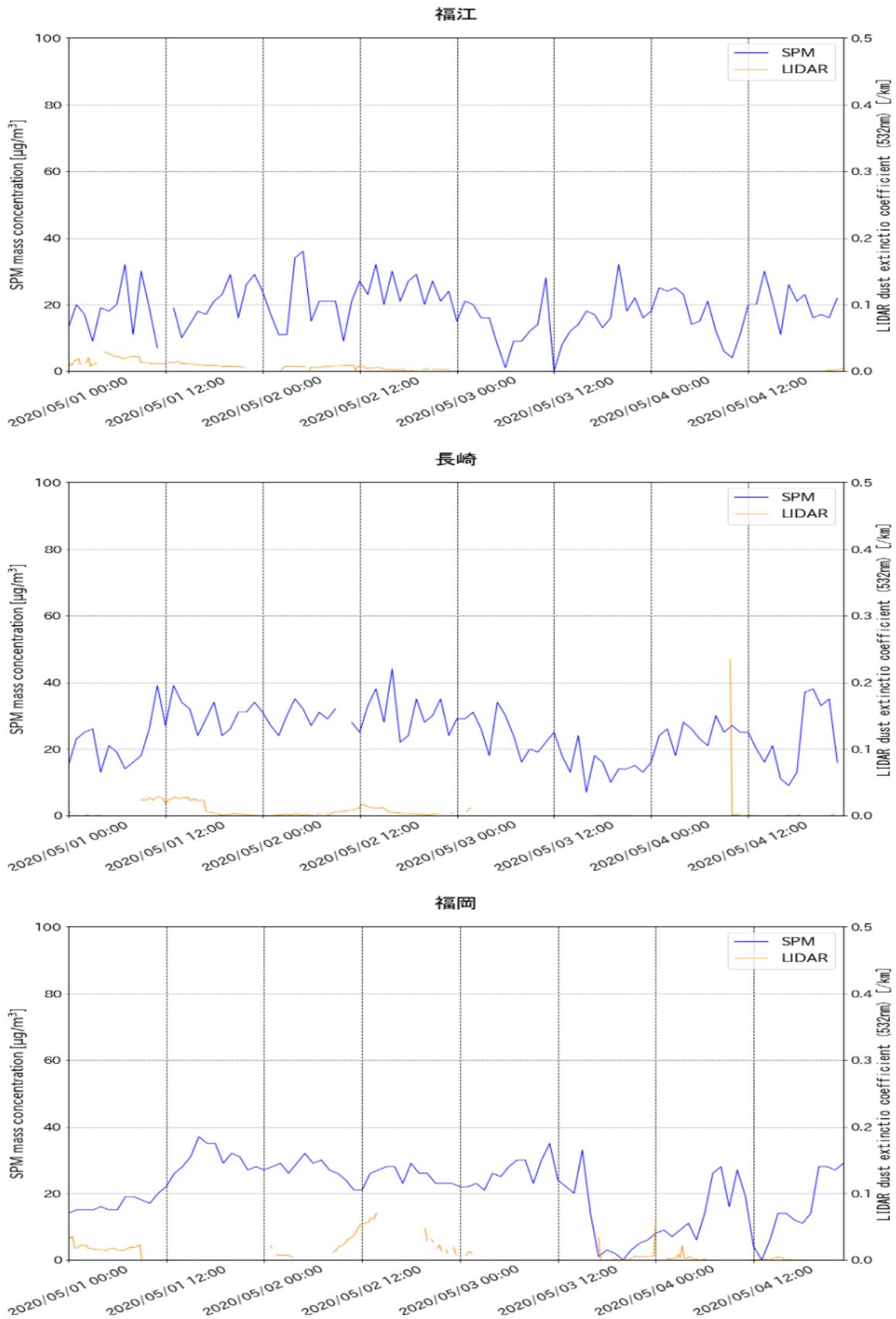


図 5-3-1-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2020/5/2

2020/5/3

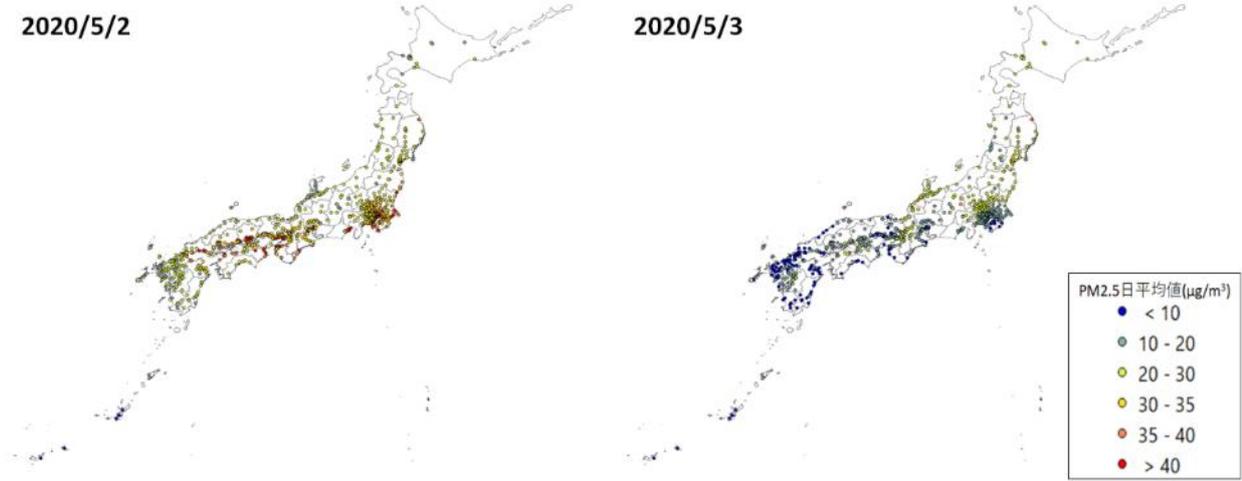
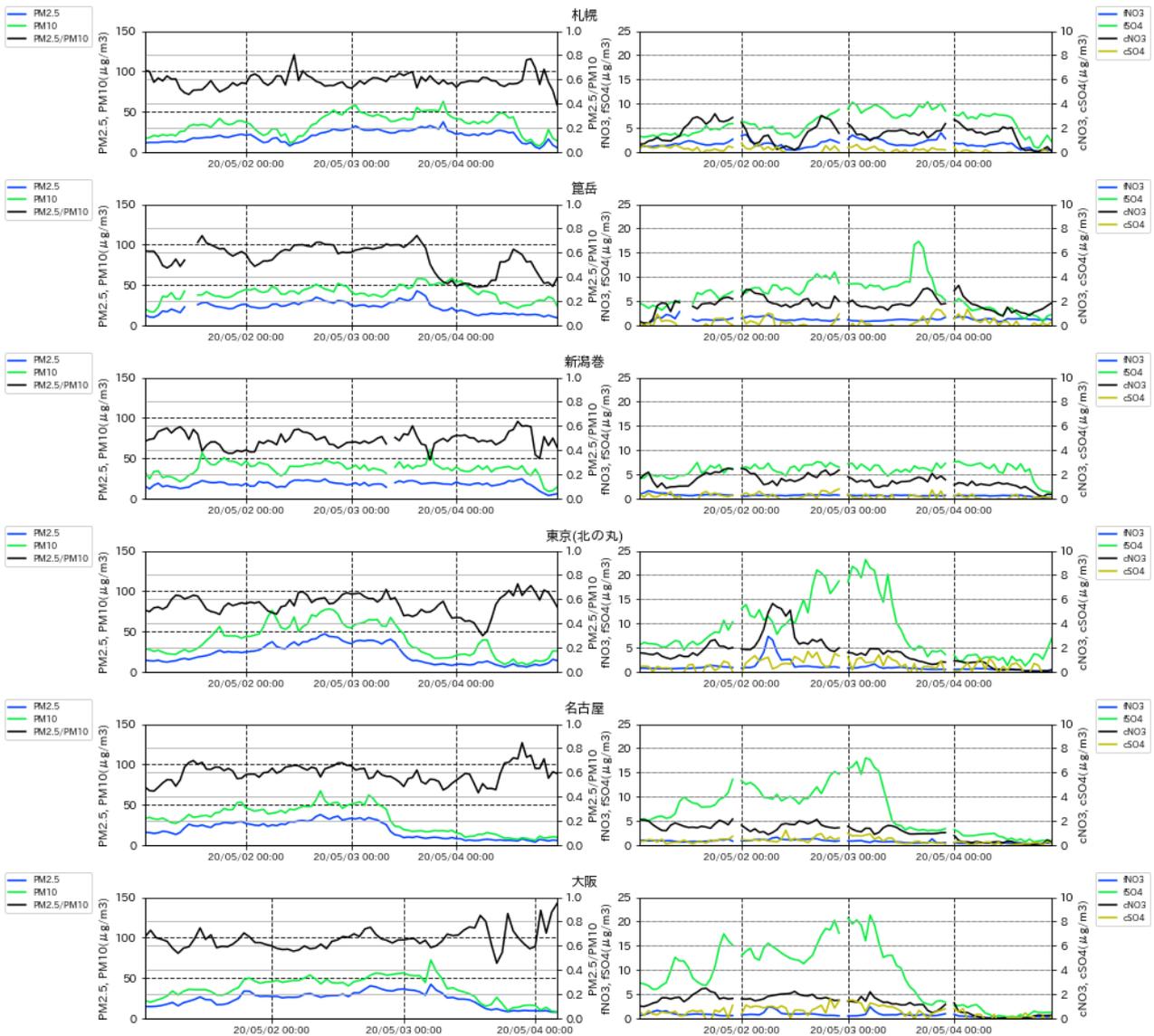


図 5-3-1-7 PM2.5 日平均値全国分布



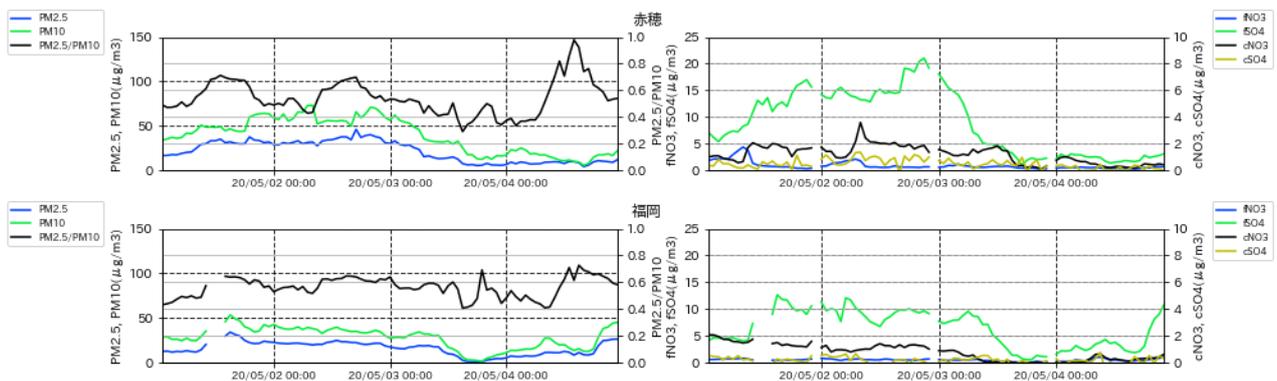


図 5-3-1-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

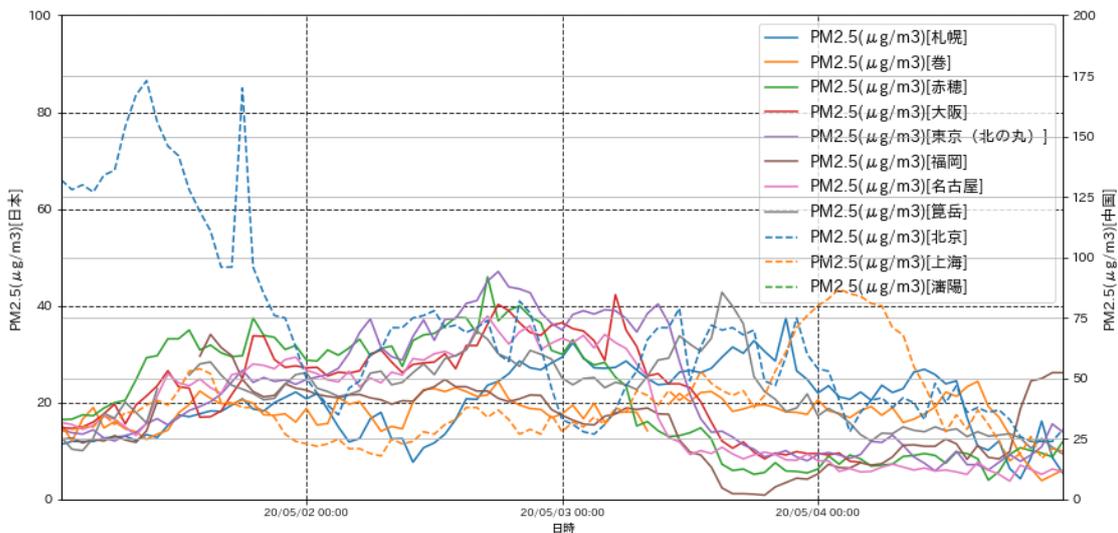


図 5-3-1-9 日本・中国での PM2.5 濃度

(2) 煙霧事例 2 2020 年 6 月 4 日

本事例は、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（表 5-3-2-1、図 5-3-2-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-2-3）、6 月 1 日に中国で Dust が、6 月 2 日にモンゴルで Dust、Slight Duststorm が発生している様子が見られる。このときの気流を後方流跡線で確認（図 5-3-2-4）したところ、福岡、大阪からさかのぼる流跡線のいくつか以外は Dust が発生した領域をほぼ通っていないように見える。CFORS（図 5-3-2-5）においては、Dust および Sulfate が日本全域に影響を及ぼしている様子が見て取れる。

ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化からは、黄砂消散係数の値に目立った変動はなく、小さい値を保っていたことが見て取れる。SPM 濃度については、東京・大阪の二地点では、他の地点と比べやや値の高い状況が見られるものの、その他の地点ではほぼ $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後で推移していた（図 5-3-2-6）。

PM2.5 濃度は、全国的には環境基準 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となる地点が多くあったが、瀬戸内の一部では $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値が観測された（図 5-3-2-7）。

また、PM2.5、PM10 は顕著な変化は見られず、PM2.5/PM10 比は低い値となっていない。人為起源系汚染物質の SO₄²⁻、NO₃⁻については東京、大阪で、大阪の cSO₄²⁻を除き、それぞれの値が高くなっているように見える（図 5-3-2- 8）。

なお、北京では、日本での煙霧が観測された日の前日、6月3日に一時、約 150μg/m³を超える高濃度の PM2.5 を観測している（図 5-3-2- 9）。

以上から、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。

表 5-3-2- 1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
		広島	京都	前橋	和歌山	岡山	宇都宮	熊谷	横浜	奈良	彦根
2020/6/4	15	東京	高松	津	静岡	徳島					

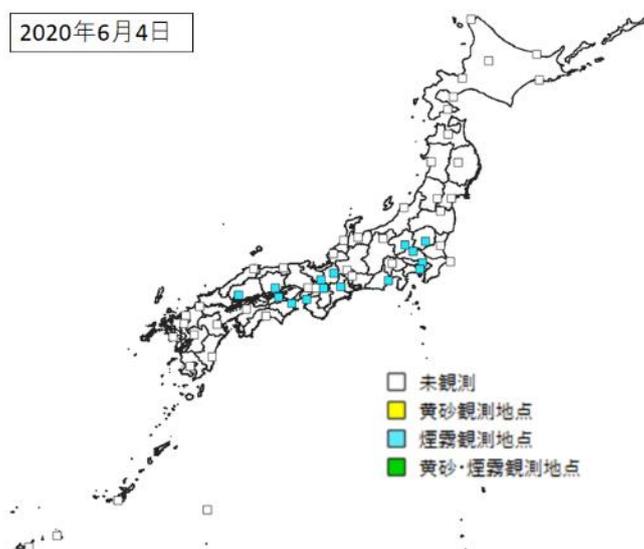
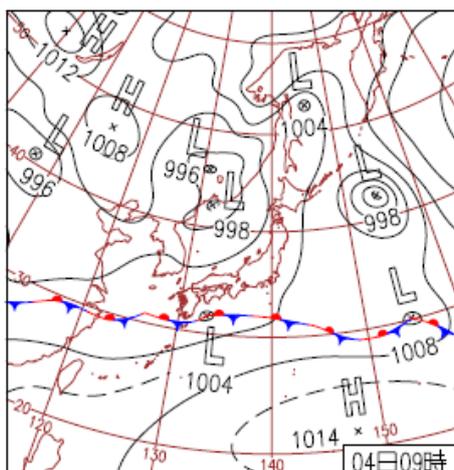


図 5-3-2- 1 煙霧観測地点



4日(木)奄美で記録的大雨

活発な梅雨前線が九州南部に停滞。鹿児島県中之島で90mm/1hの連日の猛烈な雨で、日降水量390mmなど記録的な大雨。北海道は低気圧の接近で夜は所々で雨。茨城県で震度4。

図 5-3-2-2 天気図

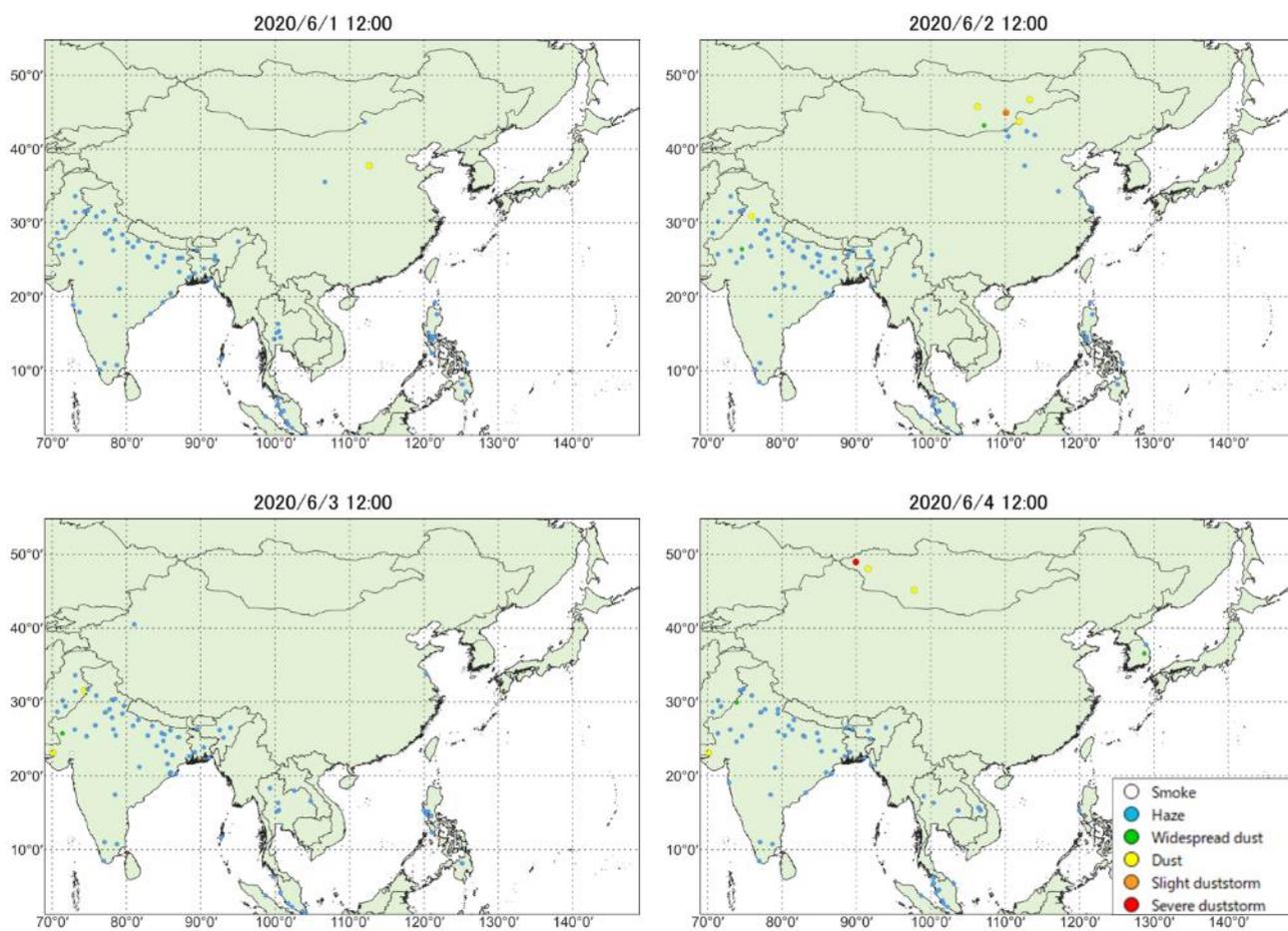


図 5-3-2-3 砂塵嵐発生状況

2020 0604

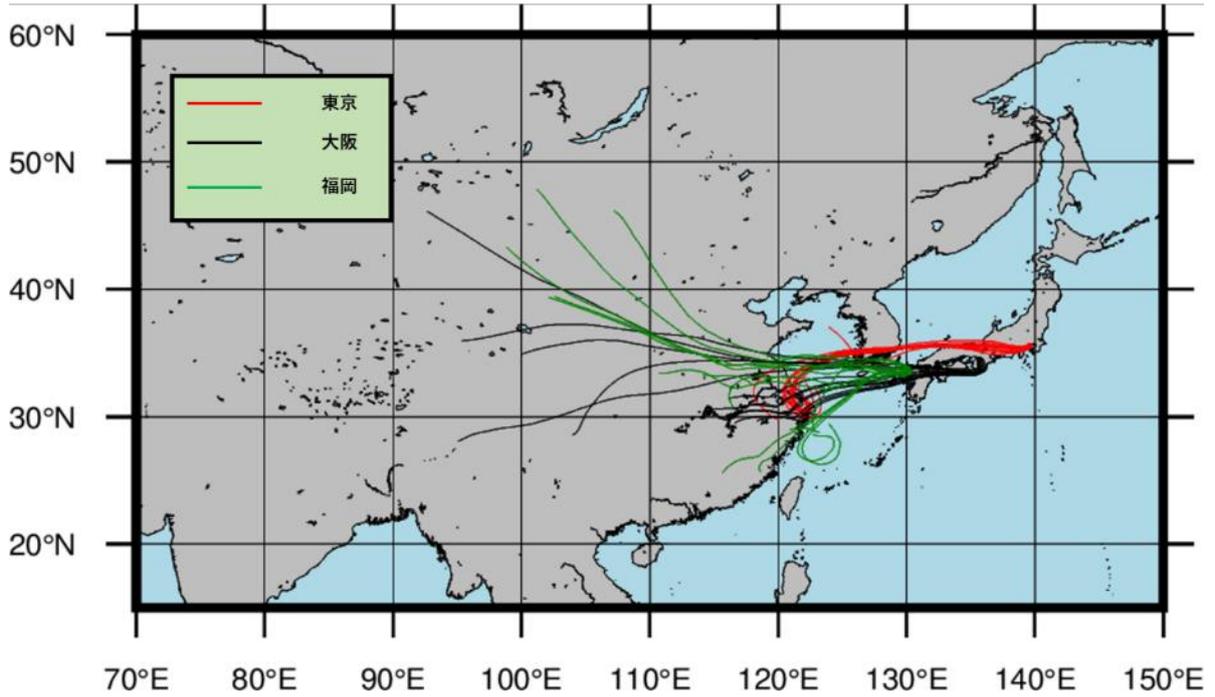


図 5-3-2-4 後方流跡線 (72 時間前より)

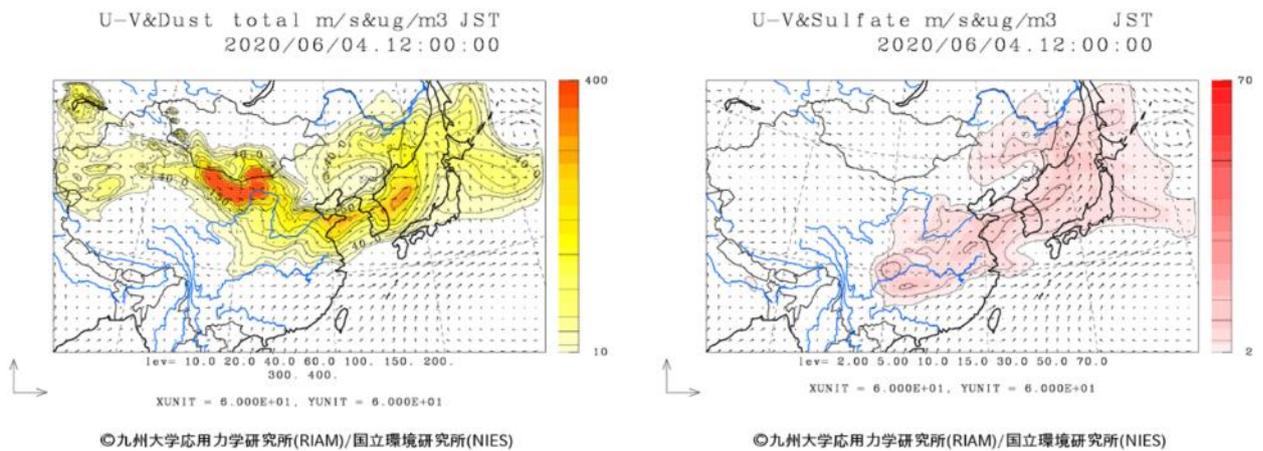
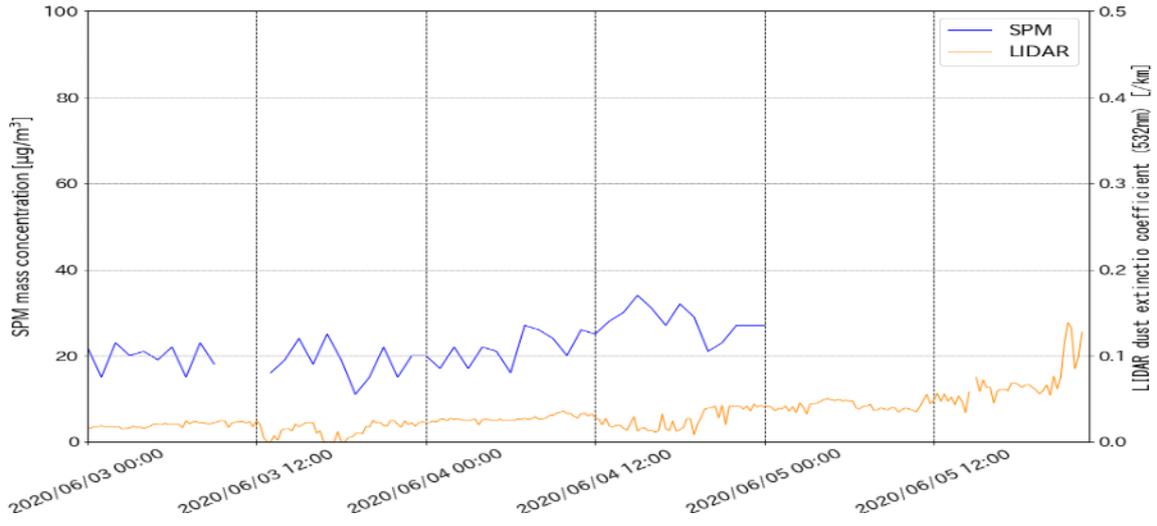
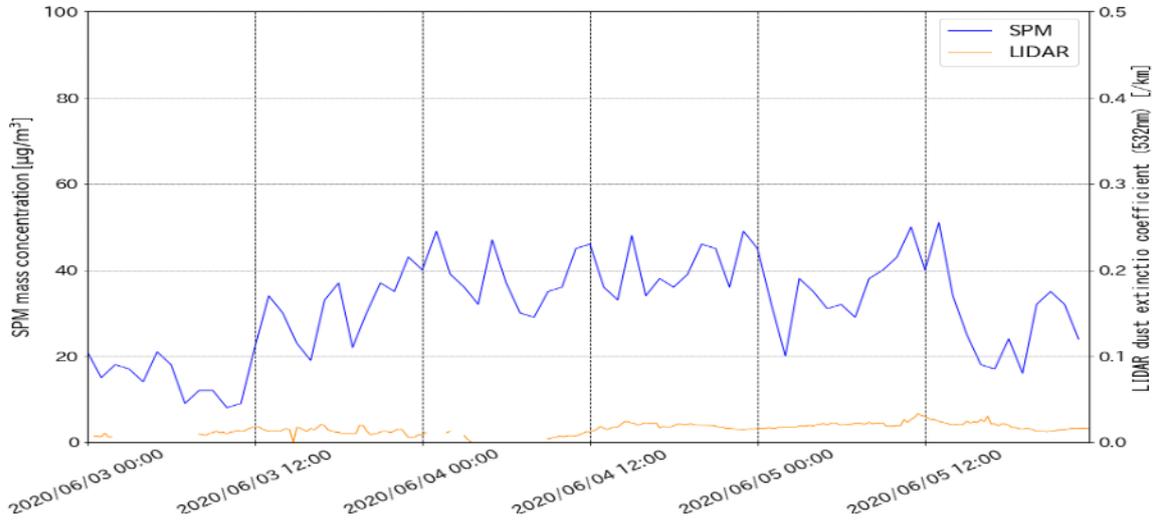


図 5-3-2-5 CFORS 予測結果

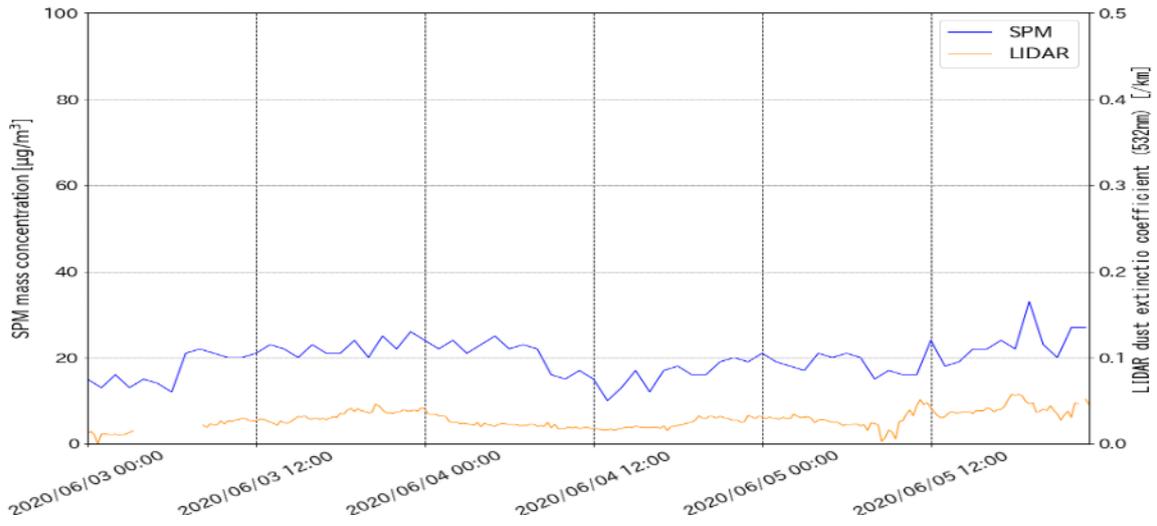
新潟



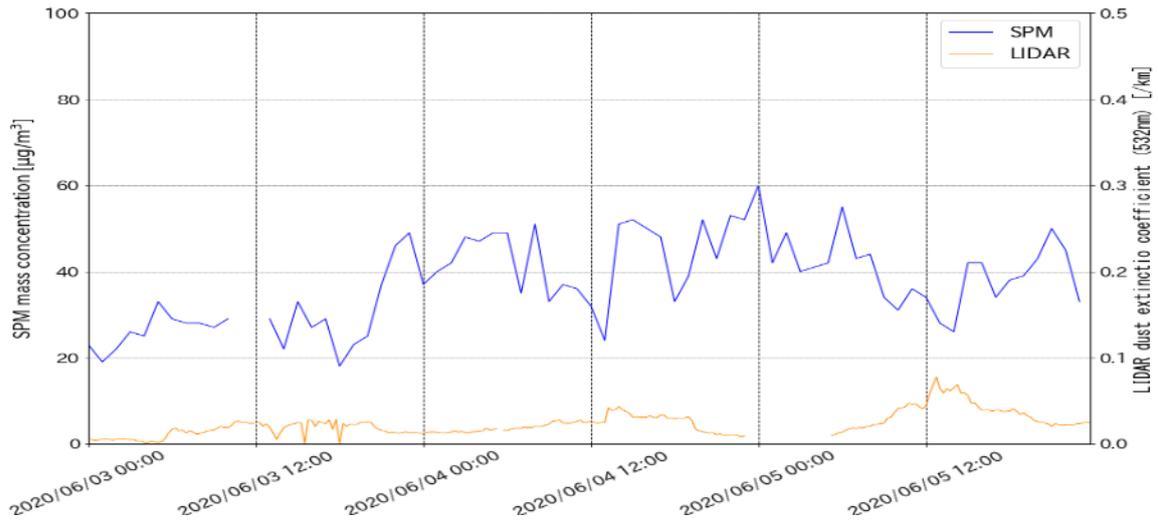
東京



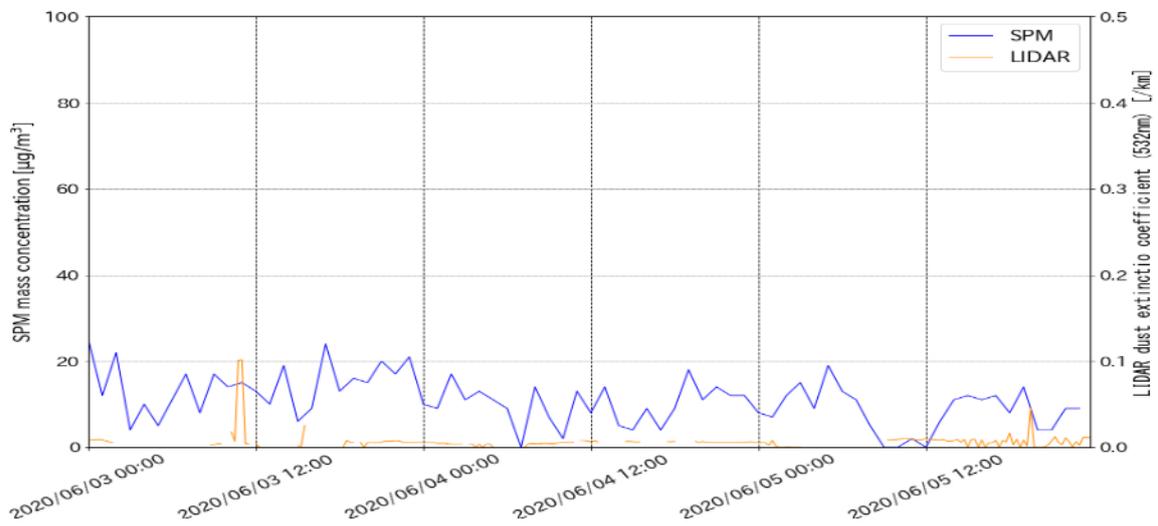
松江



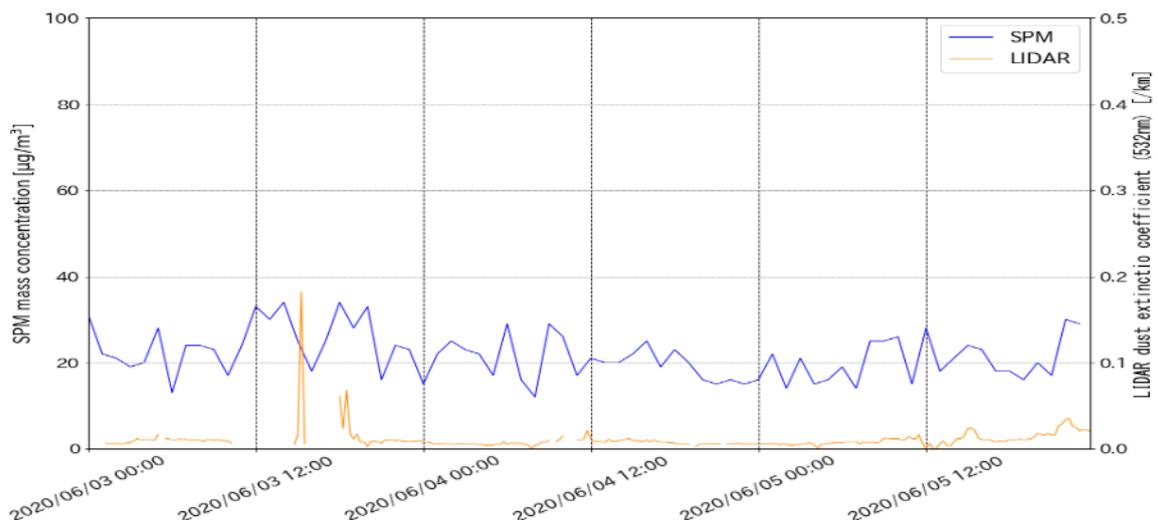
大阪



福江



長崎



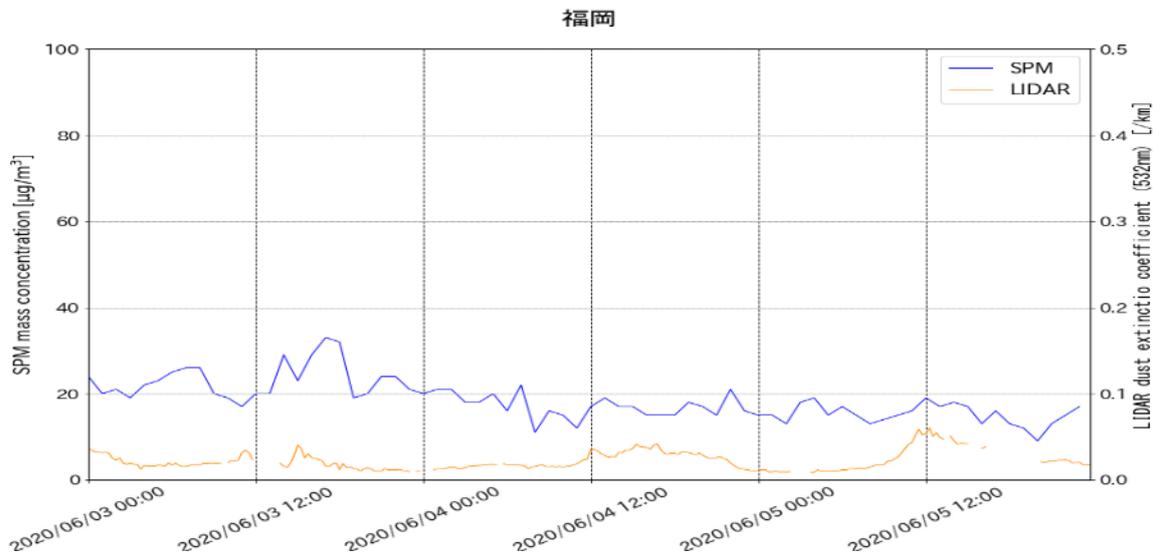


図 5-3-2-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

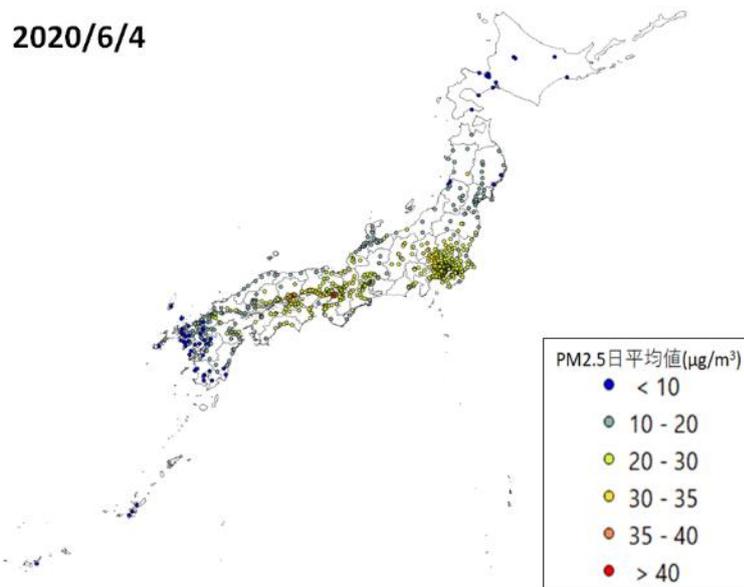


図 5-3-2-7 PM2.5 日平均値全国分布

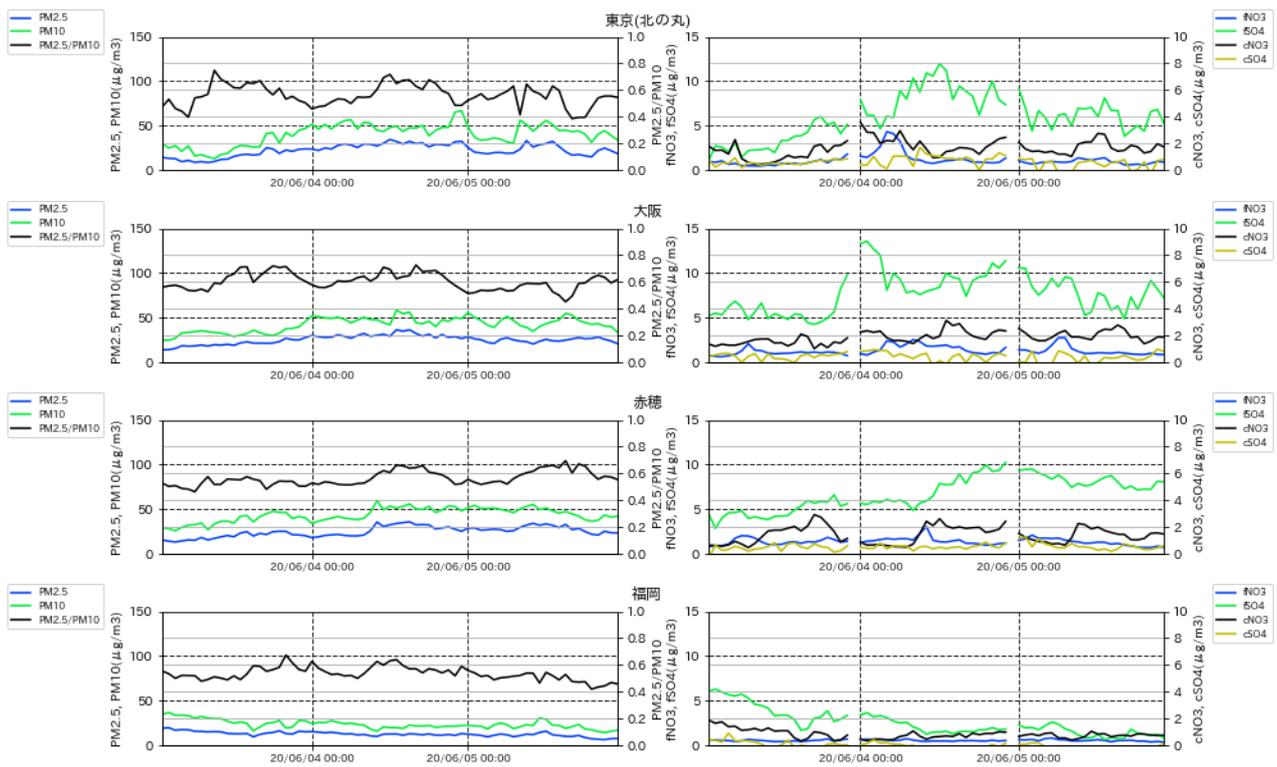


図 5-3-2-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

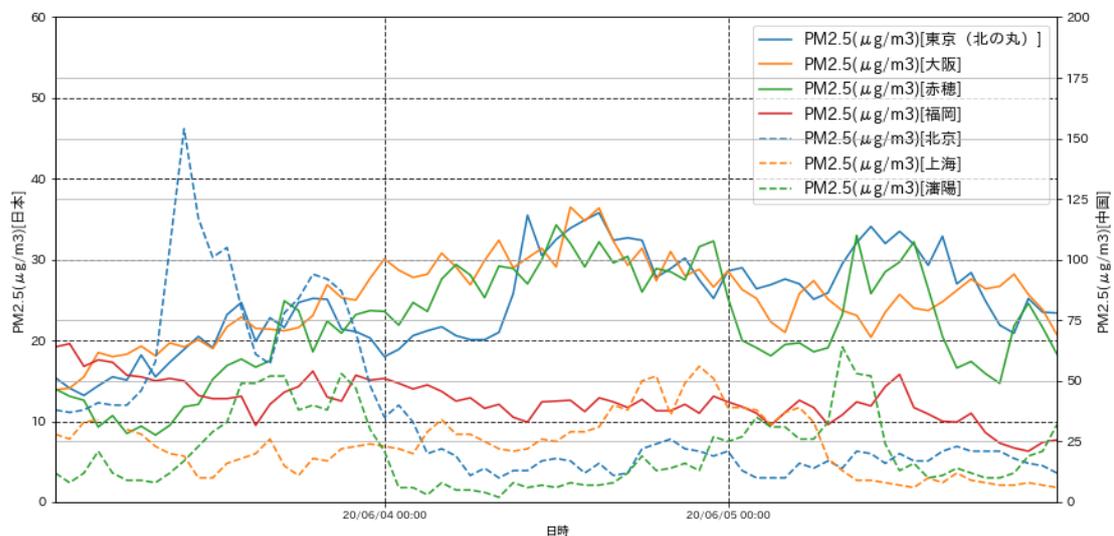


図 5-3-2-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(3) 煙霧事例 3 2020 年 8 月 3 日～8 月 9 日

本事例は、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（表 5-3-3-1、図 5-3-3-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-3-3）、7 月 31 日にモンゴル中央部の範囲で Dust が、8 月 1 日

にモンゴルの数地点で Dust が発生している様子が見られる。このときの気流を後方流跡線で確認 (図 5-3-3-4) したところ全ての地点からの流跡線で Dust が発生した領域を通過してなく、高気圧性の渦に似た流跡線となっている。この期間における CFORS 予測結果 (図 5-3-3-5) からは、Dust の影響は限定的であり、Sulfate は日本全域に広がっているものの低濃度であることが読み取れる。

図 5-3-3-6 にライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化を比較した結果を示す。ライダー黄砂消散係数は、西日本でやや欠損が多かったものの、全国的に目立った変動は見られず、低い値のままとなっていた。一方、SPM 濃度は、西日本、特に九州地方の各地点において $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるなど高い数値を示していた。

PM_{2.5} 濃度は、8 月 3 日から 8 日にかけて西日本で環境基準 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が多く観測され、高濃度域が東日本に移動していく様子が見て取れる。翌 9 日は西日本で濃度が下がり、関東地方で $30 \sim 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる地点が多くあった (図 5-3-3-7)。

また、PM_{2.5}/PM₁₀ 比は低い値となっていなく、篔岳などで顕著にみられるように PM₁₀、PM_{2.5} の日周期変動により変動している地点が多い。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については煙霧観測期間で fNO_3^- 以外増加しているように見える。特に fSO_4^{2-} や cSO_4^{2-} の増加は顕著である (図 5-3-3-8)。

なお、中国では、日本での煙霧が観測された期間顕著に高い PM_{2.5} 濃度は観測されていない (図 3-3-22)。

一方、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 (図 5-3-3-9) 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 PM_{2.5}、PM_{2.5}/PM₁₀ のふるまいを踏まえ、さらに fSO_4^{2-} と cSO_4^{2-} 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。

表 5-3-3-1 煙霧觀測地点

日付	地点数	観測地点名									
2020/8/3	15	南大東島	下関	福岡	宮崎	横浜	松江	佐賀	熊本	大分	長崎
		山形	広島	鹿児島	高知	松山					
2020/8/4	26	広島	新潟	鳥取	松山	高知	福岡	熊本	宮崎	和歌山	岡山
		徳島	下関	大分	長崎	佐賀	青森	松江	高松	鹿児島	盛岡
		秋田	富山	長野	金沢	神戸	京都				
2020/8/5	32	京都	松山	金沢	青森	岐阜	富山	福井	鳥取	秋田	山形
		長野	津	新潟	大阪	神戸	奈良	和歌山	広島	松江	高松
		高知	盛岡	彦根	岡山	徳島	宮古島	佐賀	大分	那覇	下関
		静岡	福島								
2020/8/6	37	京都	奈良	金沢	鳥取	富山	福井	彦根	和歌山	仙台	福島
		水戸	前橋	長野	名古屋	岐阜	新潟	大阪	徳島	高松	南大東島
		山形	宇都宮	熊谷	静岡	津	盛岡	岡山	秋田	下関	福岡
		熊本	甲府	佐賀	松江	鹿児島	宮崎	大分			
2020/8/7	24	松江	大分	下関	福岡	青森	鳥取	前橋	熊谷	長野	津
		広島	松山	宇都宮	岡山	奈良	岐阜	京都	大阪	高松	高知
		南大東島	佐賀	鹿児島	和歌山						
2020/8/8	21	広島	大阪	奈良	松山	津	鳥取	甲府	静岡	彦根	京都
		横浜	徳島	高知	大分	岐阜	福井	神戸	岡山	高松	長野
		金沢									
2020/8/9	13	津	富山	金沢	鳥取	甲府	名古屋	岐阜	高松	水戸	前橋
		長野	宇都宮	熊谷							

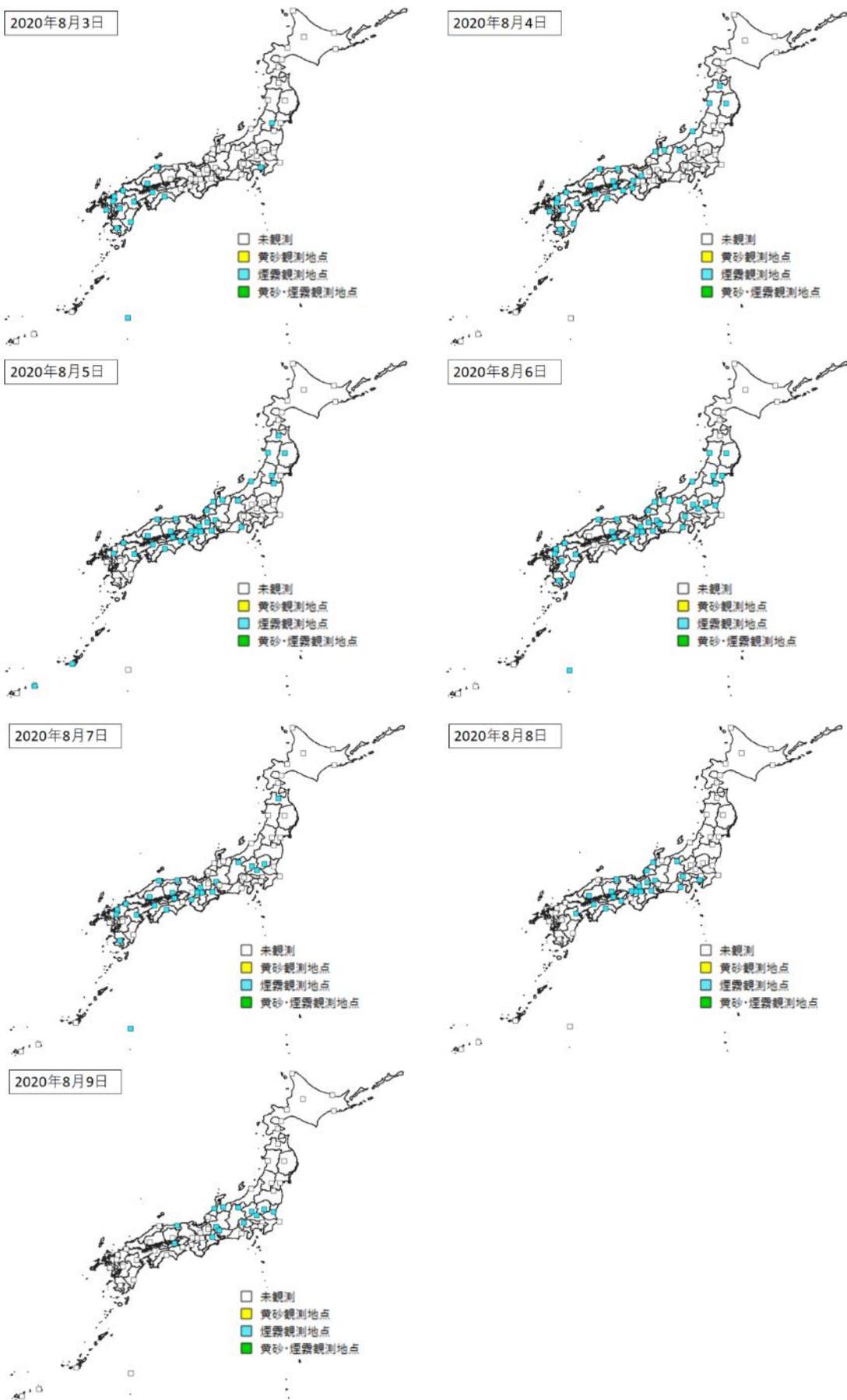
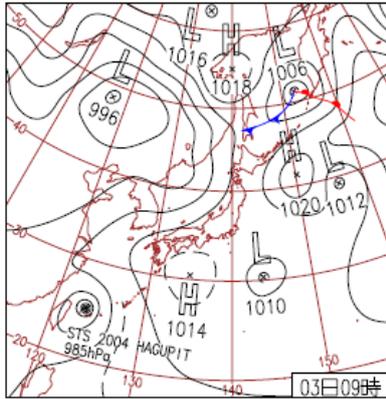
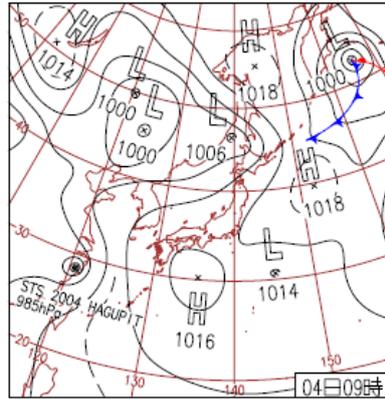


図 5-3-3-1 煙霧観測地点



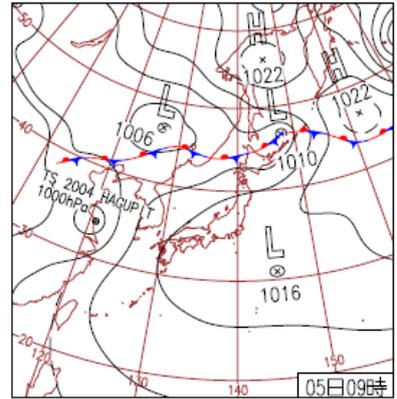
3日(月)台風第4号先島諸島に

台風第4号により先島諸島は大荒れ。沖縄県大原で最大瞬間風速37.9m/s。沖縄県波照間の54mm/1hは8月1位。その他は晴れや曇りだが、気圧の谷の影響で雷雨の所も。



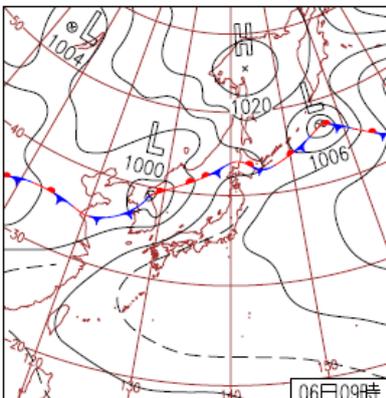
4日(火)函館市ススキ開花

東北部～北海道は、低気圧や湿った空気の影響で雨や曇り。その他は日本の南の高気圧に覆われ、概ね晴れて気温が上昇。福岡県太宰府で36.2℃など猛暑日の所も。



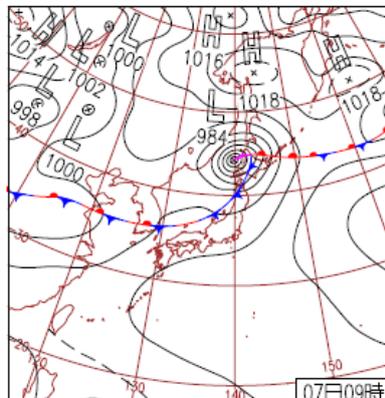
5日(水)西日本～東北で猛暑日

東北部～北海道は前線の影響で曇りや雨。その他は高気圧に覆われ概ね晴れ。大分県日田と山梨県勝沼で36.7℃など西日本～東北の67地点で猛暑日。台風第4号は温帯低気圧に。



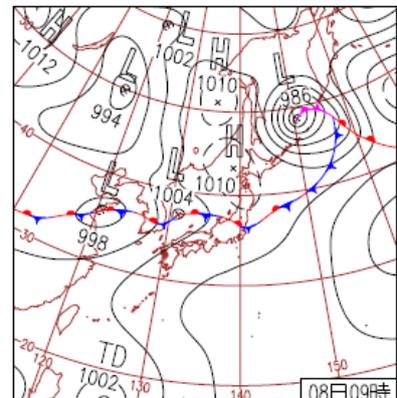
6日(木)西日本～東北、暑さ続く

東北部～北海道は低気圧や前線の影響で曇りや雨。北海道小車で38.5mm/1hの激しい雨。その他は高気圧に覆われ晴れ。富山で37.5℃など、西日本～東北は猛暑続く。



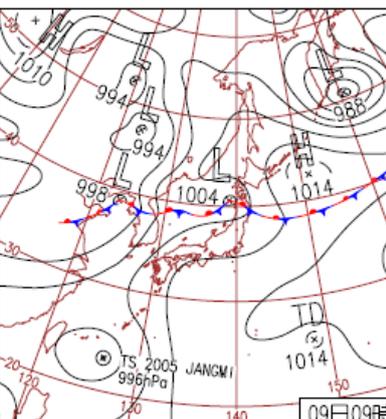
7日(金)北海道は大荒れ

台風第4号から変わった低気圧や前線の影響で、西日本の日本海側や北陸、北日本は雨。島根県西郷の日降水量281mmは史上1位。北海道米岡の最大瞬間風速32.4m/sは8月1位。



8日(土)福島県で激しい雨

前線の影響で西日本日本海側～北陸、東北は雨や曇り。福島県田島で40mm/1hの激しい雨。その他は高気圧に覆われ晴れや曇り。宮崎県赤江37.0℃など西～東日本は所々猛暑日。



9日(日)沖縄の南で台風発生

台風第5号は夜には東シナ海まで北上し沖縄・奄美は雨。沖縄県渡嘉敷で最大瞬間風速29.5m/s。西日本も次第に曇りや雨。北陸～北海道太平洋側は低気圧や前線の影響で雨。

図 5-3-3-2 天気図

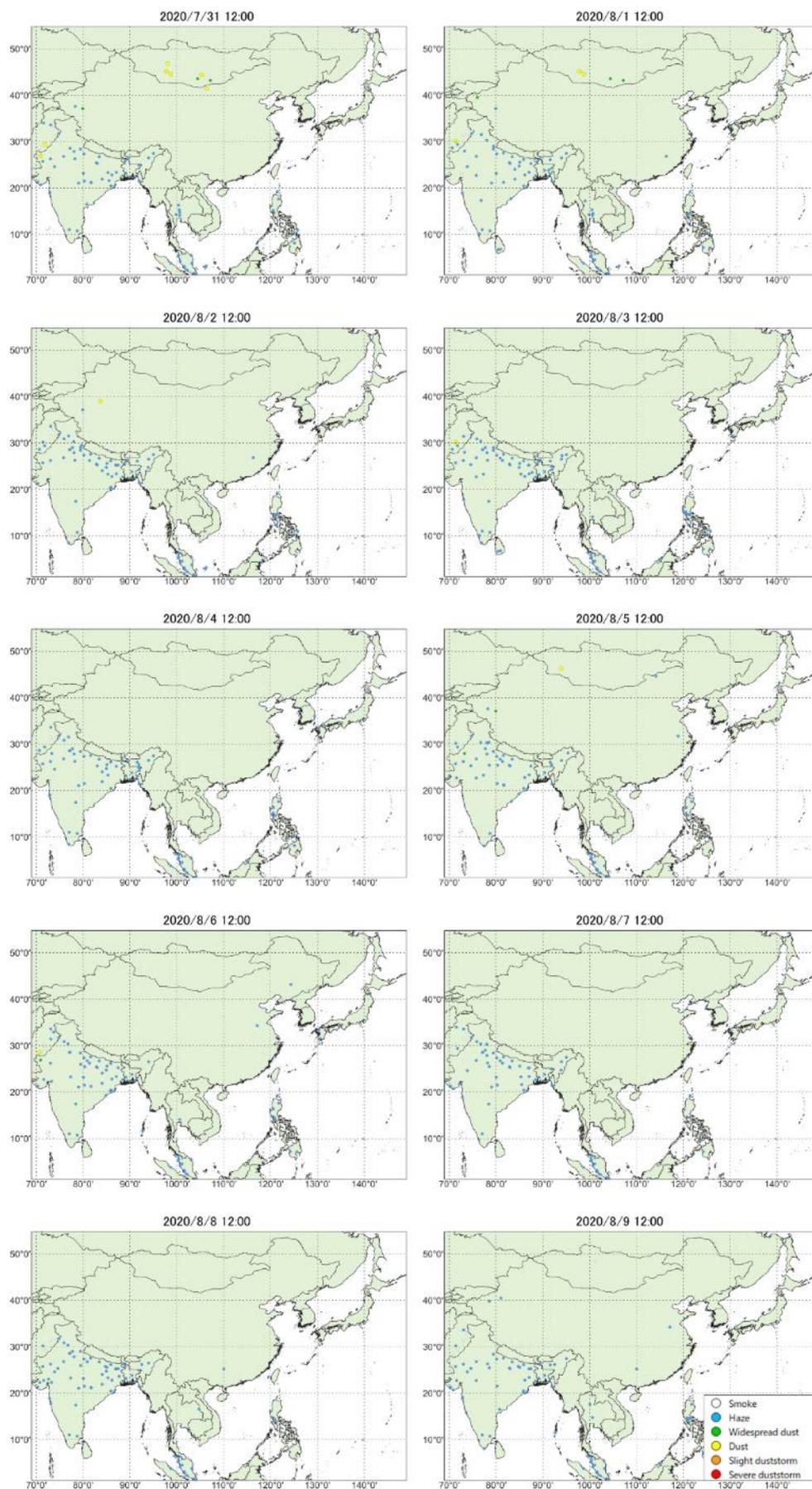


图 5-3-3 砂塵嵐発生状況

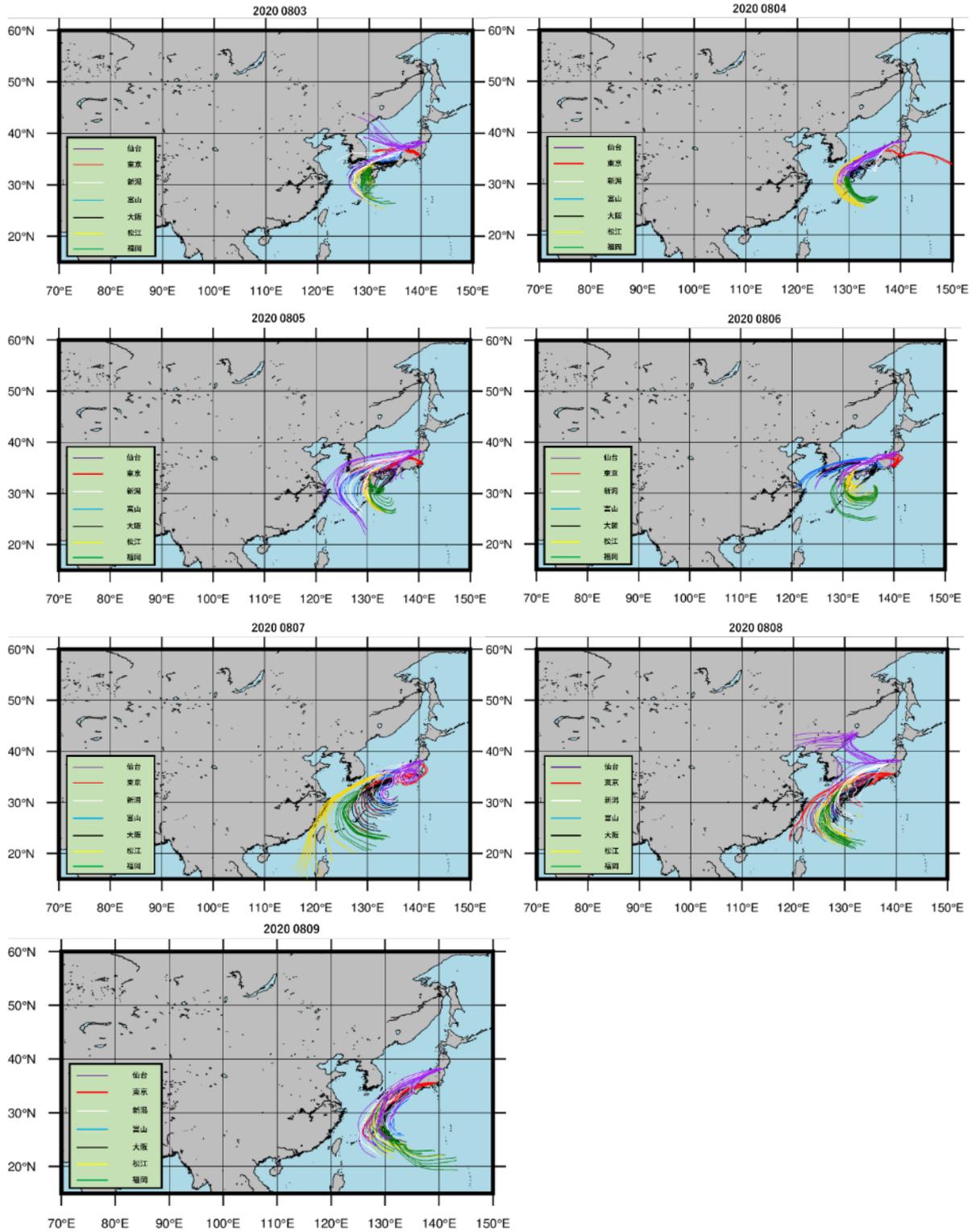
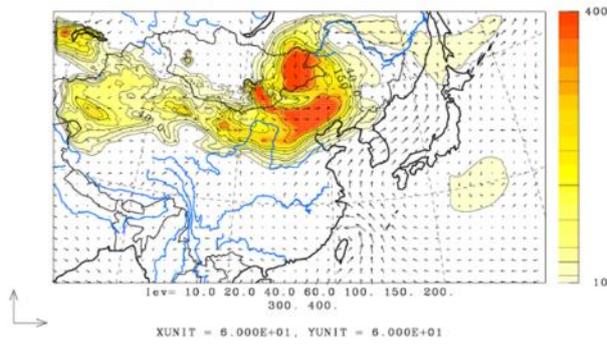


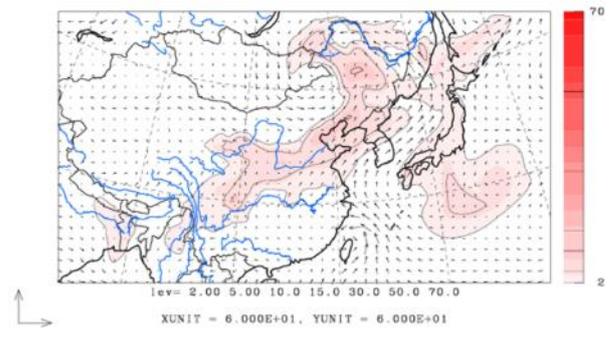
図 5-3-3-4 後方流跡線 (72 時間前より)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2020/08/03. 12:00:00



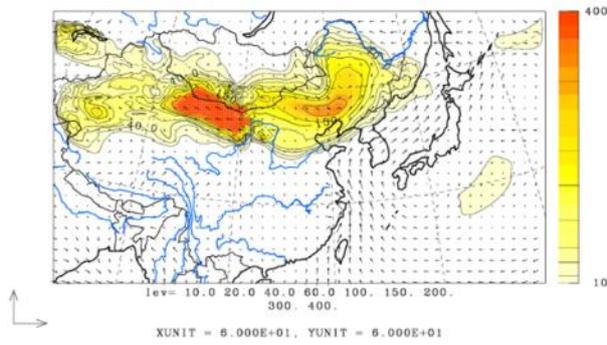
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2020/08/03. 12:00:00



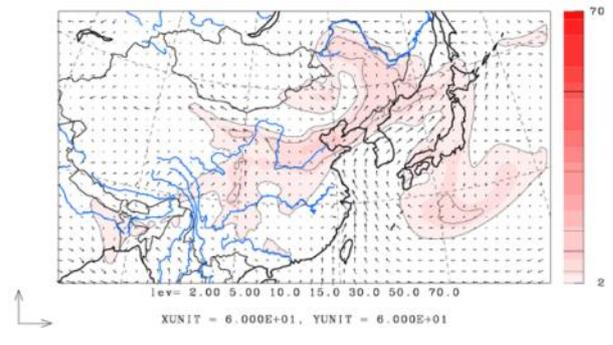
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2020/08/04. 12:00:00



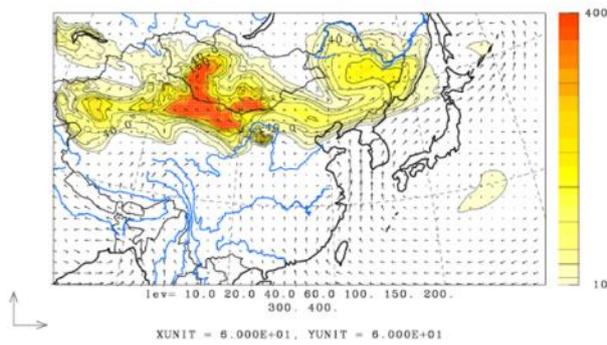
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2020/08/04. 12:00:00



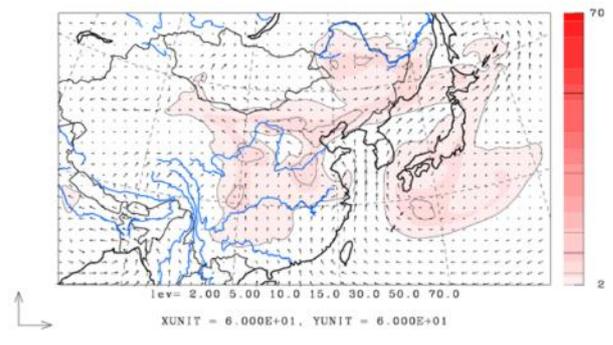
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2020/08/05. 12:00:00



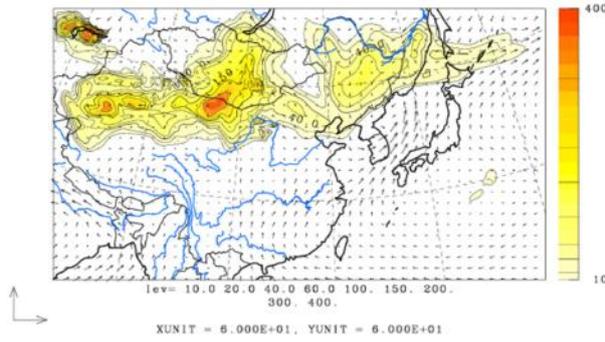
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2020/08/05. 12:00:00



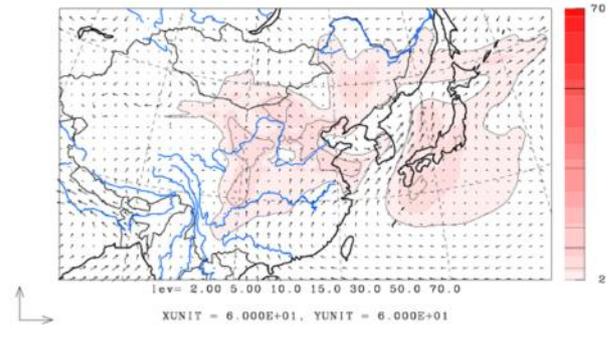
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2020/08/06.12:00:00



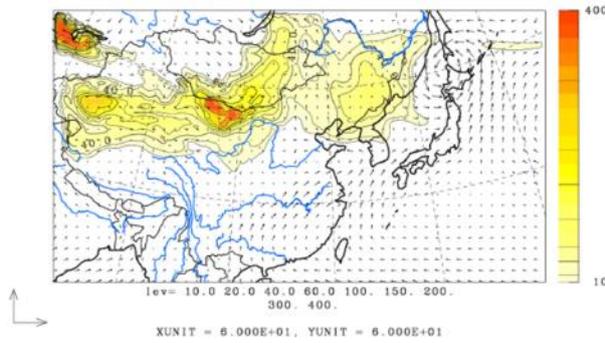
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2020/08/06.12:00:00



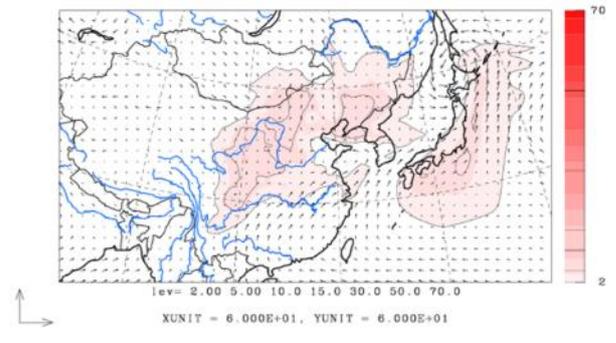
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2020/08/07.12:00:00



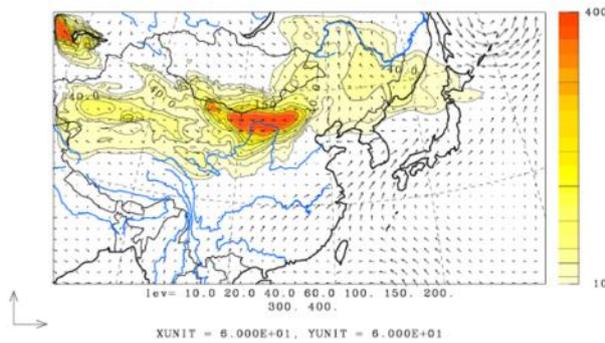
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2020/08/07.12:00:00



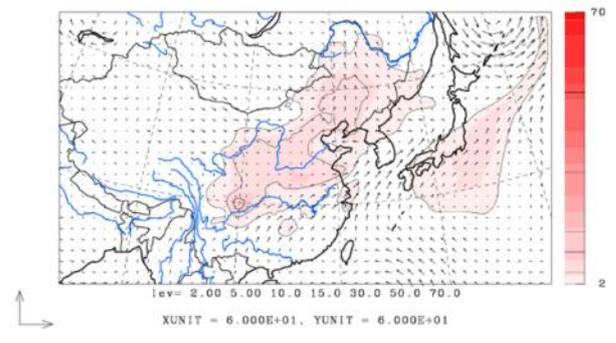
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2020/08/08.12:00:00



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2020/08/08.12:00:00



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

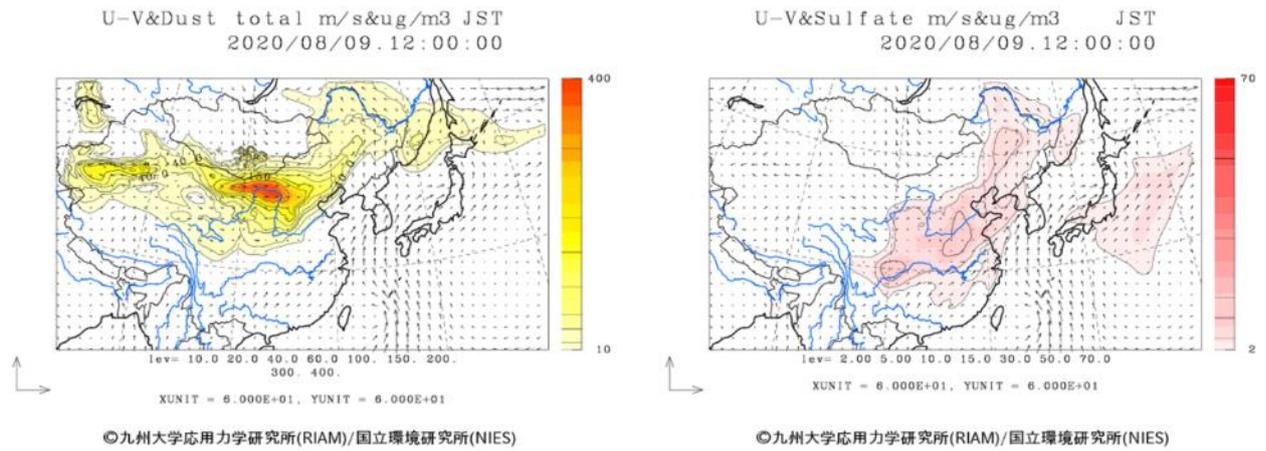
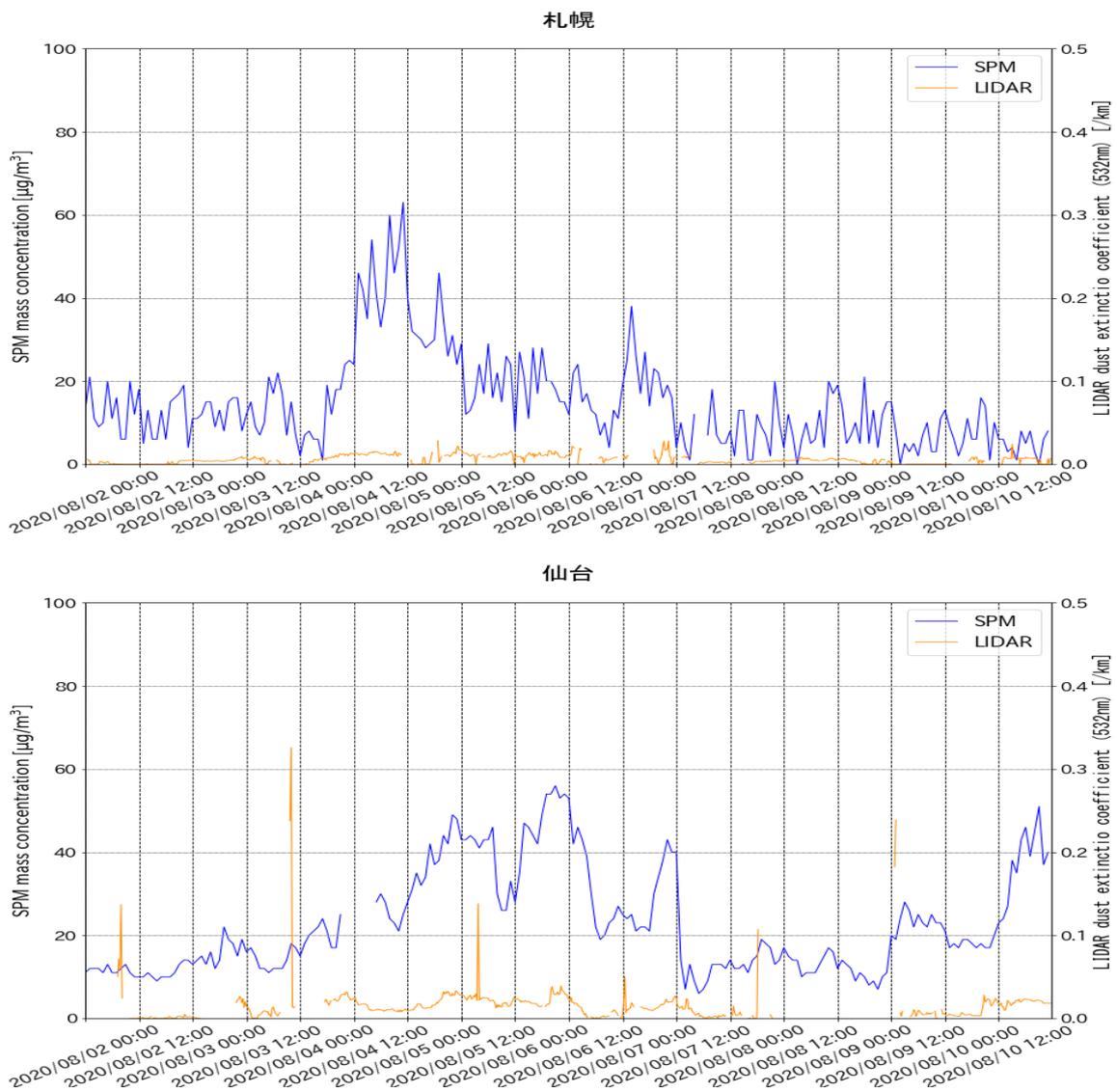
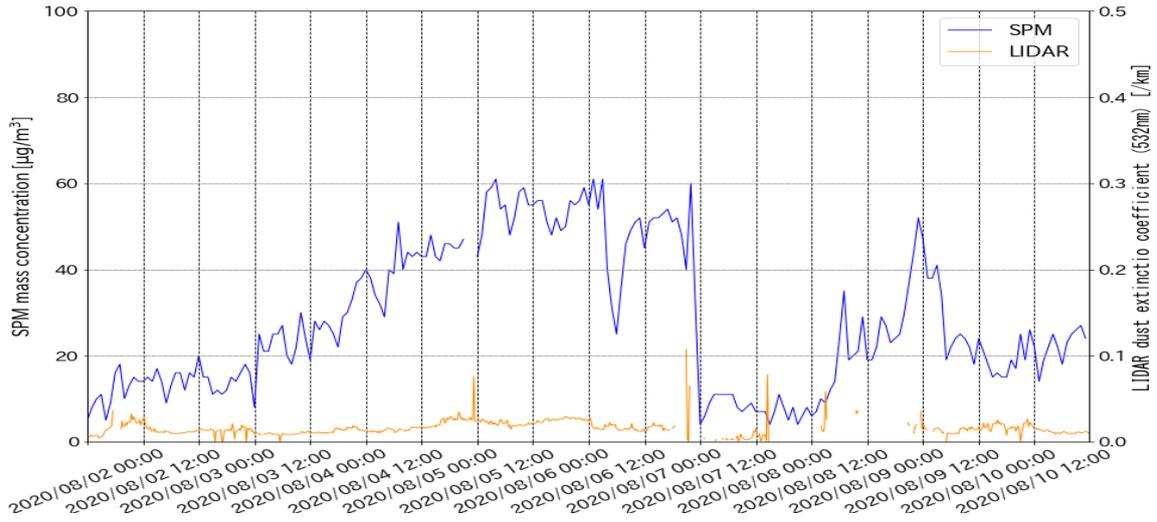


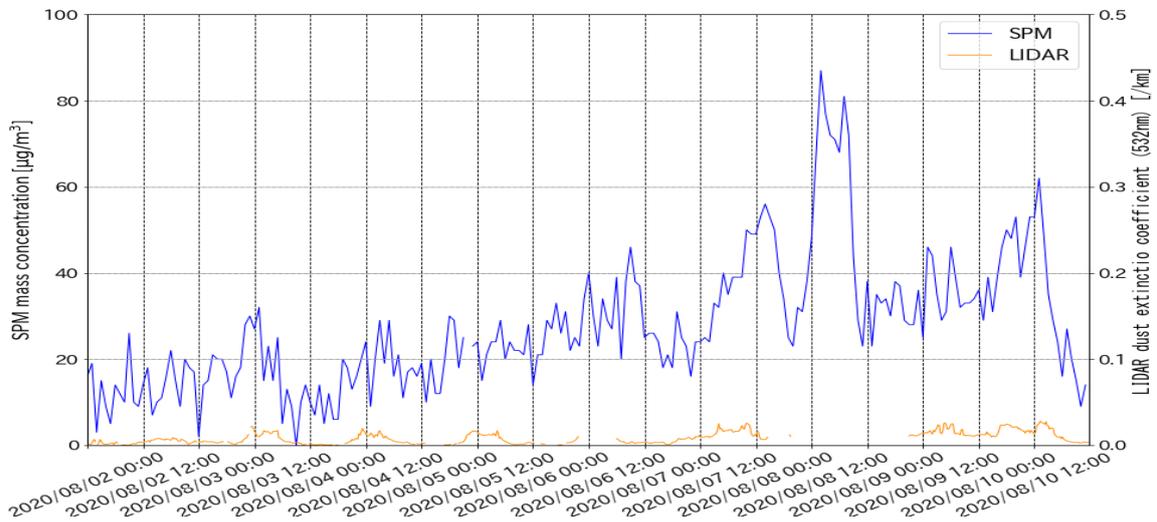
図 5-3-3-5 CFORS 予測結果



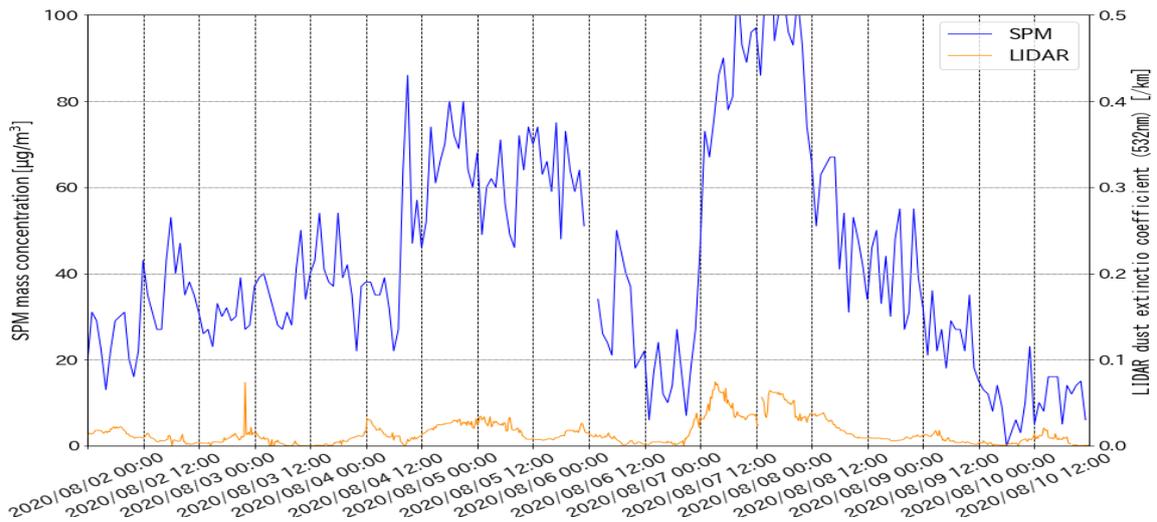
新潟



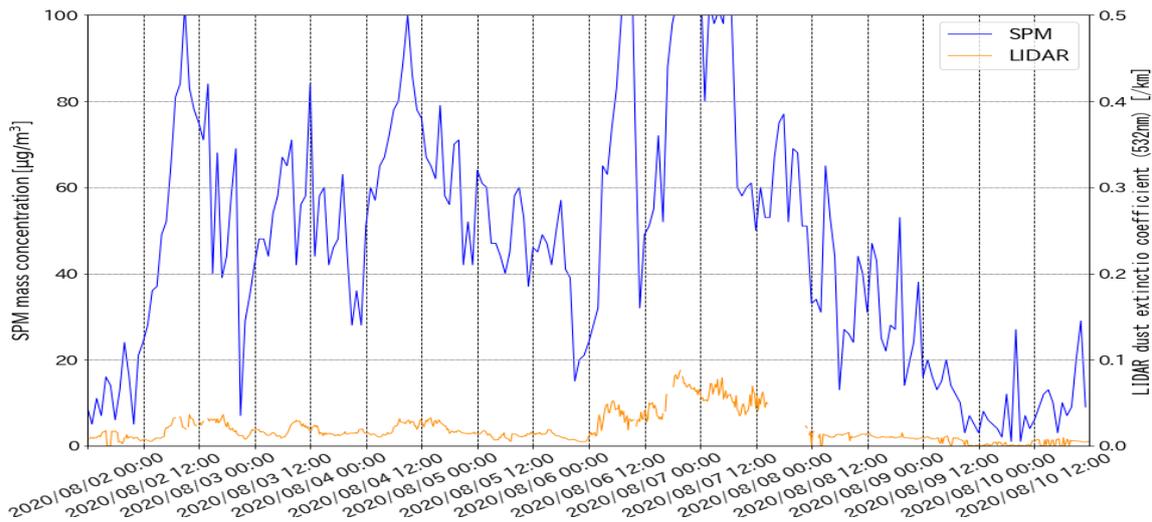
東京



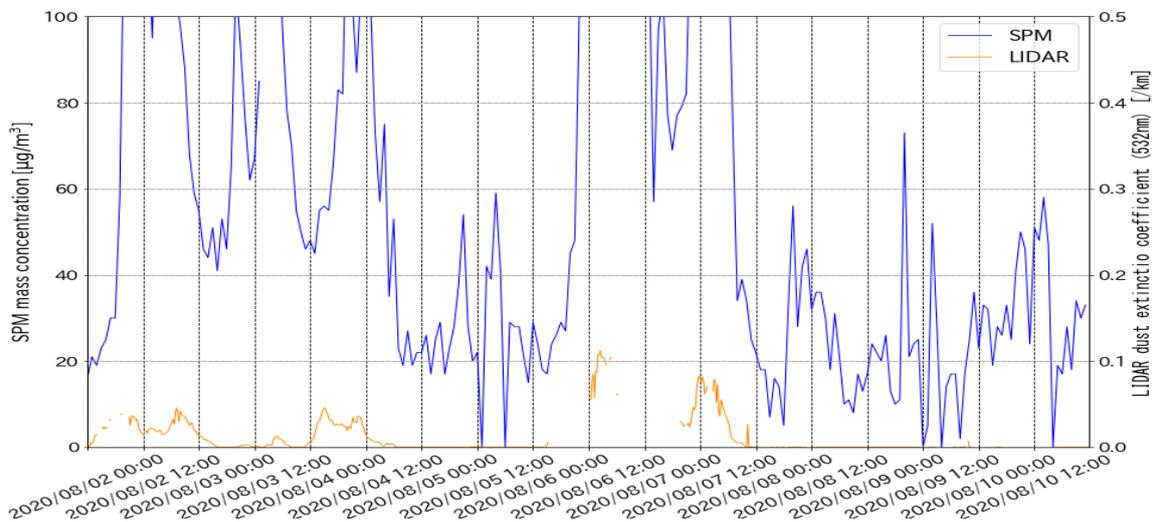
大阪



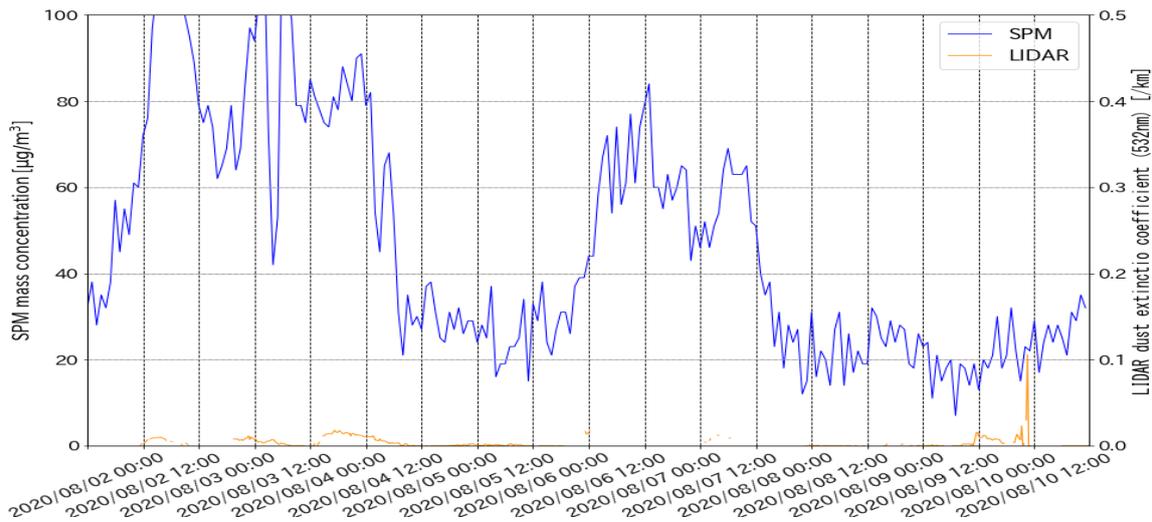
松江



福江



長崎



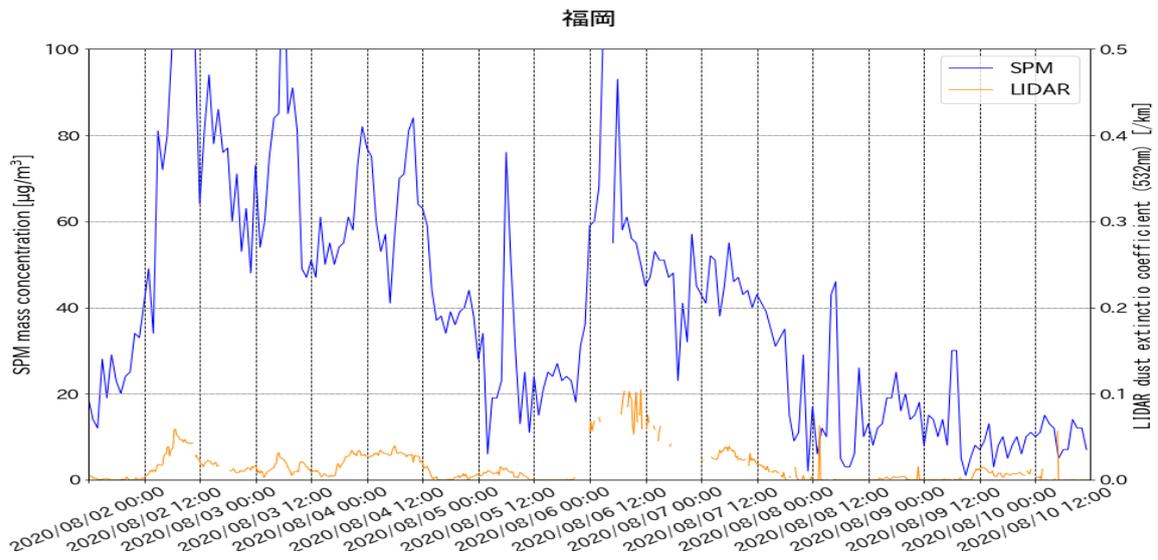


図 5-3-3-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

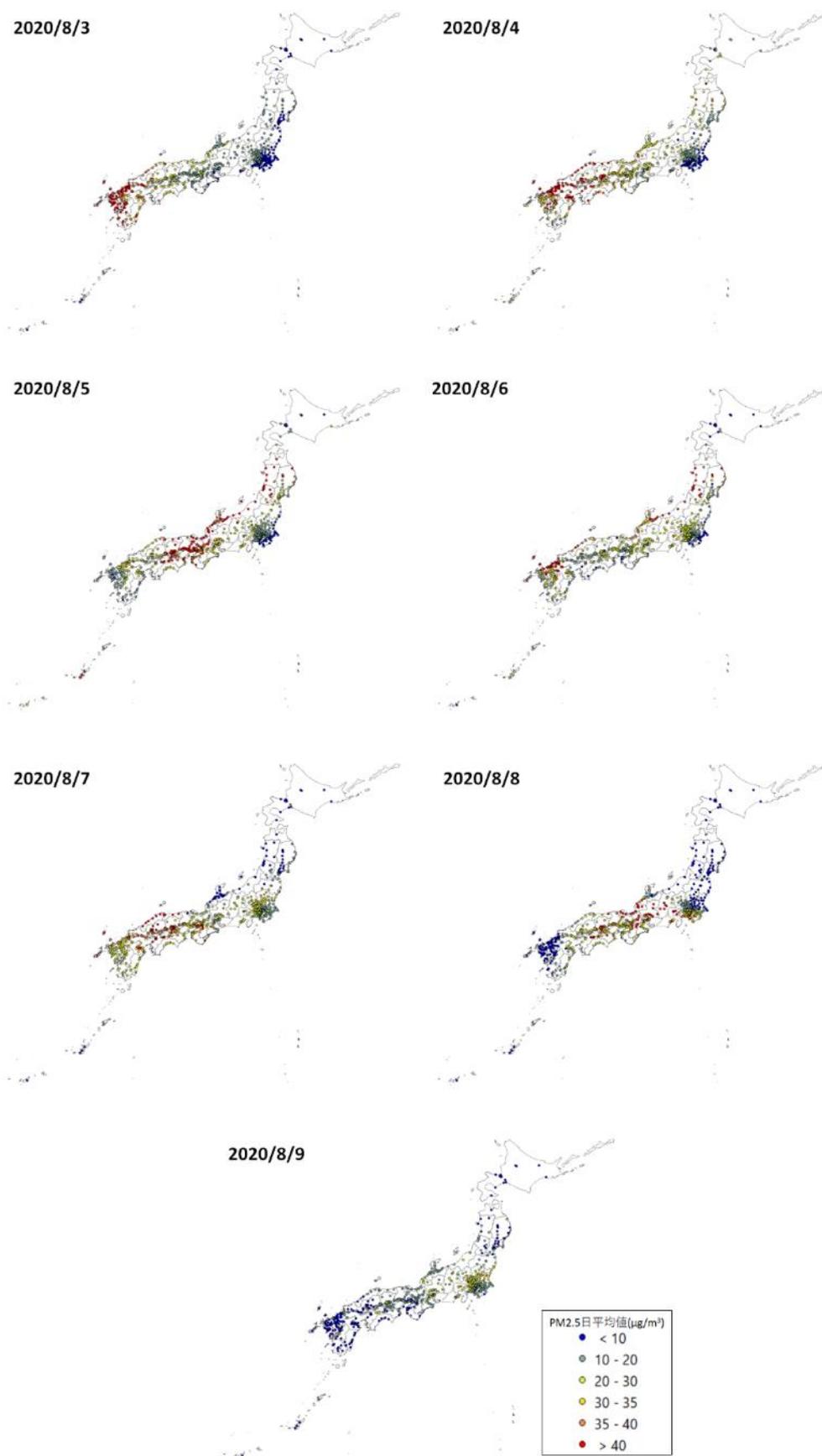


图 5-3-3-7 PM2.5 日平均值全国分布

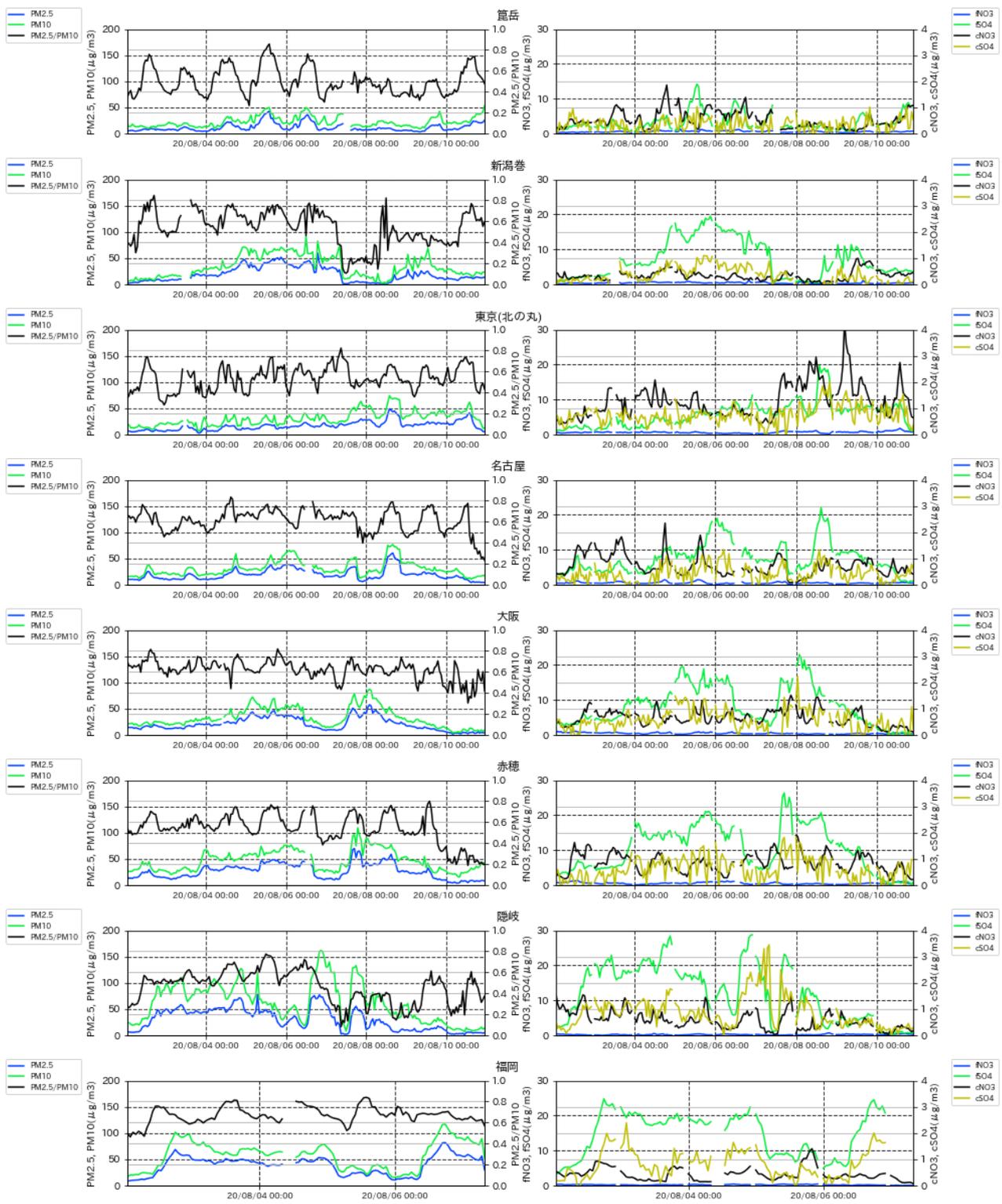


図 5-3-3-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

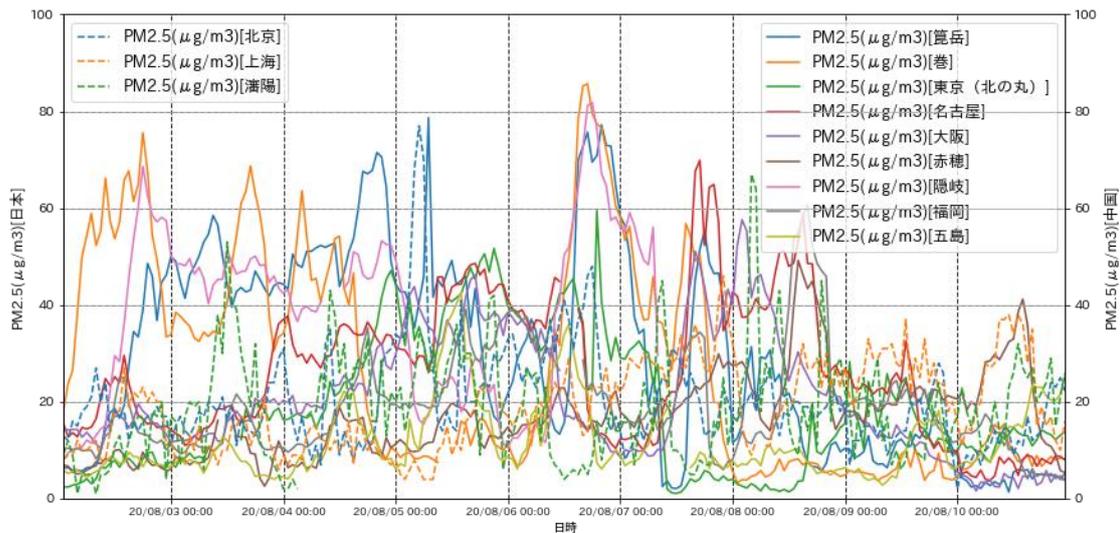


図 5-3-3-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(4) 煙霧事例 4 2020 年 8 月 25 日

本事例は、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（表 5-3-4- 1、図 5-3-4- 1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-4- 3）、煙霧発生前の 8 月 22 日にモンゴルの 1 地点で、24 日には 2 地点で Dust が発生している様子が見られる。このときの気流を後方流跡線で確認（図 5-3-4- 4）したところ、福岡、大阪からさかのぼる流跡線のいくつか以外は Dust が発生した領域を通過していない。CFORS の予測結果（図 5-3-4- 5）からは、Sulfate が中国東部から日本にかけて広がっている様子が見られるものの、濃度は高くはなかったことが見て取れる。

図 5-3-4- 6 にライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化を比較した結果を示す。ライダー黄砂消散係数は、極めて低い値を保っていたことが見て取れる。SPM 濃度は、8 月 25 日 0 時まで福江・長崎で高い傾向が見られたものの、その後は松江でやや高い状況が見られた時間帯を除いて、低い値を保っていた。

PM2.5 濃度は、全国的に濃度が低く環境基準 35μg/m³ を超える地点は少なかったが、瀬戸内地域ではほかの地域に比べ濃度が高くなる傾向が見られた（図 5-3-4- 7）。

また、図 5-3-4- 8 によると PM2.5/PM10 比は五島で低い値となっている。これは PM2.5 の低下と若干の PM10 の増加による。人為起源系汚染物質の SO₄²⁻、NO₃⁻については煙霧観測前日と当日で、ピークを取っている成分もある。

なお、中国では高濃度の PM2.5 は観測されていない（図 5-3-4- 9）。

以上から、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。

表 5-3-4-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
		広島	徳島	佐賀	高松	松山	高知	神戸	下関	熊本	鳥取
2020/8/25	10										

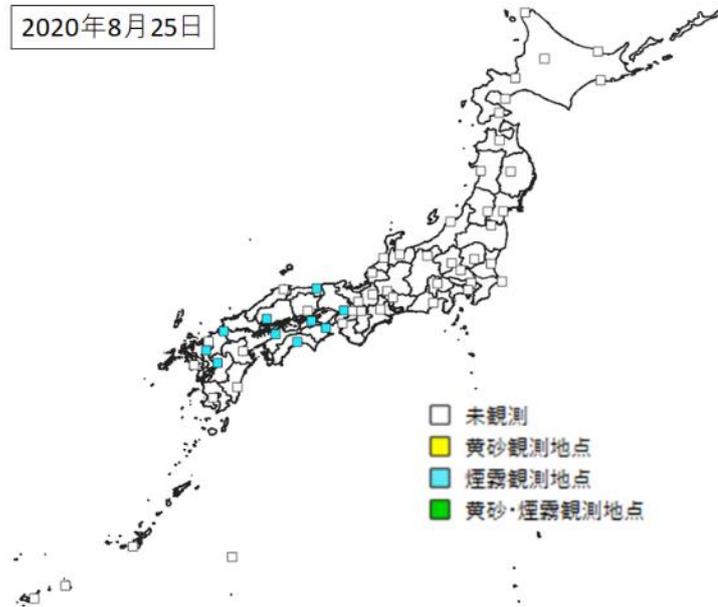
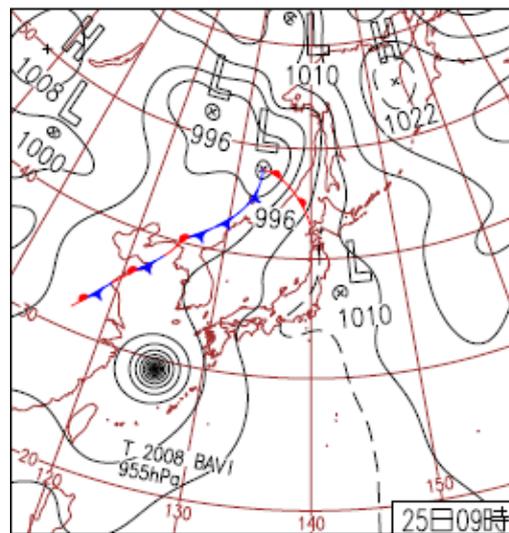


図 5-3-4-1 煙霧観測地点



25日(火)西日本は猛暑

台風第8号が東シナ海を北上。暖かく湿った空気流入した九州～東海は所々で激しい雨。西日本を中心に気温が上がり、132地点で猛暑日。福岡県太宰府の38.5℃は8月1位。

図 5-3-4-2 天気図

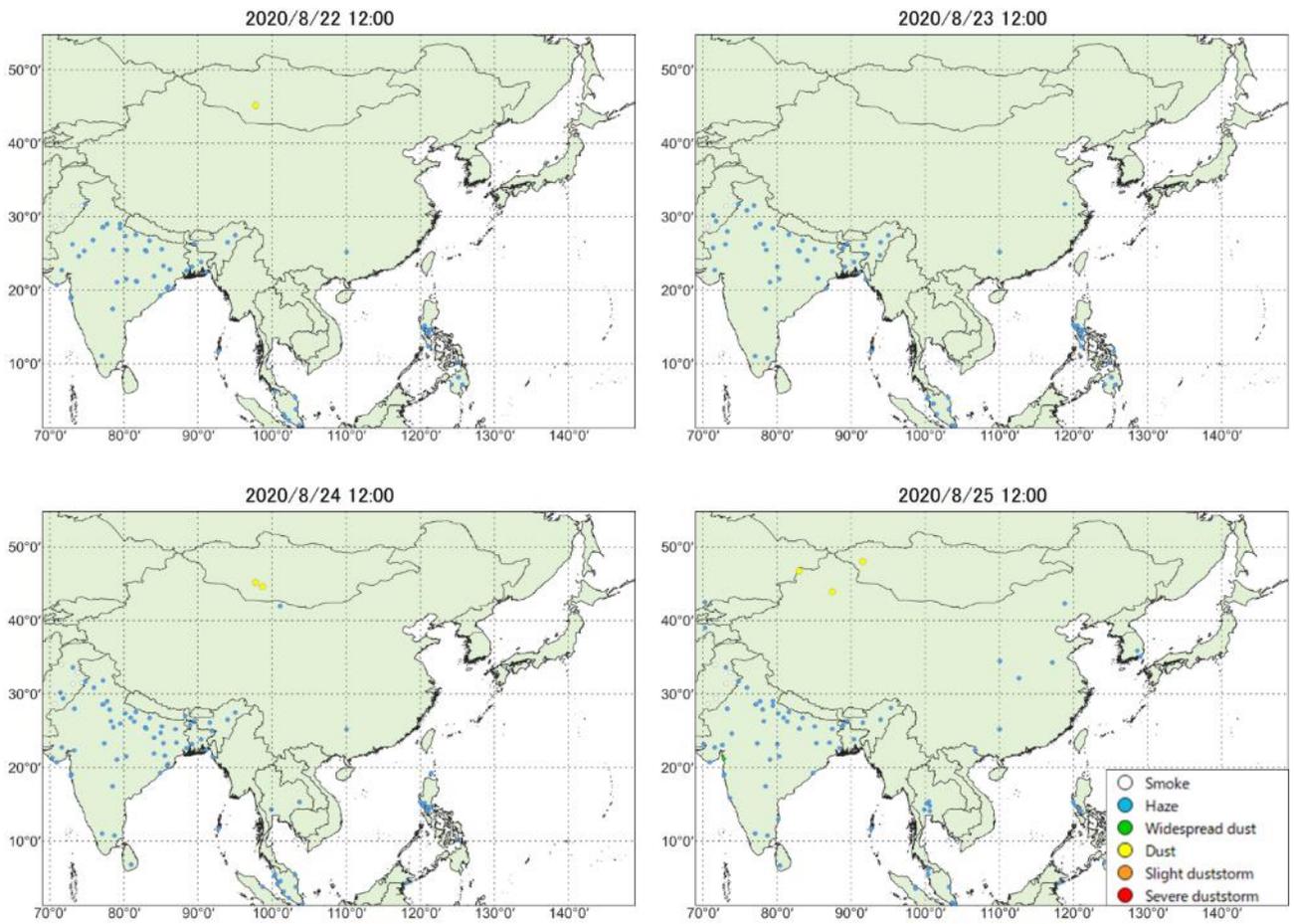


図 5-3-4-3 砂塵嵐発生状況

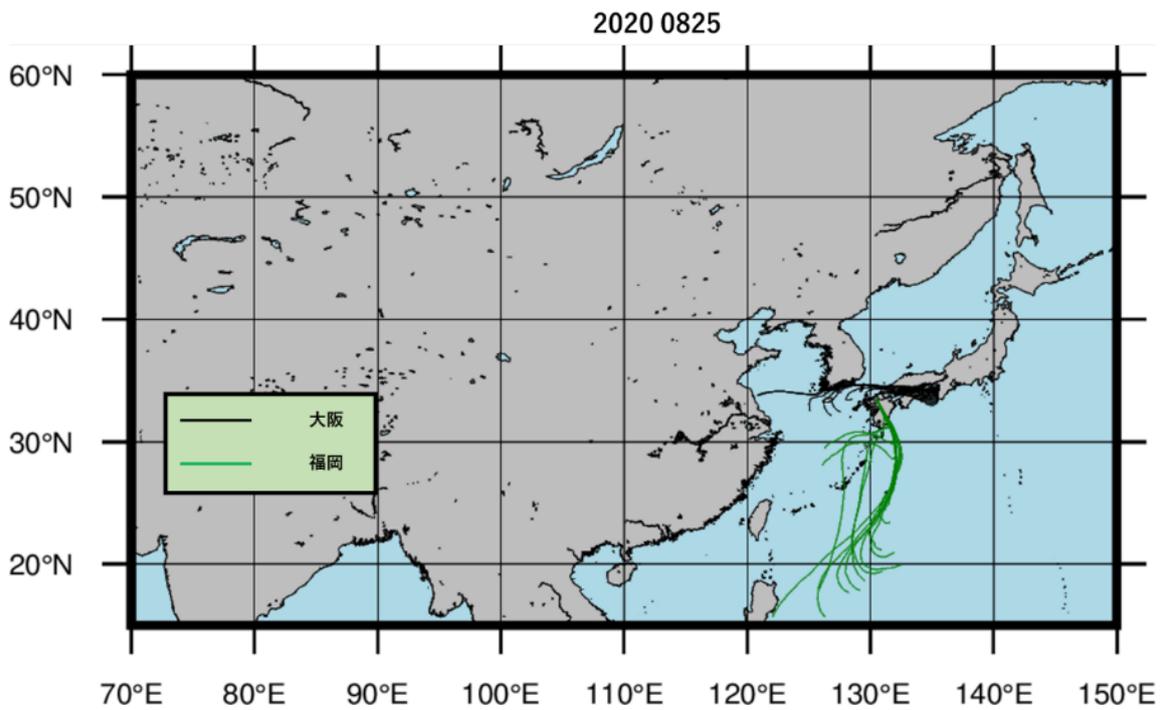


図 5-3-4-4 後方流跡線 (72 時間前より)

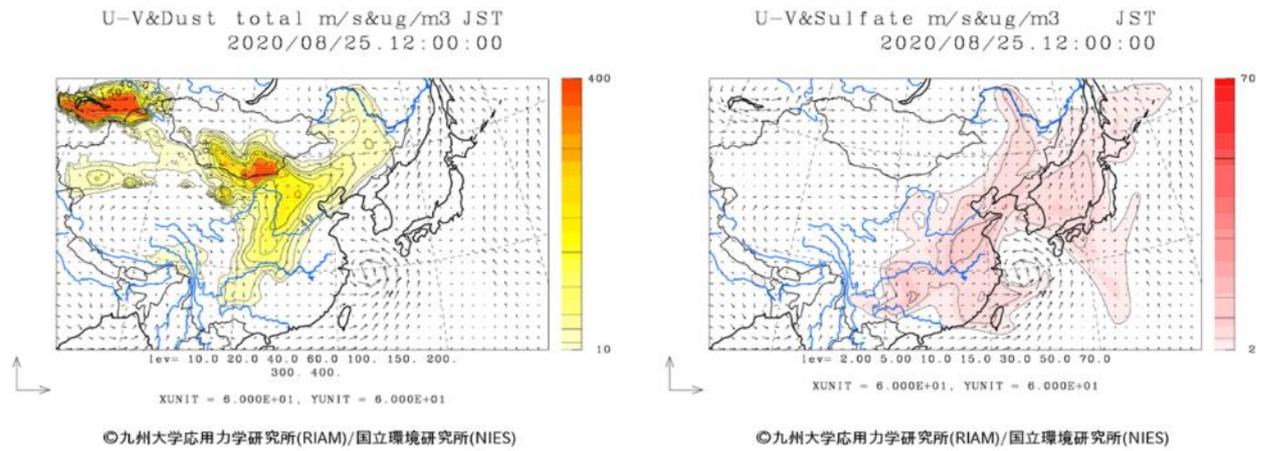
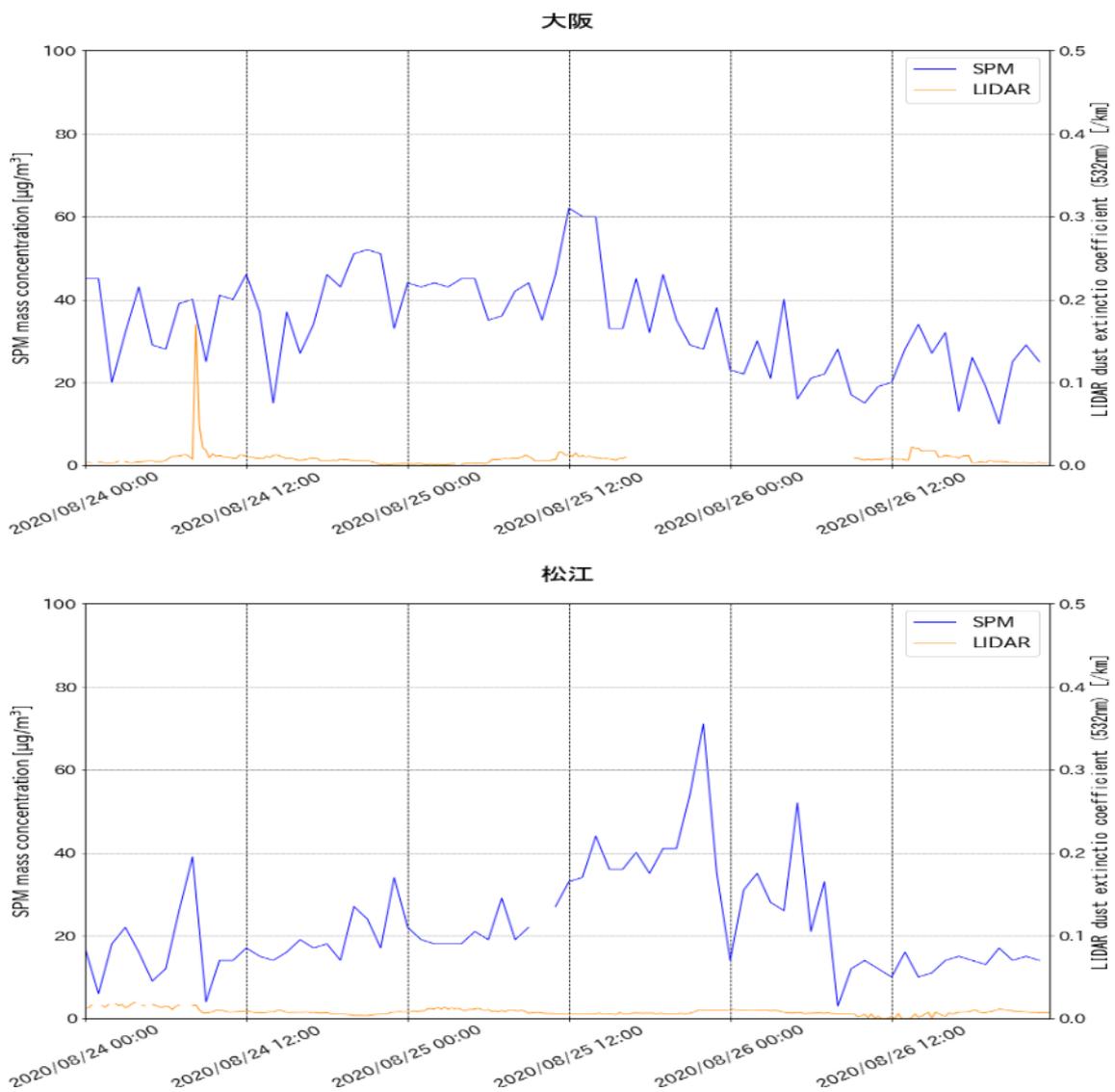


図 5-3-4-5 CFORS 予測結果



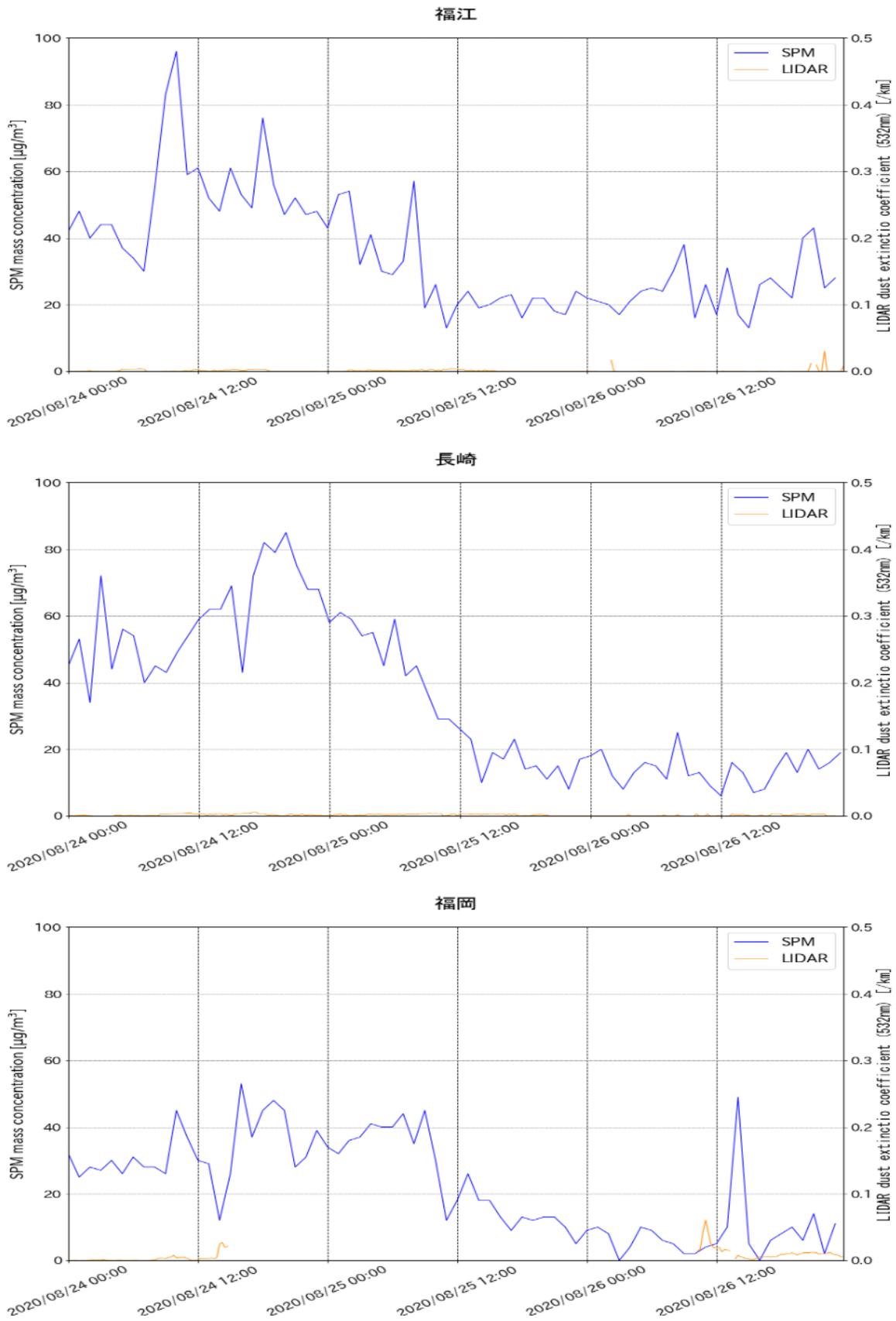


図 5-3-4-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2020/8/25

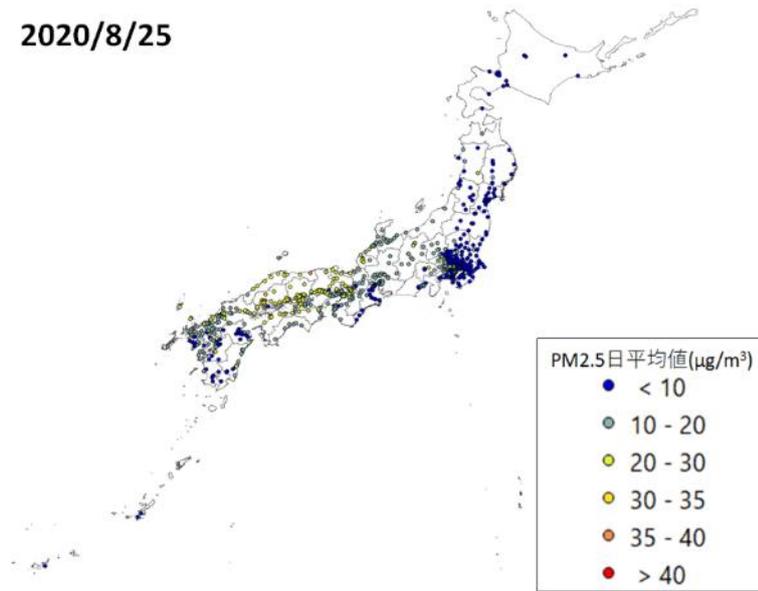


図 5-3-4-7 PM2.5 日平均値全国分布

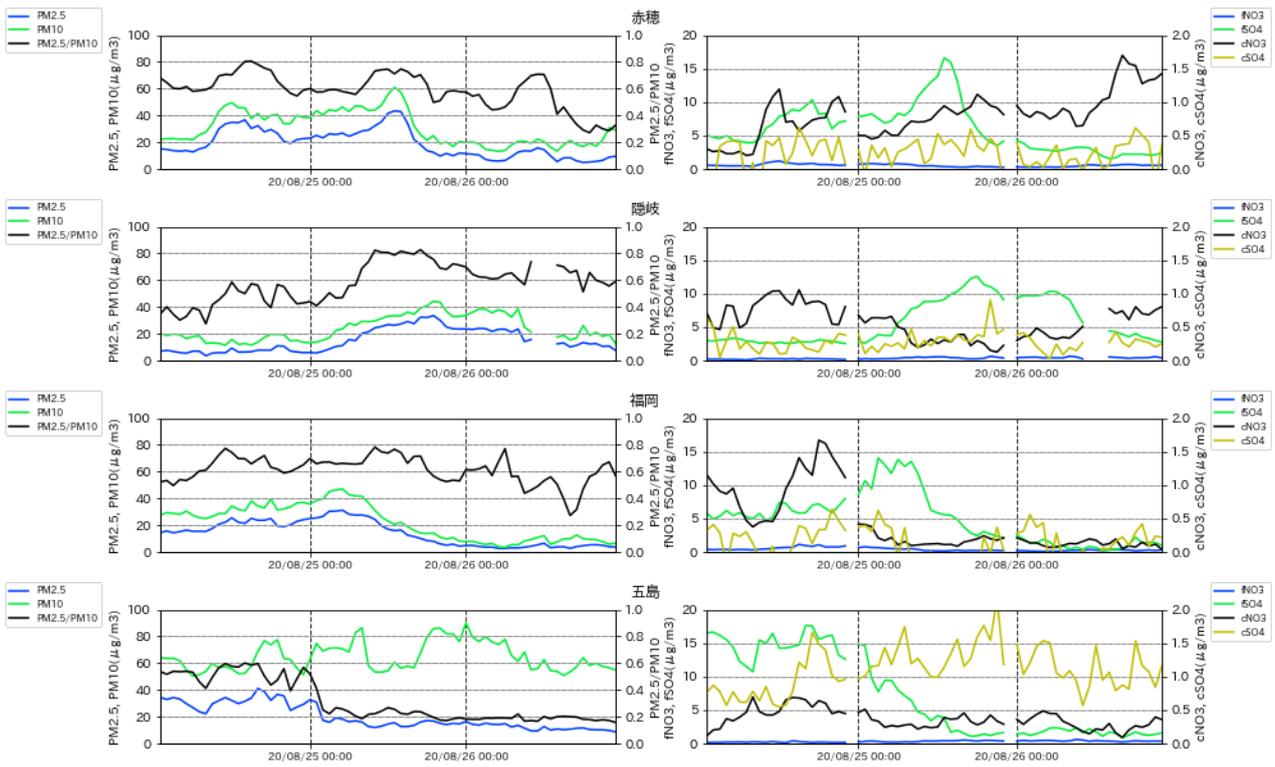


図 5-3-4-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

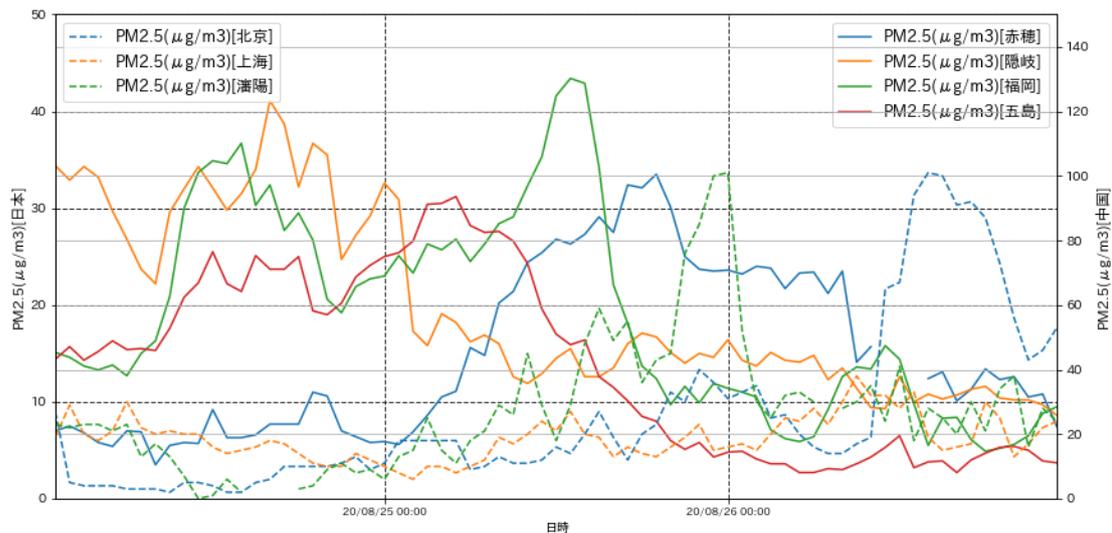


図 5-3-4-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(5) 煙霧事例 5 2020 年 12 月 30 日～12 月 31 日

本事例は、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（表 5-3-5-1、図 5-3-4-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-4-3）、日本での煙霧発生前に大陸では日本と同様に Haze 以外、特に観測されていない。このときの気流を後方流跡線で確認（図 5-3-4-4）したところ、12 月 30 日からさかのぼる流跡線はほぼ日本の西からの通過点をたどっている。さらに CFORS（図 5-3-4-5）においても、Dust、Sulfate とともに日本への影響は小さいことが見て取れる。

図 5-3-4-6 にライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化を比較した結果を示す。ライダー黄砂消散係数は、全体的に低い傾向を保っていたことがわかる。松江（12 月 30 日午前）、及び福岡（12 月 30 日午後）で断続的に高い数値が見られたが、当日の気象（それぞれ雨、及び雪）の影響であると考えられる。SPM 濃度も、東京・大阪でやや上昇が見られた他は、目立った変動は見られなかった。

PM2.5 濃度は、全国的に濃度が低く、環境基準 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点は観測されなかった（図 5-3-4-7）。

また、図 5-3-4-8 から PM2.5/PM10 比は新潟、大阪、赤穂、隠岐、福岡で短期間であるが低い値となる時間帯があった。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については煙霧観測日の前日に高い値となっている地点が多くみられる。

なお、中国でも顕著に高い値の PM2.5 は観測されていない（図 5-3-4-9）。

以上から、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。

表 5-3-5-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
2020/12/30	11	稚内	金沢	網走	横浜	熊谷	東京	神戸	下関	秋田	福島
		佐賀									
2020/12/31	10	稚内	金沢	秋田	福島	室蘭	網走	釧路	青森	函館	松江

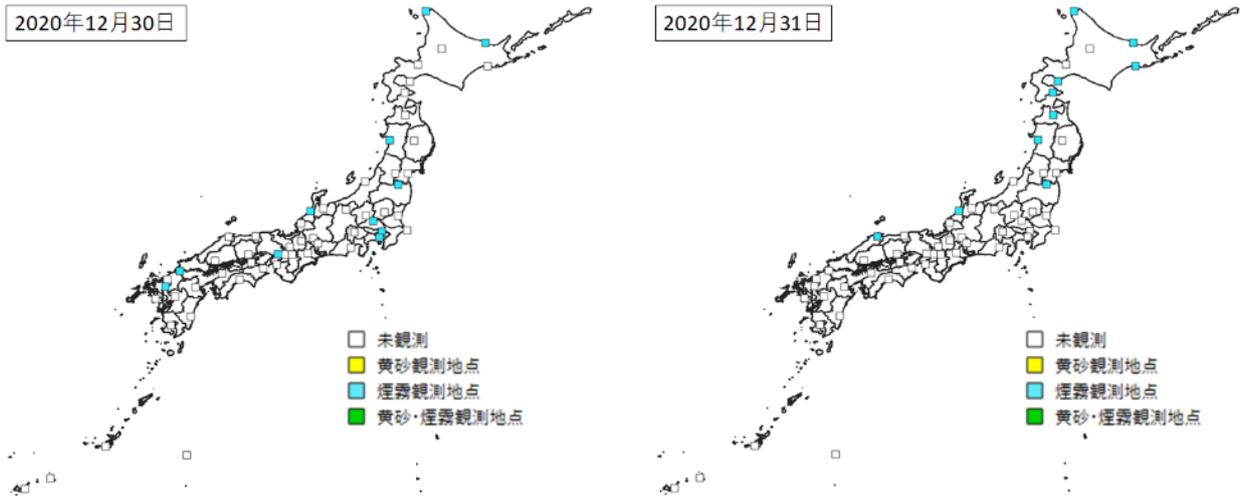
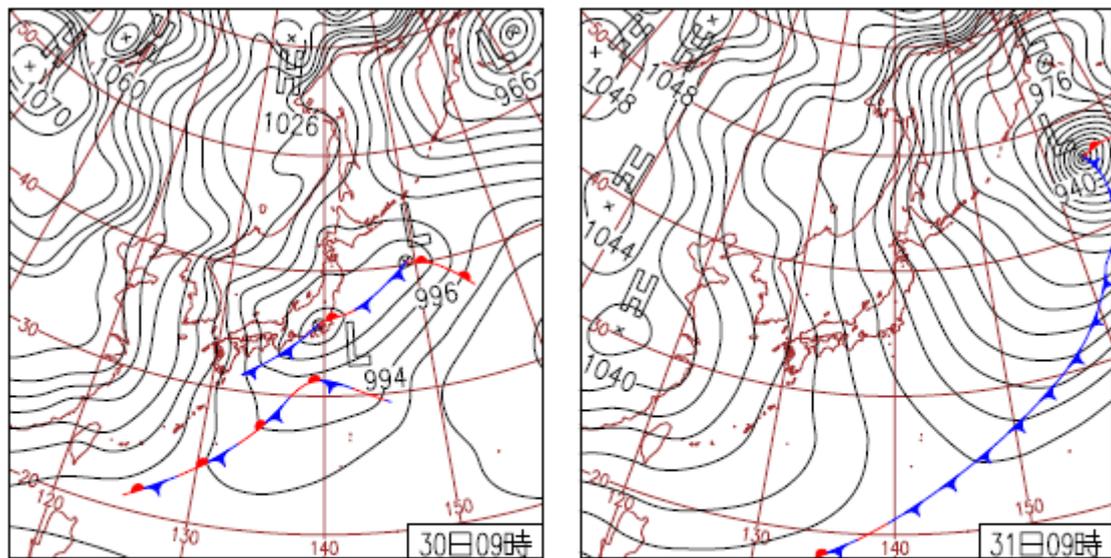


図 5-3-5-1 煙霧観測地点



30日(水)山陰で大雪

低気圧が本州付近を通過し、冬型の気圧配置に。午前中は西日本～東北で雨や雪、午後は西～北日本の日本海側を中心に雪。鳥取県大山の日降雪量71cm。鹿児島、大阪など初雪。

31日(木)北海道で-30℃以下に

強い冬型の気圧配置が継続し、西～北日本の日本海側は雪。名古屋など西～東日本の太平洋側も所々で雪。北海道幌加内の最低気温-32.6℃は12月1位。-30℃以下は今冬全国初。

図 5-3-5-2 天気図

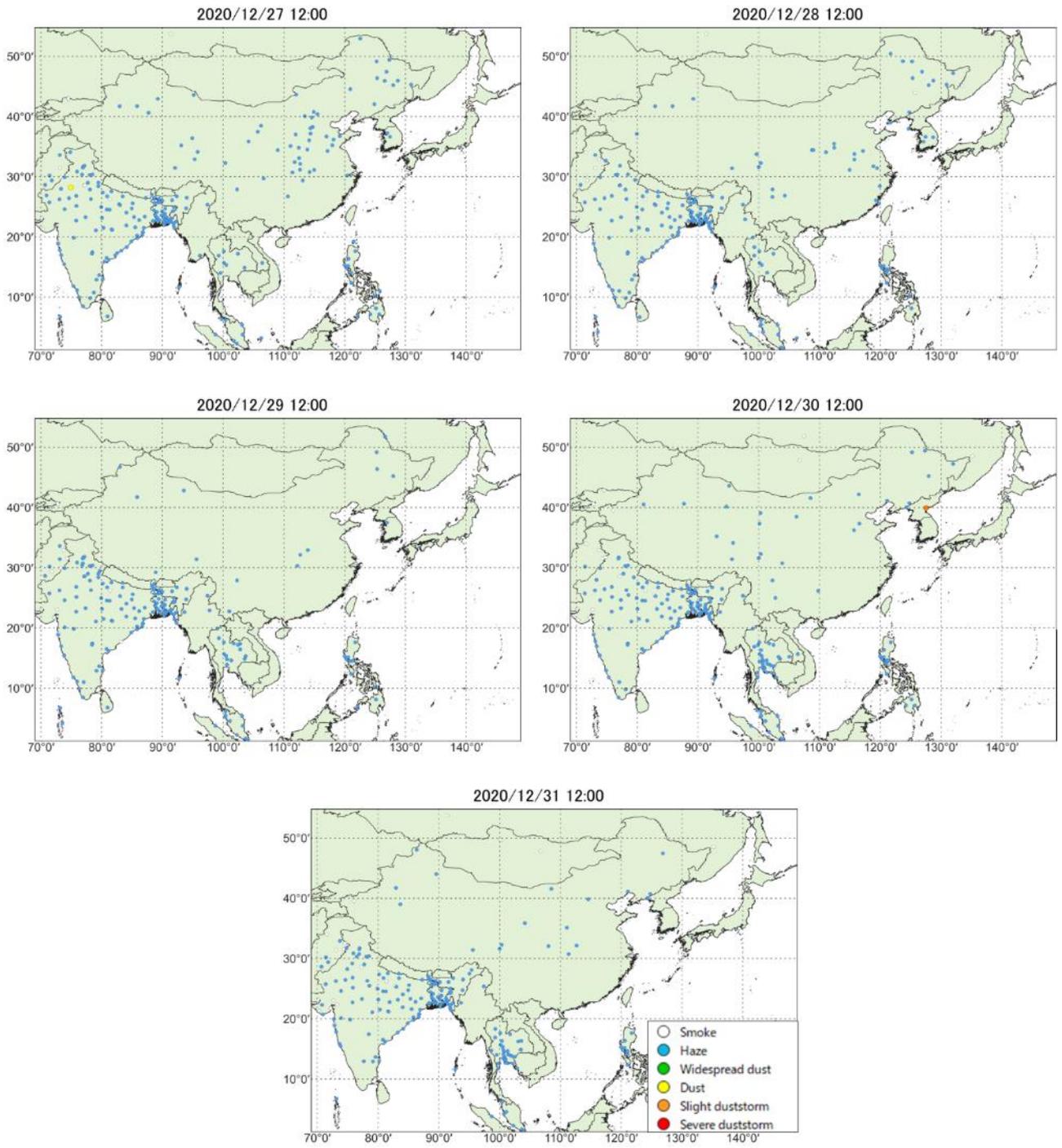


图 5-3-5-3 砂塵嵐発生状況

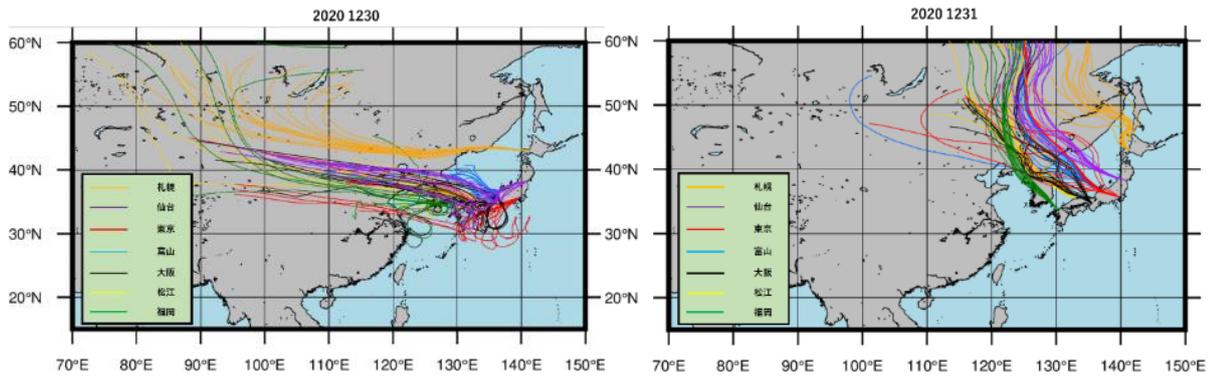


図 5-3-5-4 後方流跡線 (72 時間前より)

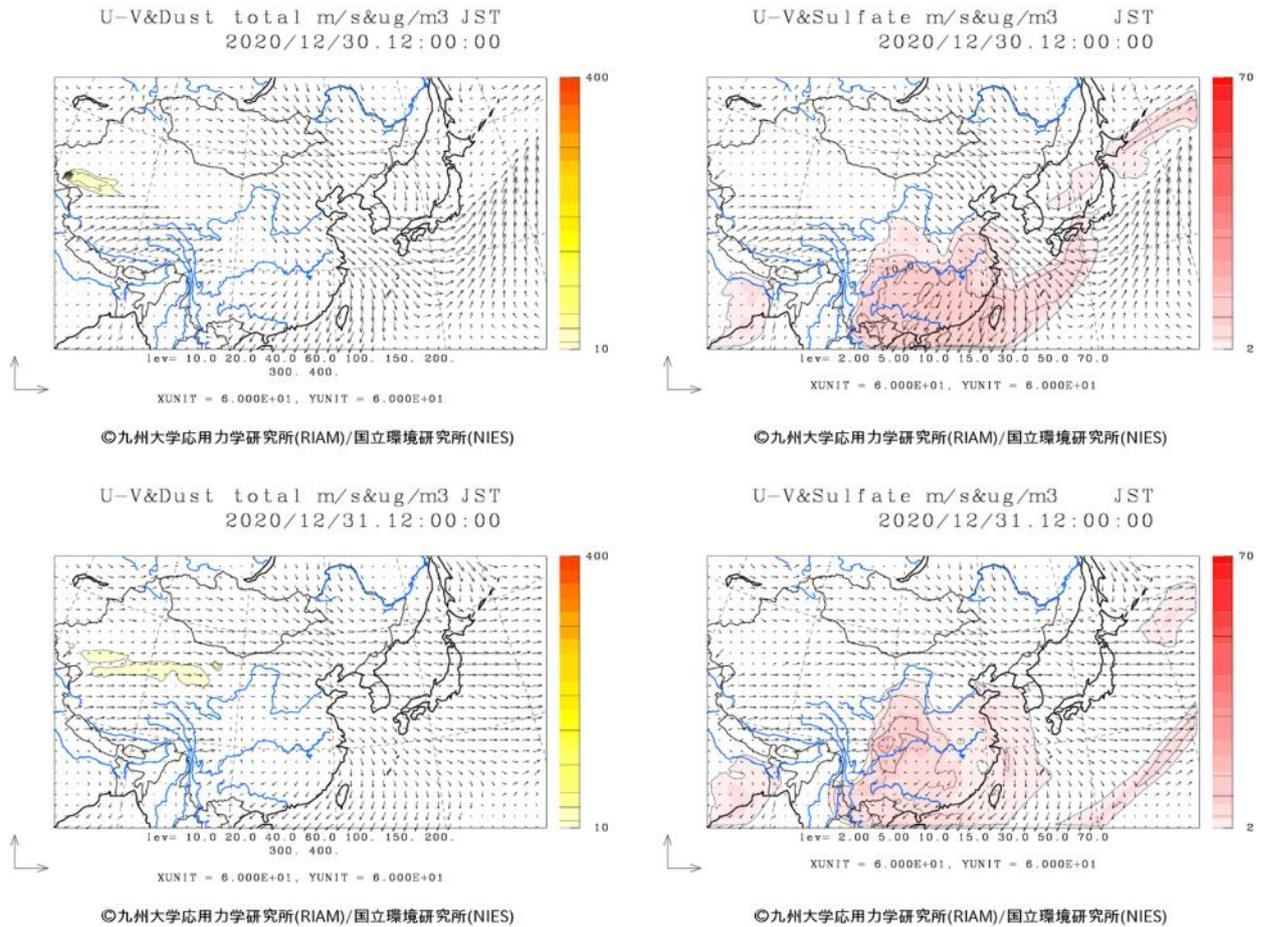
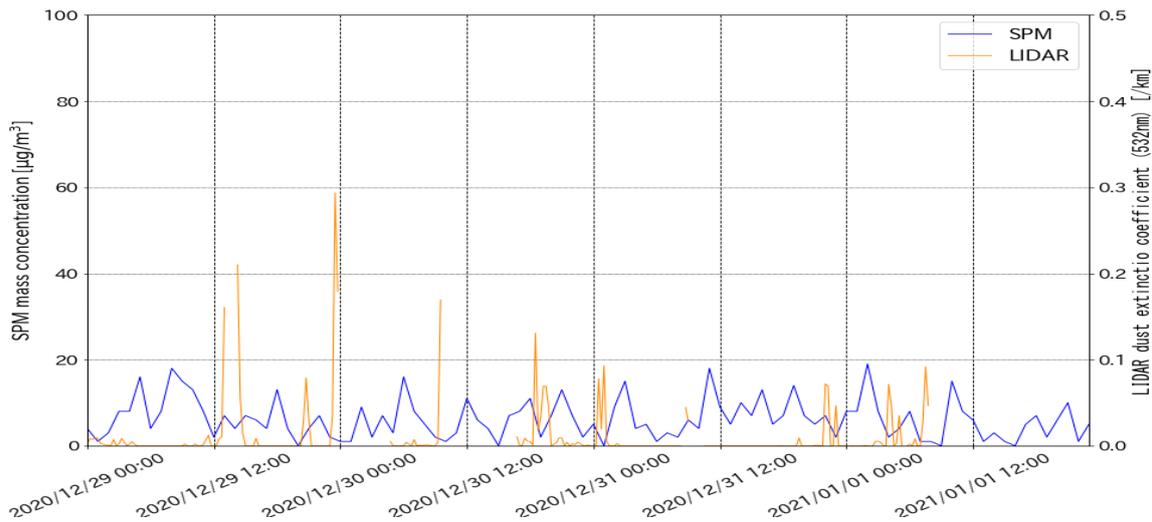
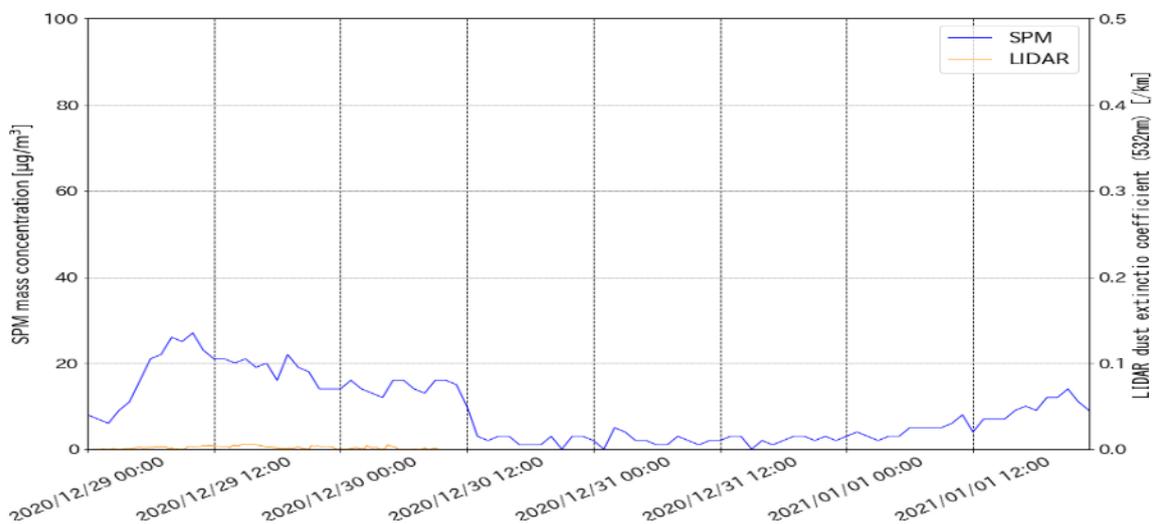


図 5-3-5-5 CFORS 予測結果

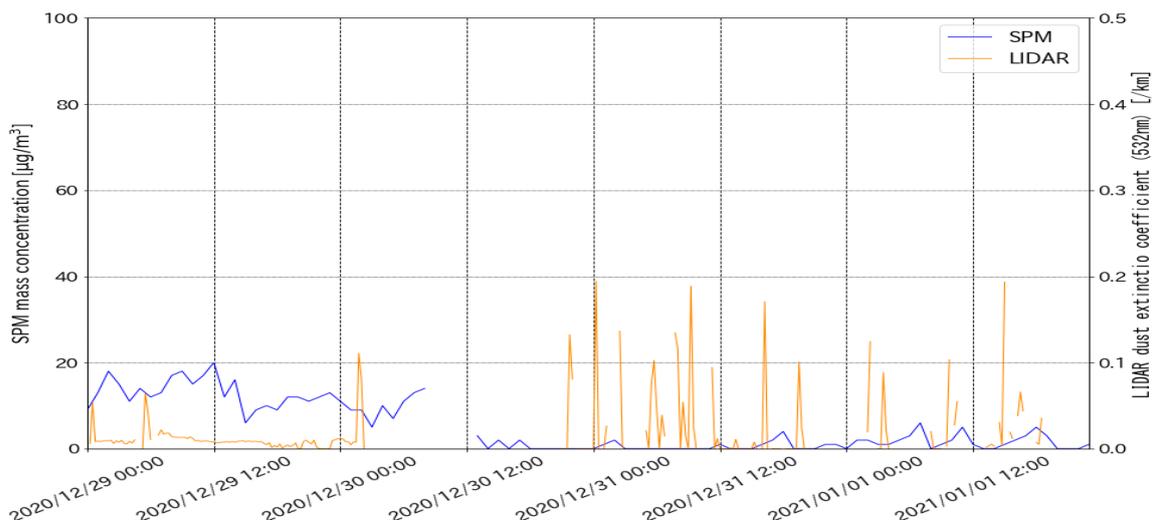
札幌



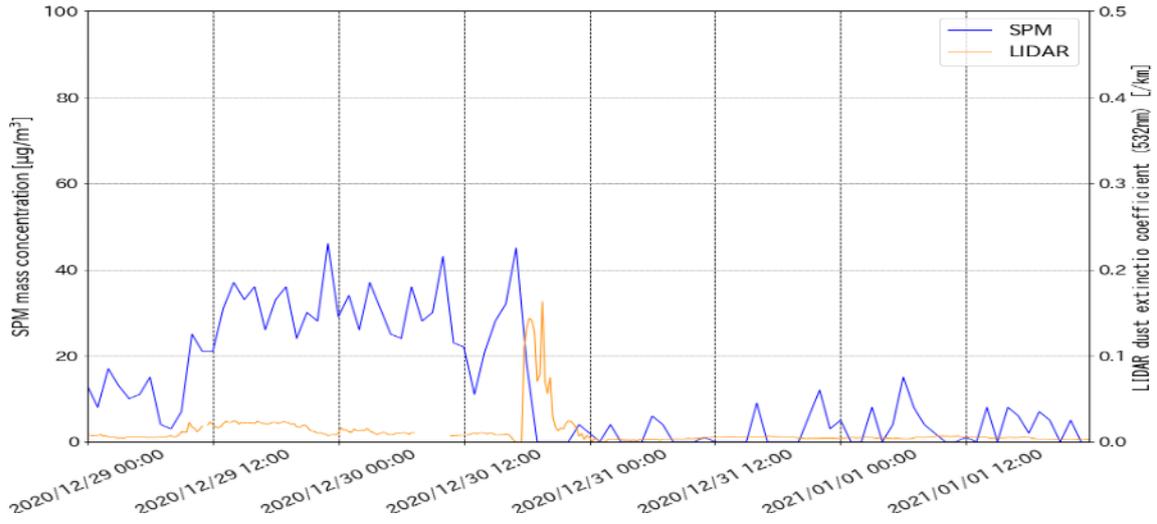
仙台



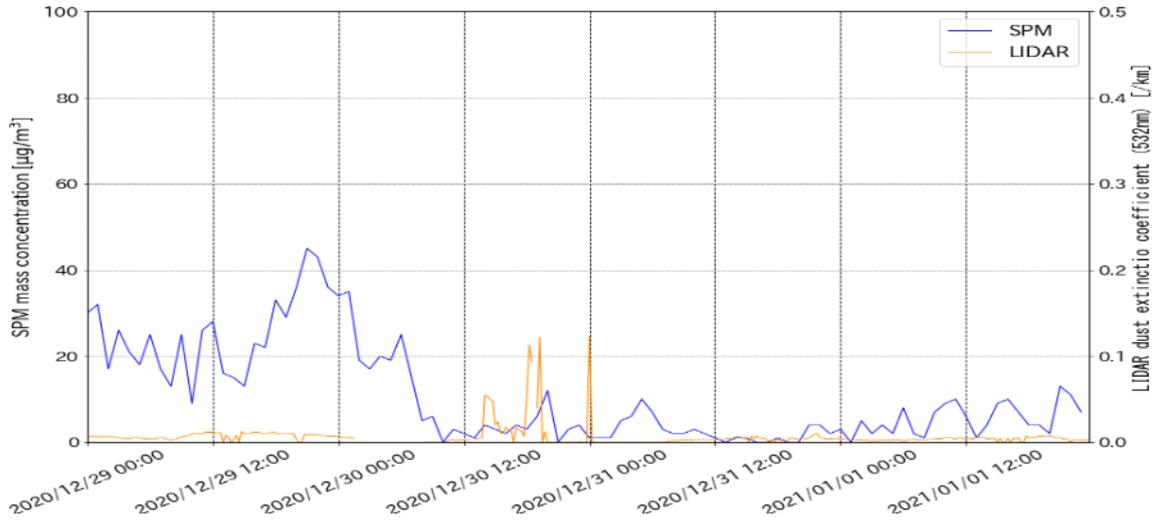
新潟



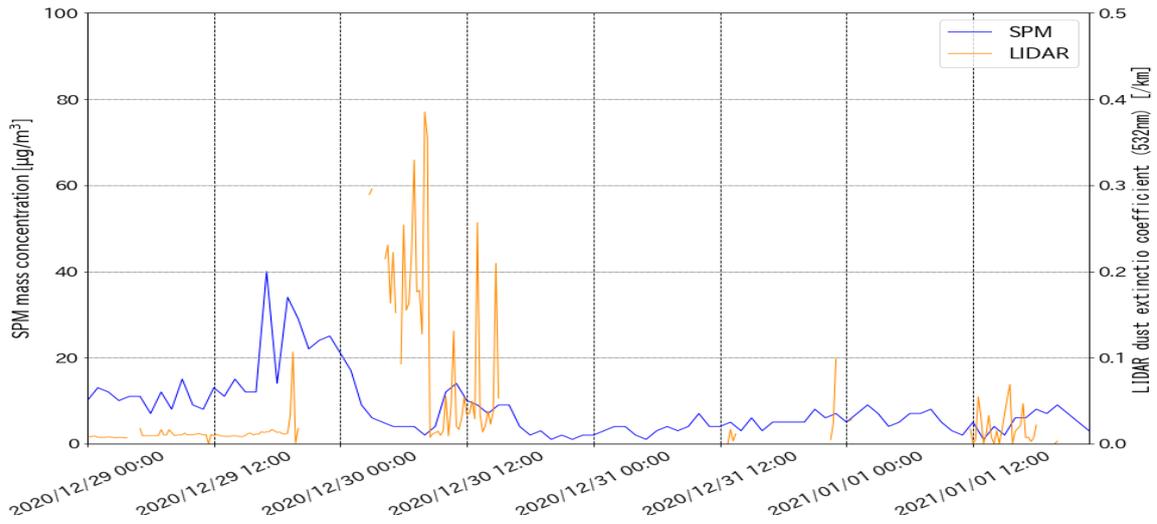
東京



大阪



松江



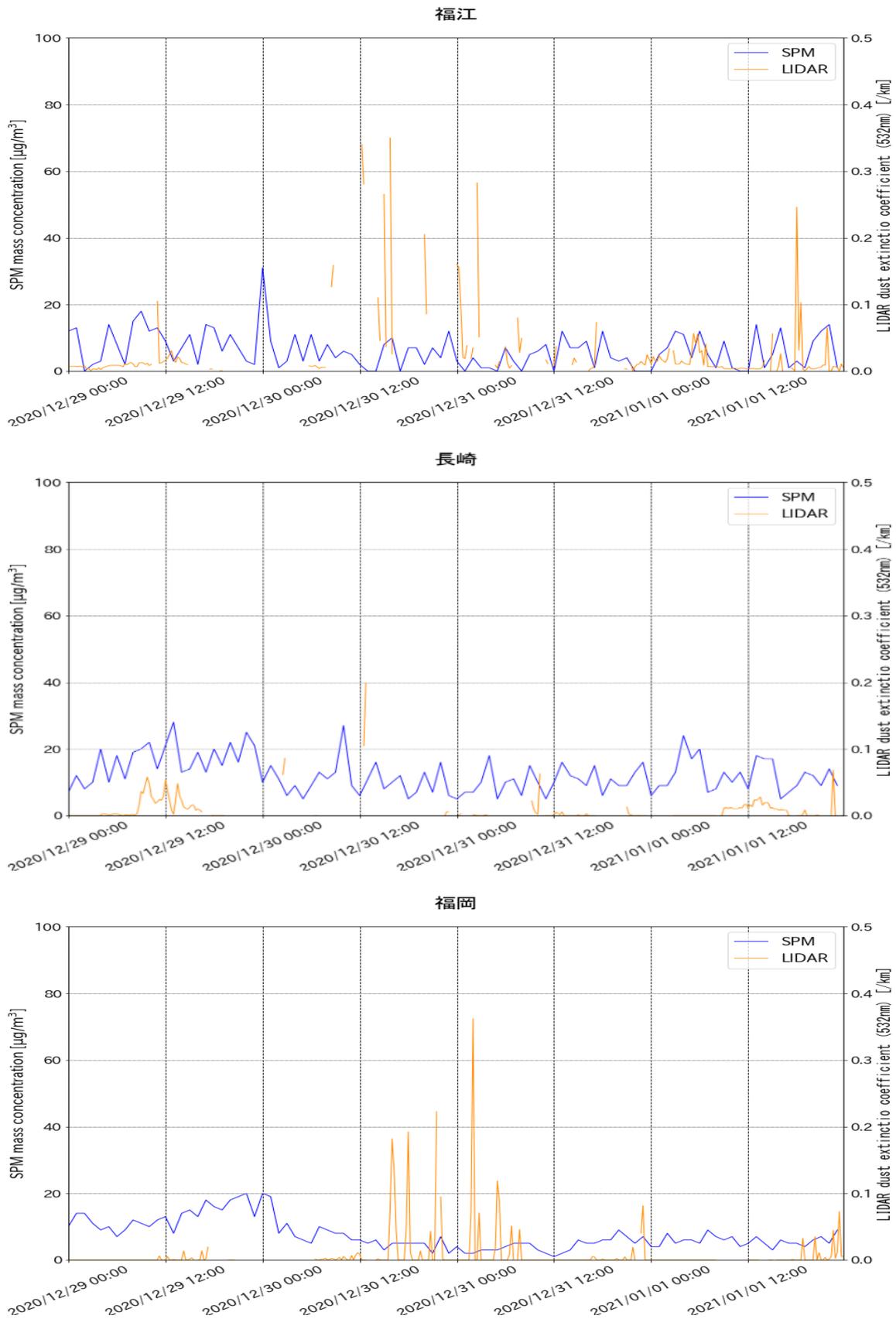


図 5-3-5-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2020/12/30

2020/12/31

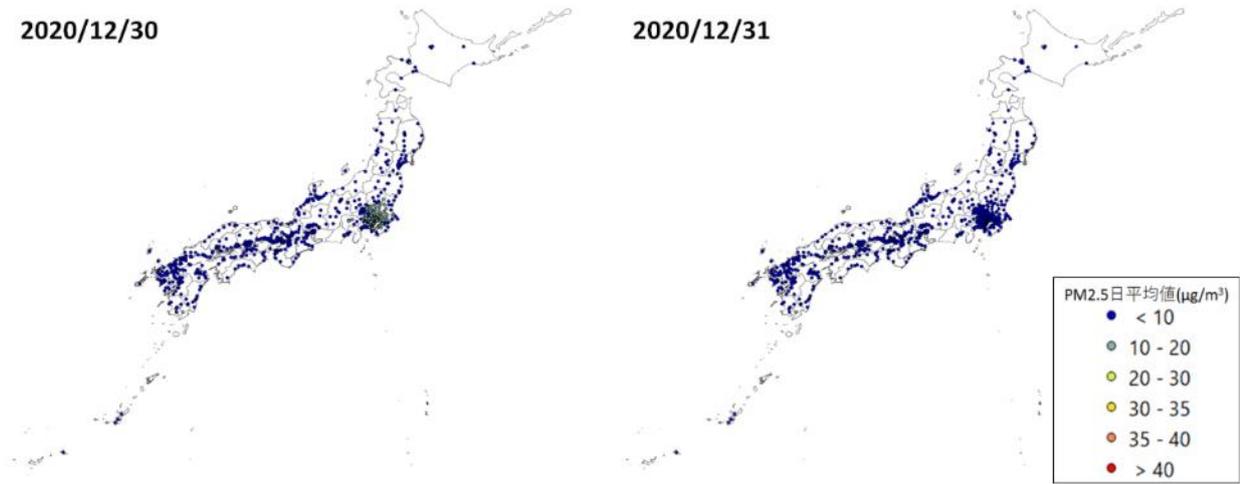
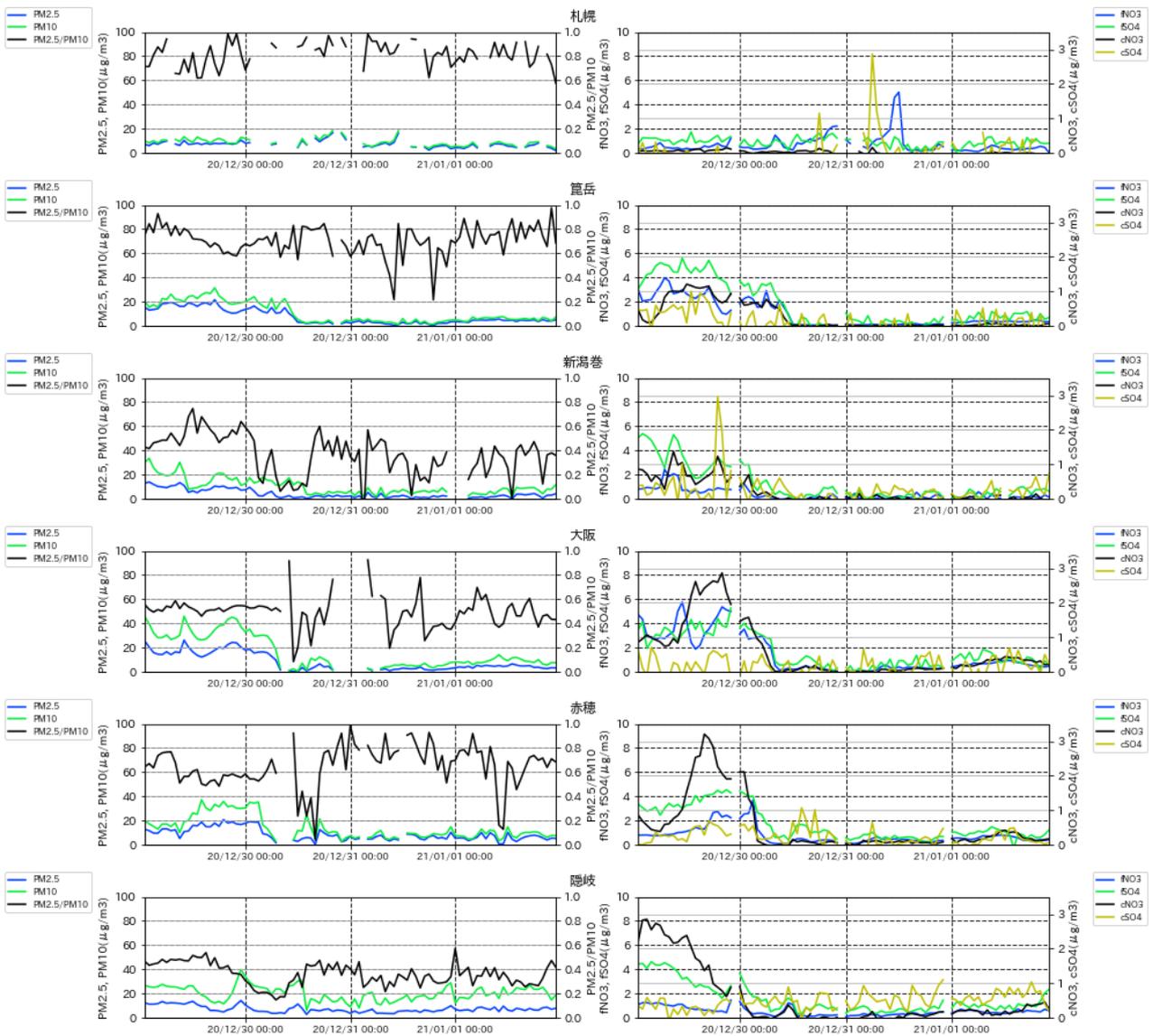


图 5-3-5-7 PM2.5 日平均值全国分布



以上から、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。

表 5-3-6-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
2021/1/7	10	福岡	松江	鳥取	新潟	下関	網走	盛岡	山形	広島	秋田

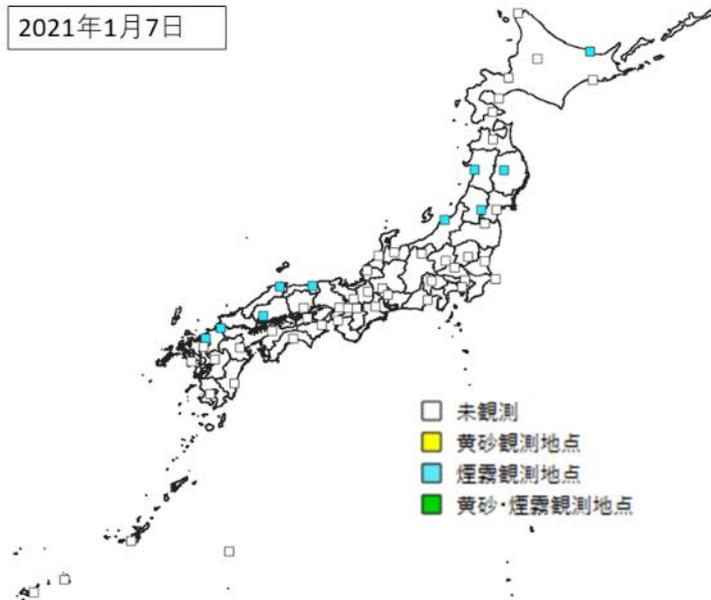
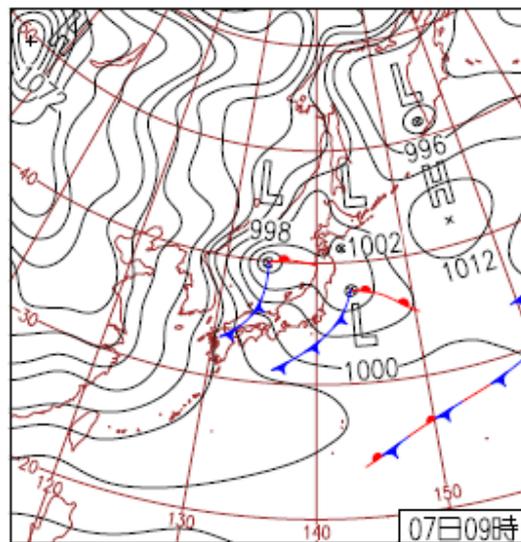


図 5-3-6-1 煙霧観測地点



7日(木)低気圧急速に発達

低気圧が急速に発達しながら北日本に進み、日本付近に強い寒気が流入。広く荒れた天気で、秋田県八森で最大瞬間風速42.4m/s、岐阜県白川で27cm/3hの大雪。高知、静岡で初雪。

図 5-3-6-2 天気図

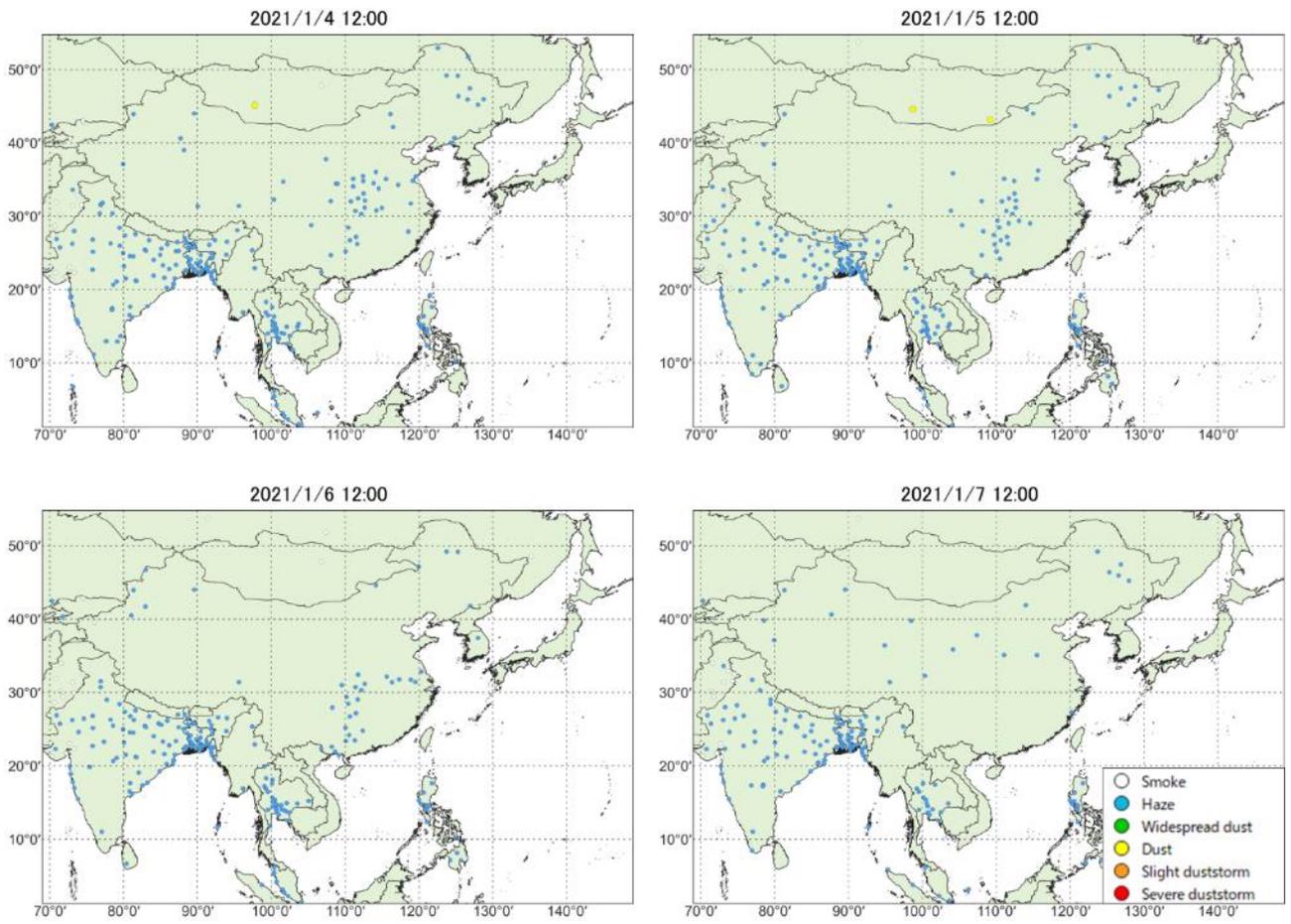


图 5-3-6-3 砂塵嵐発生状况

2021 0107

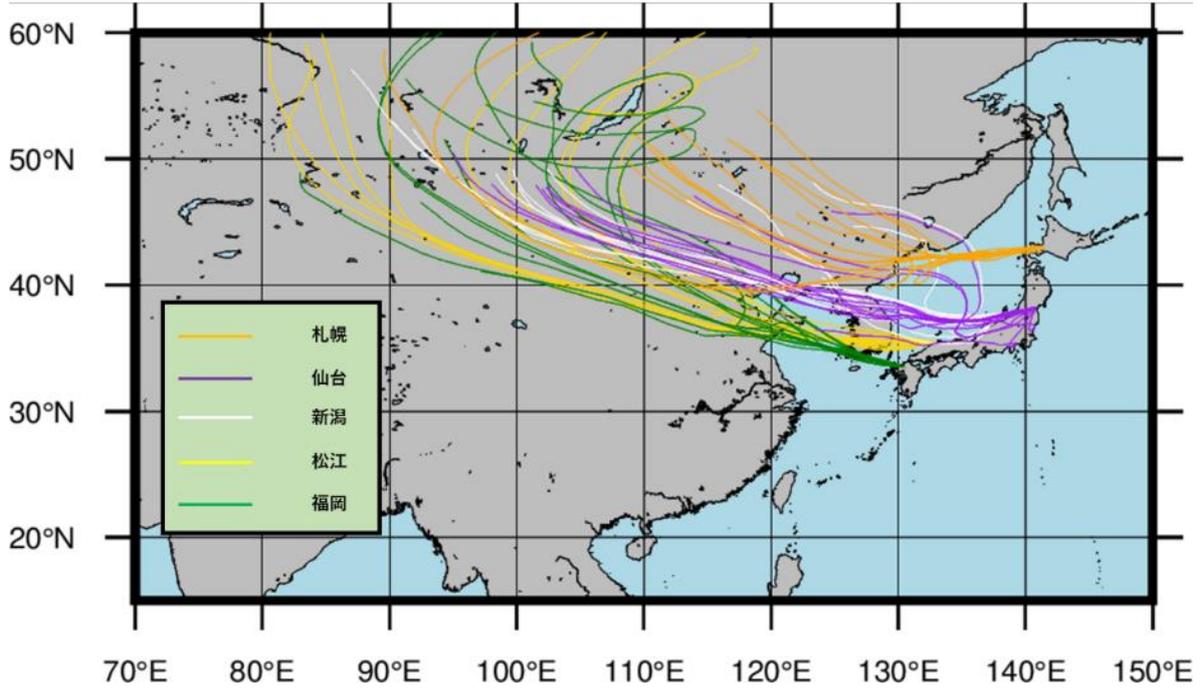


図 5-3-6-4 後方流跡線 (72 時間前より)

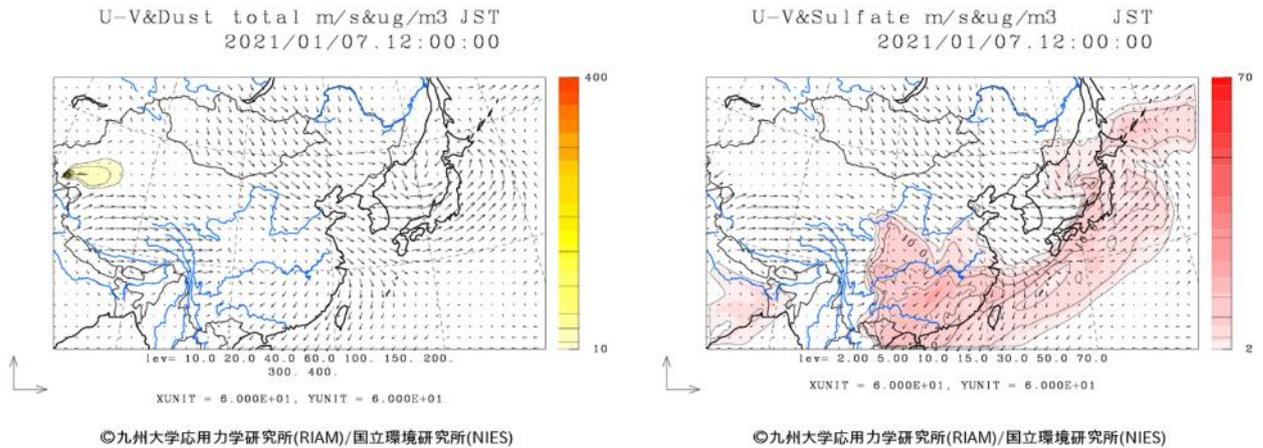
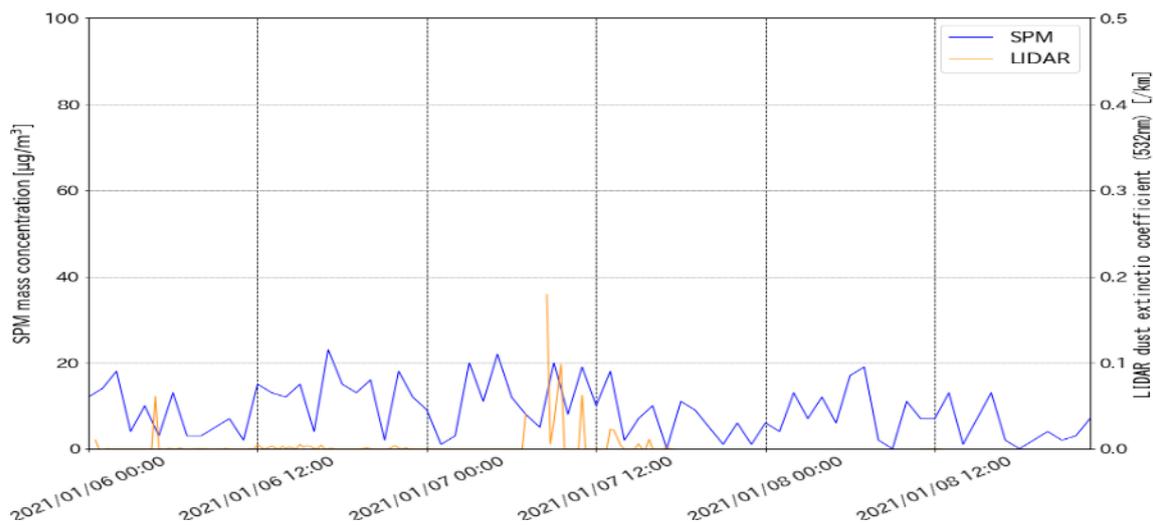
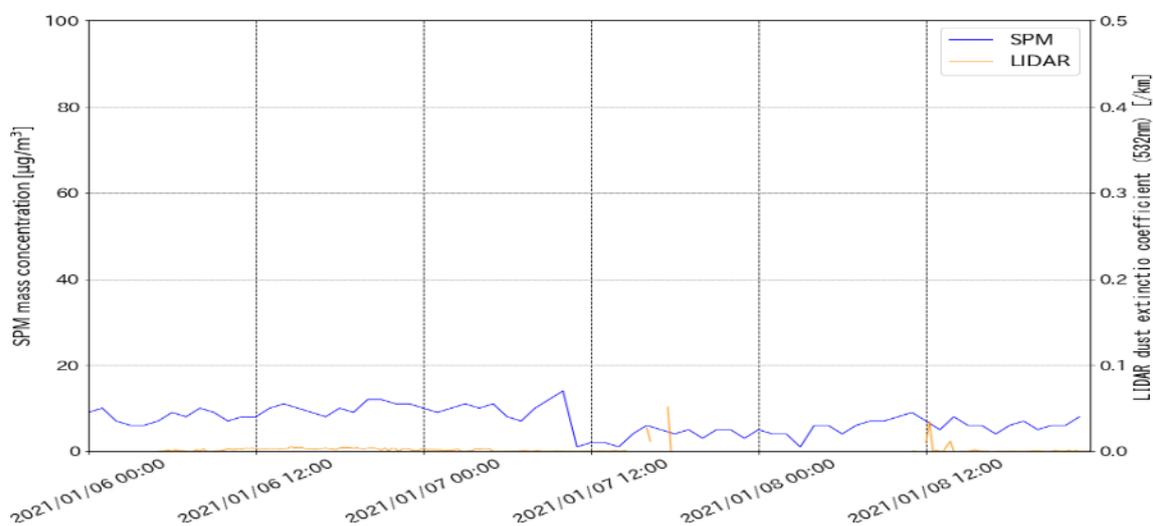


図 5-3-6-5 CFORS 予測結果

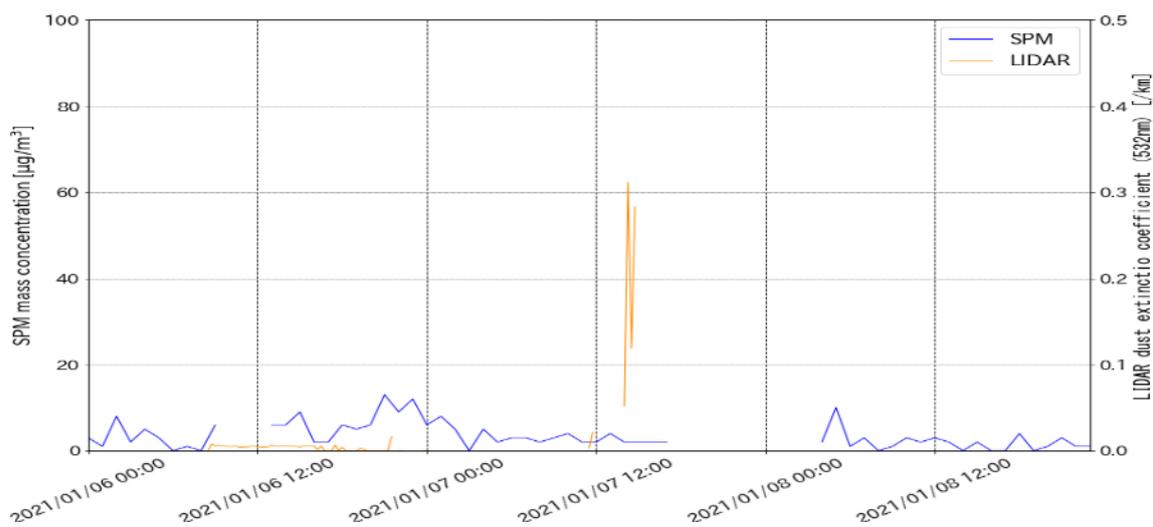
札幌



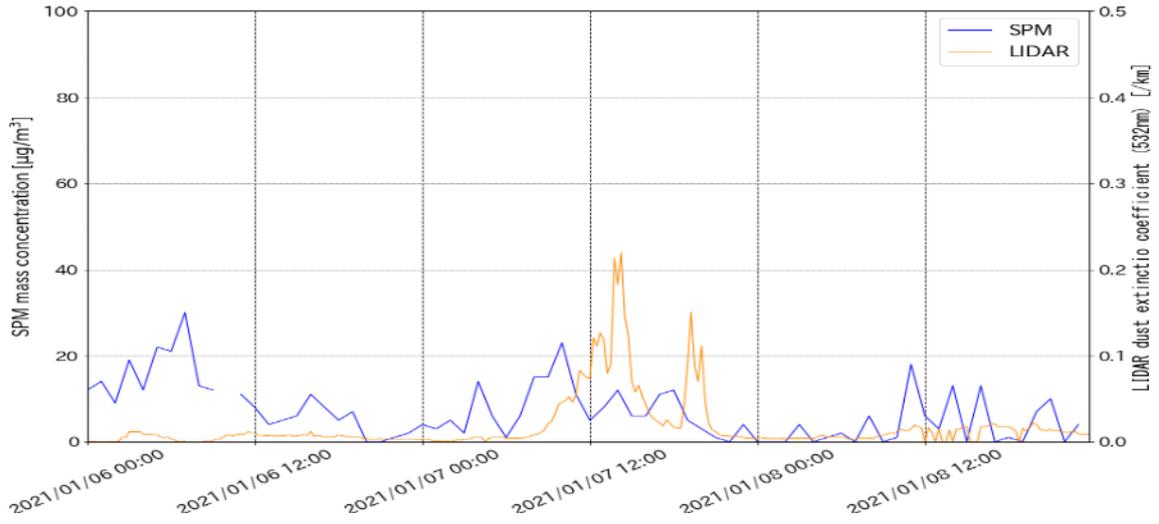
仙台



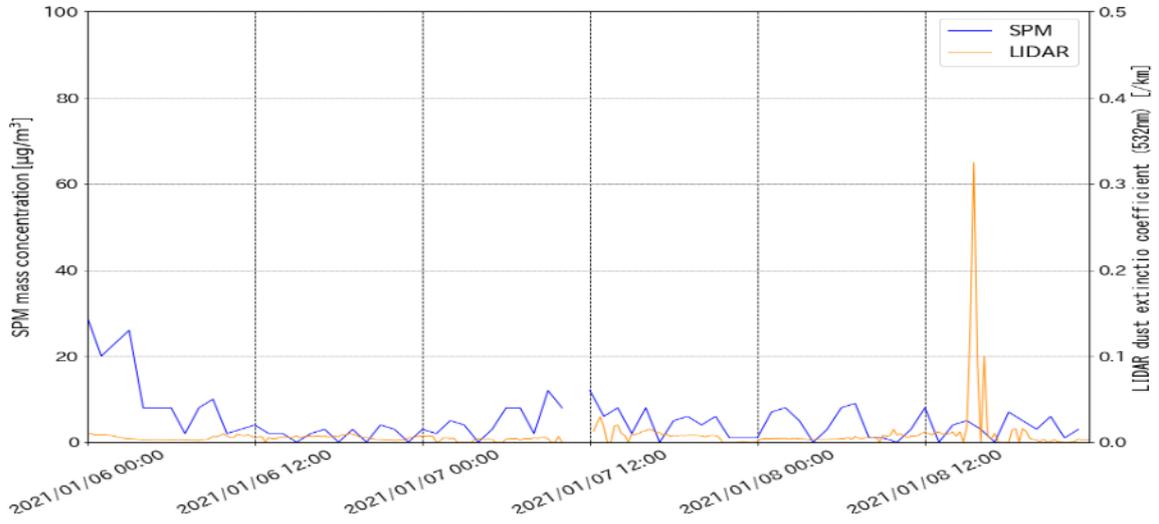
新潟



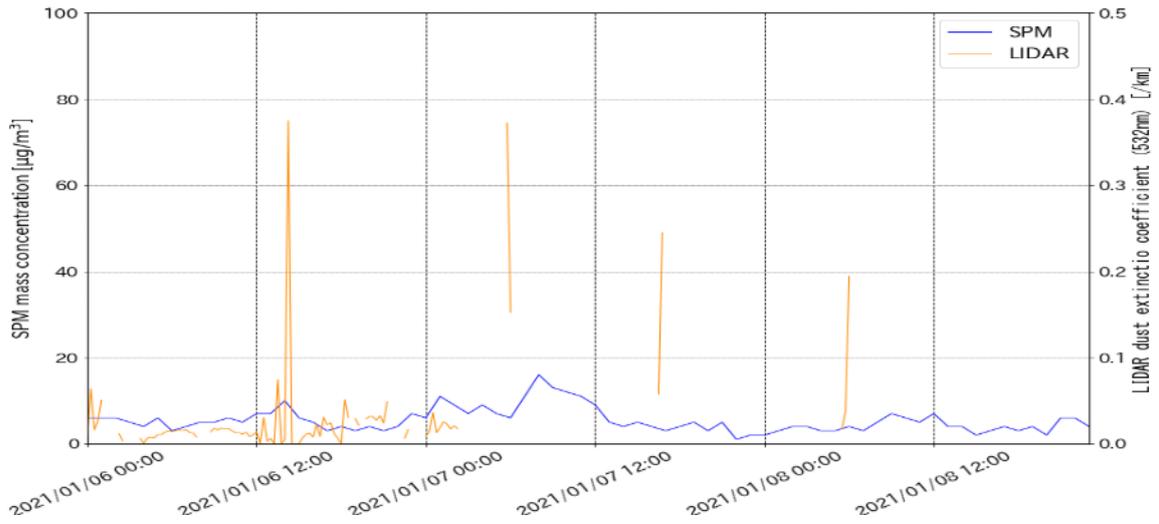
東京



大阪



松江



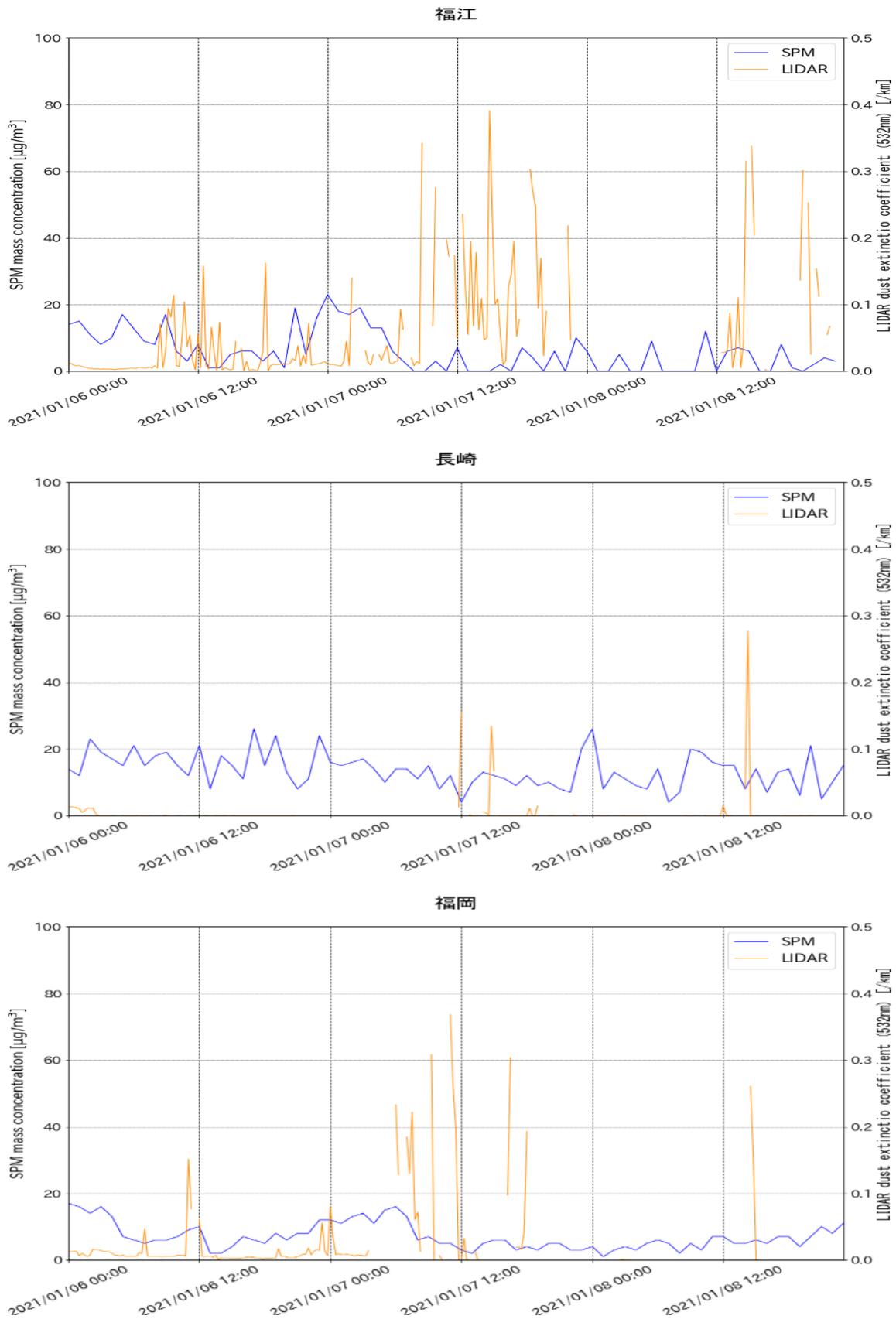


図 5-3-6-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2021/1/7

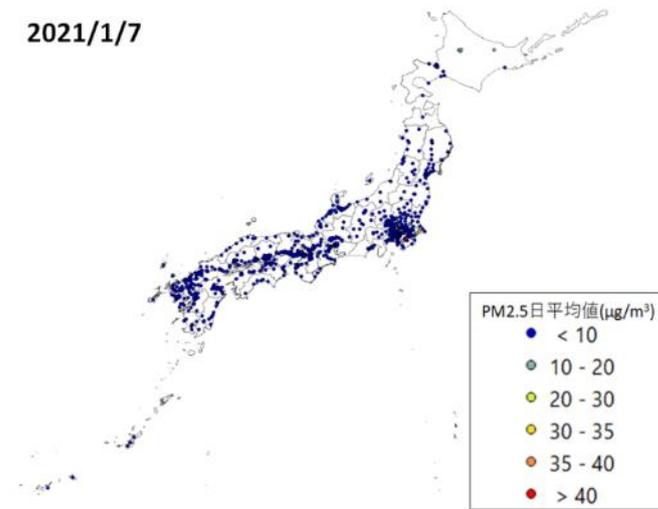


図 5-3-6-7 PM2.5 日平均値全国分布

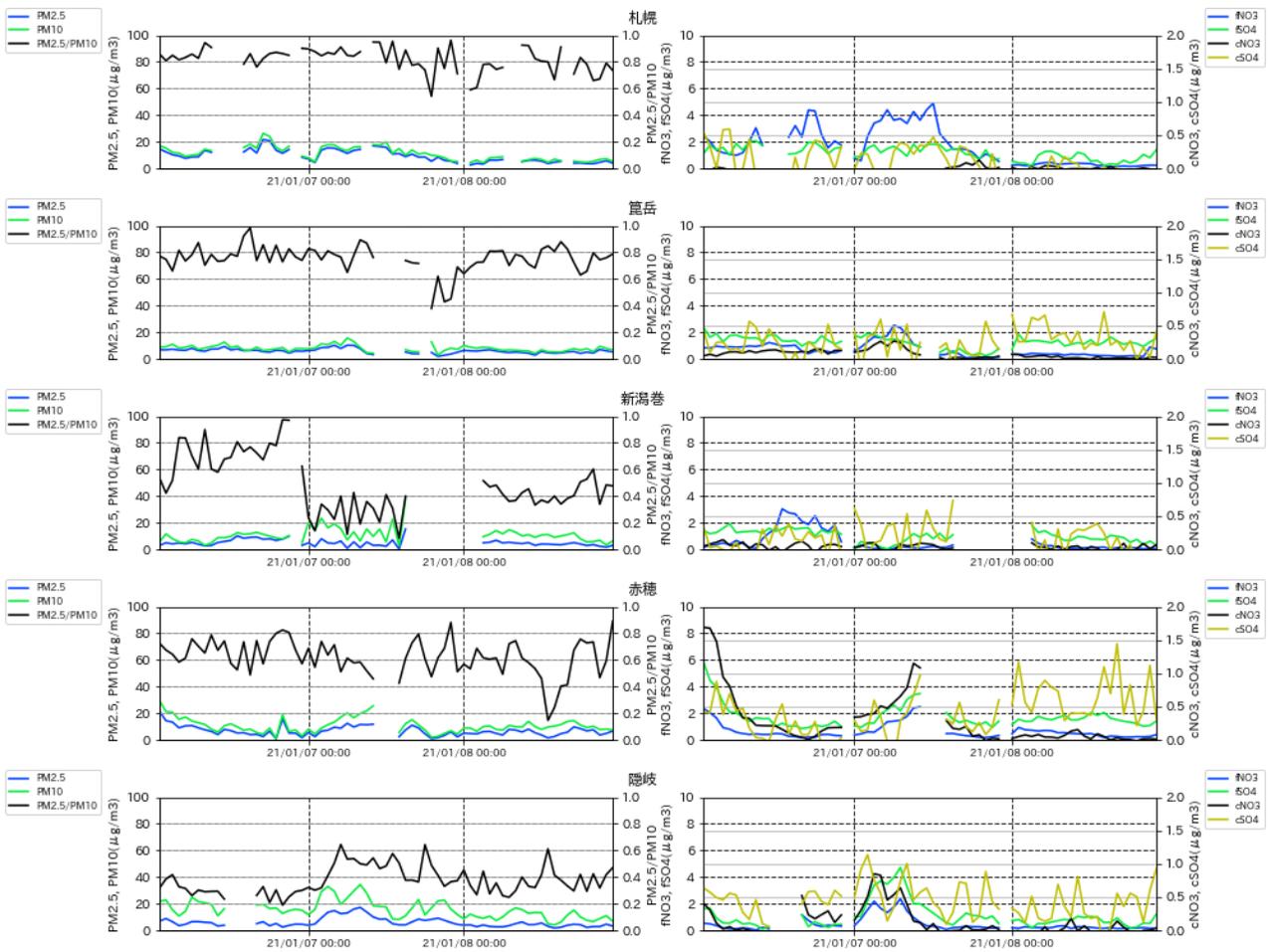


図 5-3-6-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

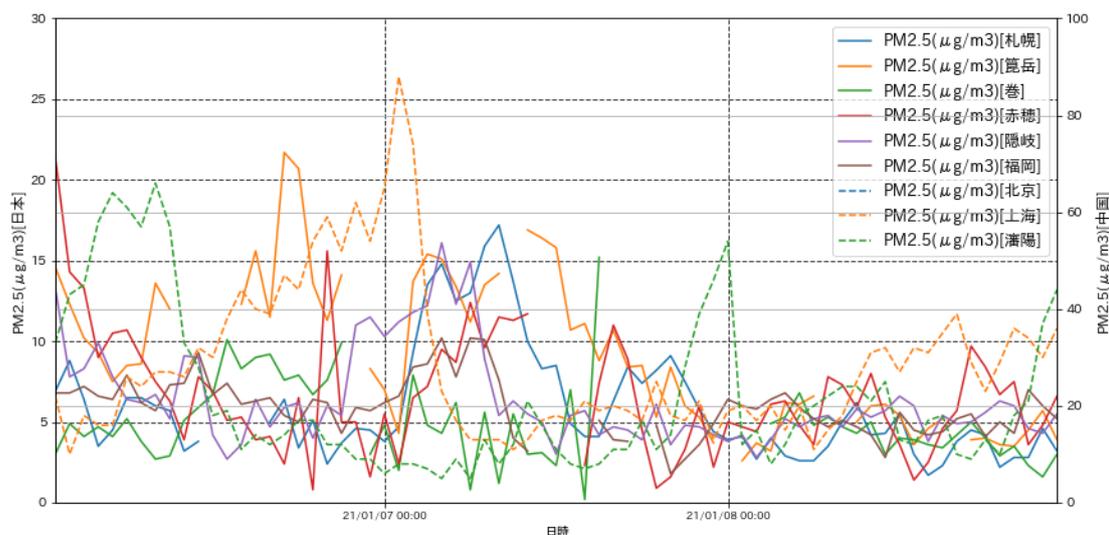


図 5-3-6-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(7) 煙霧事例 7 2021 年 1 月 19 日

本事例は、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（表 5-3-7- 1、図 5-3-7- 1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-7- 3）、日本での煙霧観測日の前に大陸では同じく Haze 以外発生していない。このときの気流を後方流跡線で確認（図 5-3-7- 4）したところ、ほぼすべての流跡線で大陸からの経路となっている。一方、CFORS（図 5-3-7- 5）における予測結果は、中国東部からの Sulfate による日本への影響は小さいことが見て取れる。

図 5-3-7- 6 にライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化の比較を示す。黄砂消散係数は、札幌・仙台・新潟での気象（それぞれ雪・しゅう雨など）によると考えられるピークを除いては、低い値を保っていた。SPM 濃度も同様に低い傾向であった。

PM2.5 濃度は、全国的に濃度が低く 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下になる地点が多く観測された（図 5-3-7- 7）。

また、図 5-3-7- 8 から PM2.5/PM10 比は東京以外では低い値となっていない。人為起源系汚染物質の SO₄²⁻、NO₃⁻については札幌で fNO₃⁻の若干の上昇は見られるもの顕著に高い値は見られない。

なお、瀋陽では、日本での煙霧が観測された 1 月 19 日の午前約 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度の PM2.5 が数時間継続している（図 5-3-7- 9）。

以上から、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。

表 5-3-7- 1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名										
		網走	秋田	函館	仙台	福島	熊谷	釧路	新潟	金沢	稚内	
2021/1/19	12	札幌	青森									

2021年1月19日

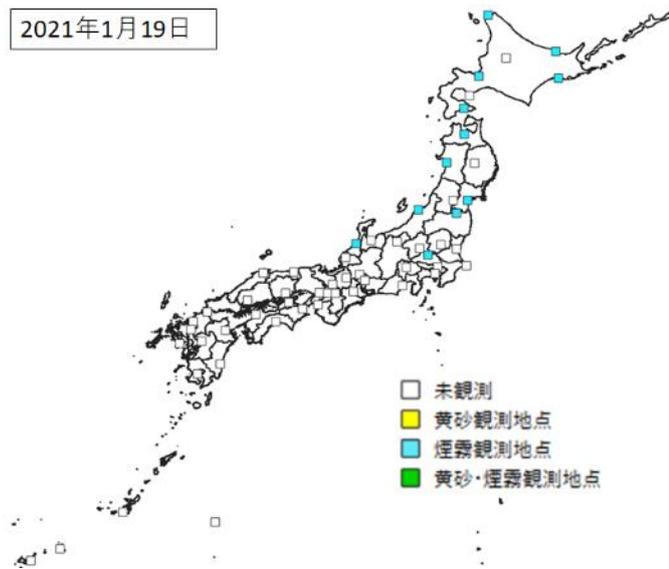
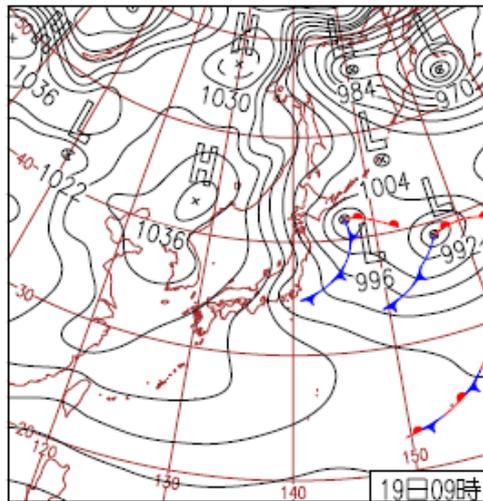


図 5-3-7-1 煙霧観測地点



19日(火)冬型の気圧配置強まる

北陸の上空約1500mには-12℃以下の強い寒気が入り、山陰以北の日本海側を中心に雪。新潟県関山で日降雪量56cm。九州・四国や東日本太平洋側は概ね晴れ。福井市でウメ開花。

図 5-3-7-2 天気図

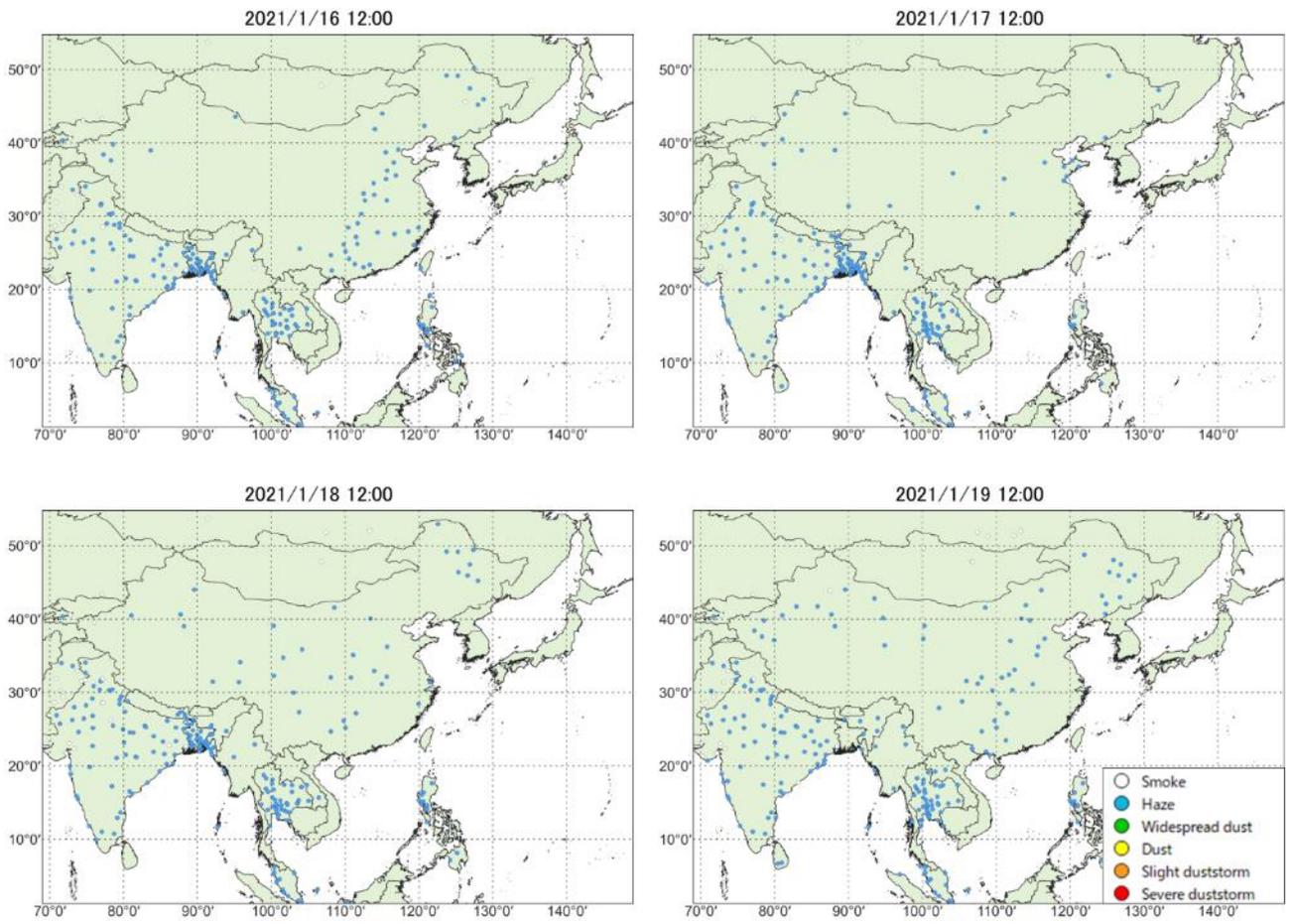


图 5-3-7-3 砂塵嵐発生状況

2021 0119

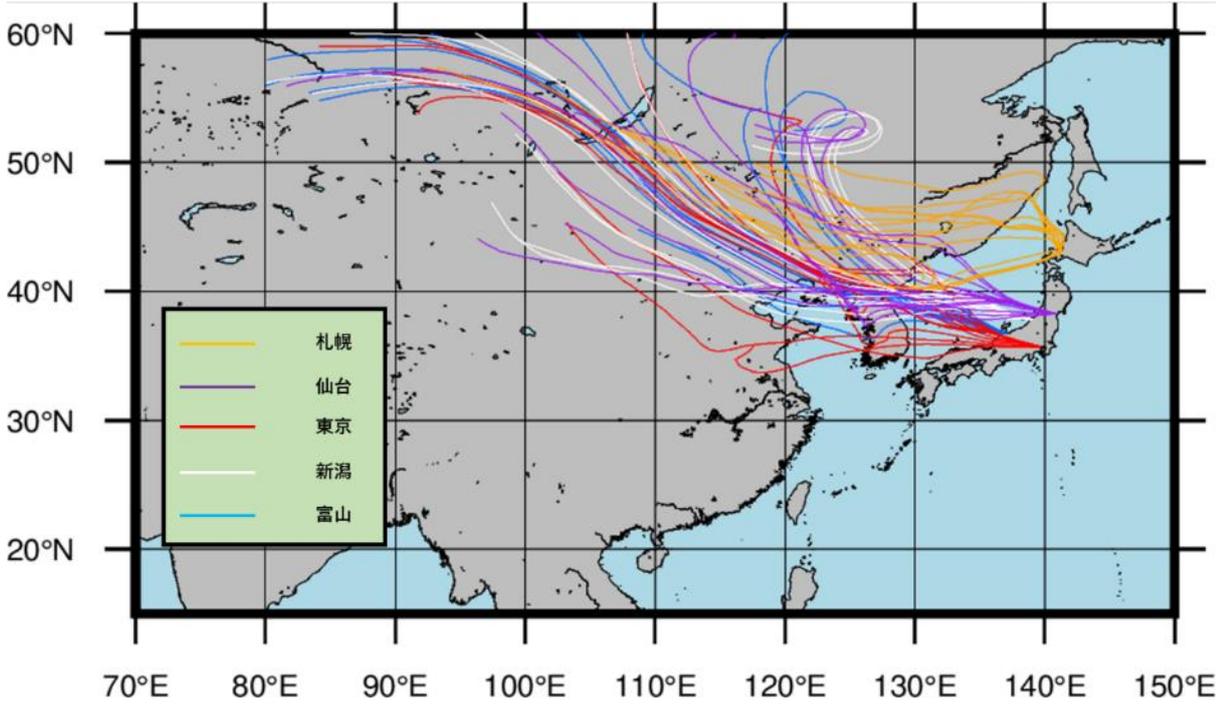


図 5-3-7-4 後方流跡線 (72 時間前より)

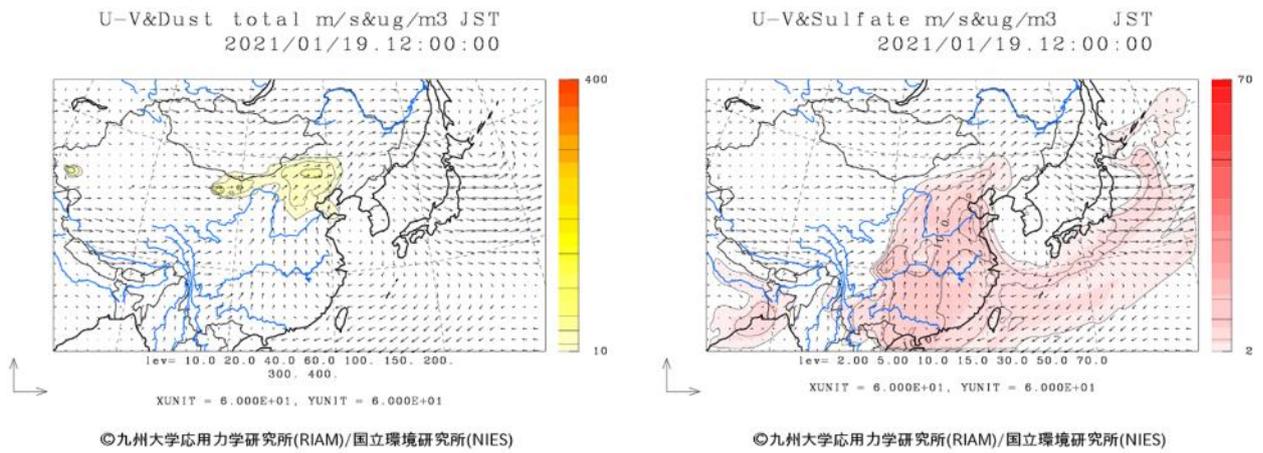
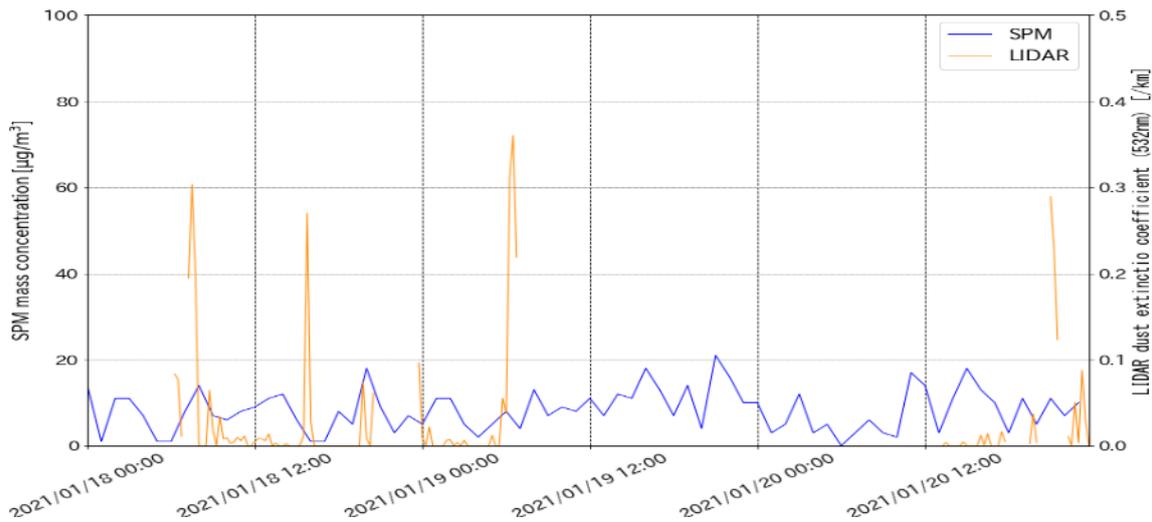
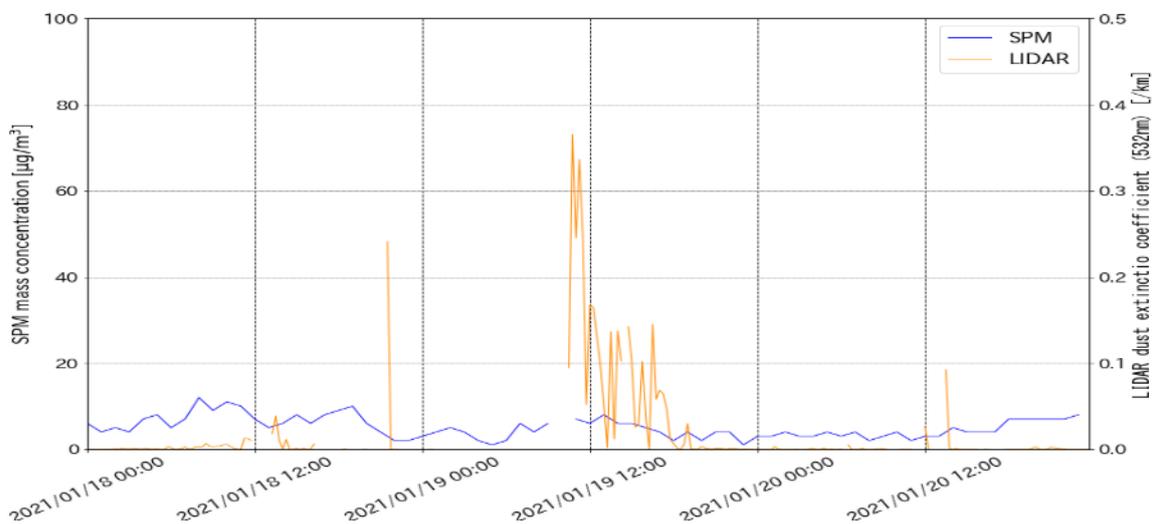


図 5-3-7-5 CFORS 予測結果

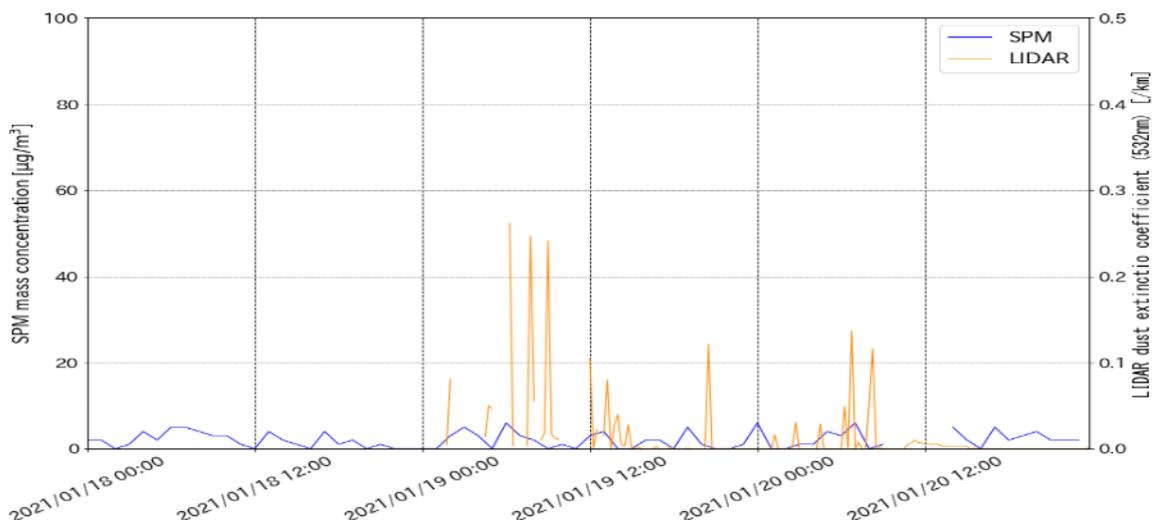
札幌



仙台



新潟



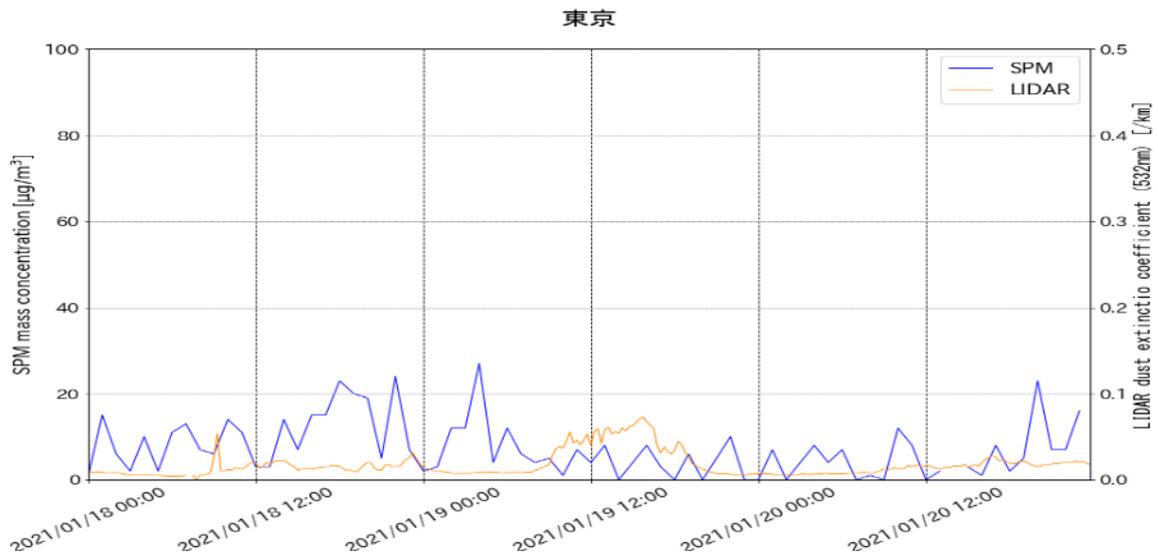


図 5-3-7-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

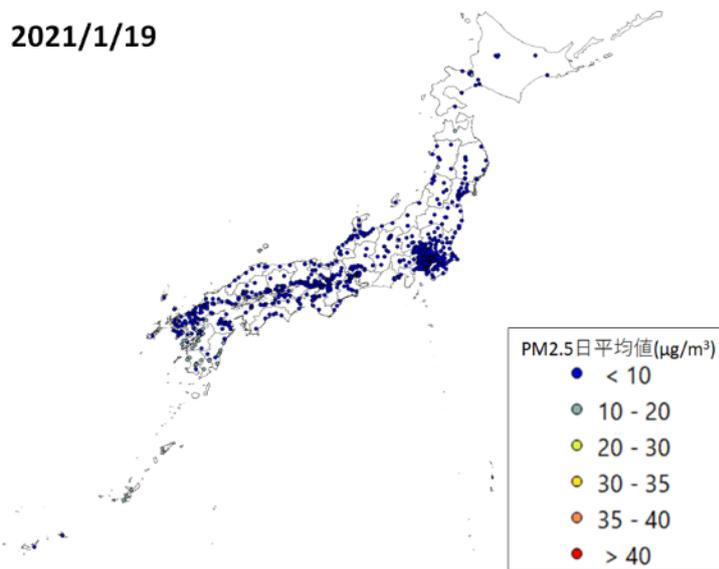


図 5-3-7-7 PM2.5 日平均値全国分布

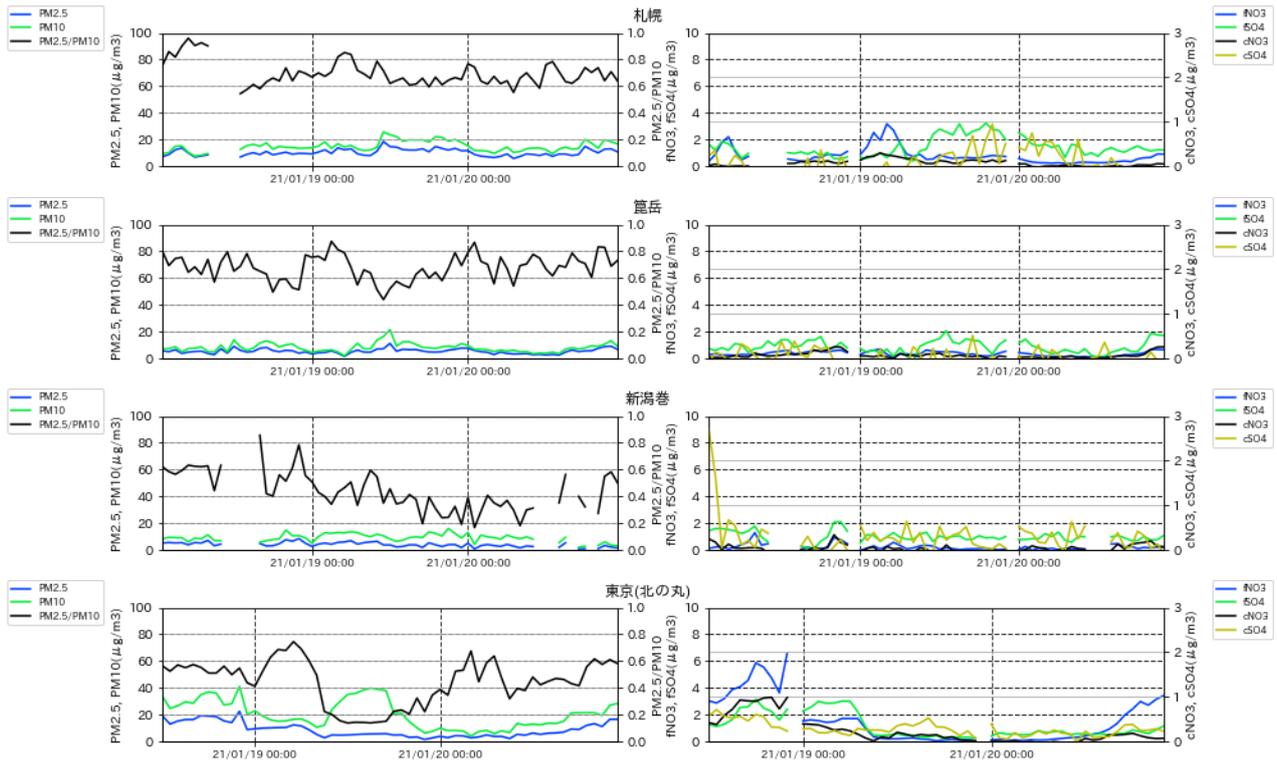


図 5-3-7-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

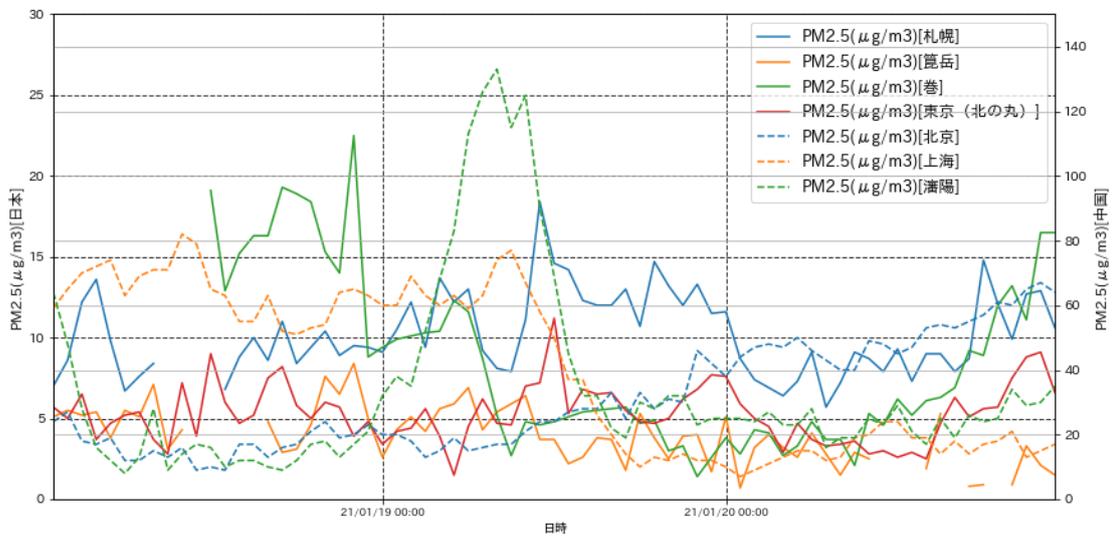


図 5-3-7-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(8) 煙霧事例 8 2021 年 2 月 2 日～2 月 3 日

本事例は、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 (表 5-3-8-1、図 5-3-8-1)。

この期間の大陸の状況を見ると (図 5-3-8-3)、日本での煙霧観測日の前に大陸では同じく Haze 以外発生していない。このときの気流を後方流跡線で確認 (図 5-3-8-4) したところ、ほぼすべての流跡線で

大陸からの経路となっている。CFORS（図 5-3-8-5）においても、Dust 及び Sulfate が中国東部から日本へ影響を及ぼしている様子が示されている。

ライダー黄砂消散係数および SPM 濃度の経時変化の比較は、図 5-3-8-6 に示した通りである。札幌における黄砂消散係数の変化は、気象条件（雪）によるものと考えられる。小規模な変化ではあるが、2月2日の正午頃に、大阪・長崎・福岡において、黄砂消散係数と SPM 濃度の増減がほぼ同時に起こっている様子が見て取れる。

PM2.5 濃度は、西日本の一部地点で 30~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となる地点が多くあったが、全国的に濃度が低く、10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となる地点が多くあった。（図 5-3-8-7）。

また、図 5-3-8-8 から PM2.5/PM10 比は新潟で2月2日 0:00 からの減少により低くなっている以外、では高い値となっている。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については2月2日の未明に隠岐や福岡で大きな値となっているが、その他の地点、時間帯では顕著に高い値は見られない。

なお、瀋陽では、日本での煙霧が観測された煙霧観測日の前日2月1日午前と2月3日の午前に約 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度の PM2.5 が数時間継続している（図 5-3-8-9）。

以上から、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。

表 5-3-8-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
		松江	下関	金沢	鳥取	大分	長崎	佐賀	熊本	福井	網走
2021/2/2	16	松江	下関	金沢	鳥取	大分	長崎	佐賀	熊本	福井	網走
		青森	稚内	室蘭	盛岡	秋田	旭川				
2021/2/3	10	稚内	札幌	松江	秋田	青森	旭川	網走	室蘭	函館	金沢

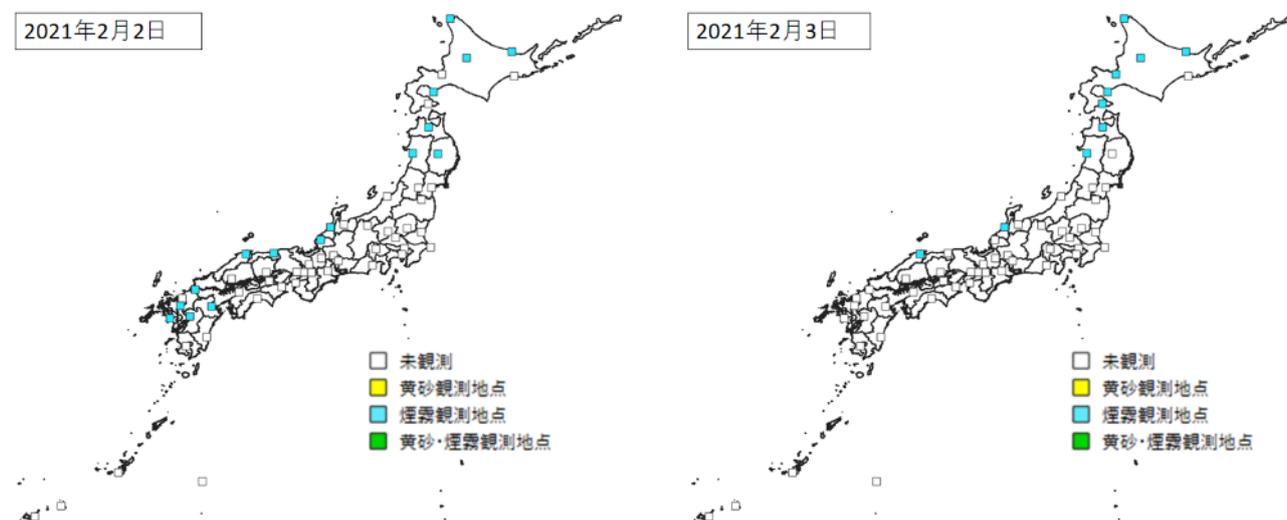
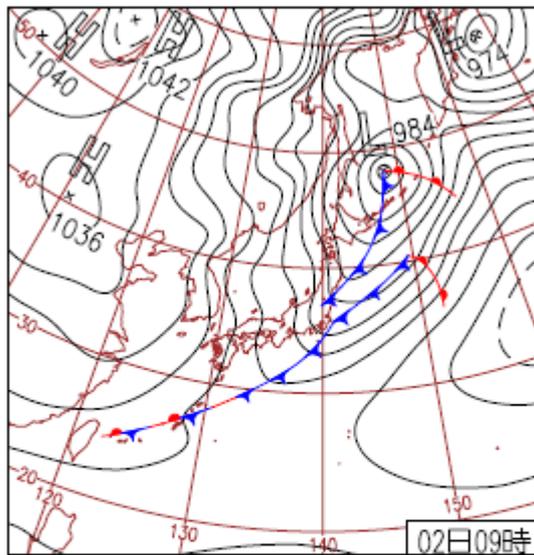
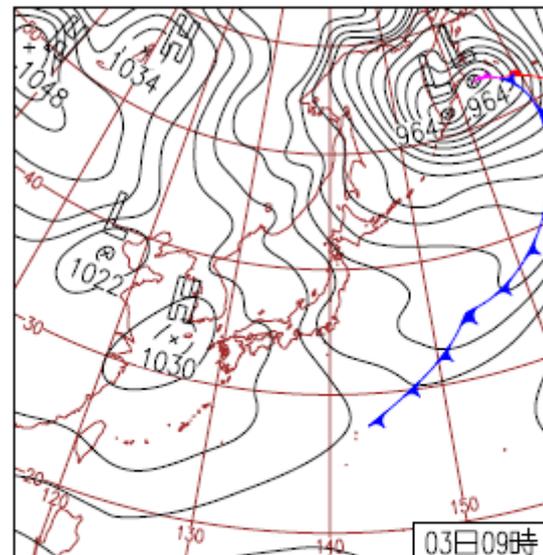


図 5-3-8-1 煙霧観測地点



2日(火)午後は冬型の気圧配置

オホーツク海の低気圧からのびる前線が北日本を通過後、冬型の気圧配置に。東～北日本の日本海側は雪や雨。西日本や東日本太平洋側は本州南岸の前線の影響で午前中は雨。



3日(水)佐賀市ウメ開花

日本付近は冬型の気圧配置で、山陰から北の日本海側は雪、太平洋側や沖縄は晴れ。山形県肘折の日降雪量54cm。北日本中心に気温が低く、最高気温が平年より6℃以上低い所も。

図 5-3-8-2 天気図

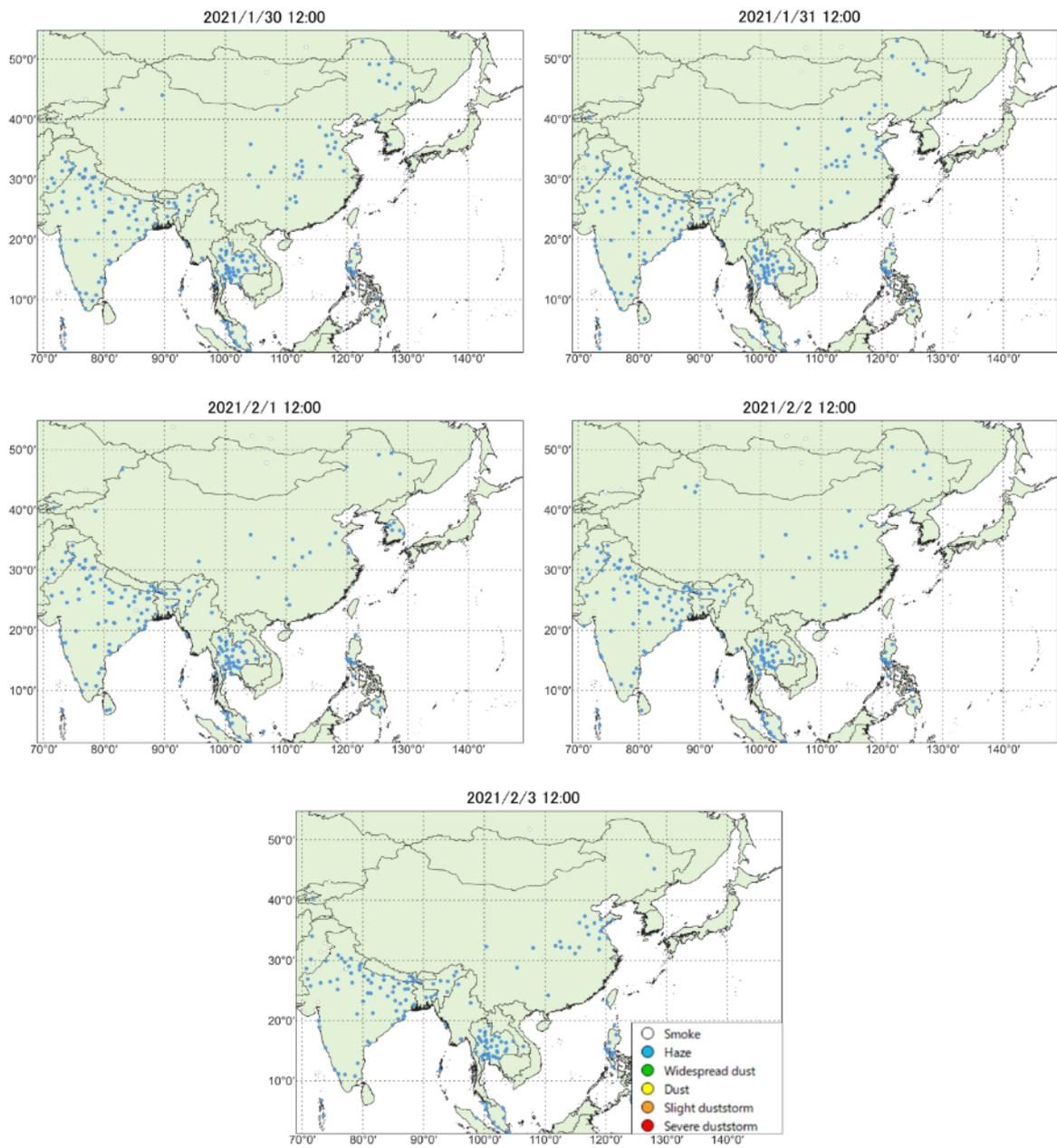


図 5-3-8-3 砂塵嵐発生状況

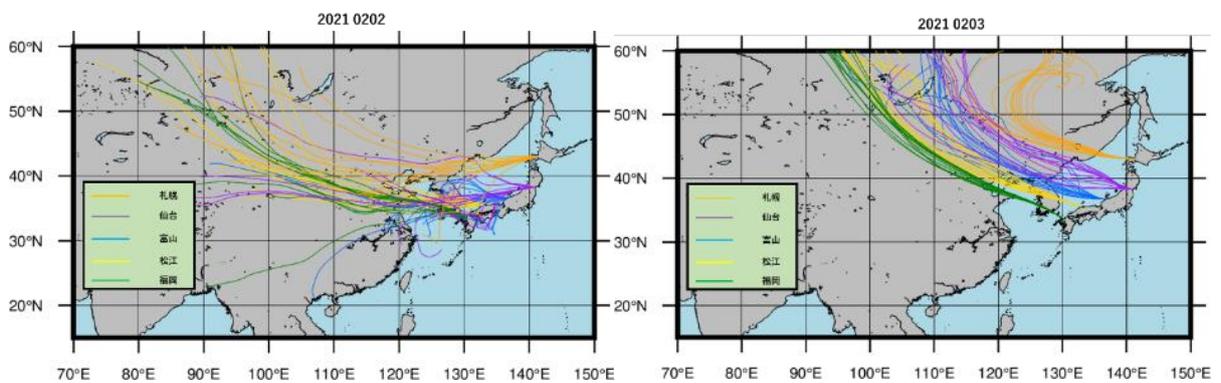


図 5-3-8-4 後方流跡線 (72 時間前より)

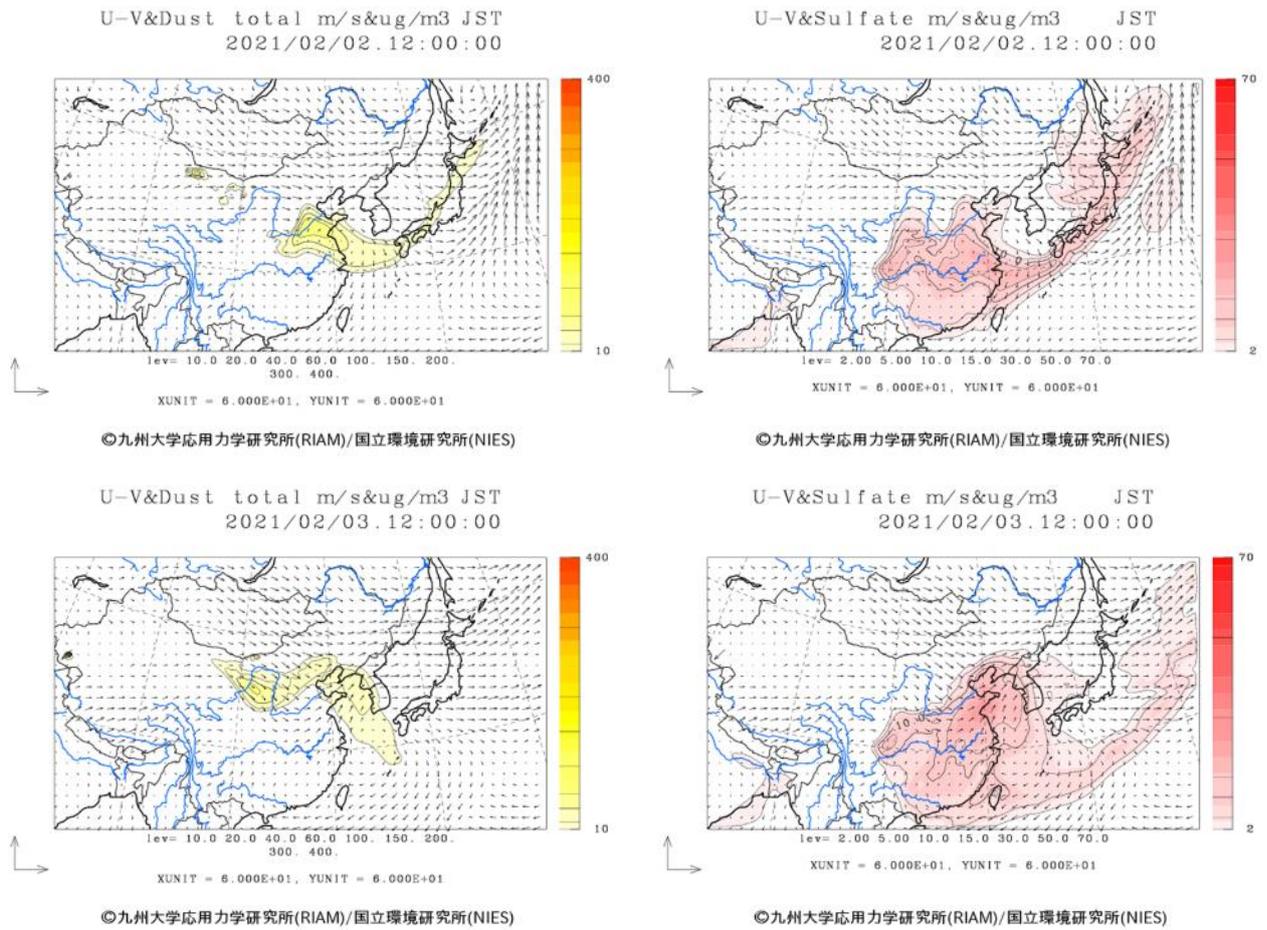
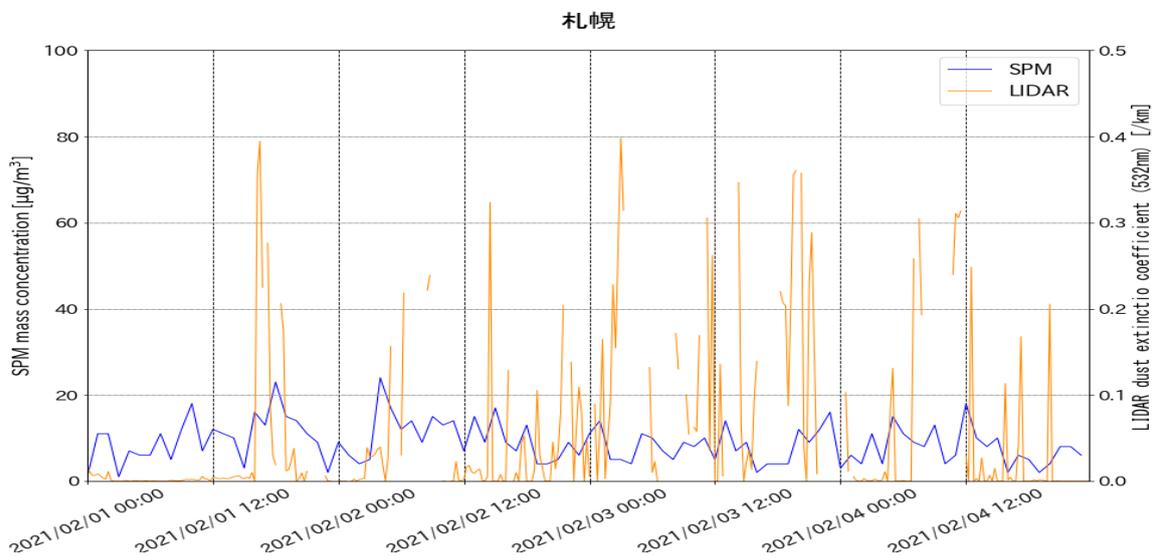
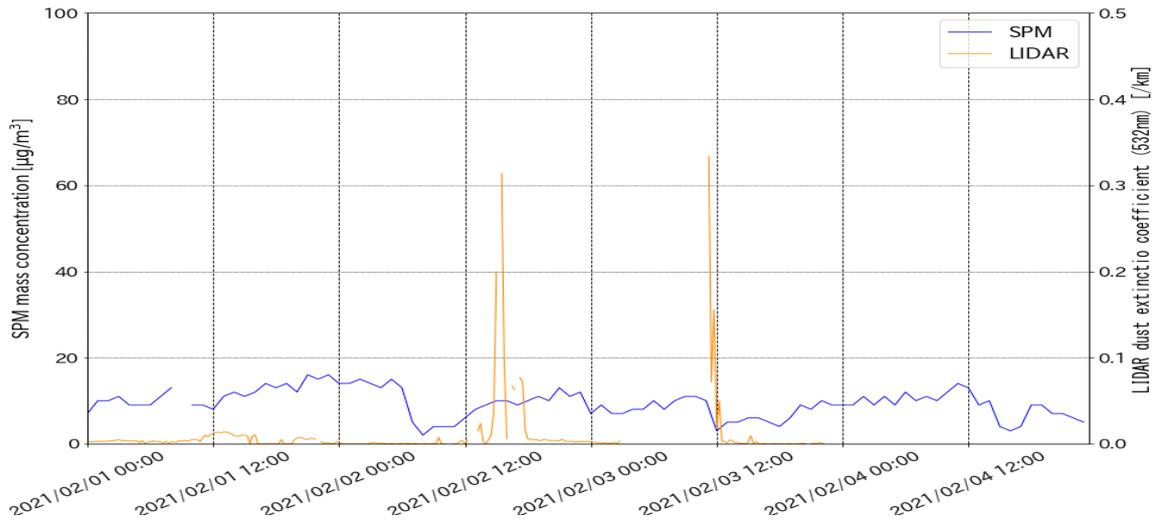


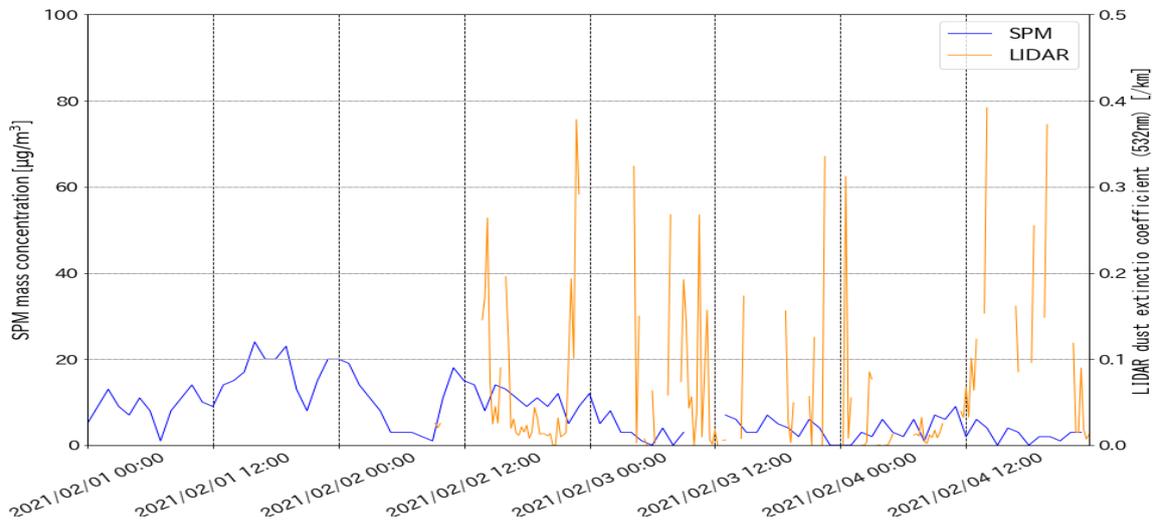
図 5-3-8-5 CFORS 予測結果



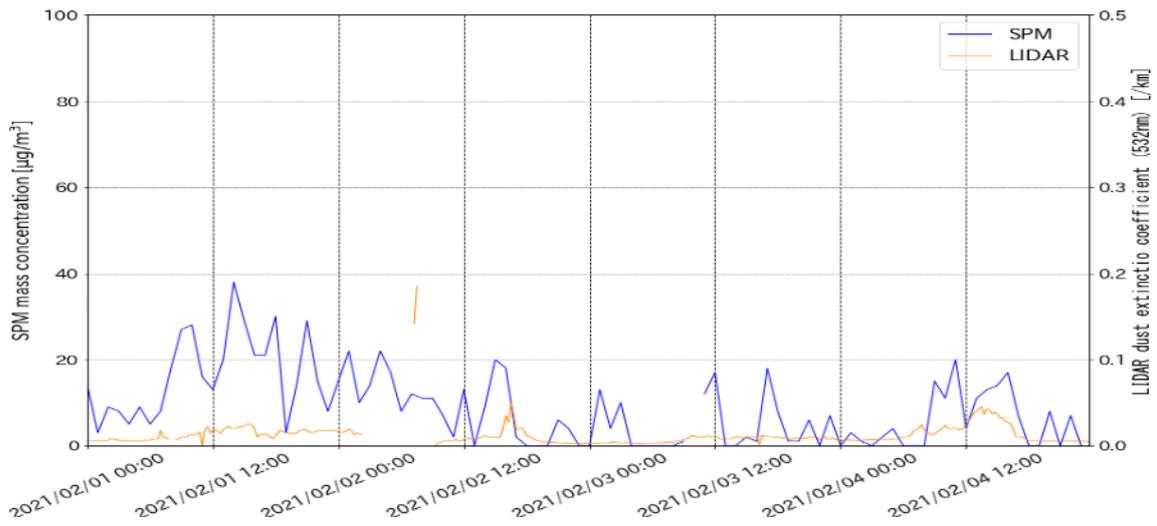
仙台



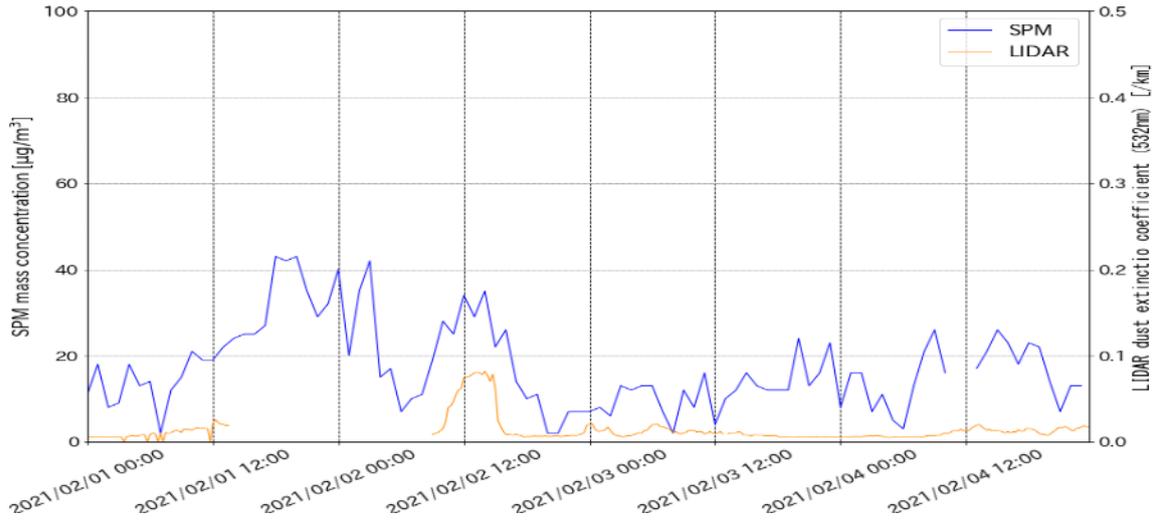
新潟



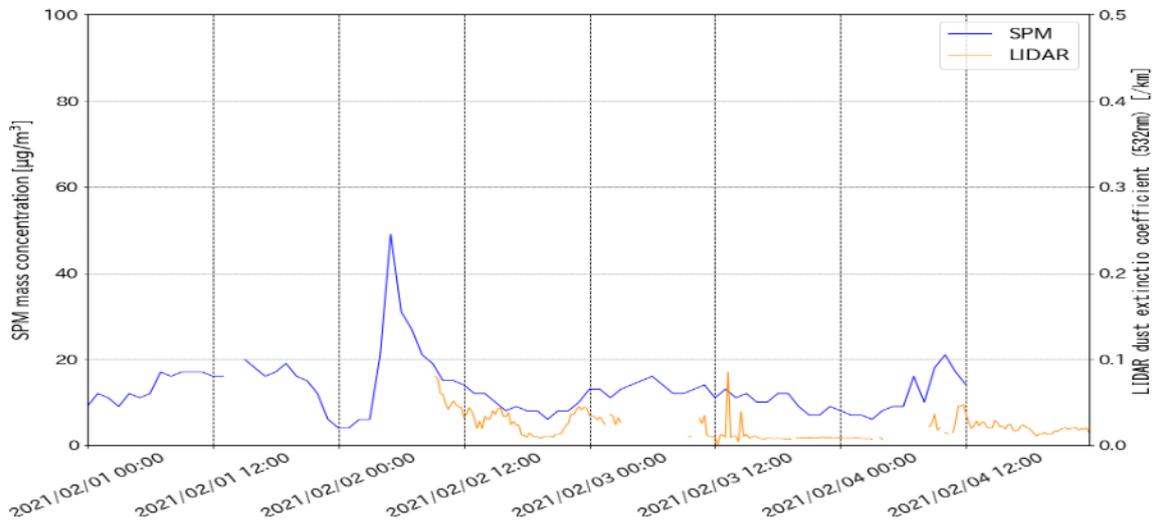
東京



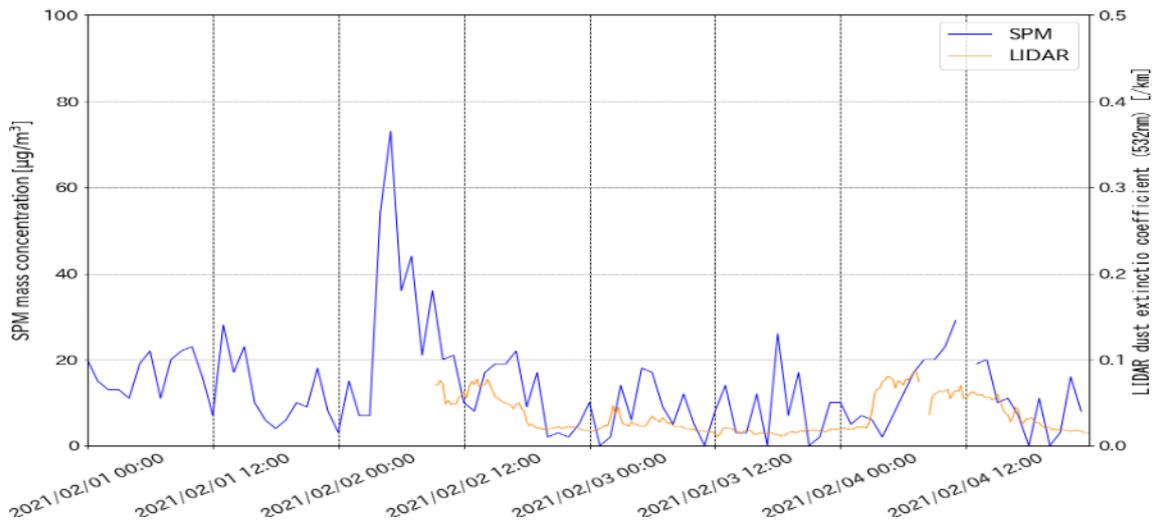
大阪



松江



福江



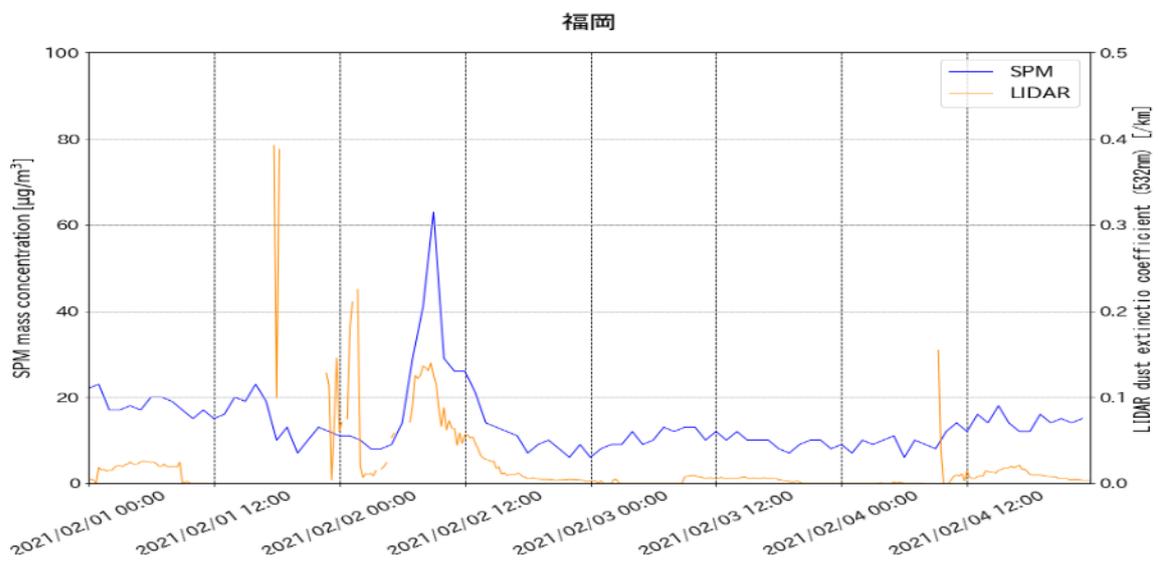
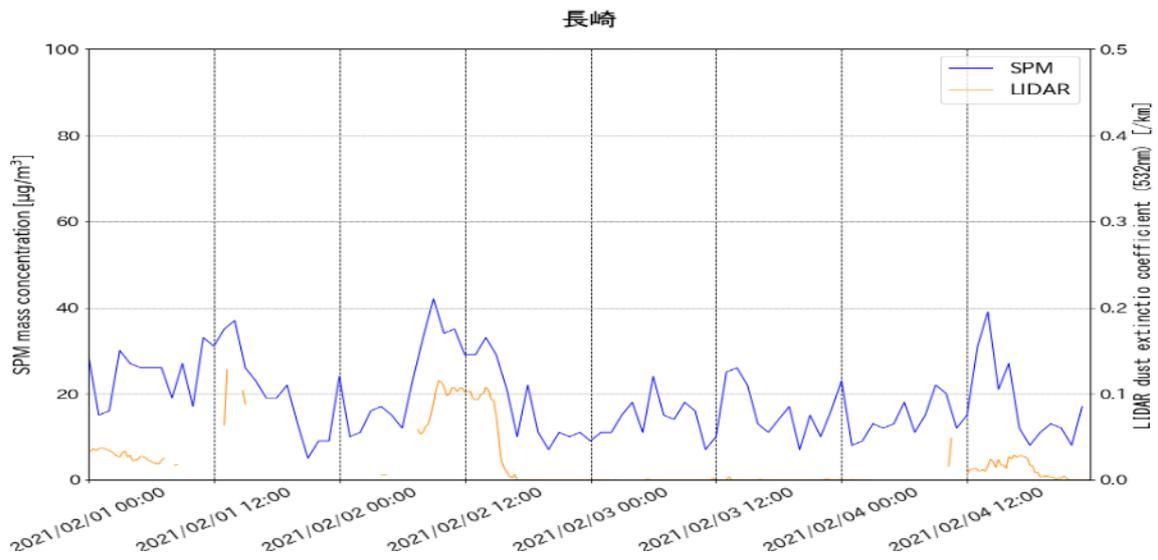


図 5-3-8-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2021/2/2

2021/2/3

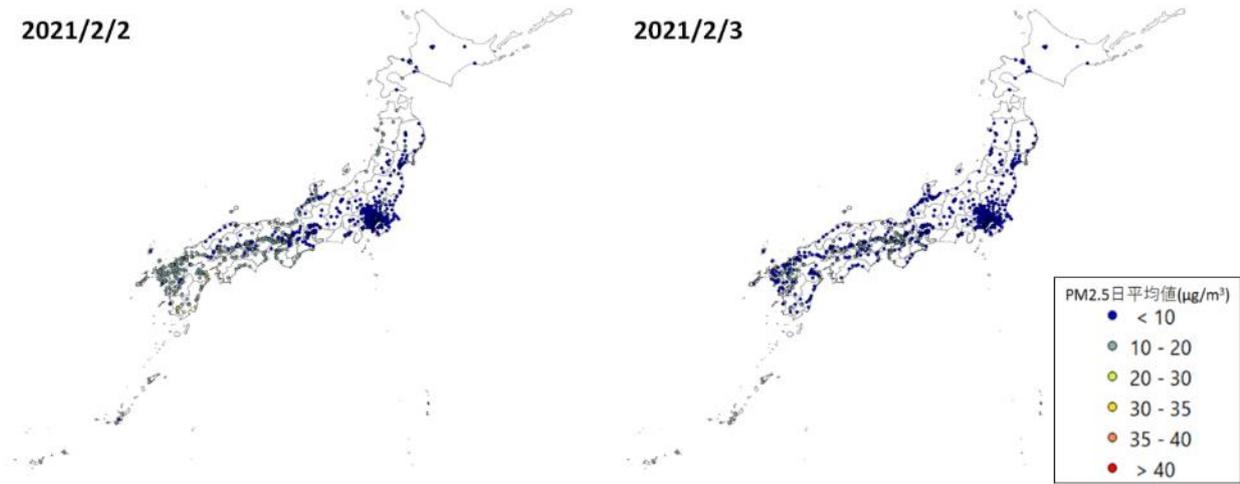


図 5-3-8-7 PM2.5 日平均値全国分布

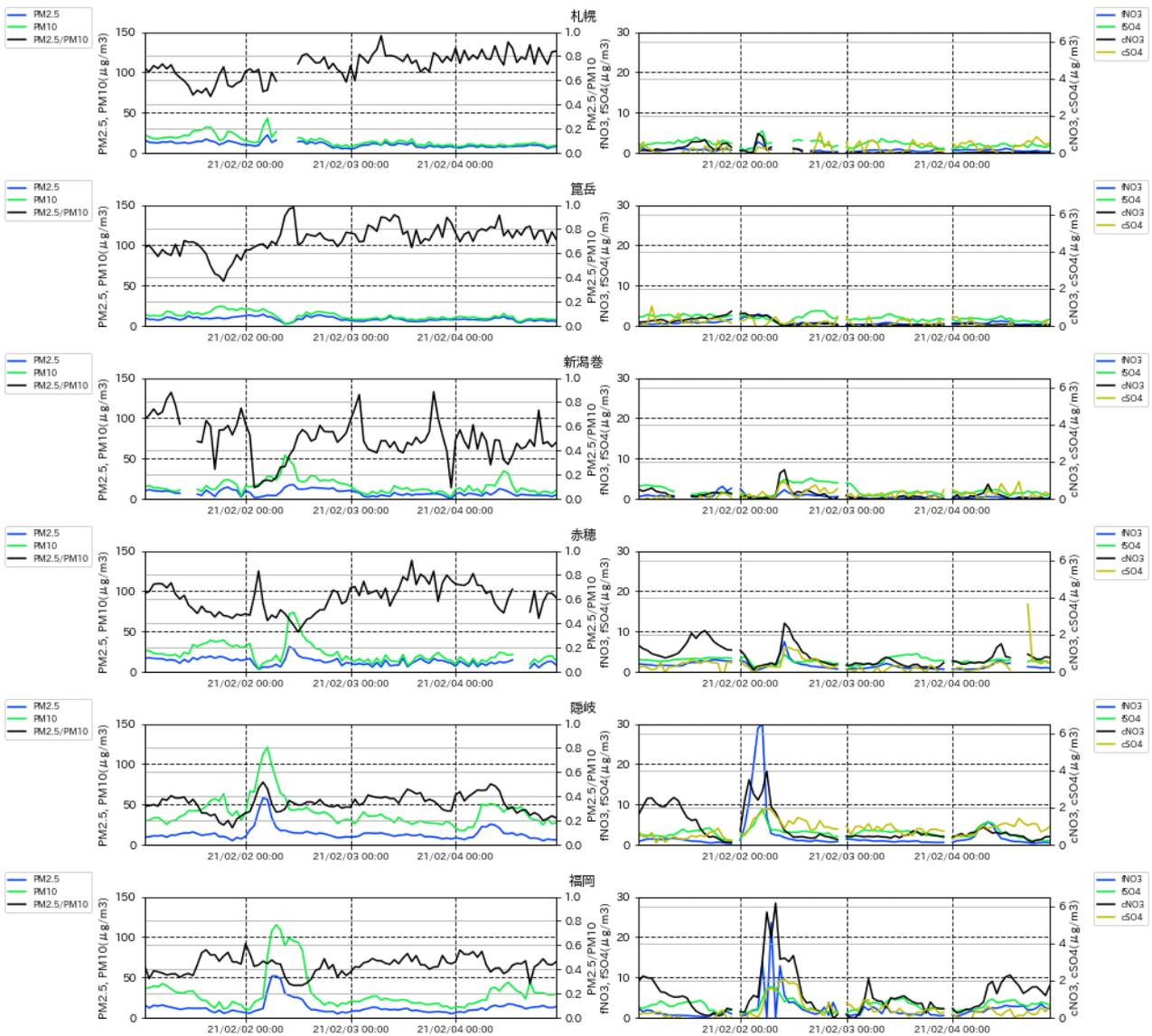


図 5-3-8-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

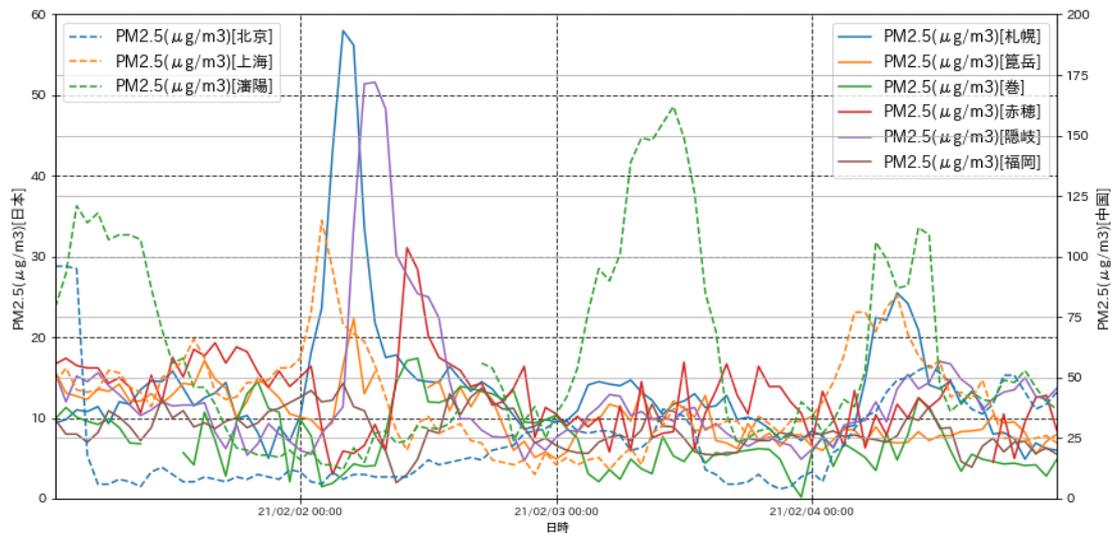


図 5-3-8-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(9) 煙霧事例 9 2021 年 2 月 7 日～2 月 8 日

本事例は、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（表 5-3-9-1、図 5-3-9-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-9-3）、2 月 4 日はモンゴルの南部、東部で Dust、Slight duststorm が発生している。このときの気流を後方流跡線で確認したところ（図 5-3-9-4）、札幌以外からさかのぼるすべての流跡線で日本の西方、大陸からの経路で、Dust、Slight duststorm の発生源を通っているように見える。さらに CFORS（図 5-3-9-5）においても、Dust および Sulfate が日本全域に影響を及ぼしている様子が示されている。

図 5-3-9-6 にライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化の比較を示す。2 月 7 日午前から正午にかけて、西日本の各地点で SPM 濃度が上昇し、やや遅れて大阪でも SPM 濃度が上昇したことが見て取れる。黄砂消散係数もわずかではあるが、ほぼ同時にやや上昇する傾向が見られる。なお新潟はこの期間、雨及び雪であったため、黄砂消散係数に多数のピークが表れていると考えられる。

PM2.5 濃度は、2 月 7 日は西日本の一部地点で 20～35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となる地点が多くあり、島根県では環境基準を超える地点が観測された。西日本では濃度が低く、10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となる地点が多くあったが、翌 8 日は西日本でも濃度が下がり、全国的に低い値となった（図 5-3-9-7）。

また、図 5-3-9-8 から PM2.5/PM10 比に顕著な減少は見られない。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については 2 月 7 日の昼ころから名古屋、大阪、福岡で上昇し、8 日昼頃には上昇前の状態に戻っている。新潟では cSO_4^{2-} で 2 月 8 日昼頃にピークを持つ高い値が見られる。

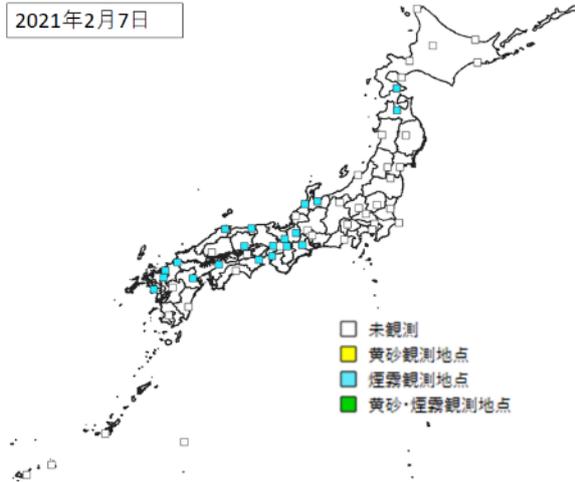
なお、瀋陽では、日本での煙霧が観測された 2 月 7 日の前日に 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度の PM2.5 が数時間継続している（図 5-3-9-9）。

以上から、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。

表 5-3-9-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
2021/2/7	20	松江	下関	函館	長崎	福岡	佐賀	金沢	富山	京都	鳥取
		彦根	松山	津	奈良	大分	神戸	岡山	青森	和歌山	徳島
2021/2/8	13	下関	神戸	津	奈良	松山	稚内	和歌山	宮崎	秋田	室蘭
		函館	札幌	新潟							

2021年2月7日



2021年2月8日

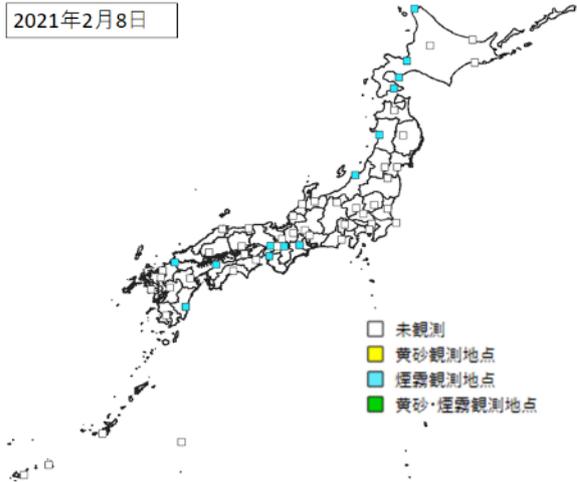
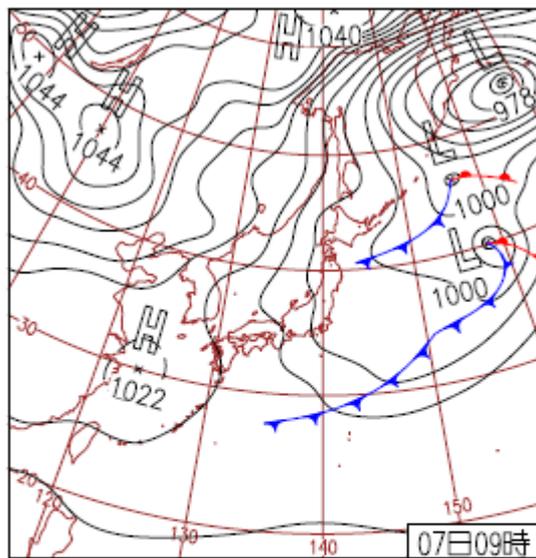
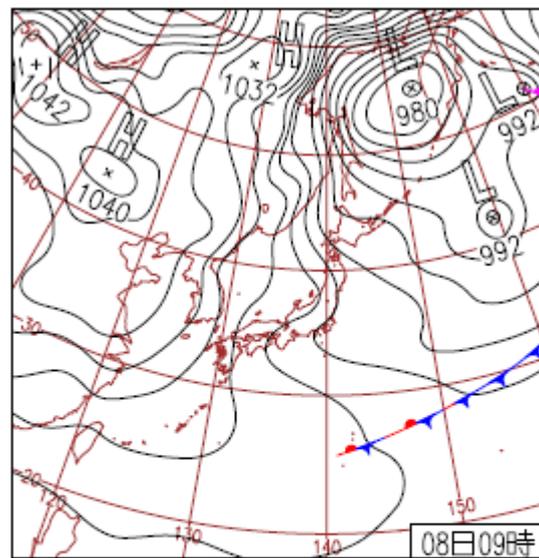


図 5-3-9-1 煙霧観測地点



7日(日)北日本を前線通過

北日本を通過した前線や寒気の影響で、北陸～北日本は雪や雨。その他は高気圧に覆われ概ね晴れ。最高気温は西日本～東日本で広く4月並。大分市、下関市、徳島市ウメ開花。



8日(月)冬型の気圧配置強まる

東日本の上空約1500mには-12℃以下の寒気が入り、山陰以北の日本海側を中心に雪。新潟県関山で日降雪量56cm。北海道幌加内では最低気温-32.5℃。石垣市でヒカンザクラ満開。

図 5-3-9-2 天気図

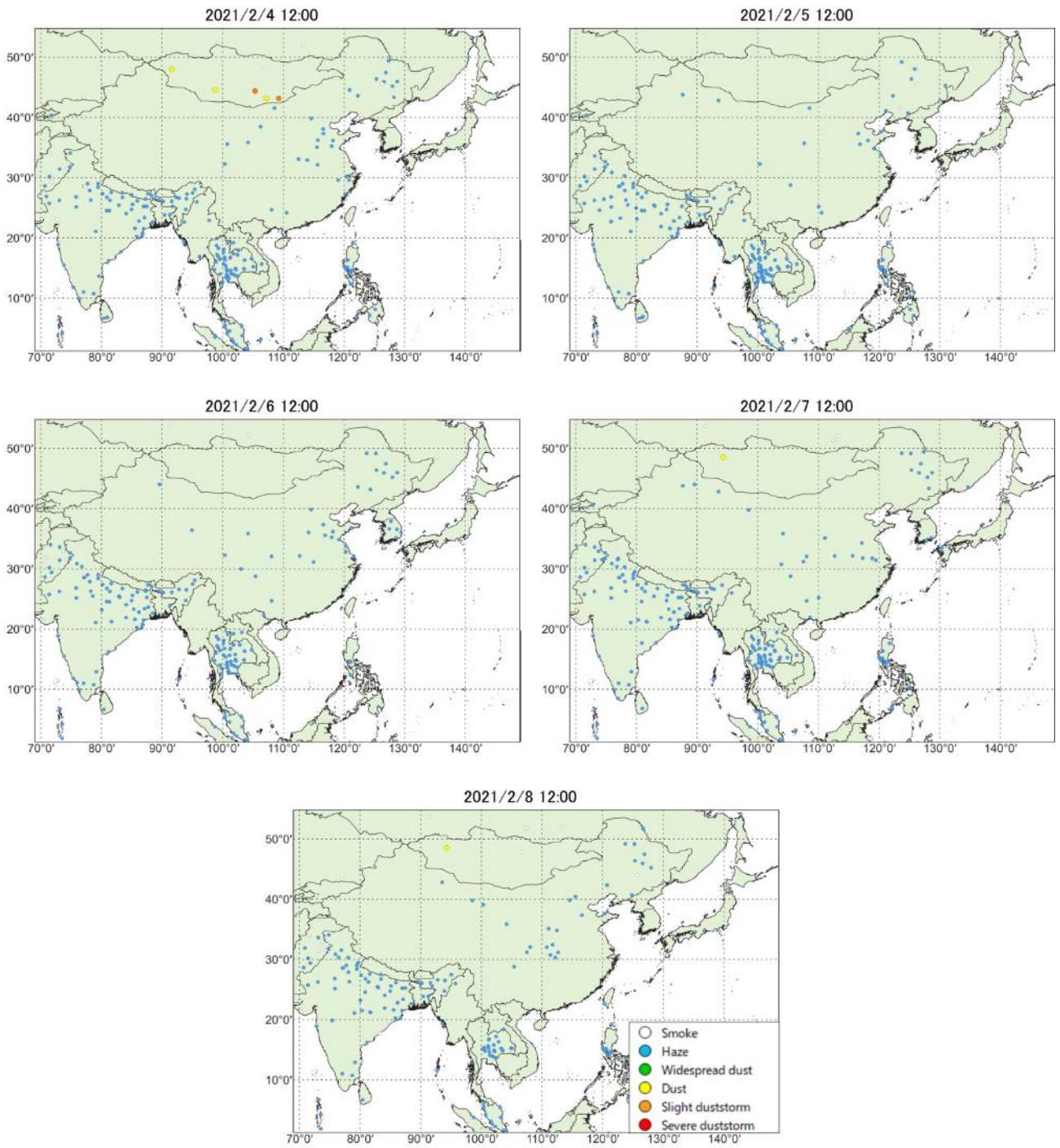


图 5-3-9-3 砂塵嵐発生状況

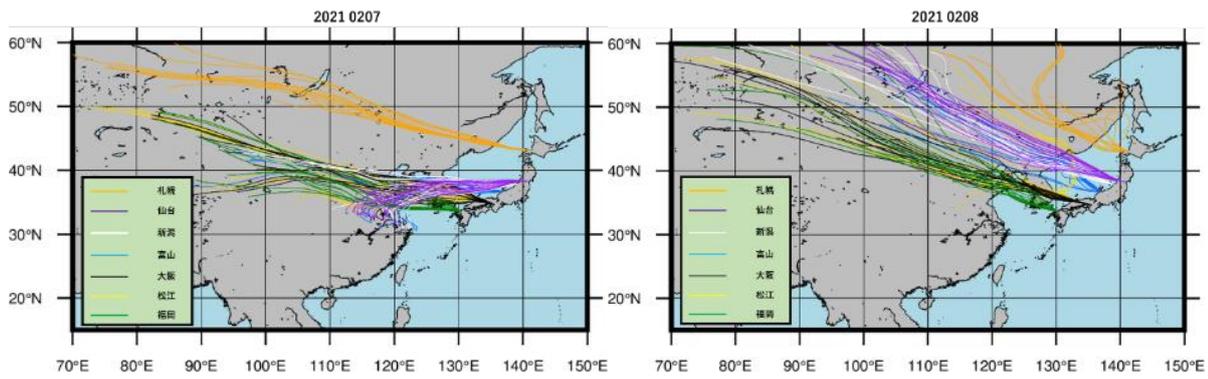


図 5-3-9-4 後方流跡線 (72 時間前より)

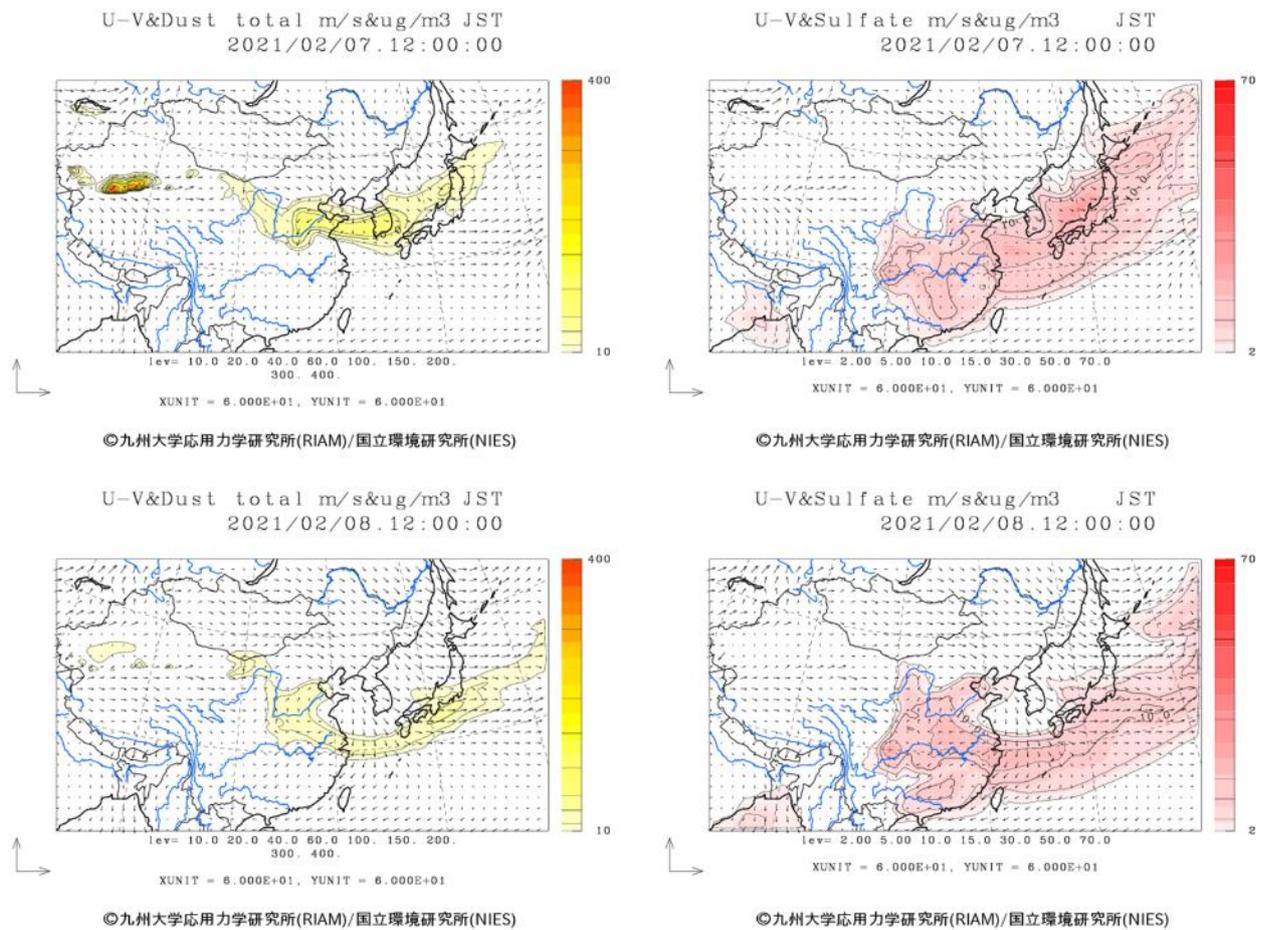
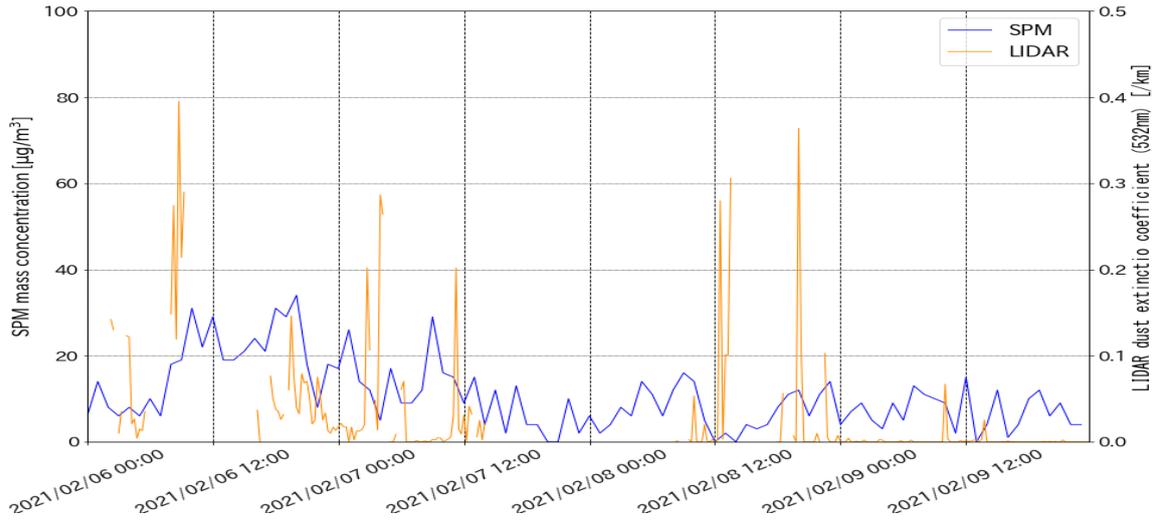
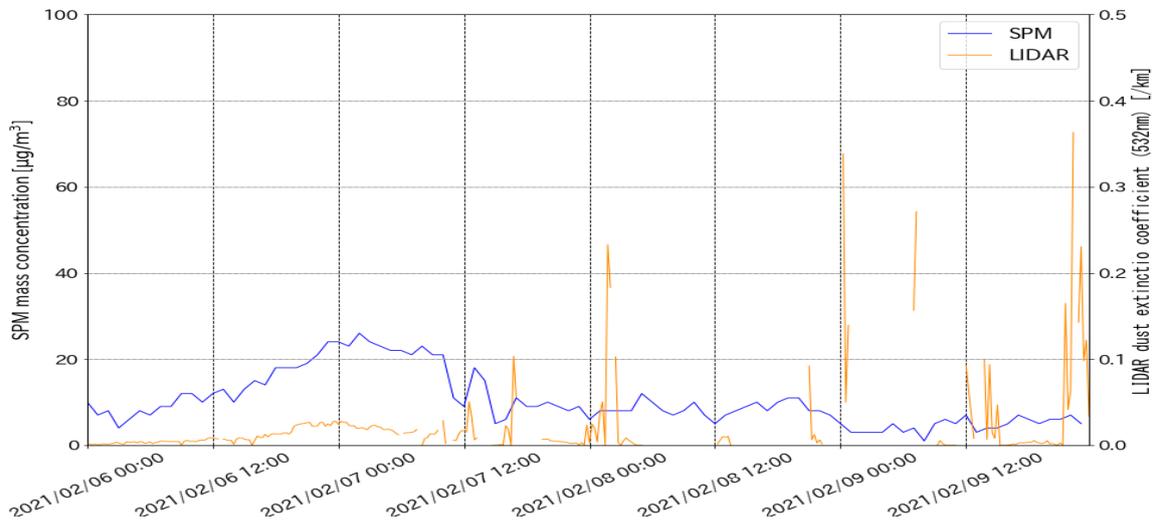


図 5-3-9-5 CFORS 予測結果

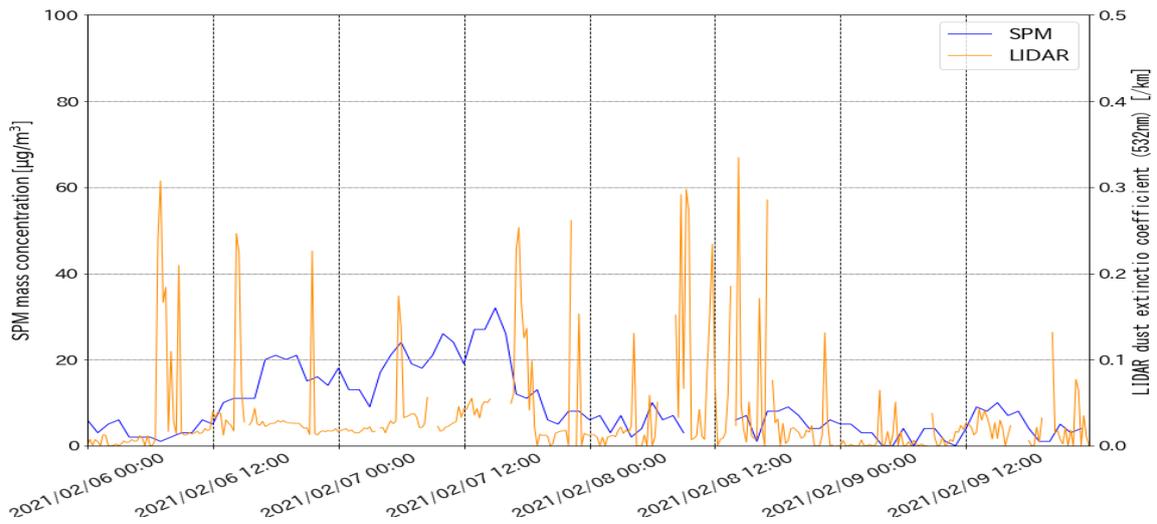
札幌



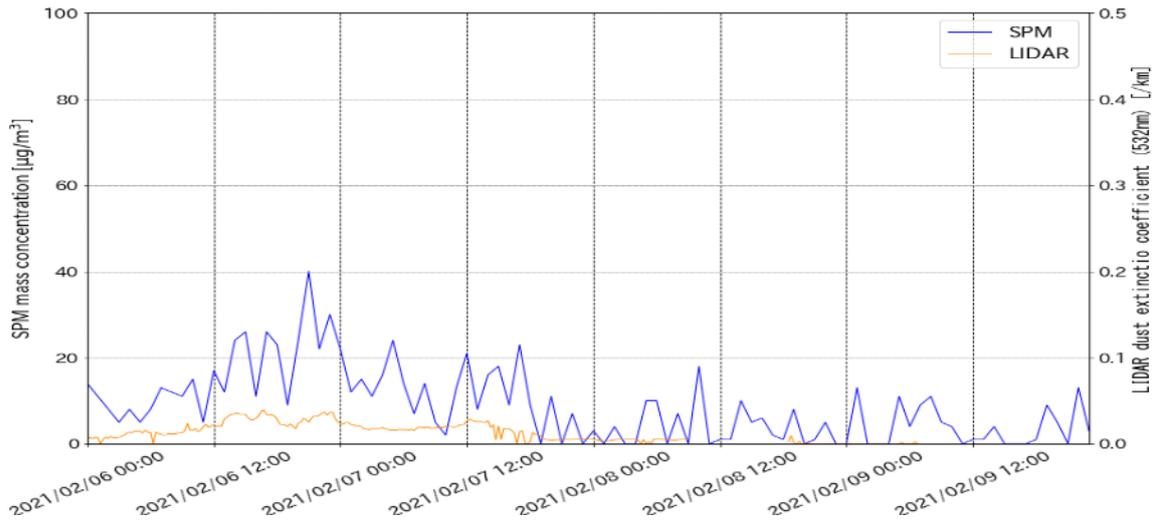
仙台



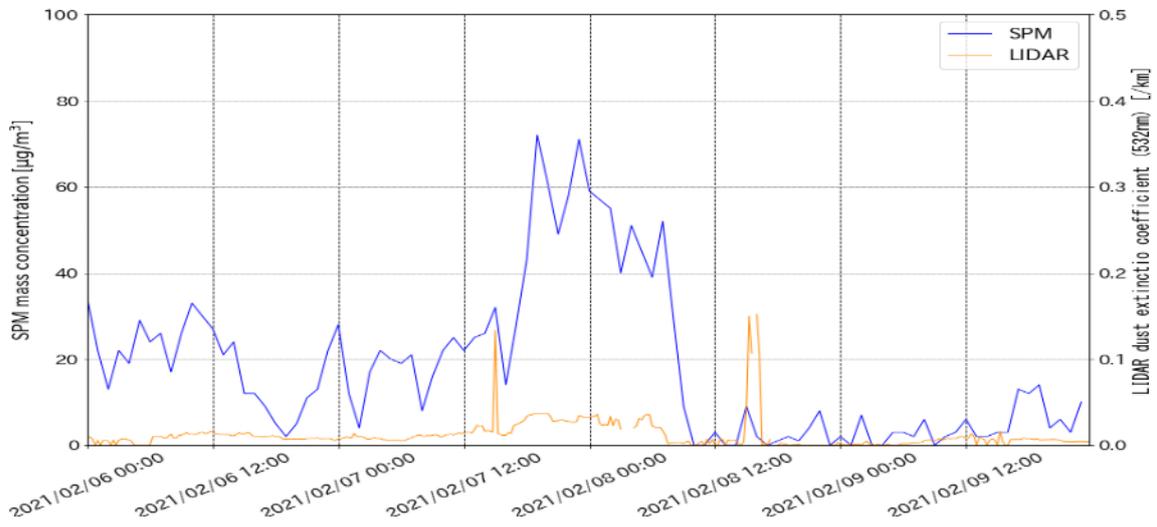
新潟



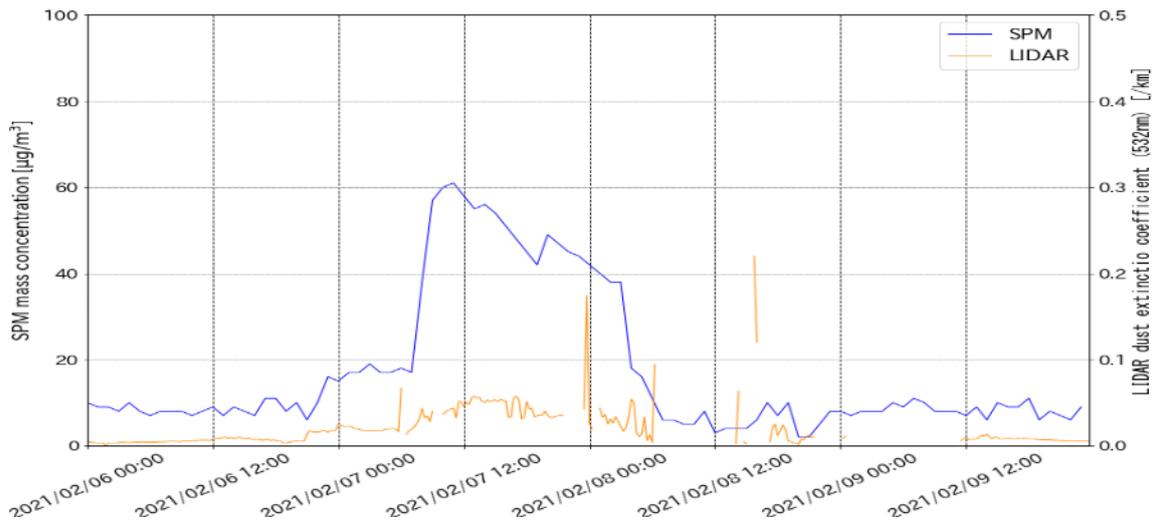
東京



大阪



松江



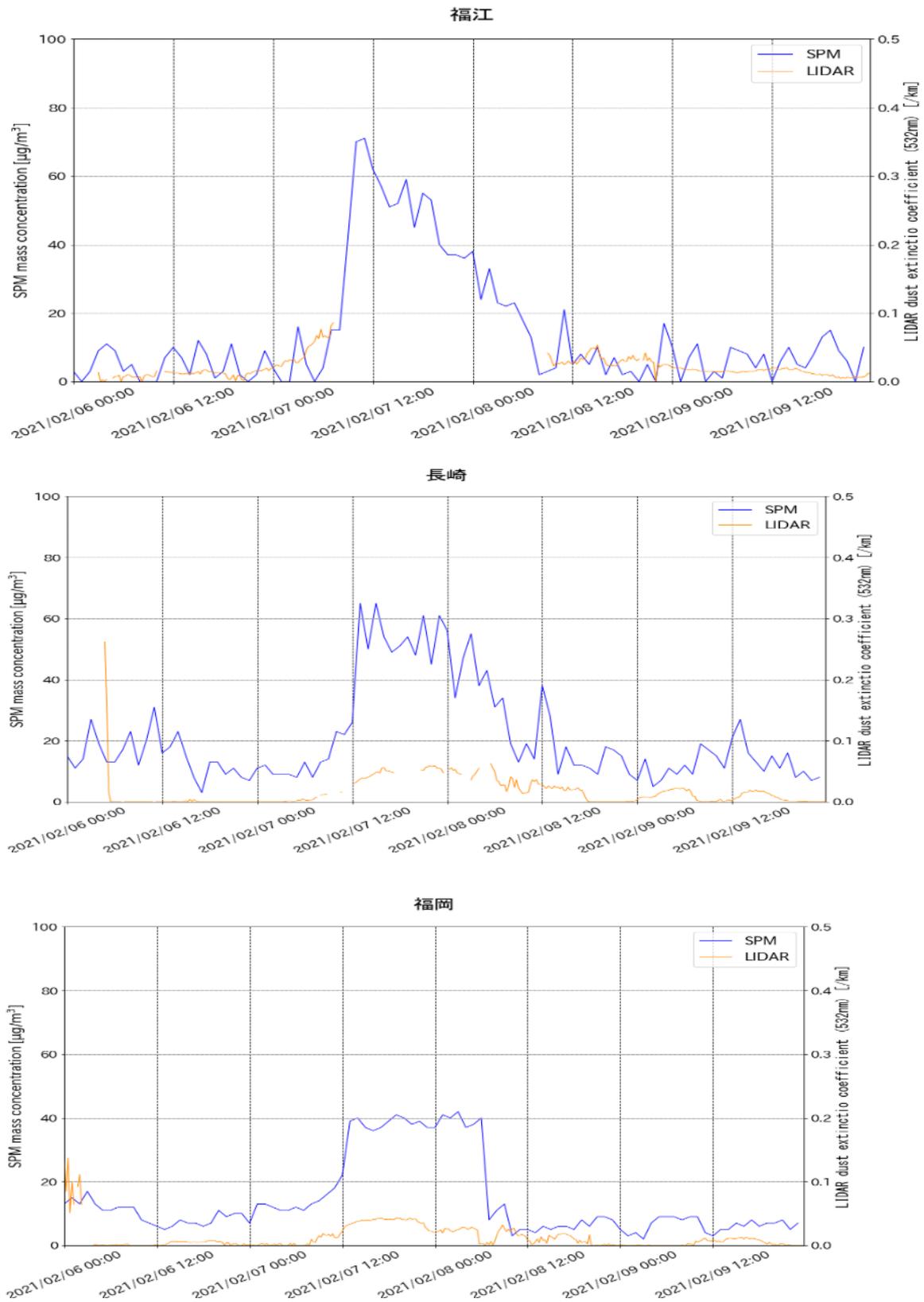


図 5-3-9-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2021/2/7

2021/2/8

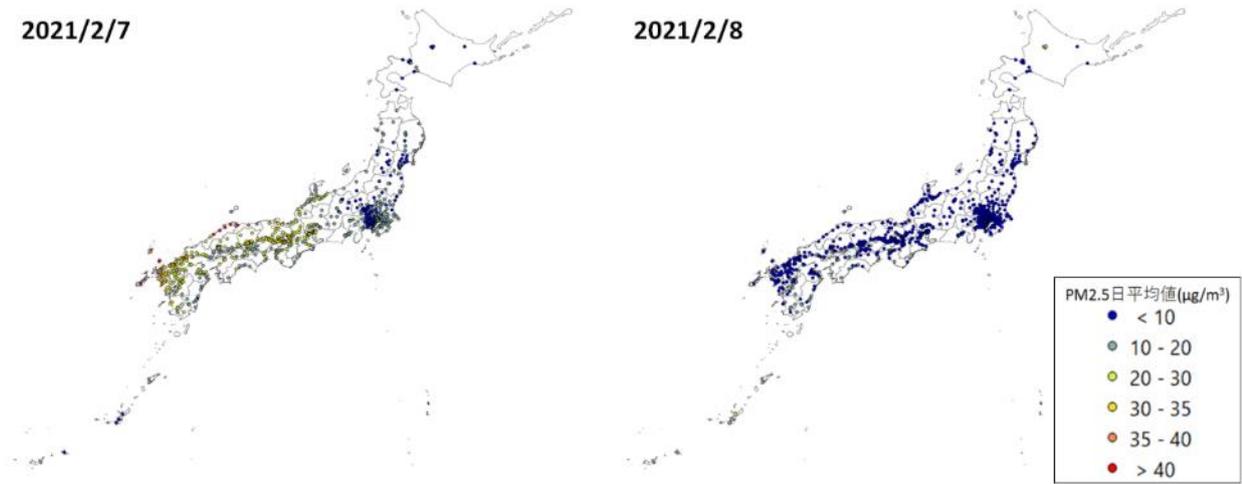
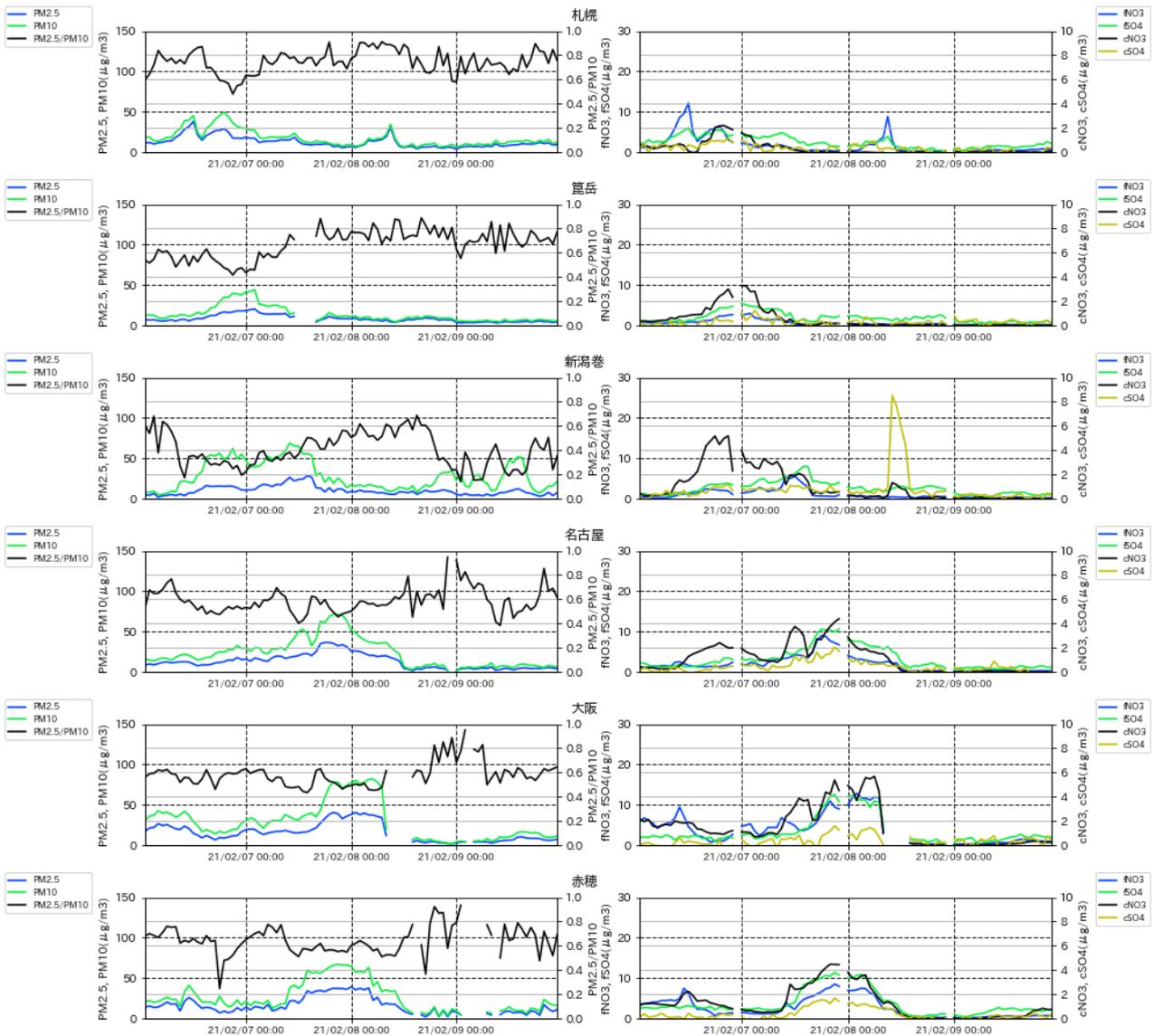


图 5-3-9-7 PM2.5 日平均值全国分布



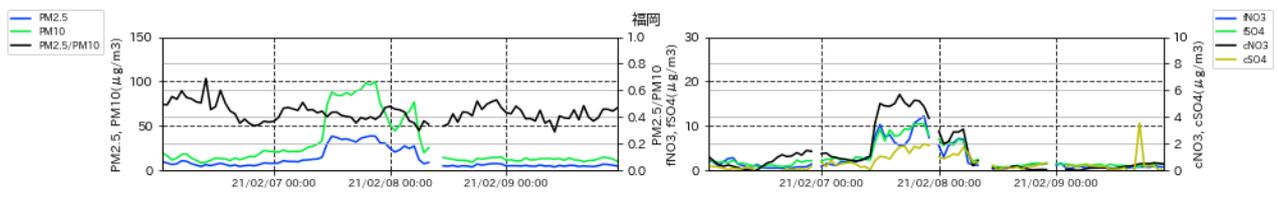


図 5-3-9-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

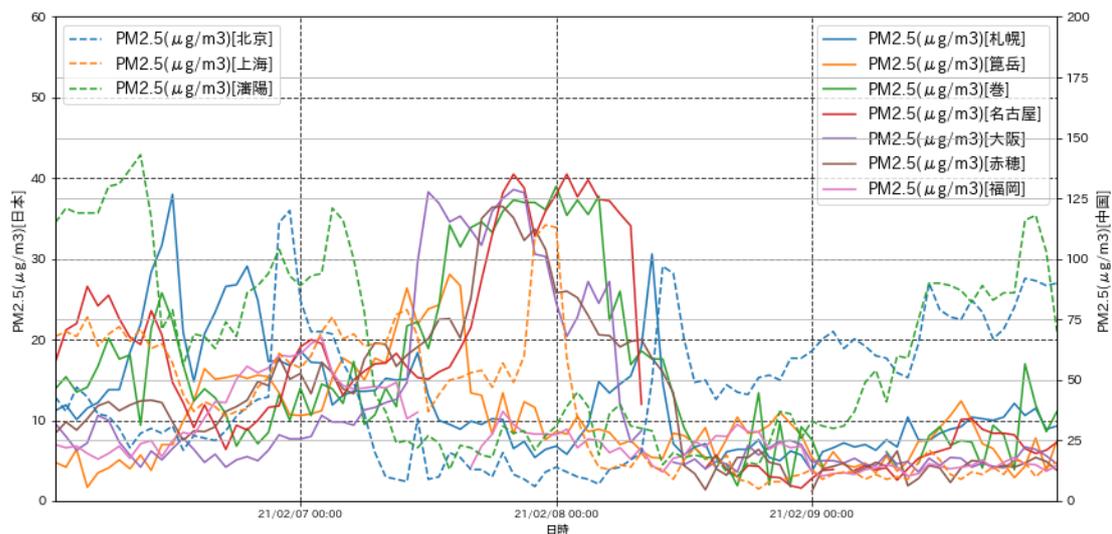


図 5-3-9-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(10) 煙霧事例 10 2021 年 2 月 16 日

本事例は、2021 年 2 月 16 日に観測された煙霧で 10 地点が観測された（表 5-3-10-1、図 5-3-10-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-10-3）、2 月 14 日に中国西部で、2 月 15 日にモンゴルで観測された Dust 以外、Haze のみしか発生していない。このときの気流を後方流跡線で確認（図 5-3-10-4）したところ、ほぼ全ての流跡線で Dust 発生域を通過する流跡線となっていない。CFORS（図 5-3-10-5）においても、Sulfate が東北・北海道付近に影響を及ぼしている様子が示されているが、その濃度は低いものとなっている。

ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化の比較を図 5-3-10-6 に示す。煙霧日の前日である 2 月 15 日 18 時に、松江で黄砂消散係数が増加し、それに伴って SPM 濃度も増加している様子が見て取れる。小規模ではあるが、同時刻の福岡においても同様の傾向が見られている。なお、新潟における黄砂消散係数のピークは、気象条件（雪）に起因すると考えられる。

PM2.5 濃度は、全国的に濃度が低く 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となる地点が多くあった（図 5-3-10-7）。

また、図 5-3-10-8 から PM2.5/PM10 比に顕著な減少は見られない。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については 2 月 16 日の午後の夜間に隠岐の fSO_4^{2-} で若干の高い値を示すが、それ以外に煙霧観測期間で顕著な高い値は見られない。

なお、中国においては PM2.5 が高い値は見られなかった（図 5-3-10-9）。

以上から、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。

表 5-3-10-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
		仙台	金沢	秋田	函館	鳥取	札幌	青森	新潟	盛岡	山形
2021/2/16	10										

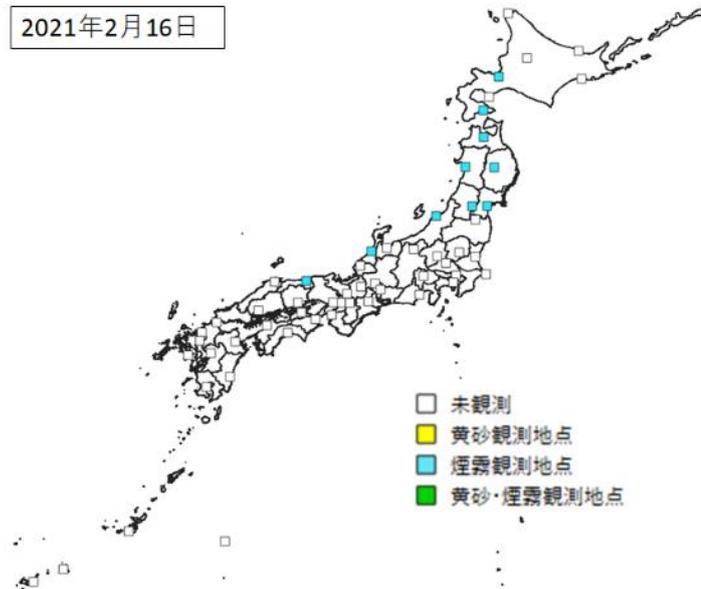
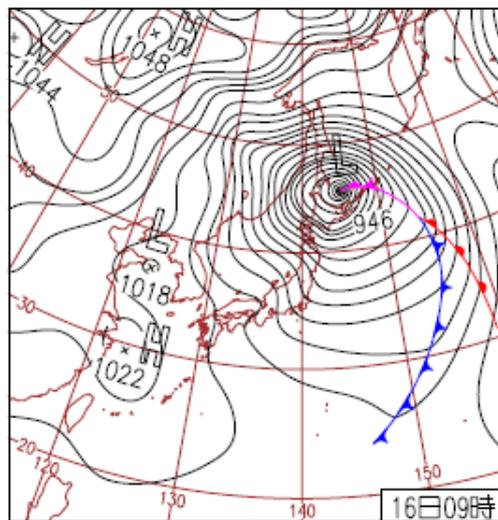


図 5-3-10-1 煙霧観測地点



16日(火)北日本大荒れ

発達した低気圧が北海道付近に停滞し、北日本は大荒れ。根室の947.8hPaは最低海面気圧の1位。北海道えりも岬で最大風速31.3m/sの猛烈な風。北日本で最大風速の通年1位の所も。

図 5-3-10-2 天気図

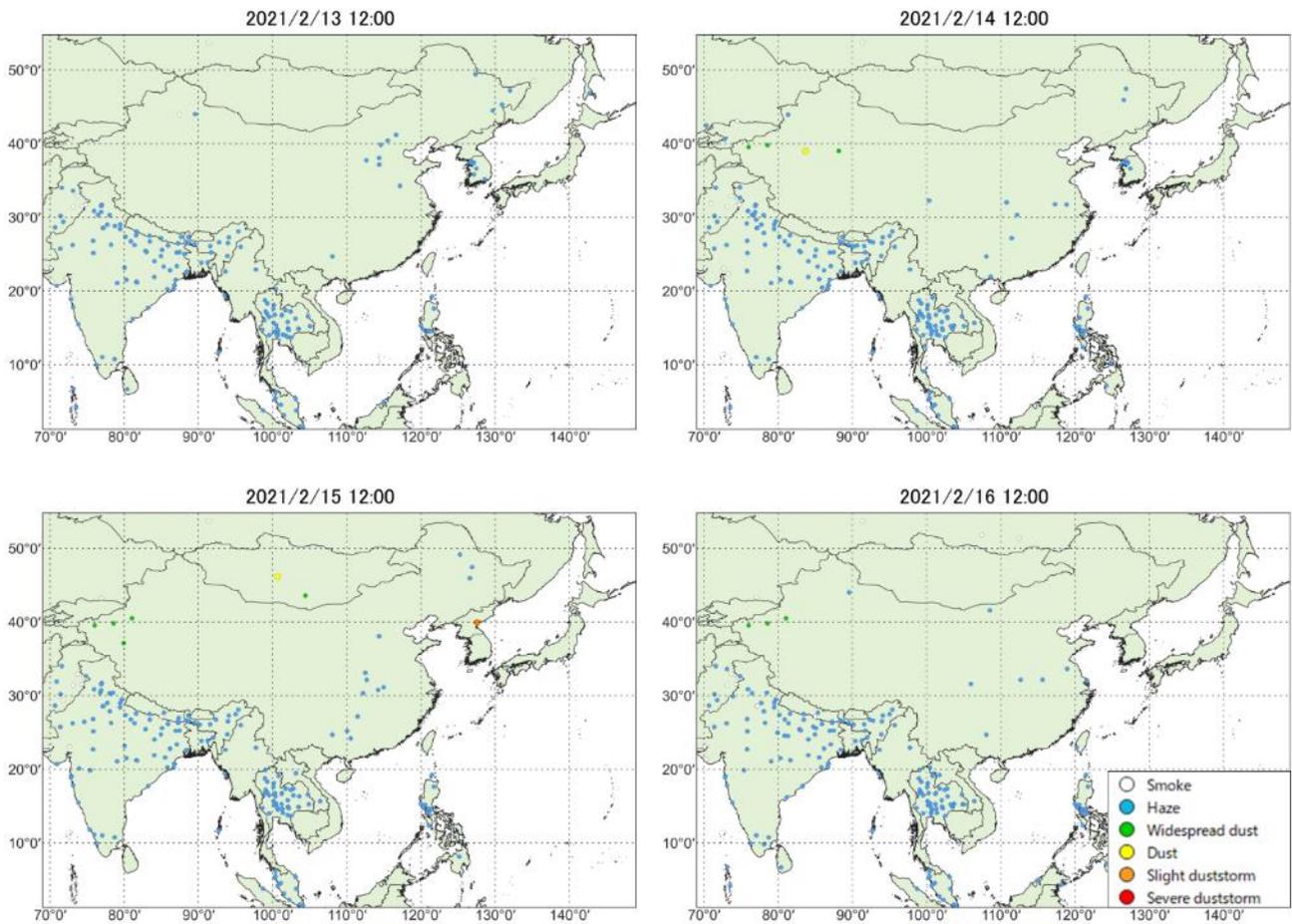


图 5-3-10-3 砂塵嵐発生状況

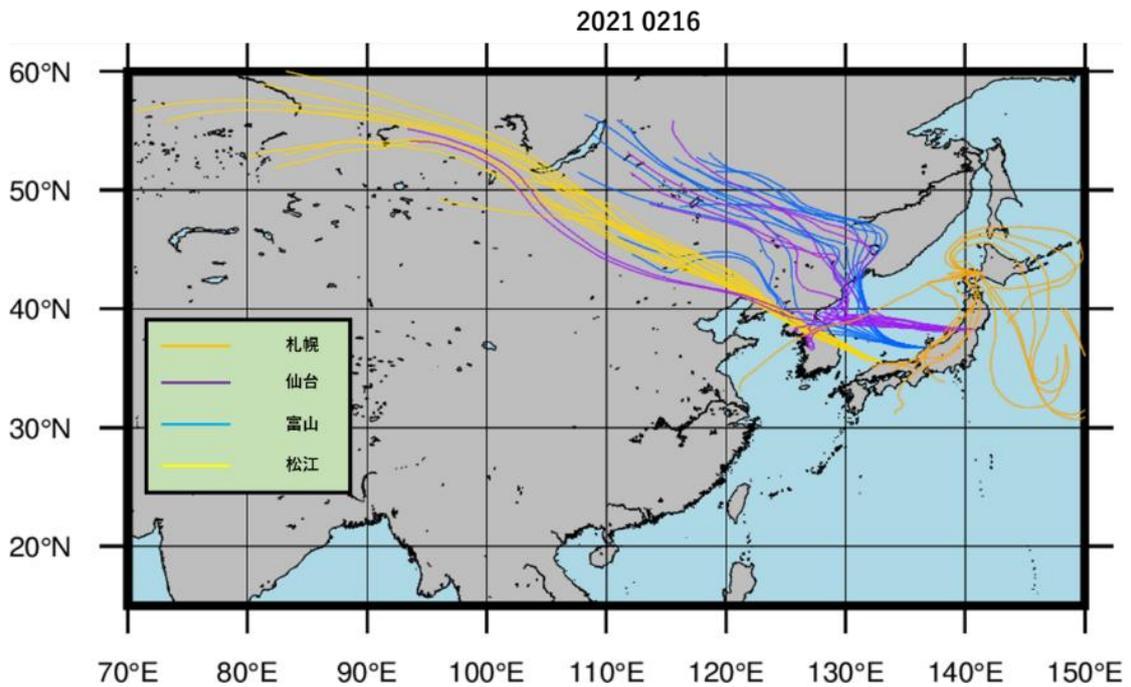


图 5-3-10-4 後方流跡線 (72 時間前より)

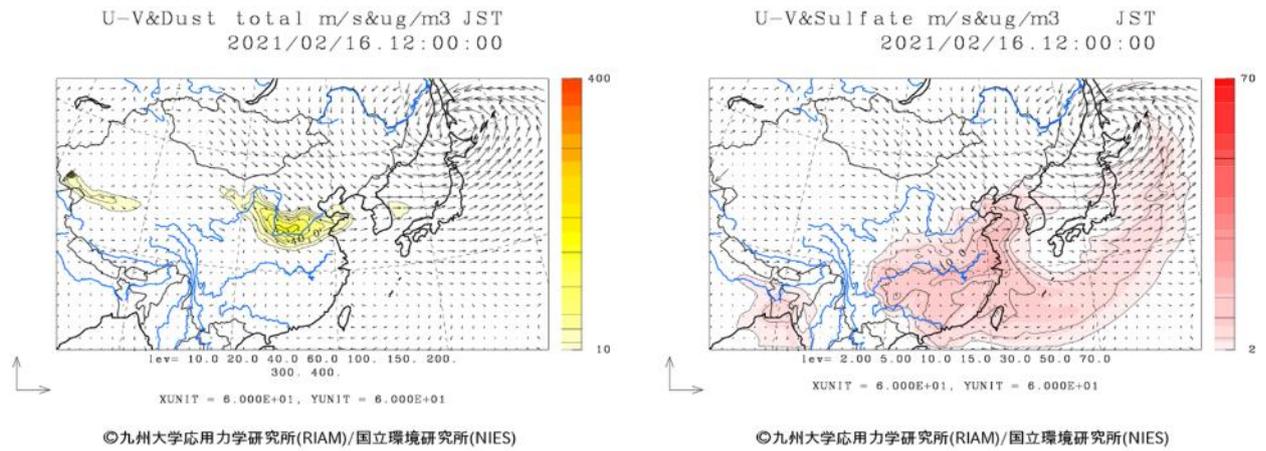
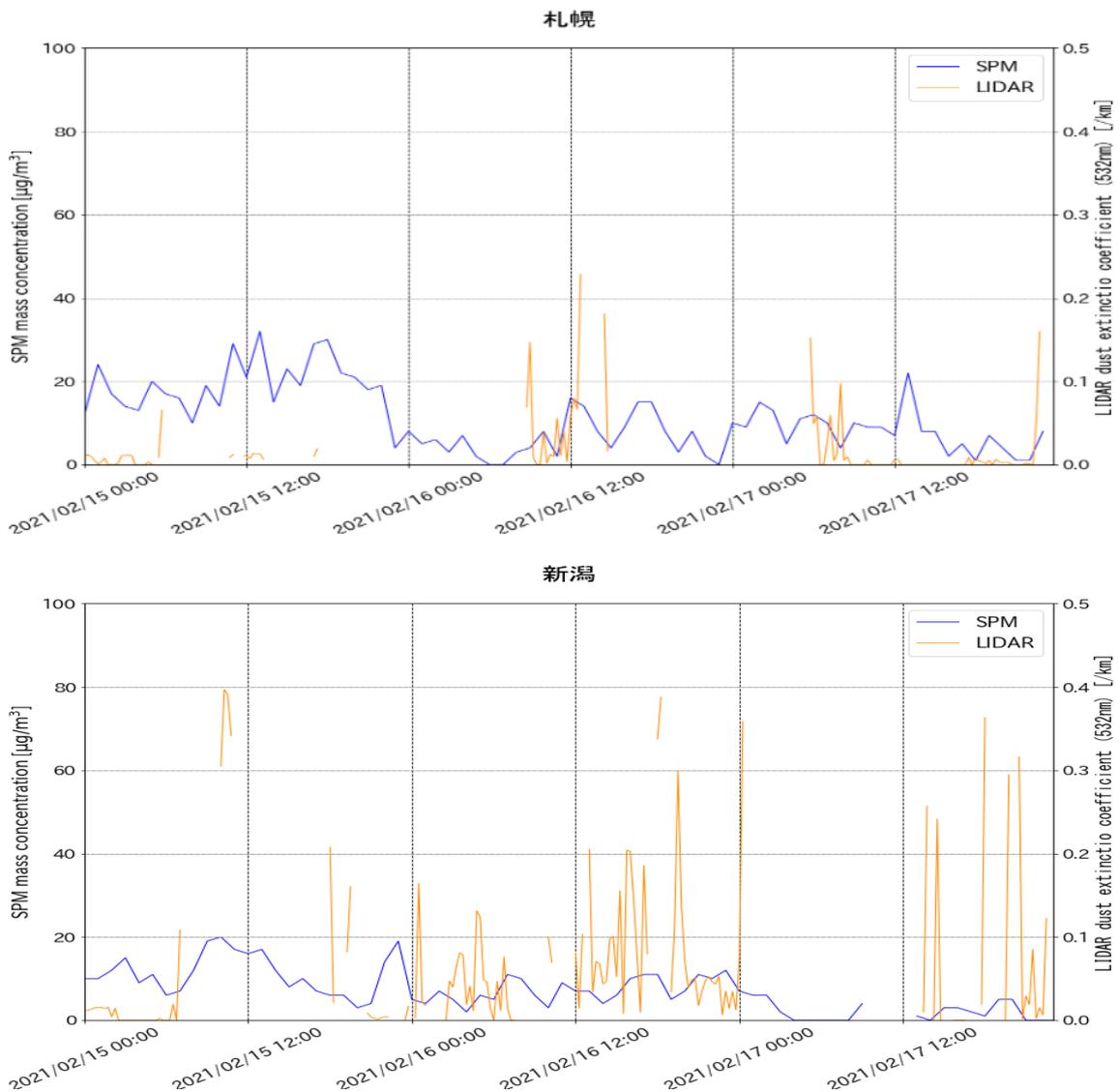
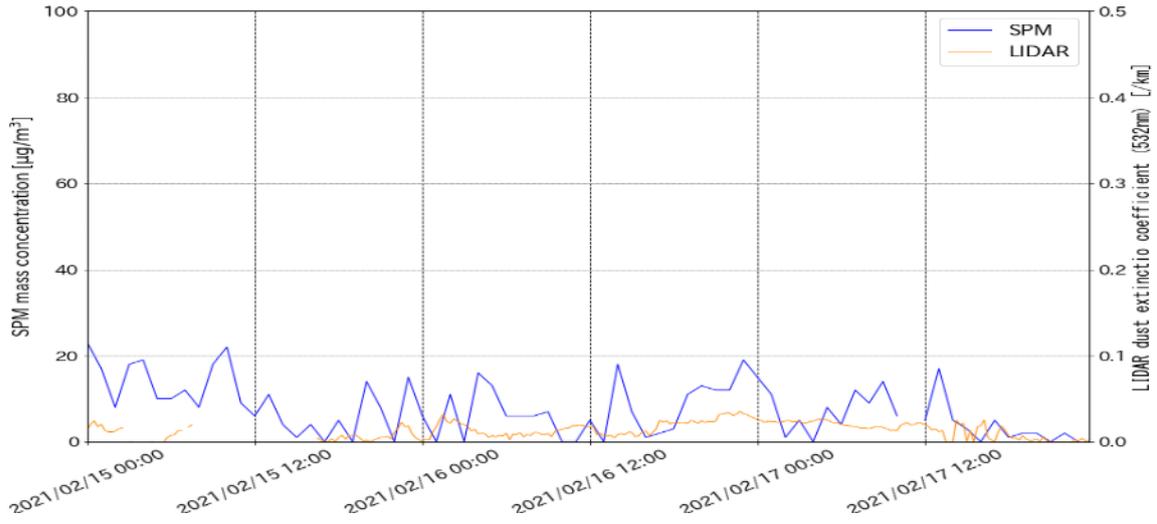


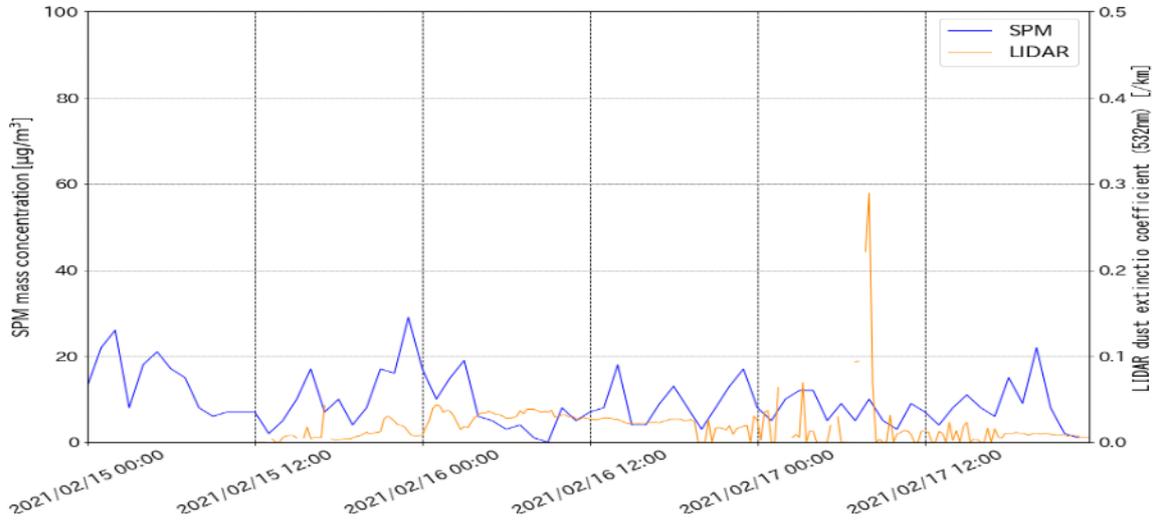
図 5-3-10-5 CFORS 予測結果



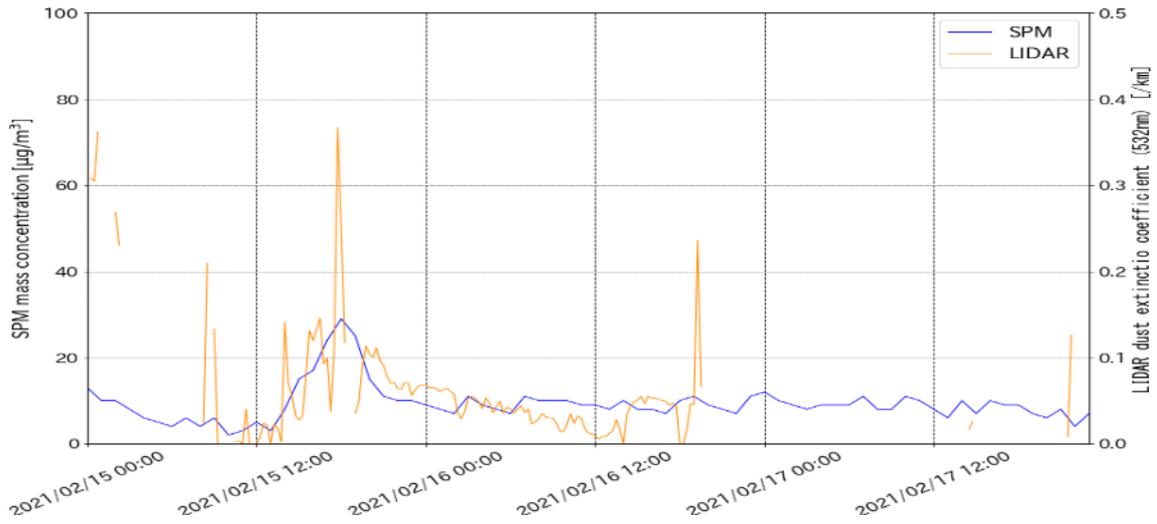
東京



大阪



松江



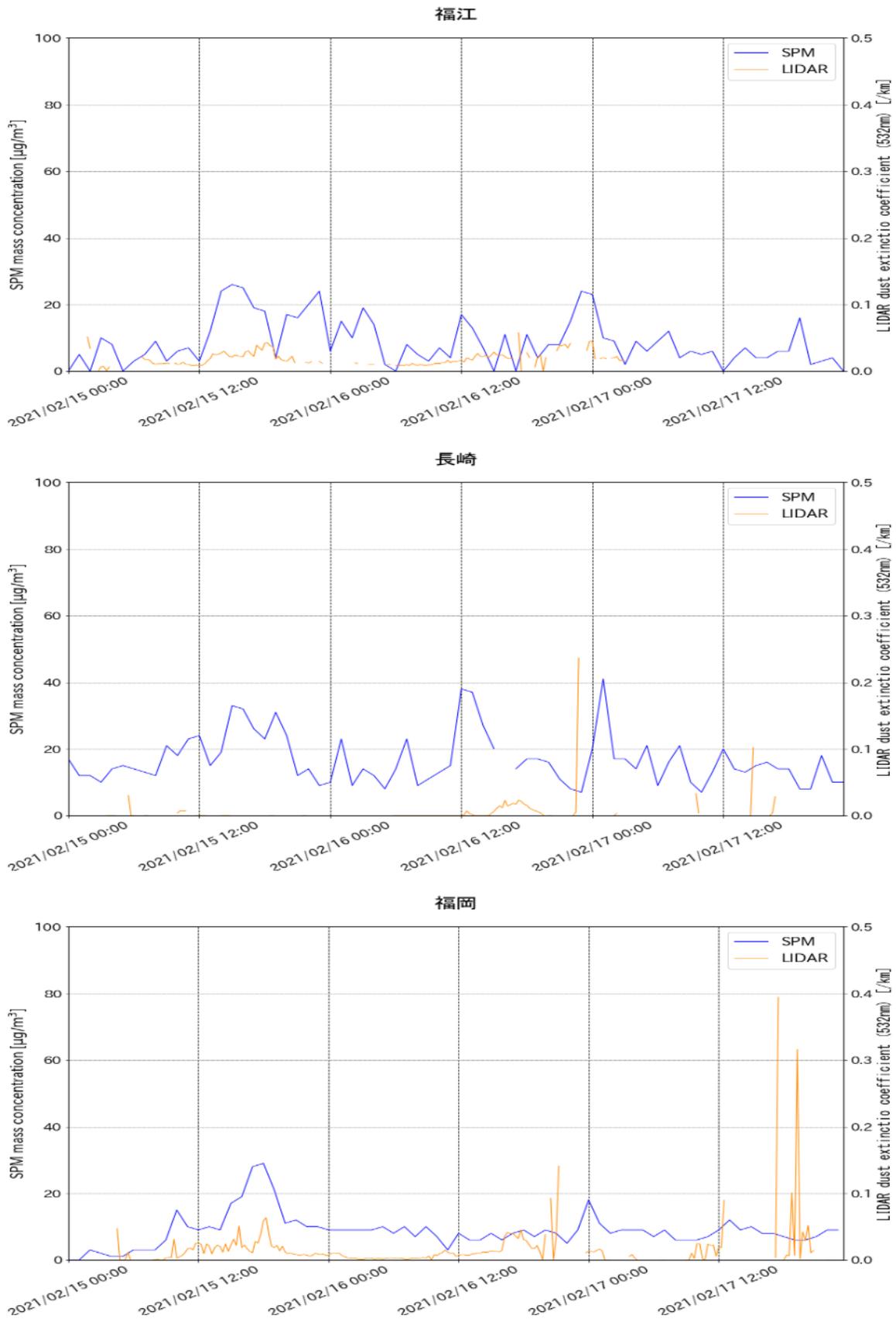


図 5-3-10-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2021/2/16

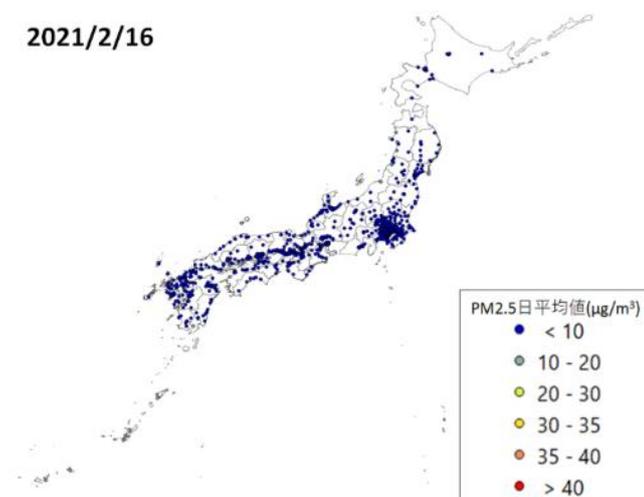


図 5-3-10-7 PM2.5 日平均値全国分布

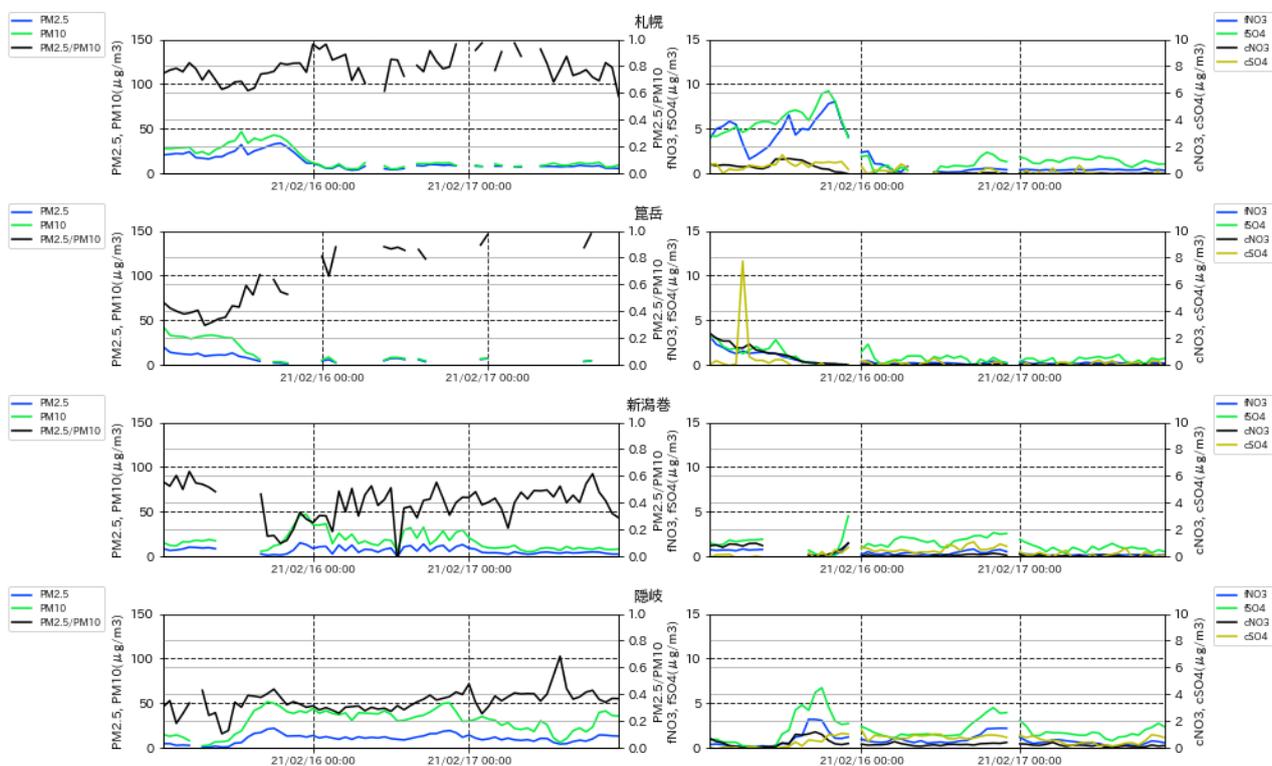


図 5-3-10-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

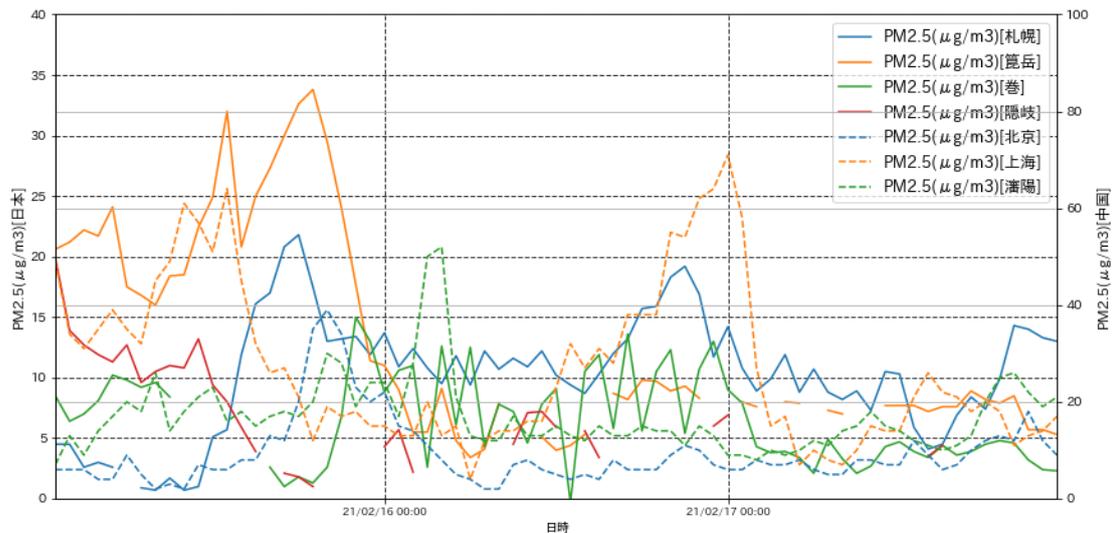


図 5-3-10-9 日本と中国での PM2.5 濃度

(11) 煙霧事例 11 2021 年 3 月 15 日

本事例は、2021 年 3 月 15 日に観測された煙霧で 11 地点が観測された（表 5-3-11-1、図 5-3-11-1）。

この期間の大陸の状況を見ると（図 5-3-11-3）、煙霧観測日 2 日前の 3 月 13 日にモンゴル西部で、前日の 14 日にはモンゴル中央部から東部で Duststorm が発生している。このときの気流を後方流跡線で確認（図 5-3-11-4）したところ、福岡の流跡線で Duststorm 発生域を通過する流跡線となっている。また CFORS 予測結果（図 5-3-11-5）も、Sulfate が中国東部から日本全域へ影響を及ぼしている様子を表している。

ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の経時変化の比較を図 5-3-11-6 に示す。大阪において、黄砂消散係数が 3 月 15 日 18 時頃にやや増加し、SPM 濃度が増加する傾向が見られた。福江・長崎で SPM 濃度の変動が見られた他は、黄砂消散係数・SPM 濃度ともに低い傾向であった。

PM2.5 濃度は、西日本で 20~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となる地点が多くあり、一部地点では環境基準を超える地点が観測されたが、東日本では濃度が低く 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となった（図 5-3-11-7）。

また、図 5-3-11-8 から PM2.5/PM10 比に顕著な減少は見られない。人為起源系汚染物質の SO_4^{2-} 、 NO_3^- については 3 月 14 日から 15 日にかけて多くの成分で高い値に上昇する様子が見える。

なお、中国においては北京で 3 月 15 日に PM2.5 の値が 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高い値が見られる（図 5-3-11-9）。

なお、3 月 16 日から 18 日は黄砂観測日となっていることと、以上の結果を踏まえると、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。

表 5-3-11-1 煙霧観測地点

日付	地点数	観測地点名									
		徳島 神戸	広島	高松	岡山	鳥取	下関	大分	長崎	松江	佐賀
2021/3/15	11										

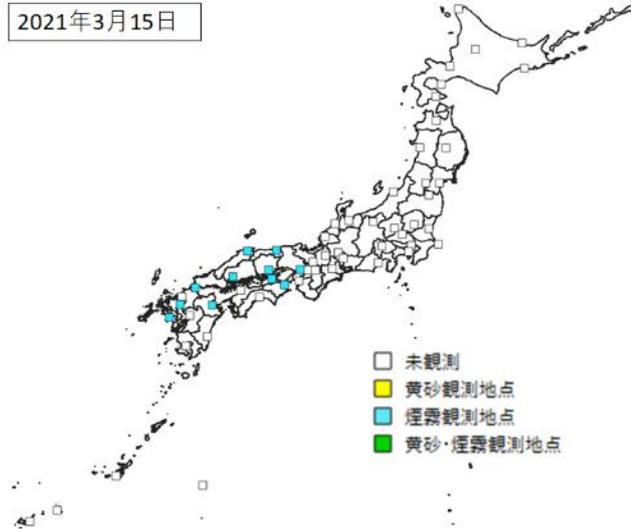
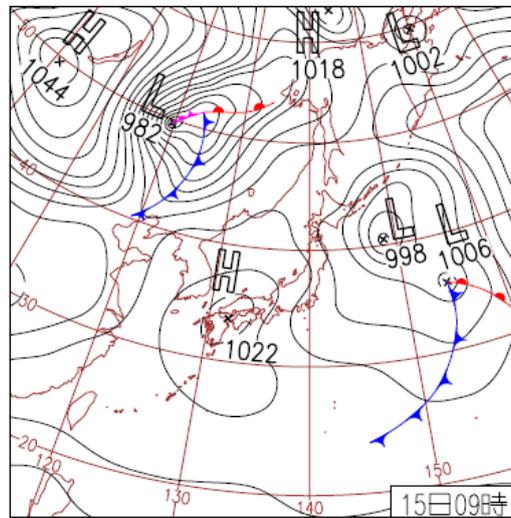


図 5-3-11-1 煙霧観測地点



15日(月)和歌山県で震度5弱
 低気圧が三陸沖を東北東進。東シナ海の高気圧が東に移動し西日本を覆う。西日本中心に晴れ、曇っていた北日本も次第に晴れ間が広がる。高知市、松山市、高松市でサクラ開花。

図 5-3-11-2 天気図

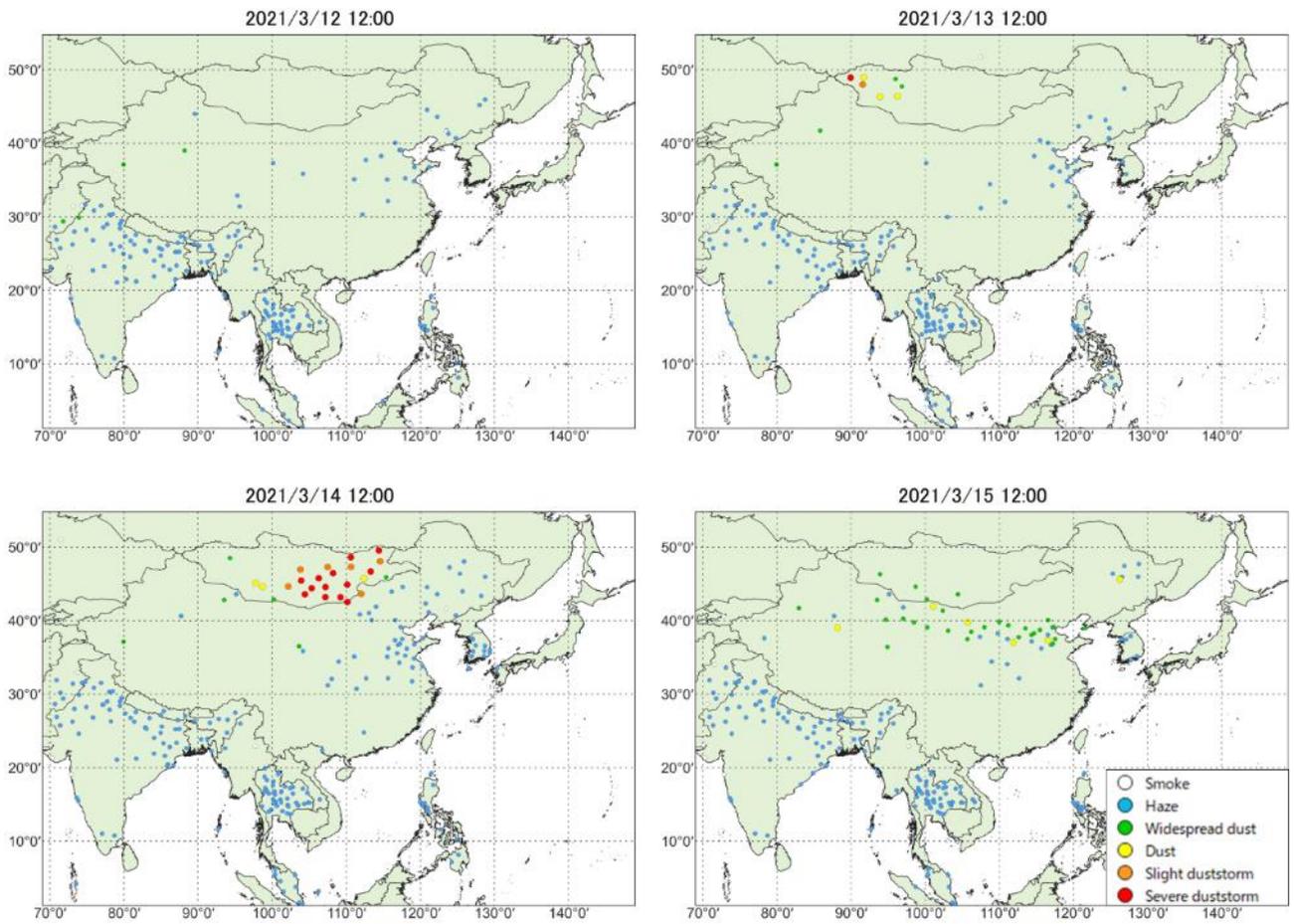


图 5-3-11-3 砂塵嵐発生状況

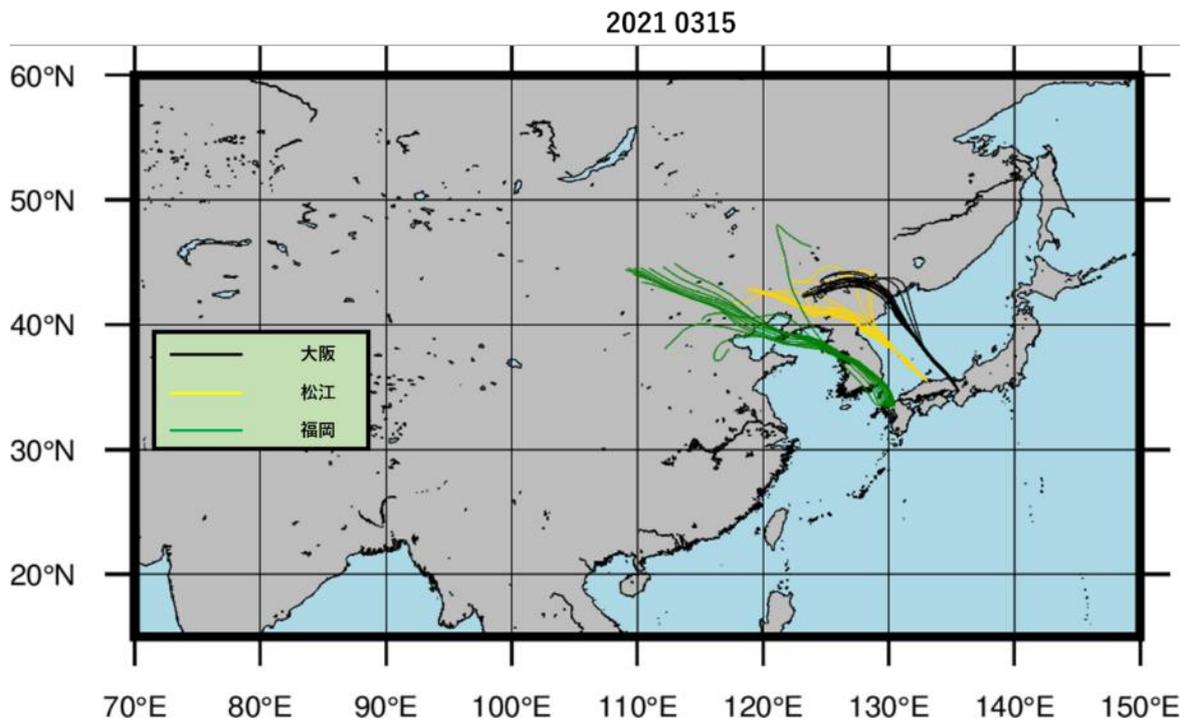


图 5-3-11-4 後方流跡線 (72 時間前より)

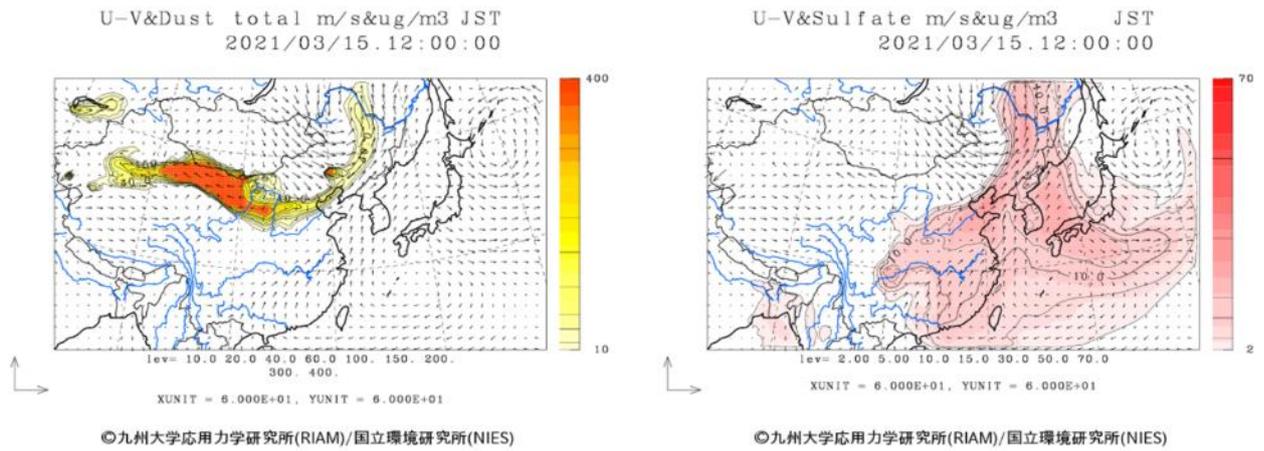
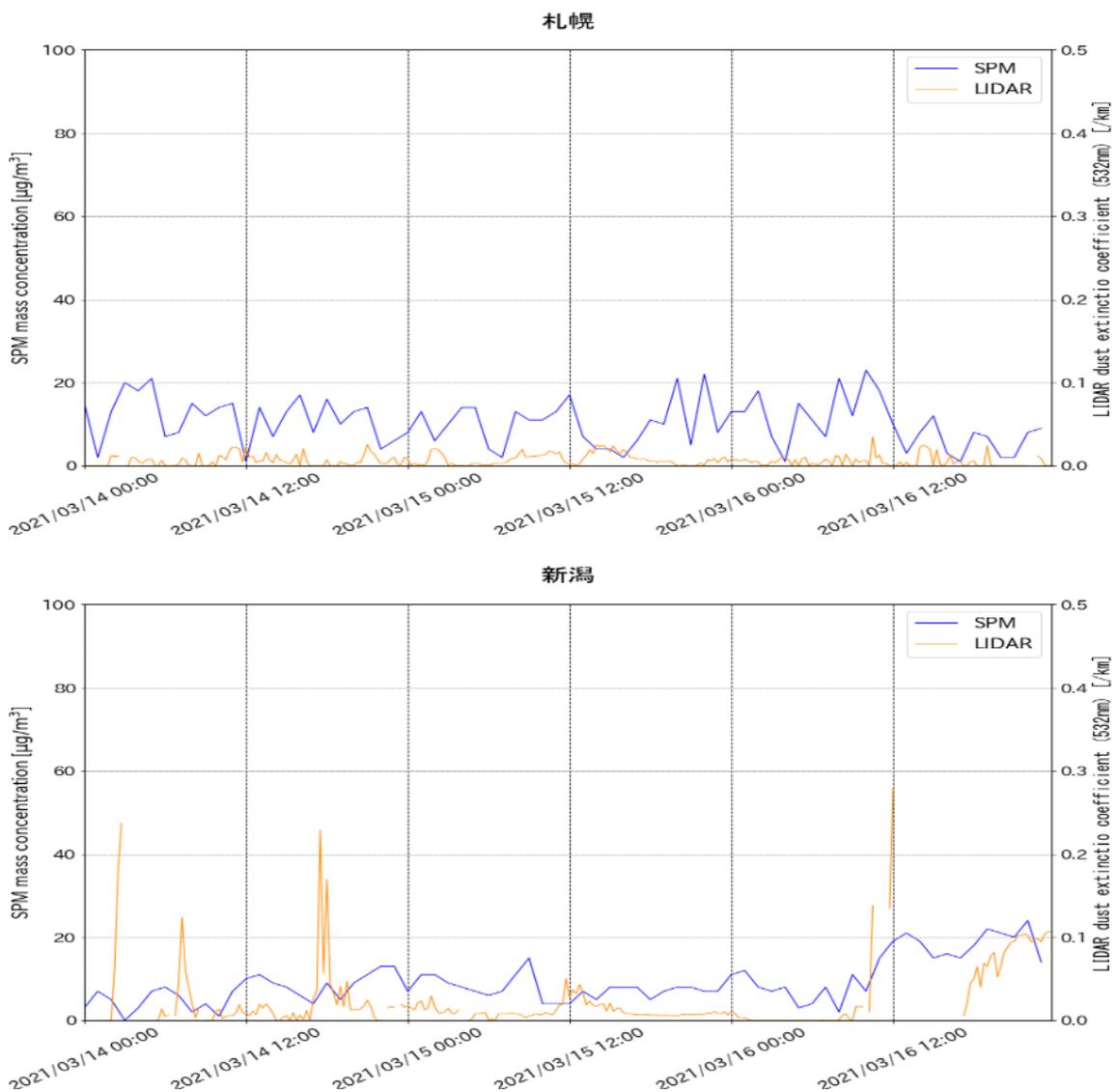
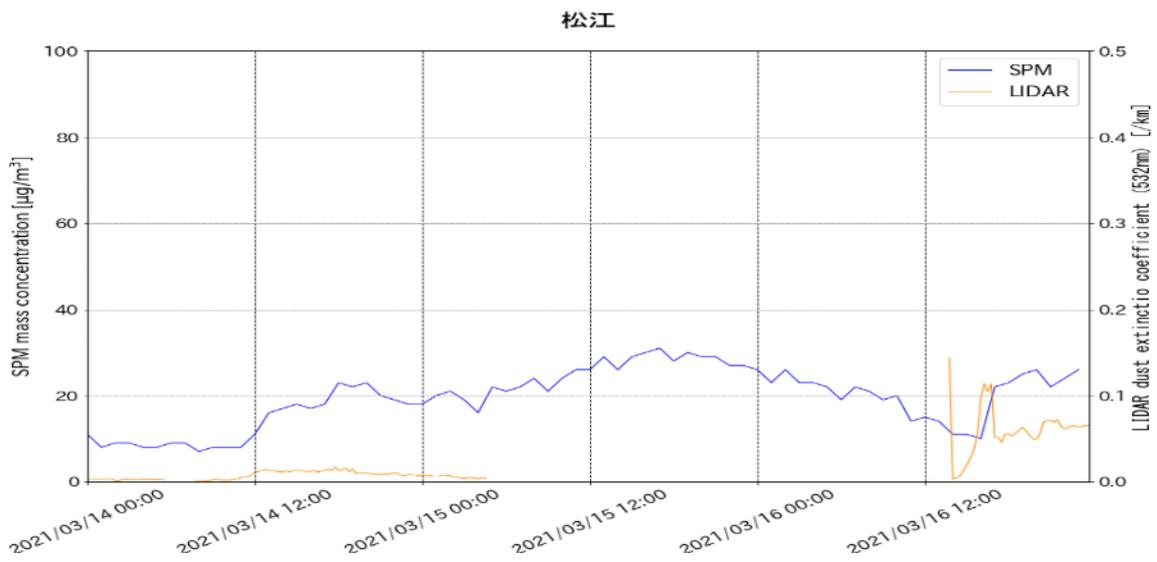
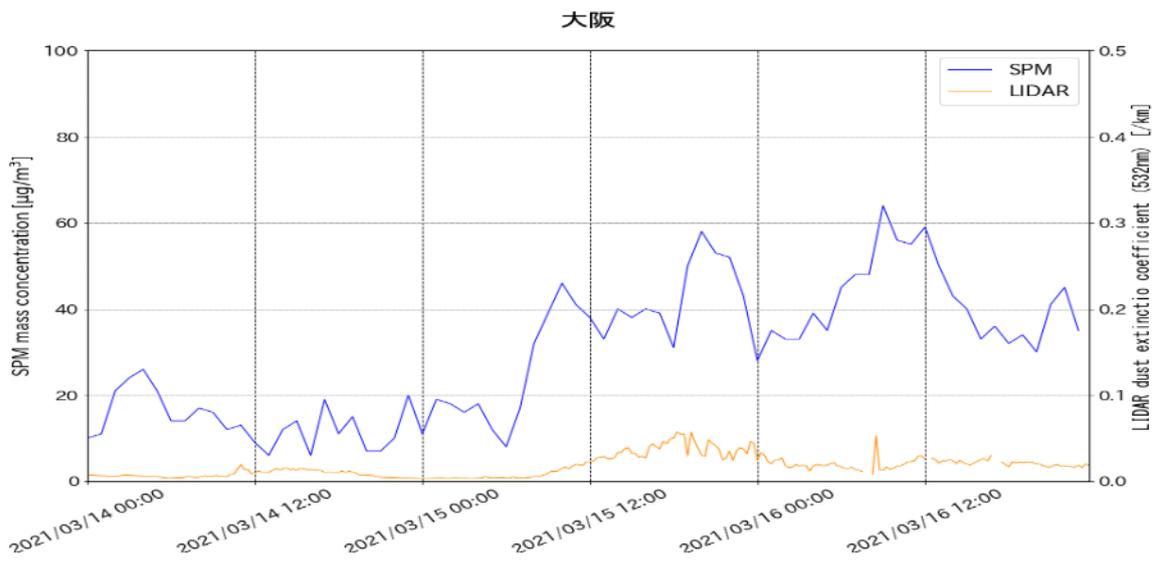
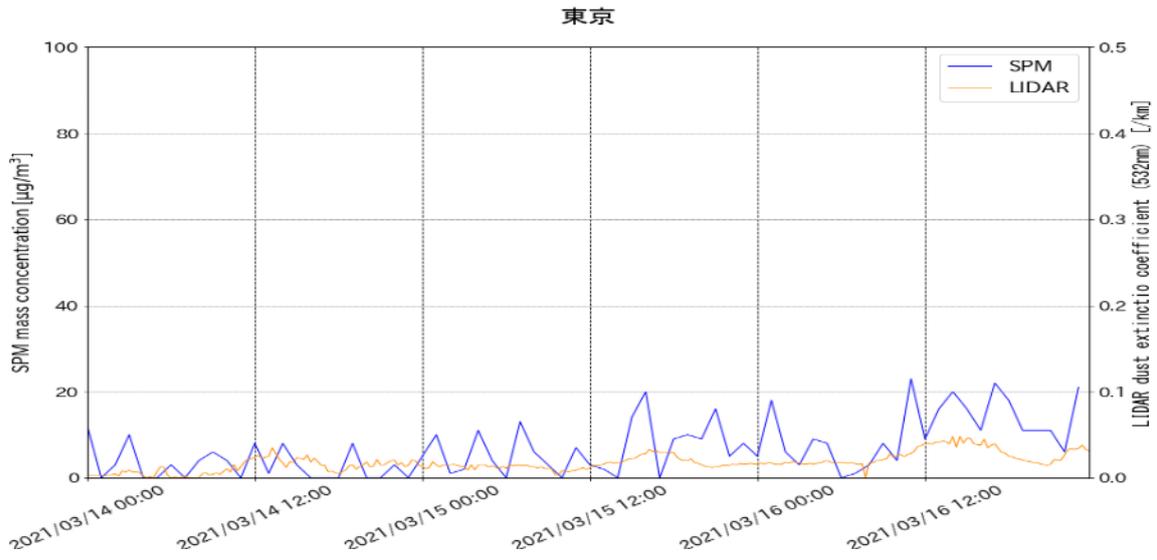


図 5-3-11-5 CFORS 予測結果





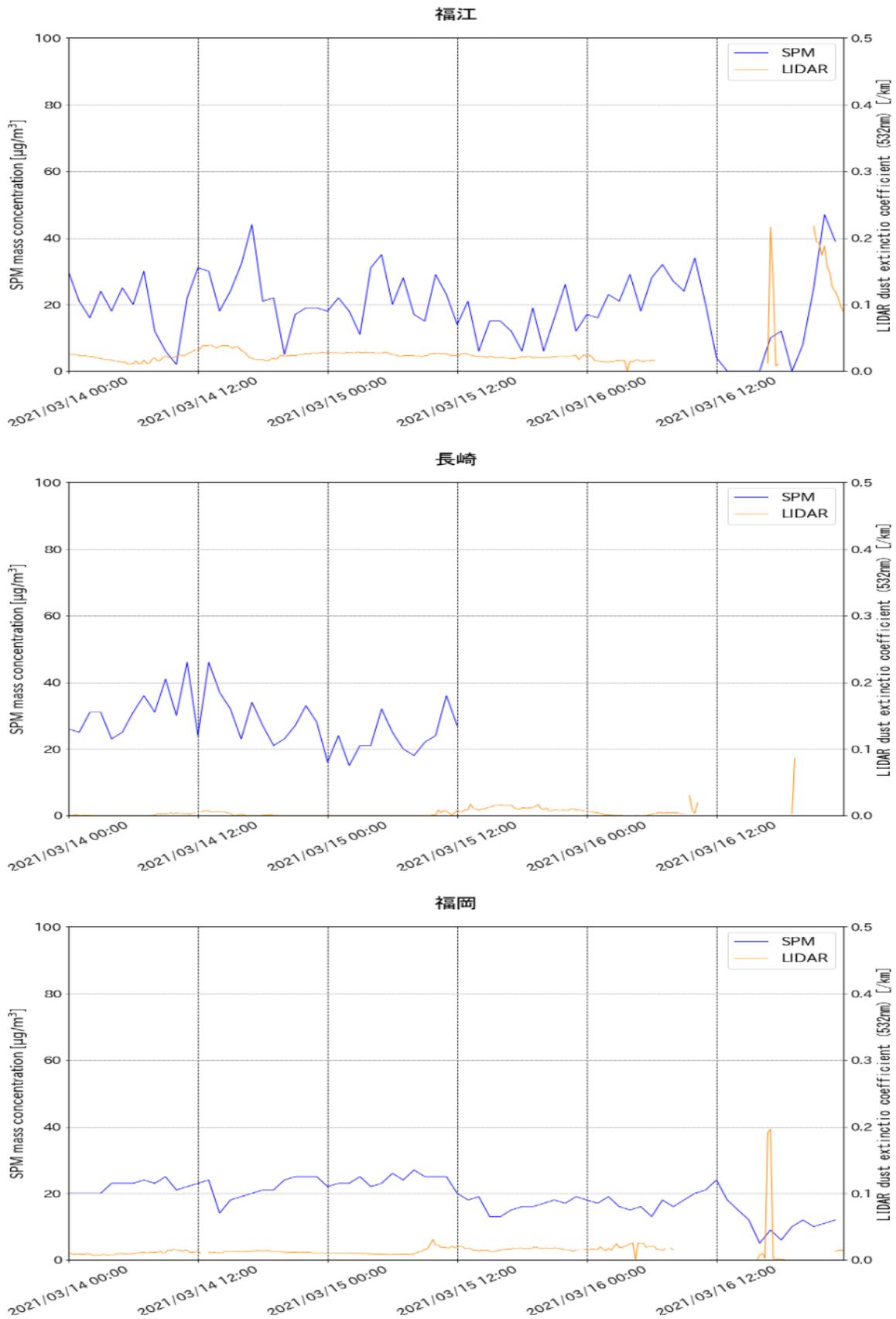


図 5-3-11-6 ライダー黄砂消散係数と SPM の経時変化

2021/3/15

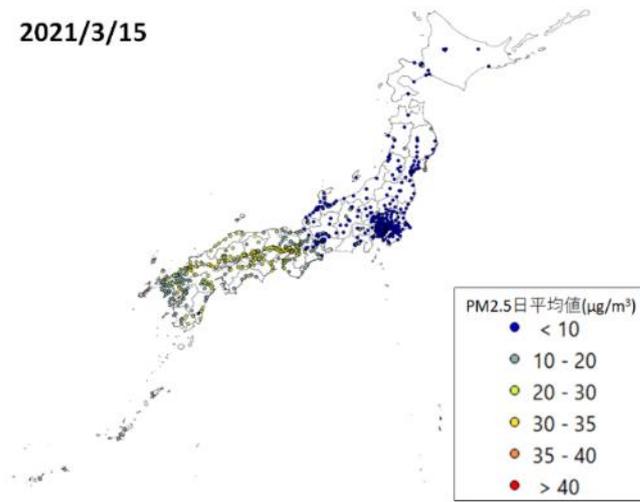


図 5-3-11-7 PM2.5 日平均値全国分布

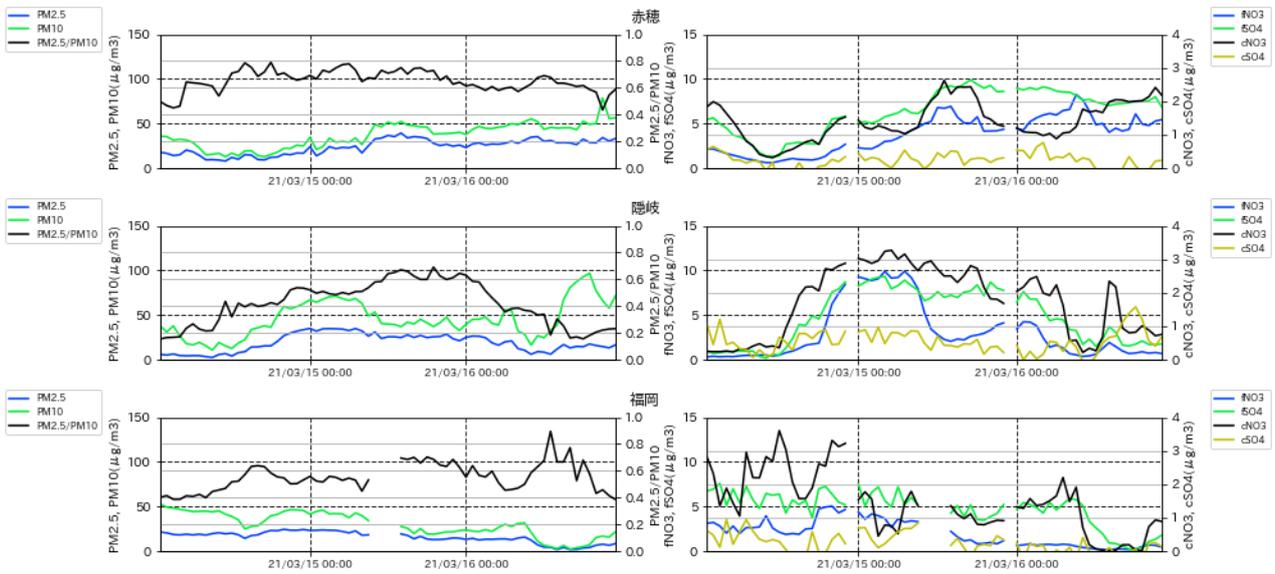


図 5-3-11-8 PM10 および PM2.5 とその成分の経時変化

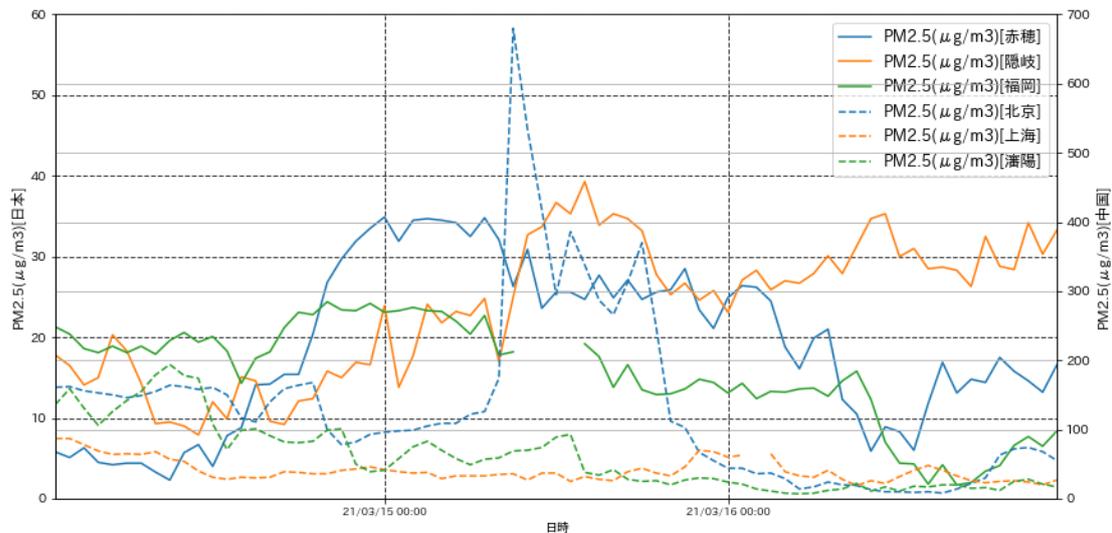


図 5-3-11-9 日本と中国での PM2.5 濃度

5.4 煙霧事例 3 (2020 年 8 月 3 日～9 日) についての詳細解析

煙霧事例 3 (2020 年 8 月 3 日から 9 日) については、西之島の噴火由来であることが報告されている。そこでより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。

図 5-4-1(a) は、事例 3、4 の期間を含む隠岐における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化である。煙霧観測事例 3 の期間 (赤線で記した期間) において SO_4^{2-} 濃度が他の期間と比較し高くなっており、その値は $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となることもあった。また、 SO_4^{2-} 濃度の上昇に伴い $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比も高くなっていて、他の期間はせいぜい 10 程度の値であるところ、その値は 90 にもなるときもあった。また、図 5-4-1 (b) は、事例 5 から 11 の期間を含む隠岐における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化であるが事例 3 のような SO_4^{2-} 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の変化はみられない。図 5-4-2 から図 5-4-5 はそれぞれ名古屋、赤穂、大阪、福岡における事例 3、4 を含む期間 ((a)) と事例 5 から 11 を含む期間 ((b)) であるが、瞬時的な $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の上昇などは見られるものの、隠岐と同様な時間変化の傾向が見られる。また、図 5-4-6 は各地における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化で煙霧事例 3 の期間を中心に拡大した図である。福岡を(a)とし、西から東の観測地点順(b)から(e)と示している。これを見ると初めの $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ のピークが東へ伝播しているように見える。

上記のことも事例 3 における煙霧が西之島の噴火由来であることを示している。参考に図 5-4-7 に事例 3、4 を含む期間における URG9000D による NH_4^+ 濃度の時間変化を示すが事例 3 の期間では NH_4^+ 濃度は他の期間と比較し高くなっている。

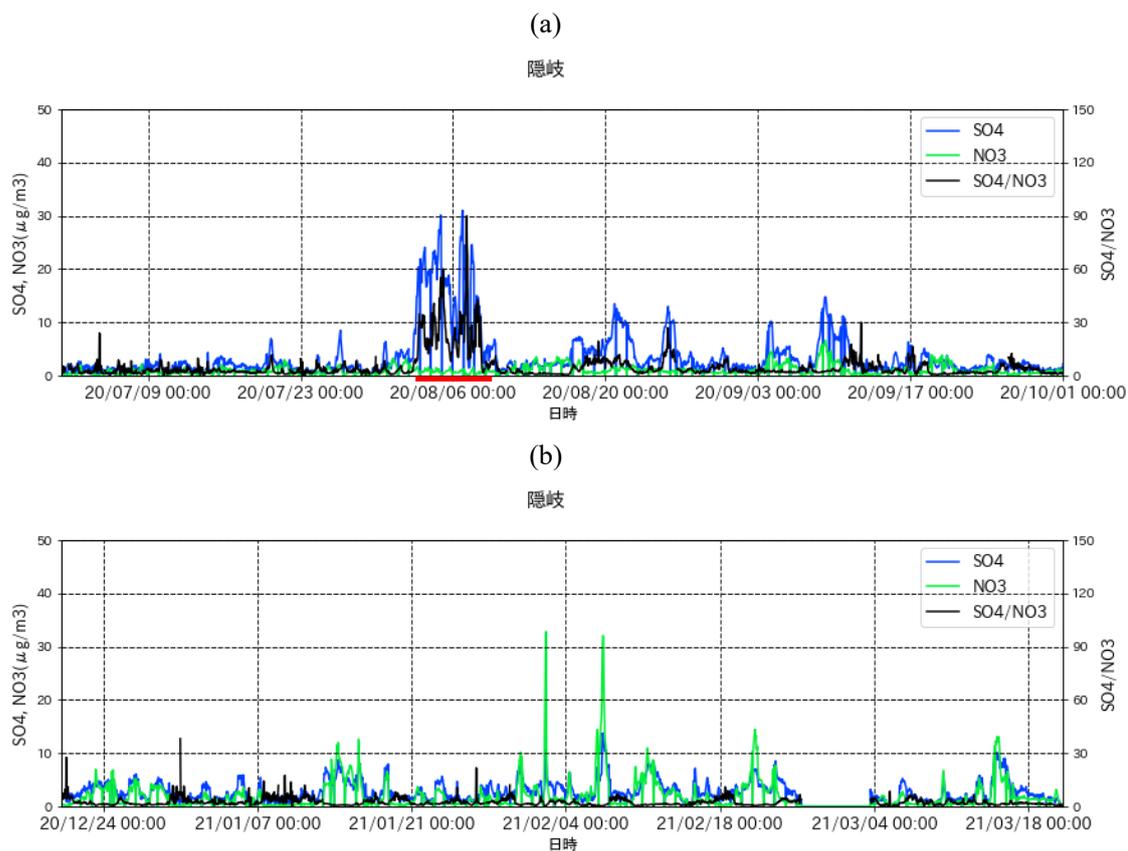


図 5-4-1 隠岐における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化。(a)は事例 3、4 を含む期間、(b)は事例 5 から 11 を含む期間。

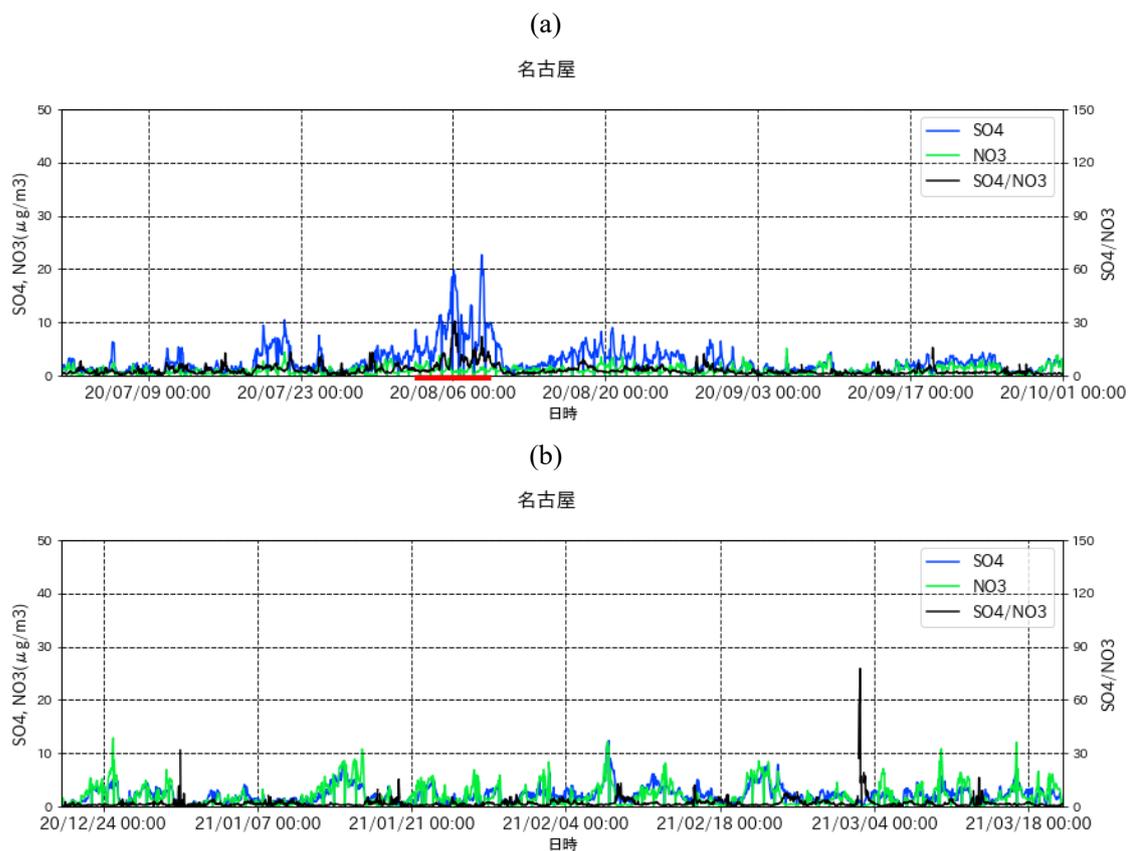


図 5-4-2 名古屋における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化。(a)は事例 3、4 を含む期間、(b)は事例 5 から 11 を含む期間。

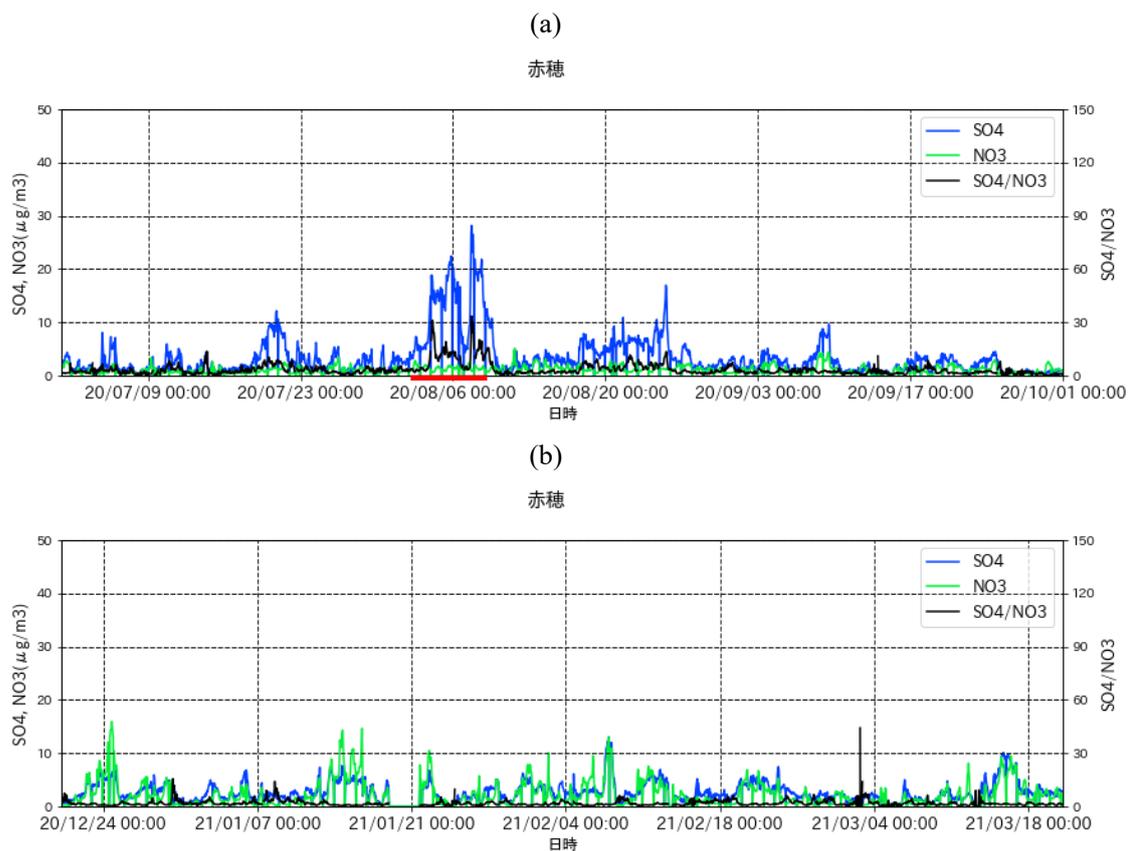


図 5-4-3 赤穂における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化。(a)は事例 3、4 を含む期間、(b)は事例 5 から 11 を含む期間。

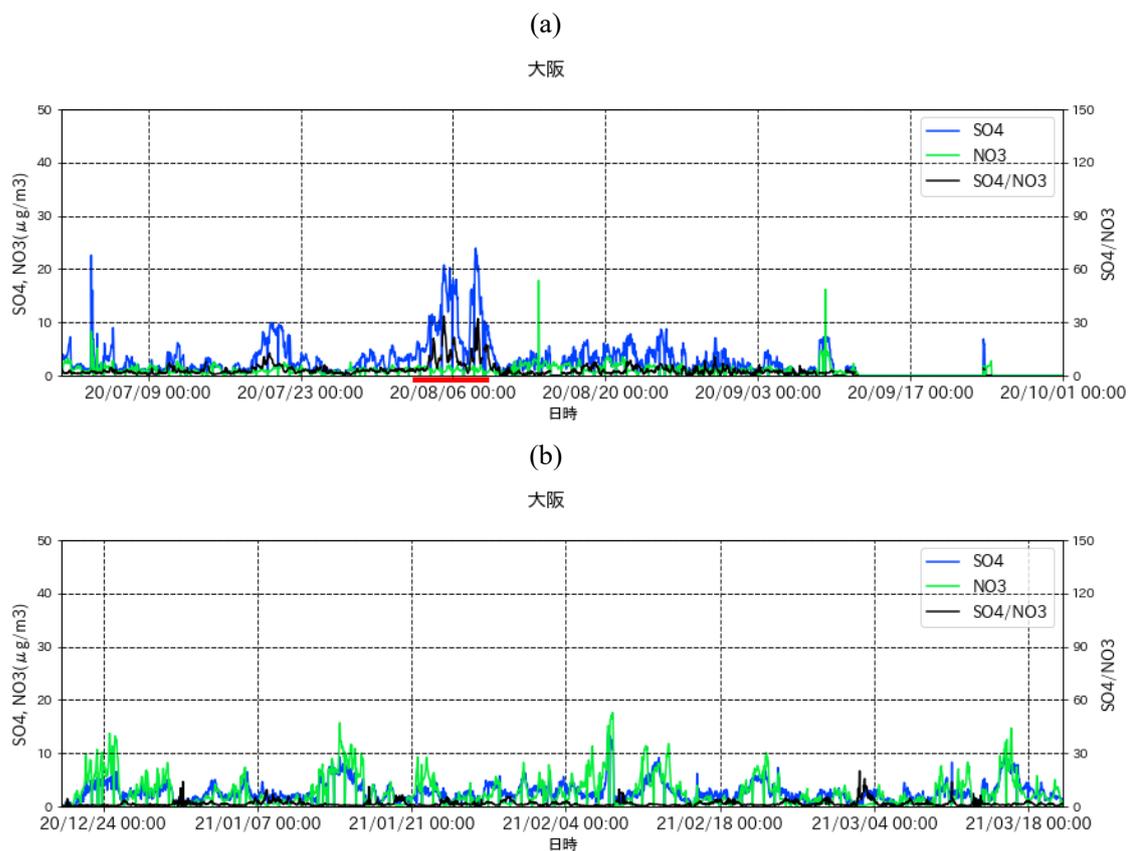
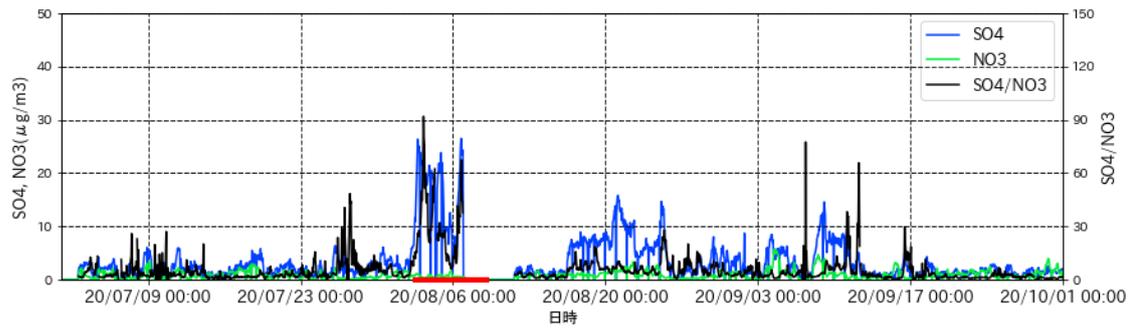


図 5-4-4 大阪における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化。(a)は事例 3、4 を含む期間、(b)は事例 5 から 11 を含む期間。

(a)

福岡



(b)

福岡

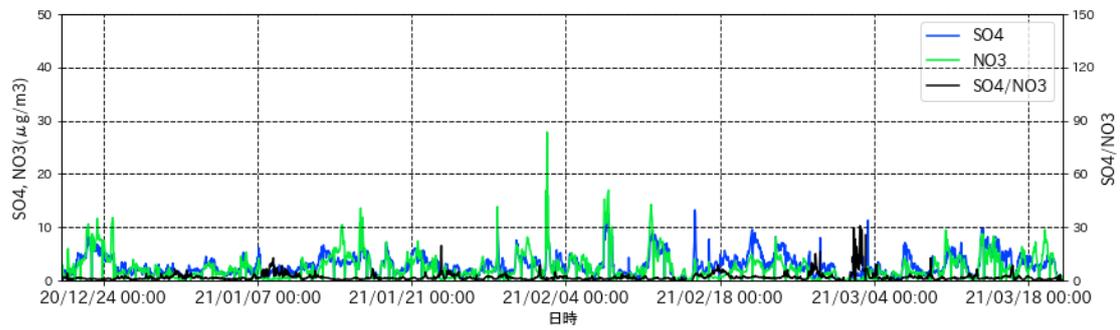
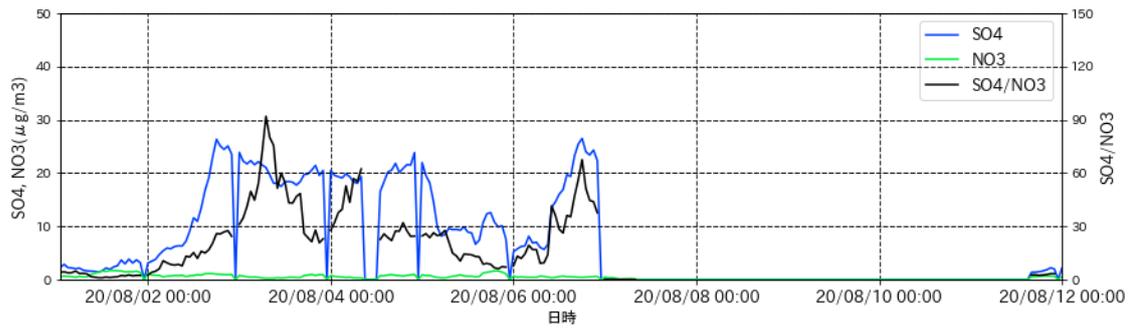


図 5-4-5 福岡における SO₄²⁻、NO₃⁻、それらの比 SO₄²⁻/NO₃⁻ の時間変化。(a)は事例 3、4 を含む期間、(b)は事例 5 から 11 を含む期間。

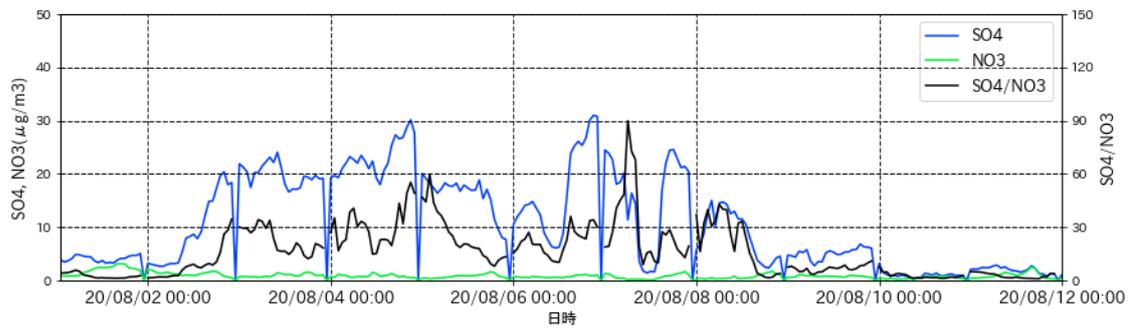
(a)

福岡



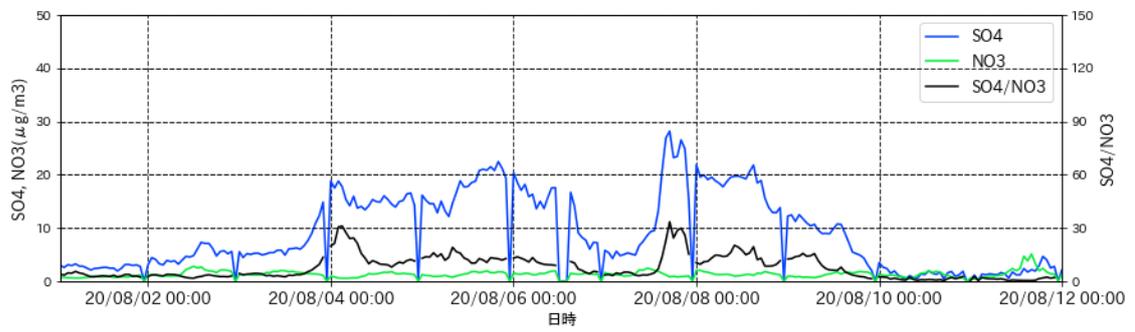
(b)

隠岐



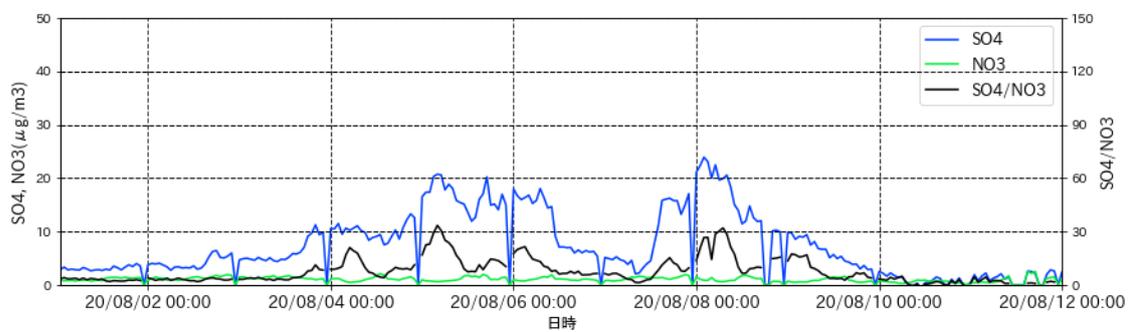
(c)

赤穂



(d)

大阪



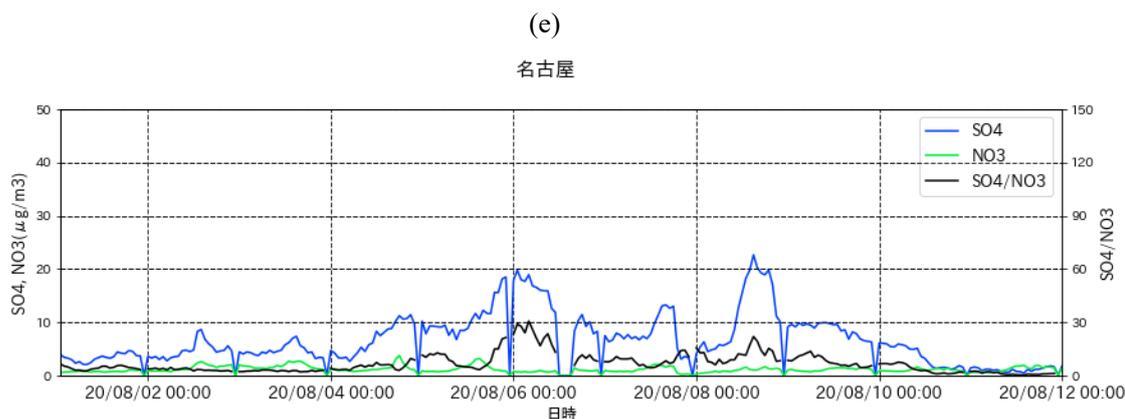


図 5-4-6 各地における SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、それらの比 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間変化の煙霧事例 3 を中心とした拡大図。

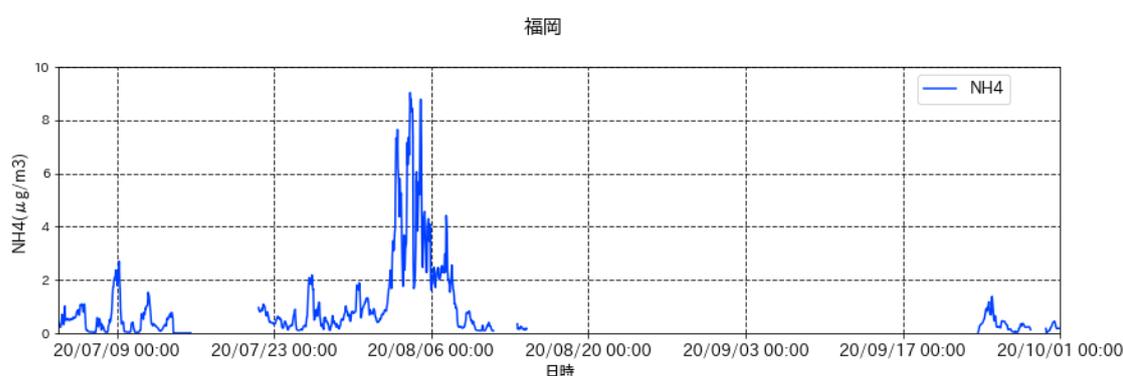


図 5-4-7 事例 3、4 を含む期間における URG900D によるアンモニウムイオン濃度の時間変化。

6 黄砂および煙霧日の PM2.5 濃度のデータ整理と解析

黄砂は、PM2.5 の環境基準達成に大きな影響を与えていると考えられる。また、越境による煙霧の存在も、黄砂と同程度もしくはそれ以上に大きな影響を与える可能性がある。そのため、2020 年度の黄砂・煙霧日の PM2.5 濃度について検討した。

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

ここでは、全国の 1,007 箇所の常時監視測定局を評価対象とし、PM2.5 の日平均値が環境基準値である $35.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日を抽出し、その濃度や黄砂観測日×局数に対する抽出された日の割合などについて調べた。

2020 年度における各測定局あたりの測定延べ日数（1 日あたりの測定時間が 21 時間以上であるような日数×局数）は 350,853（日×局）であり、平均濃度は $9.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。このうち、環境基準値である、日平均値が $35.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日数×局は、1,976（日×局）であり、全体の 0.56% であった。

測定局における黄砂観測日は、13,545（日×局）であり、その平均濃度は $16.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、前年度の平均濃度 $15.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ と比較し高くなっている。また、このうち日平均値が $35.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ の環境基準値を超えた日数×局は、668（日×局）であり、これは黄砂観測日×局数全体の 4.93% にあたる。この割合は、昨年度の 0.31% に比べ非常に高くなったと言える。この割合の増加は、2021 年 3 月 29 日から 3 月 31 日に全国的に観測された強い黄砂により、PM2.5 も全国的に高い値が観測されたことによると思われる。

また、測定局における煙霧観測日は25,033（日×局）、煙霧日の平均濃度は16.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、このうち日平均値が35.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の環境基準値を超えた日数1,678（日×局）であった。これは、煙霧観測日×局数全体の6.7%であり、前年度の平均濃度16.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、超過割合3.2%に比べ、平均濃度、超過割合の両者で増加した。

以下の図6-1-1は、上記の結果を図示したものである。また、参考のため黄砂および煙霧の定義を再掲する。

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
 煙霧：乾いた微粒子により視程が10km未満となっている状態。（注：湿度75%未満）
 （いずれも気象庁による）

図6-1-2は2013年度から2020年度までのPM2.5黄砂日平均濃度とその濃度の35.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過率の経年変動を表す。ここで2020年度のデータは速報値であり、それ以外は確定値である。また、2013年度からのデータを用いたのは、2012年ころまで測定局数が現在と比較し少なかったため、比較の対象として除外したためである。期間が短いため、明確に経年的な傾向は見られないが、両者の増減は同期しているように見える。

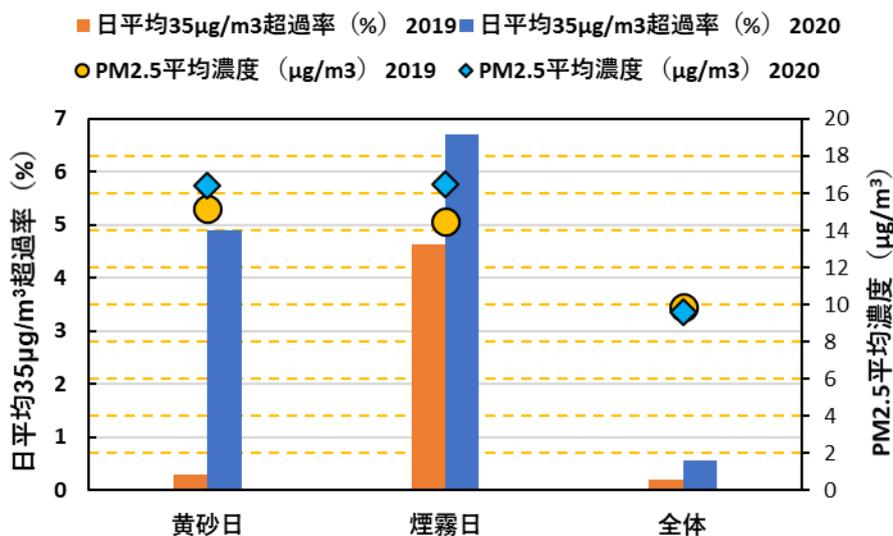


図6-1-1 黄砂日および煙霧日のPM2.5平均濃度と環境基準値超過率

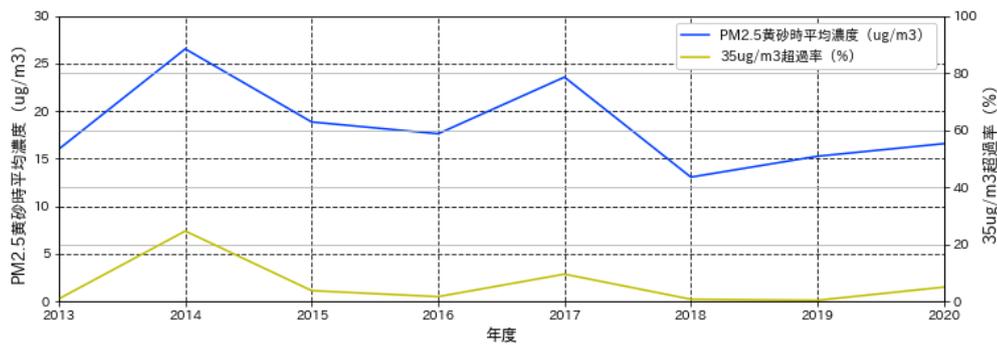


図 6-1-2 2013 年度から 2020 年度までの PM2.5 黄砂日平均濃度とその濃度の 35µg/m³ 超過率の経年変化

2020 年度の黄砂日観測日数と黄砂日の PM2.5 環境基準超過日数を都道府県別に図 6-1-3 に示す。同様に、観測日数と煙霧日の PM2.5 環境基準超過日数を図 6-1-4 に示す。黄砂日の環境基準超過日数及び煙霧日の環境基準超過日数は、例年通り西日本で多く見られた。

図 6-1-5 に、PM2.5 環境基準超過日数と、そのうちの黄砂・煙霧日数を都道府県別に示している。例年、PM2.5 環境基準超過時において、その際に黄砂あるいは煙霧が観測されることが多いことが報告されているが、2020 年度においては PM2.5 環境基準超過日としては 8 月 2 日から 9 日に観測された煙霧と、3 月 29 日から 31 日に観測された黄砂によるものが大半を占めていた。

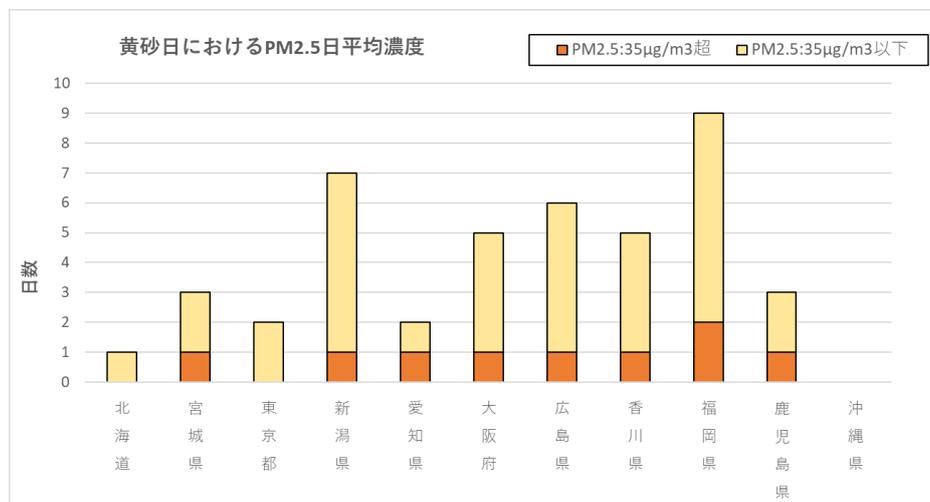


図 6-1-3 都道府県別の黄砂日数と PM2.5 環境基準超過日数 (2020 年度)

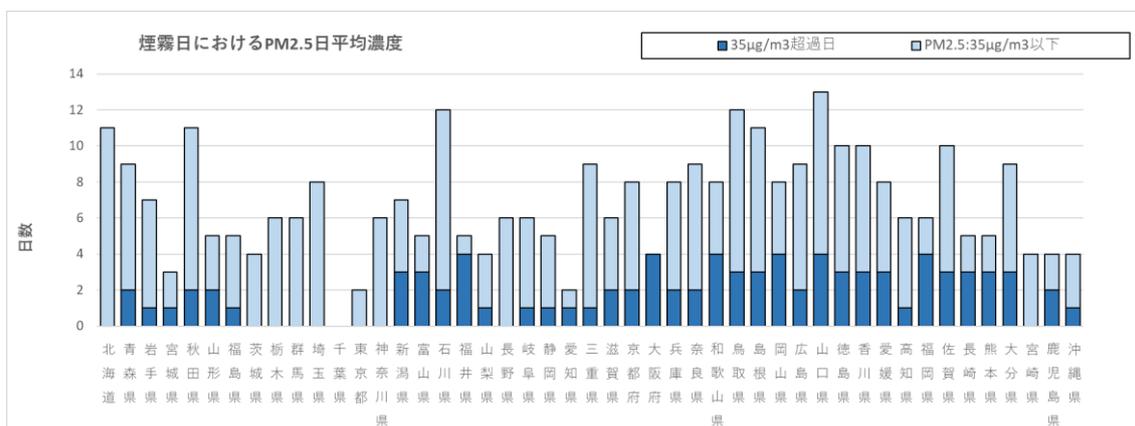


図 6-1-4 都道府県別の煙霧日数と PM2.5 環境基準超過日数 (2020 年度)

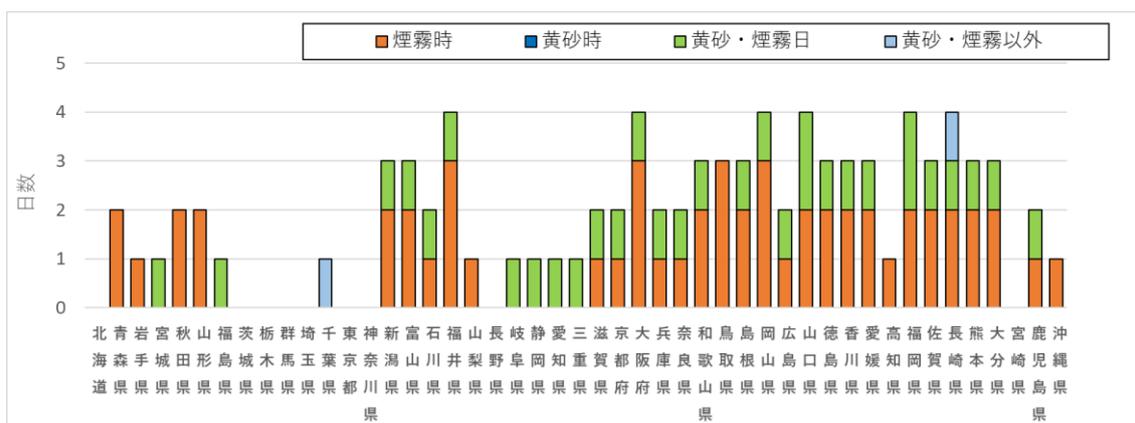


図 6-1-5 都道府県別の PM2.5 環境基準超過日を占める黄砂・煙霧の割合 (2020 年度)

6.2 黄砂・煙霧日における PM2.5 成分濃度の解析

全国の自治体では、毎年度、4 季にわたって PM2.5 の成分分析を実施している。ここでは、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、金属成分について項目別に黄砂日と煙霧日で比較した。2020 年度には、表 6-2-1 に示した期間で自治体による観測が行われた。

表 6-2-1 2020 年度における季節ごとの自治体データの観測期間

季節	観測期間
春	2020 年 5 月 13 日～2020 年 5 月 26 日
夏	2020 年 7 月 30 日～2020 年 8 月 11 日
秋	2020 年 10 月 22 日～2020 年 11 月 4 日
冬	2021 年 1 月 26 日～2021 年 2 月 8 日

*自治体によっては季節によって観測が行われていない期間もある。

利用したデータに関しては、欠測・検出限界未満以外のデータを確認し、イオンバランスが崩れているデータ、マスクロージャーモデルと不整合なレコードを除いた。上記の結果、黄砂日に関しては 15 データが、煙霧日に関しては 106 データが抽出された。

さらに PM2.5 の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であり、かつ黄砂が観測された日の検体は、0 検体であった。一方で、PM2.5 の重量濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上で、かつ煙霧が観測された日の検体は、61 検体であった。

煙霧日における重量濃度の平均は $33.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。それぞれの金属成分・イオン成分の平均、PM2.5 中の含有率は、図 6-2- 1 と図 6-2- 2 のとおりである。金属成分に関しては、Al と Fe が顕著に高く、次いで Zn が高くなっている。イオン成分などに関しては、硫酸イオン (SO_4^{2-}) が他のイオンなど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 (NH_4^+)、有機炭素 (OC) の順に高くなっている。

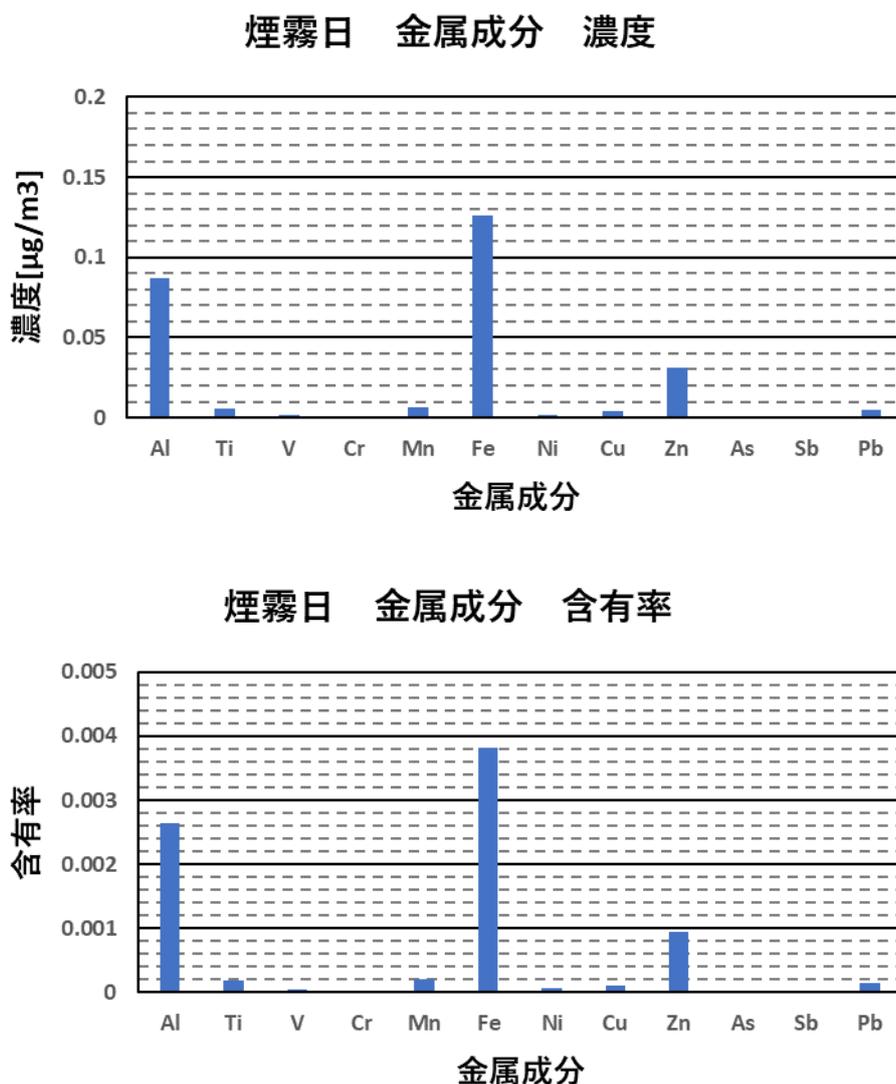


図 6-2- 1 煙霧日における PM2.5 金属成分 (上段 : 濃度、下段 : 含有率)

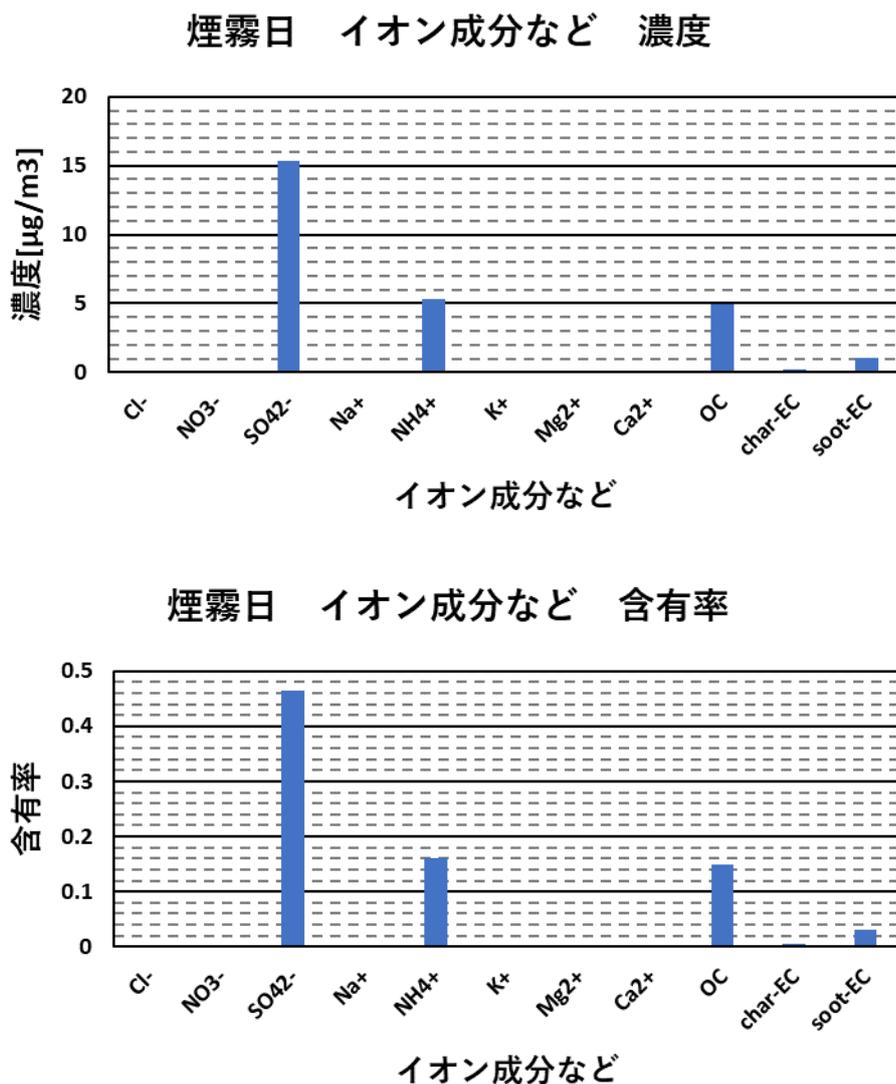


図 6-2-2 煙霧日における PM2.5 イオン成分など (上段：濃度、下段：含有率)

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

PMF 解析を行うために、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を選択した。その結果、黄砂が観測された日としては 2020 年 5 月 13 日と 5 月 15 日に、煙霧が観測された日としては、8 月 3 日から 9 日、2 月 2 日、3 日、7 日、8 日に調査を実施している自治体があった。また、観測地点としては黄砂が観測された県での地点を選定した。また、利用したデータに関しては、欠測・検出限界未満以外のデータを確認し、イオンバランスが崩れているデータ、マスクロージャーモデルと不整合なレコードを除いた。上記の結果、黄砂に関しては 15 データ、煙霧に関しては 106 データが抽出された。PM2.5 の発生源寄与は、PMF (Positive Matrix Factorization) 法により求めた。PMF 法は、リセプターモデルの一種であり、発生源の組成や特徴をもとにしたサンプルから発生源の寄与を定量化するものである。PMF を用いた発生源寄与推定において各因子と各発生源を対応付けるためには指標元素の % of species sum を用いる。この割合が大きいものを選定し、各発生源を特徴づける indicator と呼ばれる重要元素により各発生源を推定する。ここでは indicator として「環境省 PM2.5 成分測定マニュアル無

機元素測定法」 iii ページの表と飯島(2011)の記載を用いた。ソフトは、EPA-PMFv5.0 を使用した。計算の条件は下記の通りである。

PMF の計算の条件

<p>【データ数】</p> <p>黄砂：15、煙霧：106</p> <p>【成分数】</p> <p>以下の全 22 項目</p> <p>イオン成分：Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺</p> <p>無機元素成分：Al、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、As、Sb、Pb</p> <p>炭素成分：OC、EC</p> <p>EC については炭素成分を以下のように整理した。</p> <p>char-EC：EC1-OCpyro</p> <p>soot-EC：EC2+EC3 (EC1<OCpyro の場合は OCpyro-EC1)</p> <p>【因子数】</p> <p>7 因子</p>

(1) 黄砂日における PM_{2.5} の発生源寄与推定

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

Factor1 は Cl、Na⁺が高く、海塩を表す因子と思われる。海塩の Mg²⁺ /Na⁺比は 0.11 とされており、ここでは 0.94 と高めであった。

Factor2 は、Na⁺、Cr の割合が高く、廃棄物焼却を表す因子と思われる。

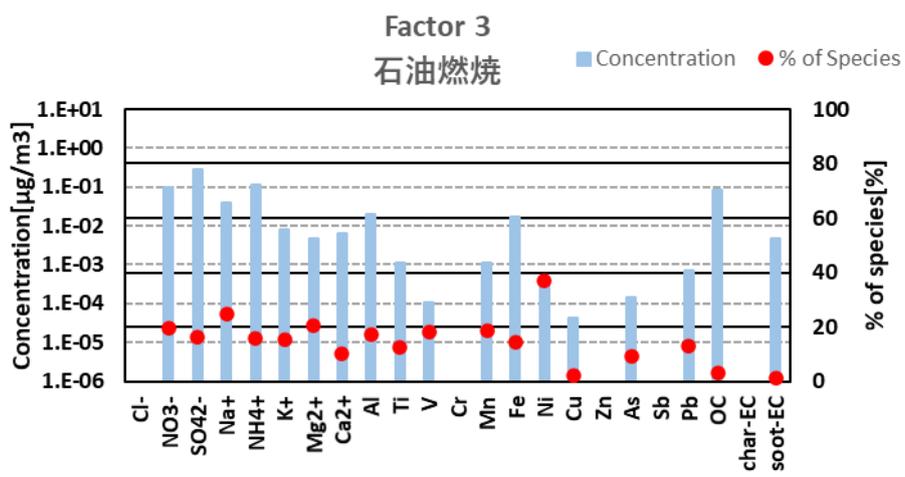
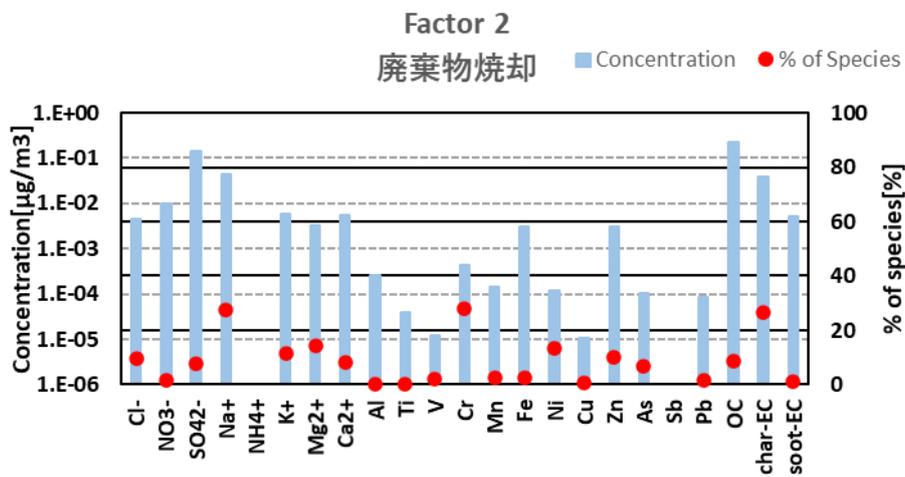
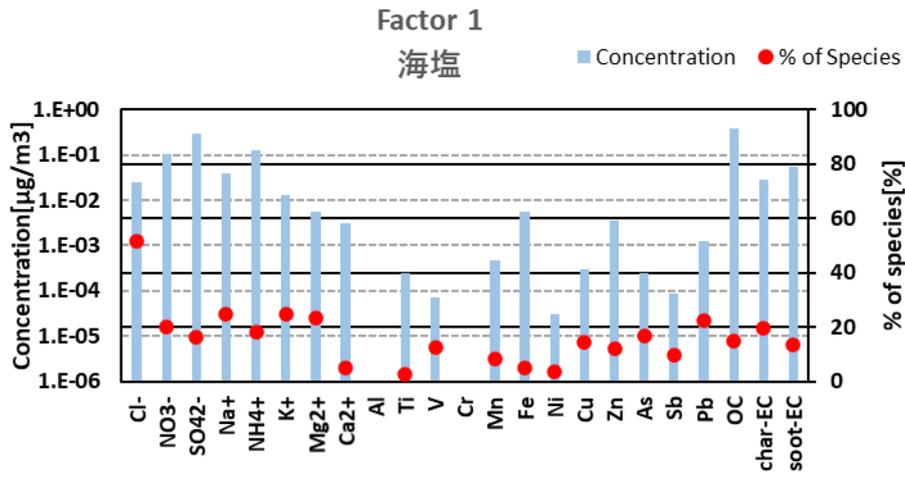
Factor3 は Ni が高く、石油燃焼によるものと想定される。

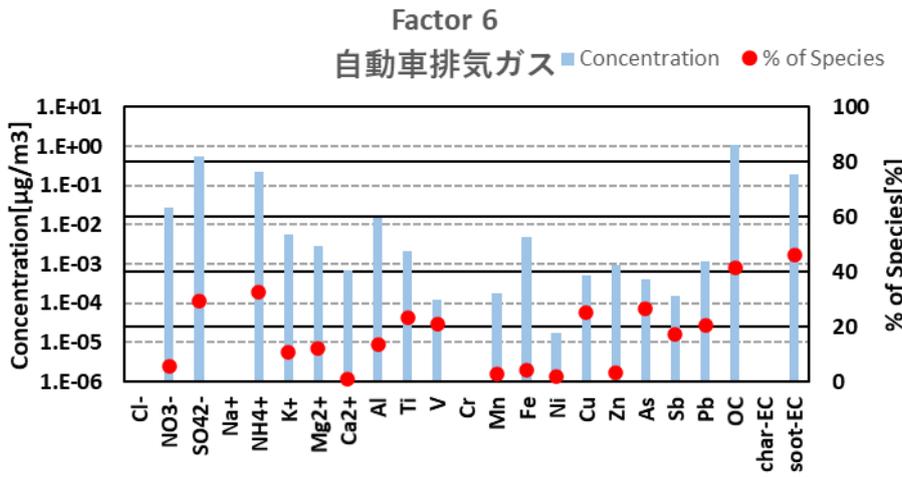
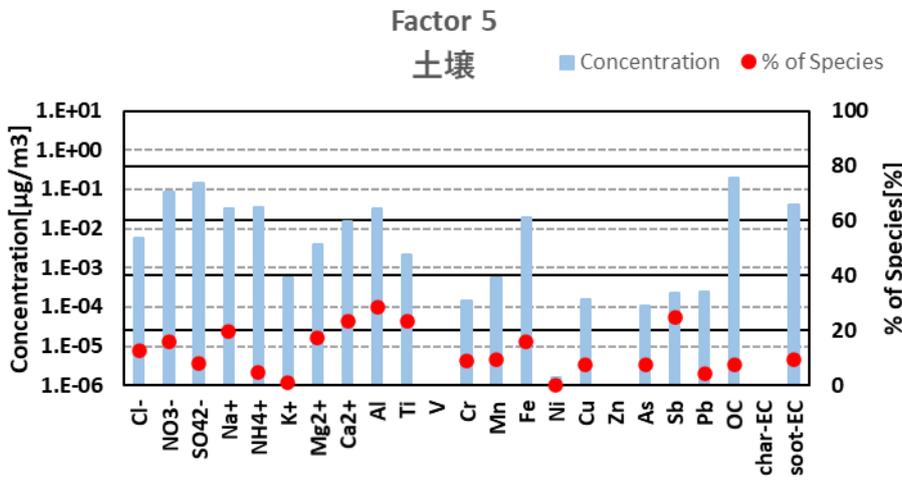
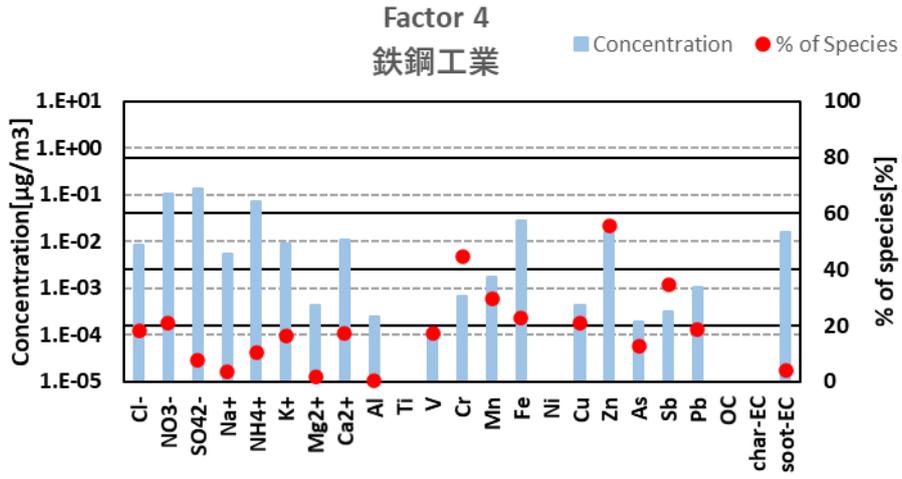
Factor4 は Cr、Mn、Fe、Zn が高く、鉄鋼工業による因子と思われる。

Factor5 は Ca²⁺、Al、Ti、Sb が高く、黄砂に関する土壌を表す因子と思われる。

Factor6 は soot-EC が高く、自動車排気ガスによる因子と思われる。

Factor7 は Ca²⁺、Al、Fe が高く、道路を表す因子と思われる。





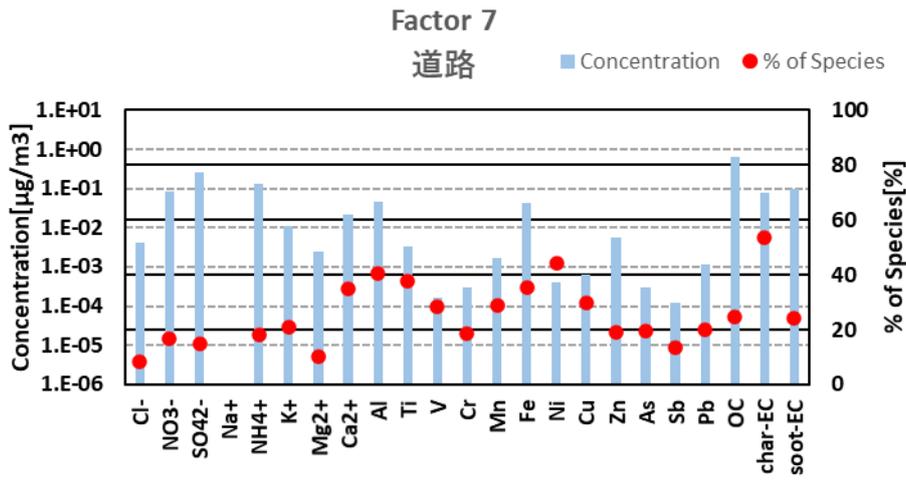


図 6-3-1-1 黄砂日の発生源プロファイル

2020 年度に観測された黄砂の期間と、環境省が実施した成分分析の調査期間が一致した全国の調査結果のデータ 23 データから、不整合なレコードを除いた 15 データを用い、PMF による発生源寄与平均組成を実施した結果は、図 6-3-1-2 に示すとおりである。

平均組成は、因子以外の「その他」を除き、自動車排気ガスの寄与が最も高く 20.69%を示し、次いで道路の寄与が高く 14.22%を示した。黄砂からの寄与に関する土壌は 6.08%となった。

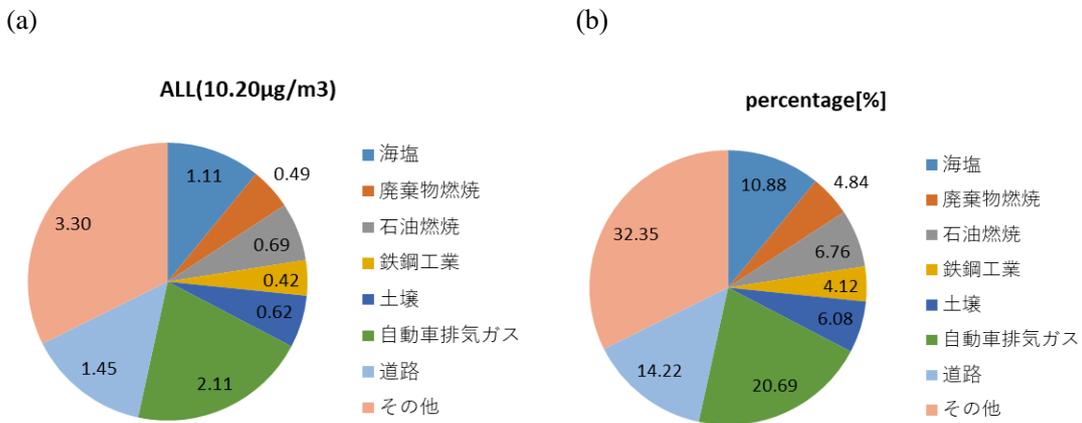


図 6-3-1-2 黄砂日の各寄与濃度の(a)平均濃度、(b)平均濃度の全体に占める割合

(2) 煙霧日における PM2.5 の発生源寄与解析

図 6-3-2-1 に因子数 7 での発生源プロファイルを示す。それぞれの因子については次のように想定した。

Factor1 は Al、Ti、Fe が高く、道路を表す因子と思われる。

Factor2 は、soot-EC の割合が高く、発生源の指標成分で判断するとバイオマス燃焼を表す因子と思われ

るが、 SO_4^{2-} が他の成分と比較しはるかに高い値を示しており、データの抽出期間を考慮すると西之島の噴火による関連性も考えられる。

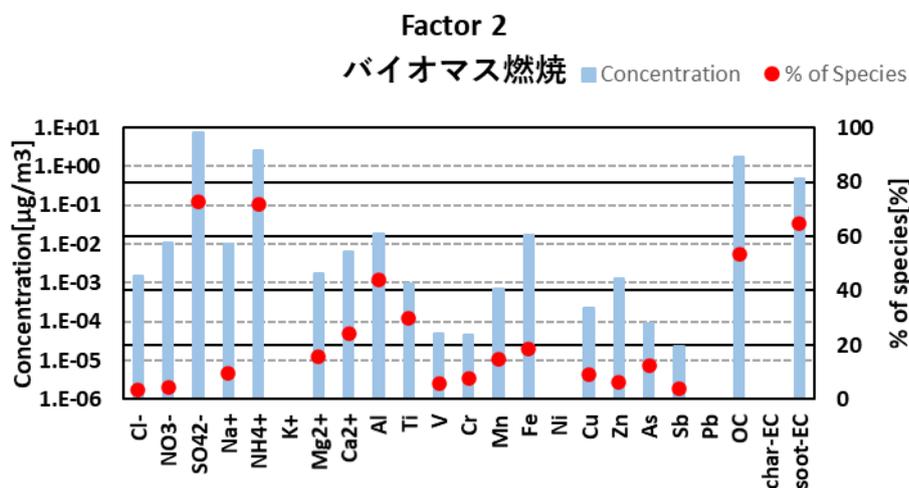
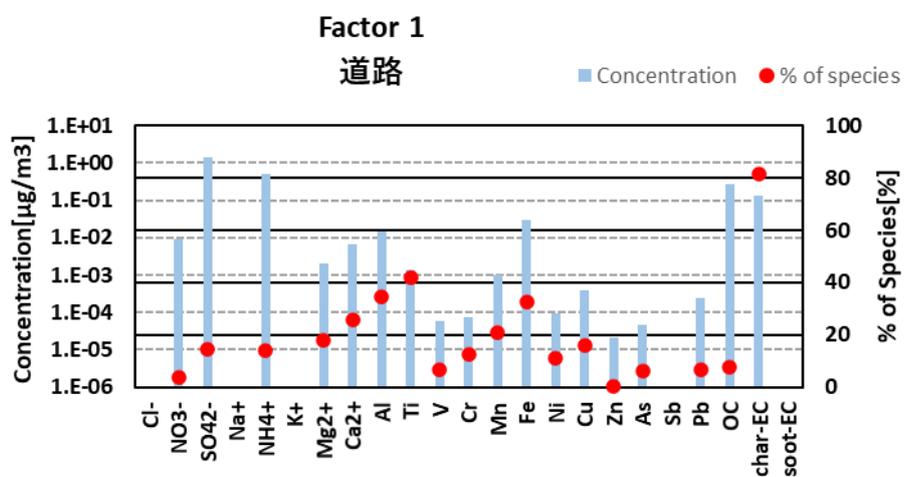
Factor3 は As、Pb が高く、石炭燃焼によるものと想定される。

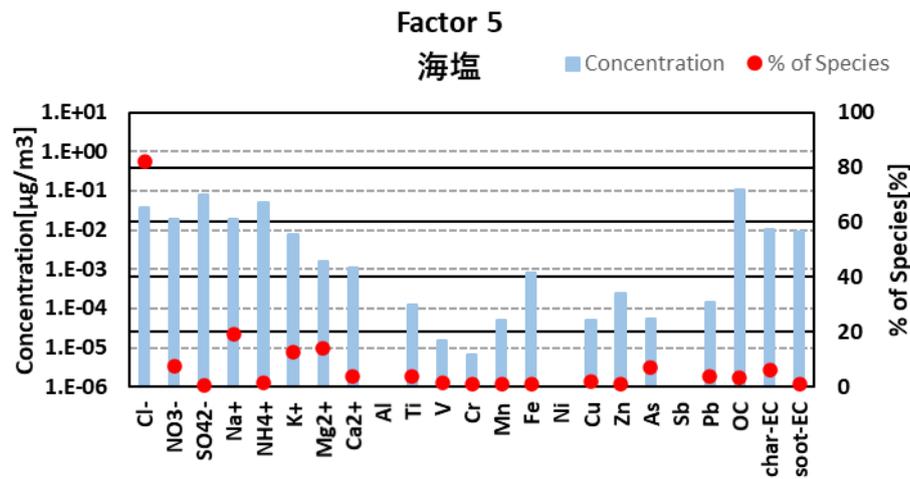
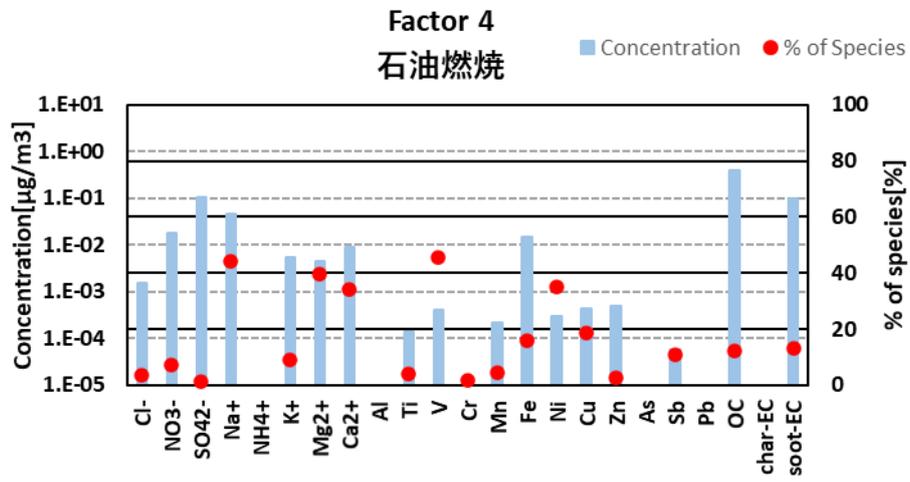
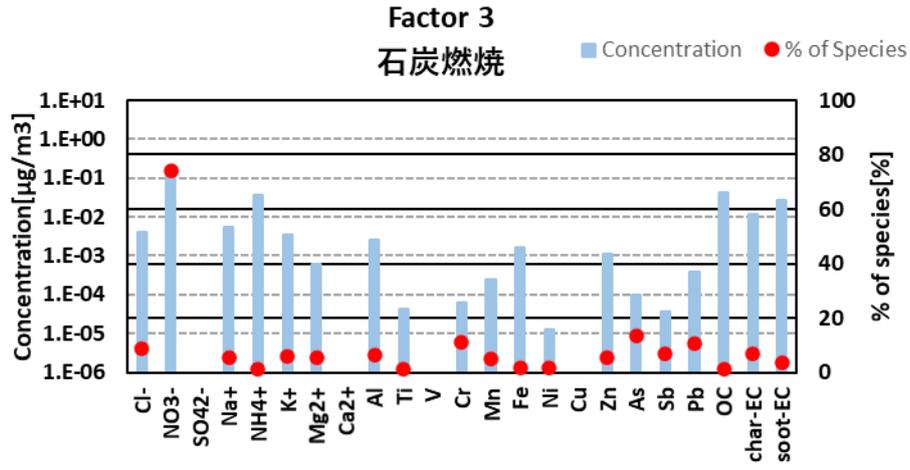
Factor4 は V、Ni が高く、石油燃焼による因子と思われる。

Factor5 は Na^+ 、 Cl^- がが高く、海塩に関する因子かと思われる。海塩の $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比は 0.11 とされており、ここでは 0.076 とここではかなり低い値となった。

Factor6 は K^+ 、As、Sb が高く、廃棄物燃焼による因子と思われる。

Factor7 は Cr、Mn、Cu、Zn が高く、鉄鋼工業を表す因子と思われる。





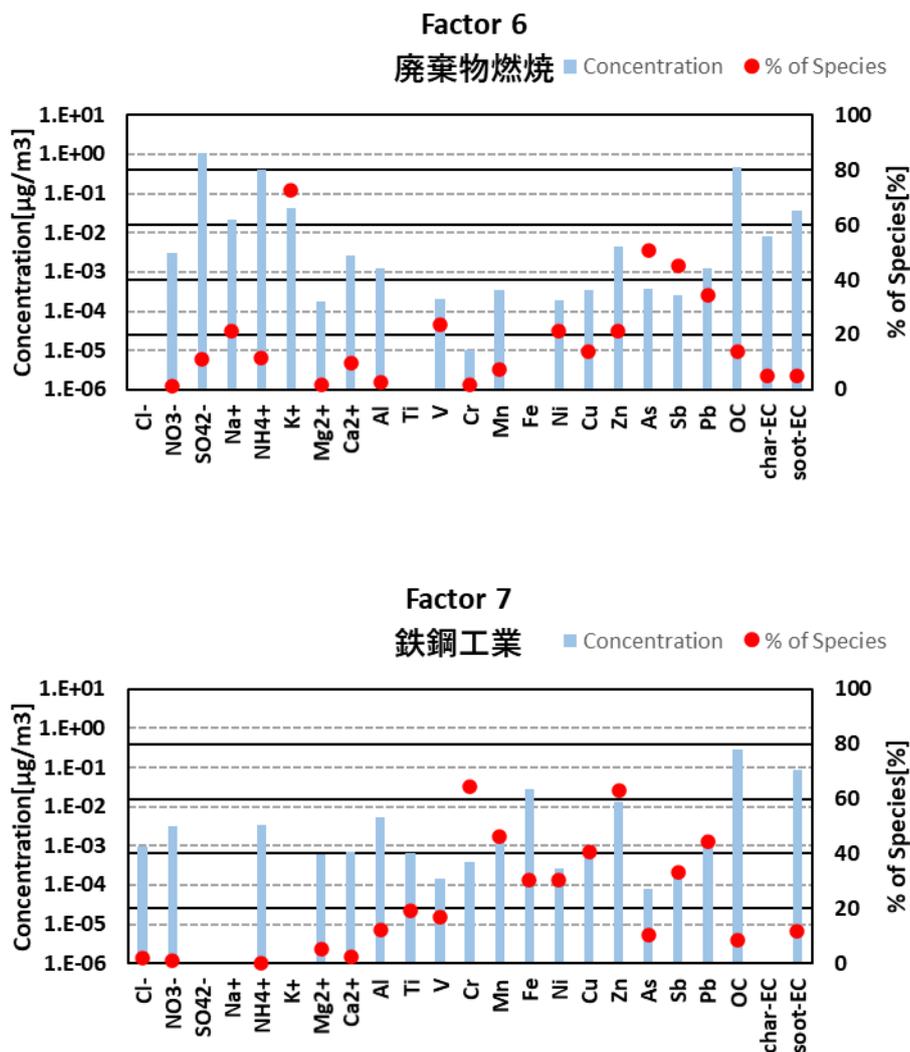


図 6-3-2-1 煙霧日の発生源プロフィール

2020 年度に観測された煙霧の期間と、環境省が実施した成分分析の調査期間が一致した全国の調査結果のデータ 299 データから、不整合なレコードを除いた 106 データを用い、PMF による発生源寄与平均組成を実施した結果は、図 6-3-2-2 に示すとおりである。

平均組成は、バイオマス燃焼の寄与が最も高く 50.46%を示した。これは図 6-3-2-1 において西ノ島噴火の影響と示唆された因子である。このことは煙霧日において、西之島の噴火による影響が PM2.5 濃度に 5 割以上、寄与している可能性を示唆する。その他を除くと次いで高い寄与は道路の寄与が高く 10.05%を示した。

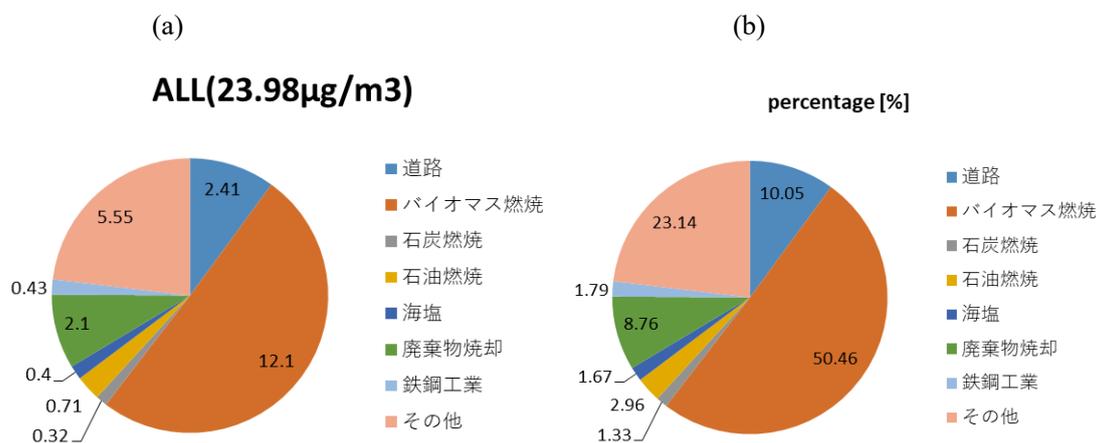


図 6-3-2-2 煙霧日の各寄与濃度の(a)平均濃度、(b)平均濃度の全体に占める割合

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

過年度までの検討においては、ライダー観測結果と常時監視局の SPM 濃度データ等を用いて、黄砂飛来を示す手法の検討が行われてきたが、①薄い黄砂層の探知に加え、ライダー観測の原理上、小雨や霧等が発生している場合には大気中の水滴が障害となり観測が行えないことから、②荒天時の黄砂や③雲の上にあるような上空の黄砂の探知に適用することができない可能性が指摘されている。これら問題点を解消すべく、昨年度の業務では、黄砂観測地点が 11 地点に減少したことにより、観測されなかった黄砂の検出を試みた。2020 年度を対象にライダーデータ、PM_{2.5}/SPM の濃度比、SPM 濃度頻度分布を用いて解析を行った。その結果、複数の検出手法を用いることで黄砂日の検出の可能性が示唆されたが、SPM 濃度が低濃度時の黄砂飛来に関しては検出できない結果となった。

そのため今年度においては、新たに PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度比に注目し、令和 2 年度における黄砂の検出を試みる。PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度比は、昨年度検討において解析した PM_{2.5}/SPM 濃度比と同様、黄砂日に小さくなると考えられることから、黄砂検出の指標となることが期待される。また、PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度比により検出された日を対象にライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の時系列変化を確認し、最大値及び相関係数を調査することにより、ライダーデータ及び SPM 濃度を用いた黄砂検出手法について考察する。加えて、気象観測衛星ひまわり以外の人工衛星を用いた観測手法についても調査し報告する。

7.1 PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度比による弱い黄砂検出手法の検討

上記の通り、今年度においては、PM₁₀ 濃度に対する PM_{2.5} 濃度の比を弱い黄砂の判定基準とし、その抽出を試みる。使用するデータは ACSA-14 のデータである。また比較のため PM_{2.5}/SPM の時系列も示すが、ここで使用するデータは PM_{2.5}、SPM とともに常監視データを用いた。PM₁₀ 濃度は黄砂日には高い値となる傾向にあるが同時に PM_{2.5} も高い値になる可能性もある。そのためここでは PM₁₀ に対する PM_{2.5} の比が 0.2 以下、かつ PM₁₀ 濃度が 80µg/m³ の日時を抽出した。上記条件で抽出された事例数は ACSA-14 の観測地点ごとに異なるが、抽出された事例で比較的長時間続き抽出条件が維持されている事例、同じ観測地点で連続した日で抽出条件を満たす事例となっていることなどを考慮し、弱い黄砂として表 7-1-1 の 2 事例を解析対象とした。

表 7-1-1 0<PM2.5/PM10<0.2、PM10 濃度>80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の条件で抽出され時間的連続性などから弱い黄砂と仮定された事例

事例	期間	抽出条件を満たす観測地	抽出条件を満たす時間帯
1	2020/5/12-5/15	札幌	5/12 18:00-19:00、21:00
		隠岐	5/14 17:00-23:00
2	2021/3/23-3/24	福岡	3/23 10:00-21:00
		隠岐	3/23 22:00-23:00
		福岡	3/24 10:00-13:00
		隠岐	3/24 19:00-22:00

事例 1 に関しては気象庁黄砂観測日の 2020 年 5 月 13 日と 15 日を考慮すると連続黄砂観測日となるためこの期間で 4 日間連続観測された黄砂日と仮定した。図 7-1-1、図 7-1-3 に事例 1、事例 2 それぞれの期間における PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 の時系列を示す。参考に PM2.5/SPM の時系列もそれぞれ、図 7-1-2、図 7-1-4 に示した。PM2.5/PM10 と比較し PM2.5/SPM の比の減少は明確ではないように見える。

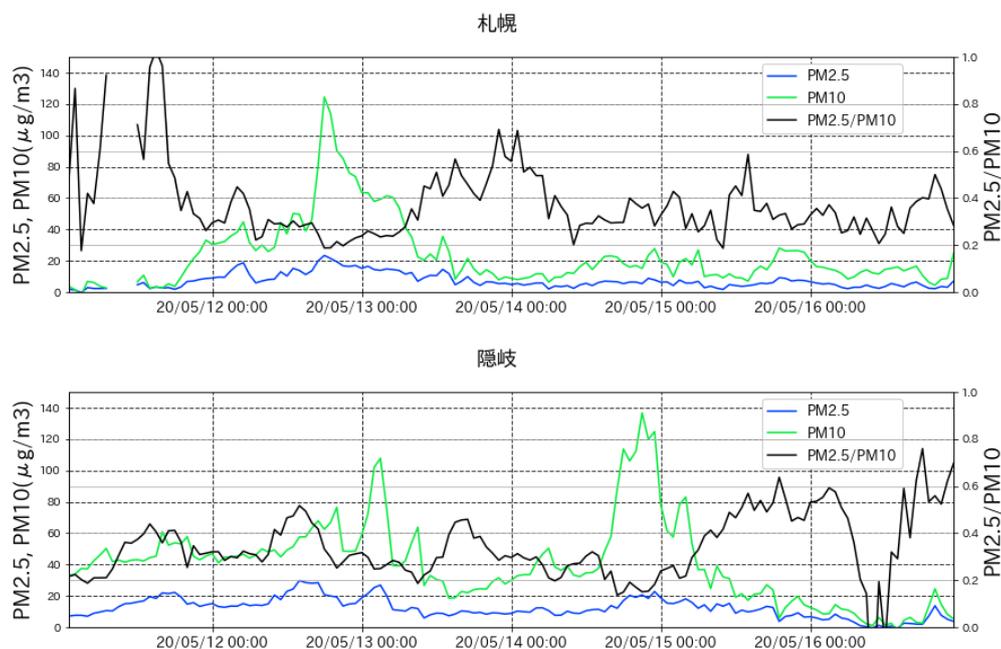
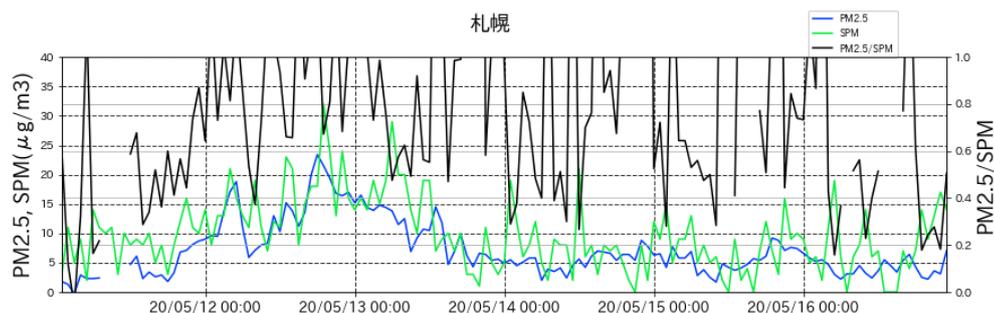


図 7-1-1 事例 1 における各観測地点の PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 時系列



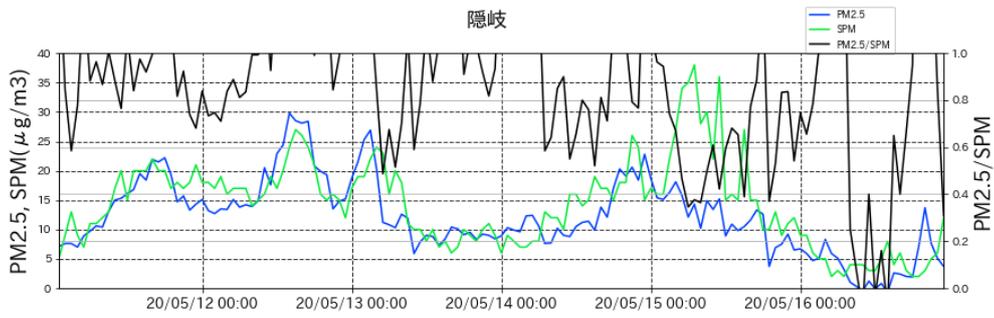


図 7-1-2 事例 1 における各観測地点の PM2.5、SPM、PM2.5/SPM 時系列

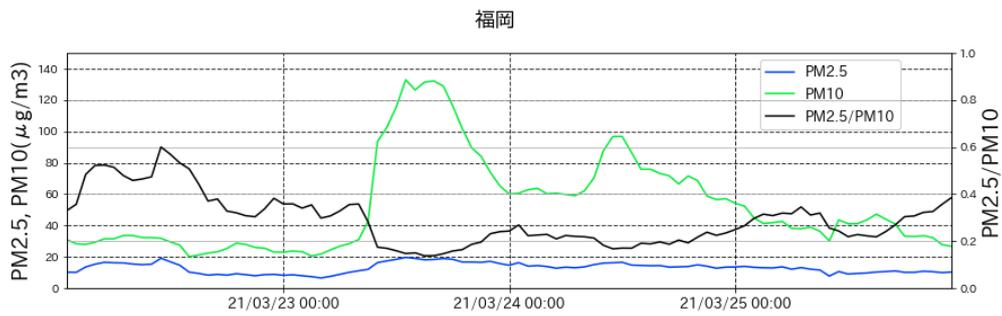
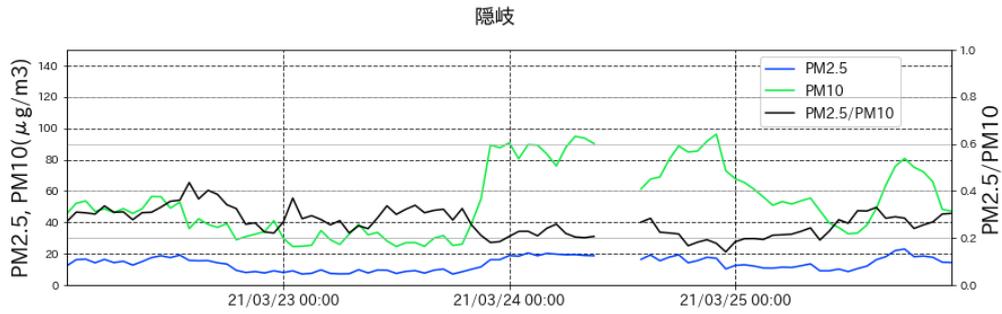
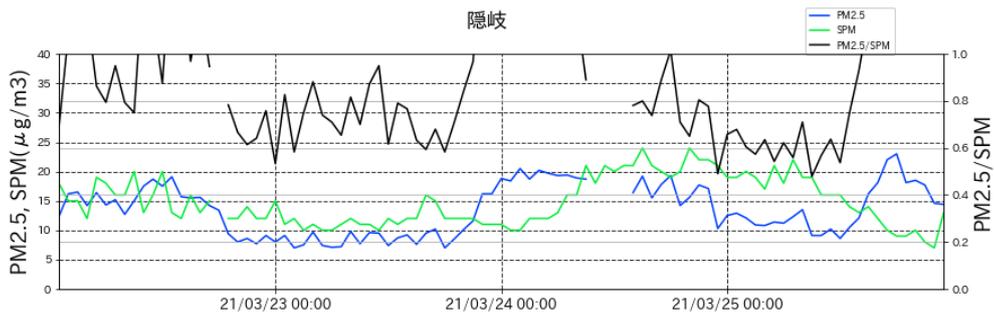


図 7-1-3 事例 2 における各観測地点の PM2.5、PM10、PM2.5/PM10 時系列



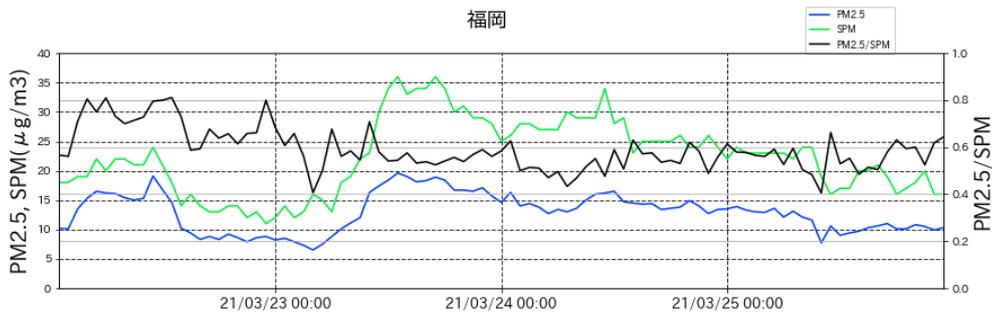


図 7-1-4 事例 2 における各観測地点の PM2.5、SPM、PM2.5/SPM 時系列

以下、表 7-1-1 の 2 事例を弱い黄砂と仮定し、解析を実施する。

7.2 ライダーデータ並びに SPM 濃度の時系列変化

ここでは、前節において表 7-1-1 に示した 2 事例について、それぞれライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度の時系列変化を確認することにより、ライダーデータを用いた黄砂検出手法の検討を行う。なお時系列は、いずれの事例についても表 7-1-1 に示した日の前後 1 日を含め図示した。また、ライダー黄砂消散係数については、150m～270m のデータを平均し、更に 15 分毎の測定値 4 つの中央値を取ることに より、1 時間毎の値として図示した。

まず、表 7-1-1 事例 1 の各地点におけるライダーデータ及び SPM 濃度の時系列変化は、以下の図 7-2-1 及び図 7-2-2 の通りとなった。図 7-2-1 からは、5 月 12 日 18 時頃に、ライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度のいずれも増大している様子が見られる。また図 7-2-2 からは、5 月 14 日午後から 15 日午前にかけて SPM 濃度が増加していることが見て取れる。ただし、この時間帯におけるライダーデータは欠損となっていた。これらの時系列変化は、表 7-1-1 に示されている時間とも整合している。

続いて、表 7-1-1 事例 2 の各地点におけるライダーデータ及び SPM 濃度の時系列変化は、図 7-2-3 及び図 7-2-4 に示す通りとなった。図 7-2-3 からは、SPM 濃度に関しては増減の様子はあまり明瞭ではないものの、ライダーデータに関しては 3 月 23 日 18 時頃に極大となったことが見て取れる。また 図 7-2-4 に示した通り、松江におけるライダーデータは 3 月 24 日 0 時頃から緩やかに増加し、正午頃に極大となったことがわかる。SPM 濃度もほぼ同時に緩やかに極大値をとり、その後も 25 日 6 時頃まで $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の値をとっていた。

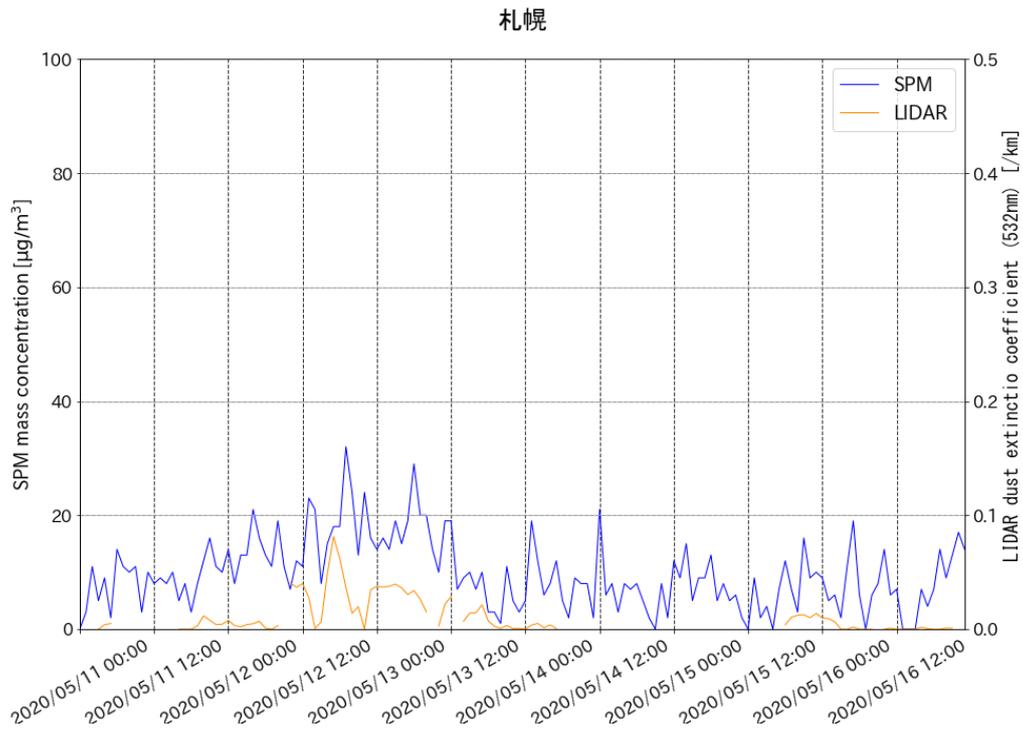


図 7-2-1 ライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度の時系列変化 (札幌)

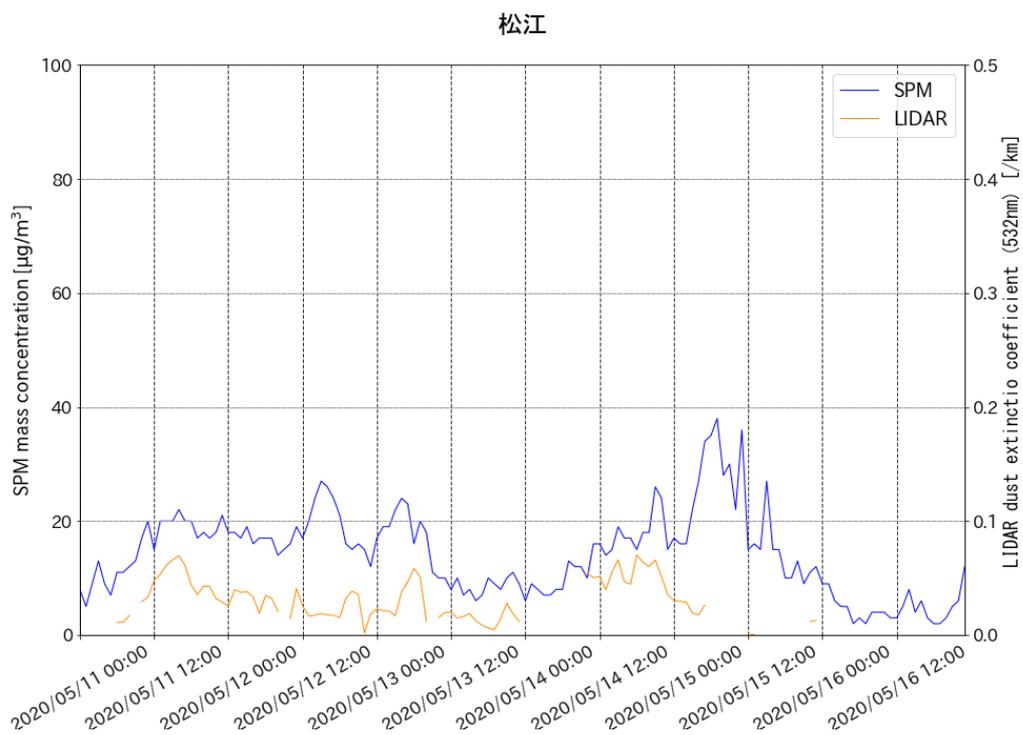


図 7-2-2 ライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度の時系列変化 (松江)

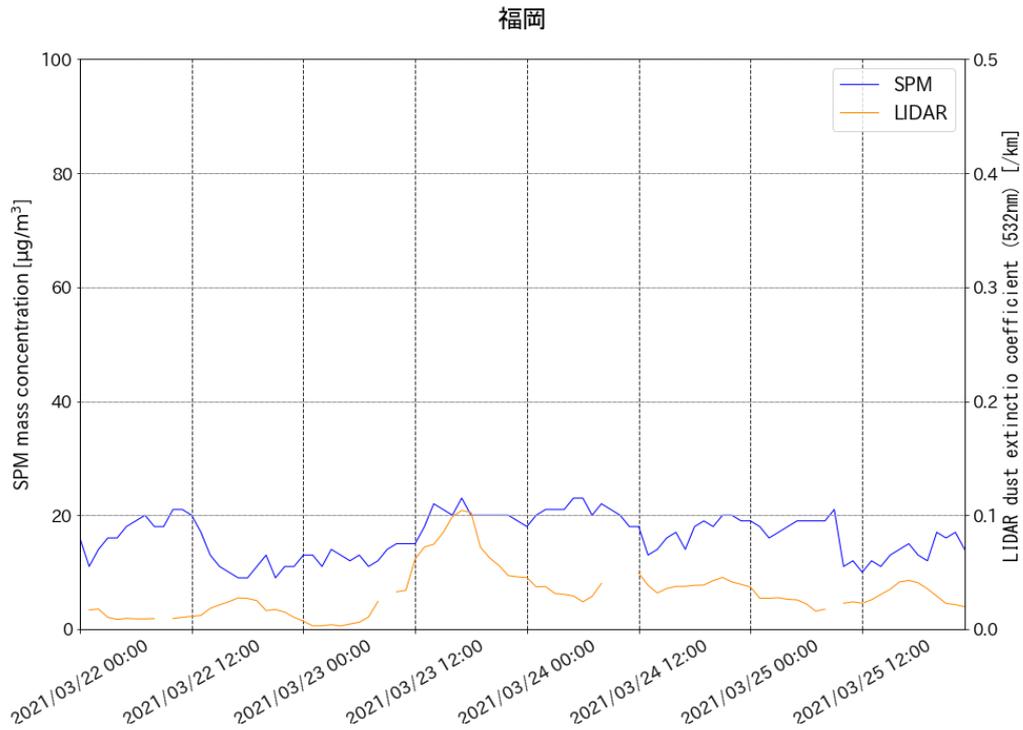


図 7-2-3 ライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度の時系列変化 (福岡)

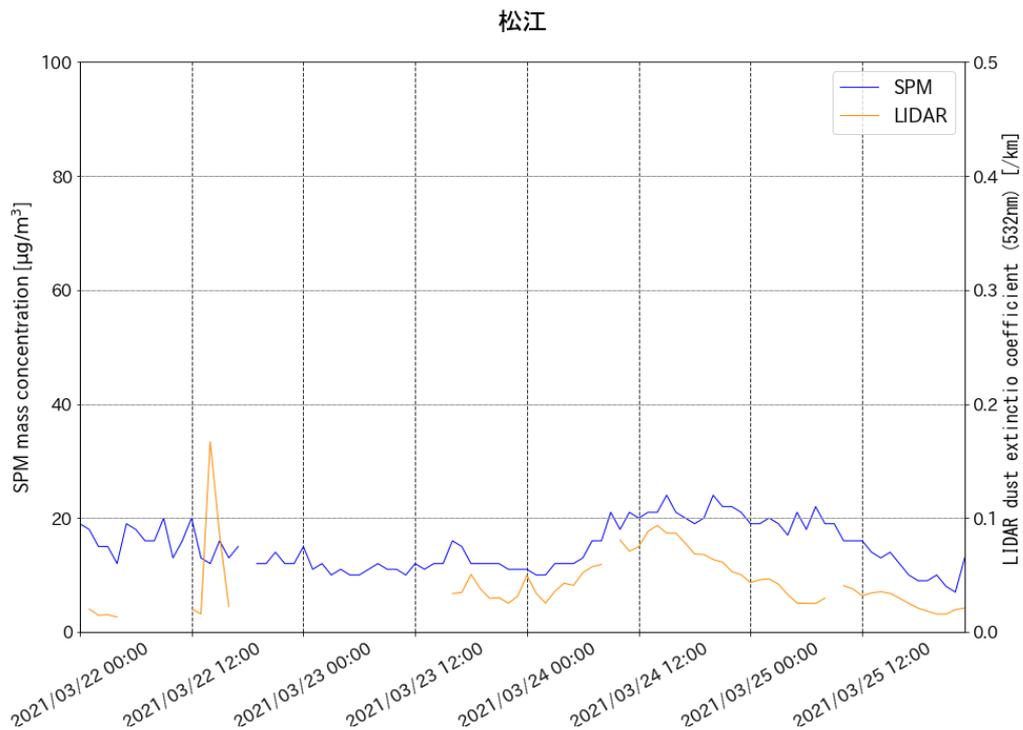


図 7-2-4 ライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度の時系列変化 (松江)

最後に、これらの事例について、ライダー黄砂消散係数と SPM 濃度の最大値・欠損割合及び相関係数を調べたところ、表 7-2-1 の通りとなった。

表 7-2-1 ライダー黄砂消散係数及び SPM 濃度の経時変化の最大値と相関係数

事例		1		2	
測定地点		札幌	松江	福岡	松江
SPM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	最大値	32	38	23	24
	欠損割合	0%	0%	0%	1%
LIDAR [$/\text{km}$]	最大値	0.08	0.07	0.10	0.17
	欠損割合	36%	38%	6%	32%
相関係数		0.47	0.35	0.44	0.43

過年度までに実施した、ライダーデータ及び SPM 濃度を用いた黄砂検出手法の検討においては、以下の①～④の条件に基づいて黄砂の可能性があると考えられる日を抽出していたが、表 7-2-1 の結果をこれらの条件と比較すると、①・④は満たしているものの、②・③は満たしていないことがわかる。今回の事例のように弱い黄砂の検出を目的とした場合について、今後、同様の解析を通じて情報を蓄積することにより、②及び③の条件に代わる定量的な基準の検討が必要となると考えられる。

【過年度における検出条件】

- ① 1 日のデータが 12 時間以上揃っていること
- ② 測定時間が 16 時間以上あるものは、黄砂消散係数と SPM 濃度時間値との相関係数が 0.6 以上、12 から 15 時間のものは相関係数が 0.7 以上であること
- ③ SPM 濃度の日最大値が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であること
- ④ 黄砂消散係数が日最大値 $0.05/\text{km}$ 以上であること

7.3 SPM 頻度分布を用いた黄砂検出手法の検討

的場ら (2005)¹では、SPM 濃度の頻度分布は、黄砂が飛来していないときは正規分布に似た一山型であるが、黄砂飛来時においては、二山型になることを報告しており、この傾向を用いることで黄砂日の特定が可能であると結論づけられている。この手法の利点は、頻度分布の形の確認が主体となるため、目視観測が難しい時間帯の黄砂に有効と考えられる。本作業では、この手法の適用可能性について検討を行った。

(1) 使用したデータ

的場ら (2005) では、SPM 濃度を β 線吸収法で測定していること、低濃度時の測定値のばらつきが少ないこと、黄砂がよく飛来する西日本の日本海側を広くカバーすることの点から、京都府宮津市、兵庫県豊岡市、岡山県倉敷市、津山市、山口県山口市、福岡県小郡市、大牟田市を対象地点としている。本作業でも同様の地点を対象とし、2020 年度に測定された SPM の 1 時間値データを使用した。

(2) 閾値の設定

¹ 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 巻 3 号 (2005)

これまでの研究では、SPM 濃度の環境基準値である $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を閾値とし、それを超えたときの黄砂現象の評価が行われてきたが、的場ら (2005) では、黄砂現象を判定するための閾値を一律で設定するのは適切ではないとし、閾値の設定方法を検討している。図 7-3-1 に 1999 年 1 月から 5 月に宮津市で測定された SPM 濃度の頻度分布を示した。図 7-3-1 より、頻度分布は、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を中心とする正規分布と、 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の分布が重なった二峰性の分布を示している。このような二峰性の分布は、 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度分布が通常的环境条件下の分布であり、その高濃度側に通常とは異なる環境条件下の高 SPM 濃度の分布が表れているとの的場ら (2005) では解釈しており、第一近似として二峰性分布の谷間の値を、黄砂を検出する閾値と設定している。本作業も同様の手法を用いて閾値を設定し、2020 年度の各地点の SPM 頻度分布図を図 7-3-2 に、設定した閾値を表 7-3-1 にまとめた。なお、SPM 濃度の頻度分布に二峰性を示さなかった年のデータは解析対象から除外している。

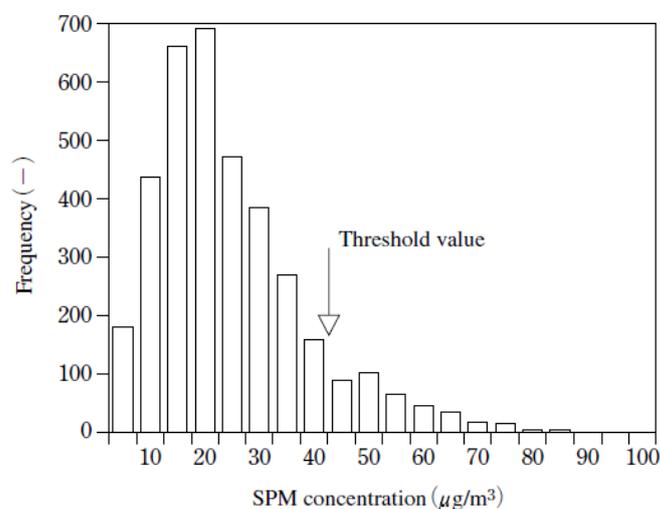


図 7-3-1 1999 年 1 月～5 月における宮津市で観測された SPM 濃度 (的場ら (2005))

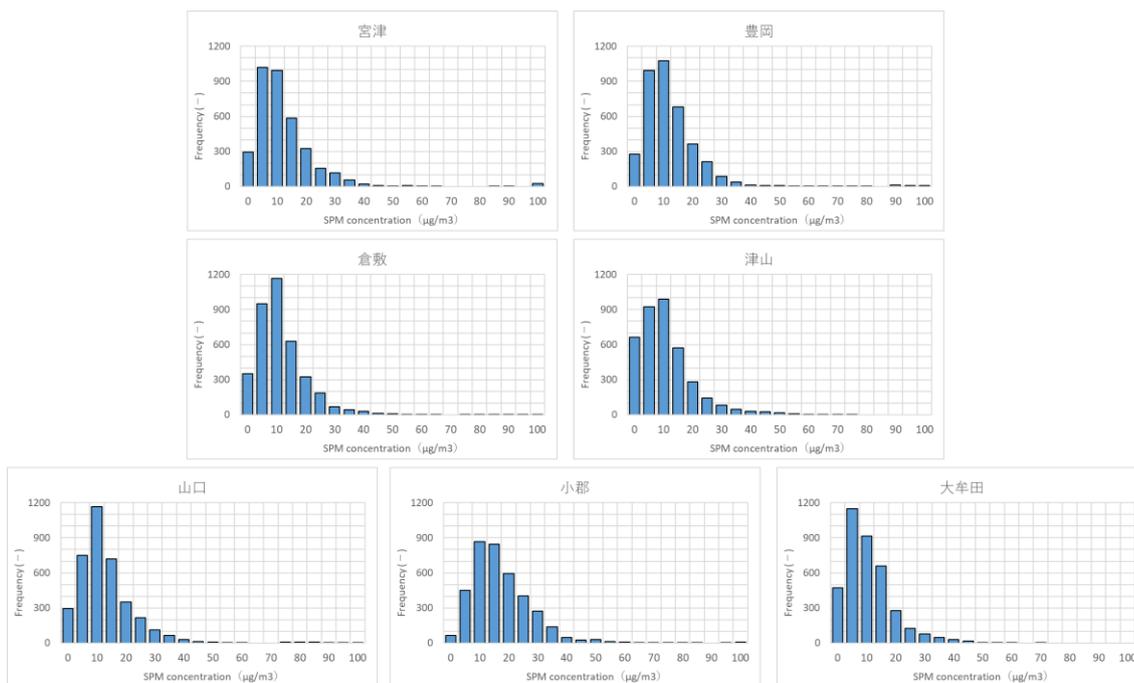


図 7-3-2 2020 年 1 月～5 月に観測された SPM 濃度

表 7-3-1 2020 年度における SPM 濃度の閾値

観測地点	2020 年度閾値
宮津	55
豊岡	80
倉敷	80
津山	65
山口	75
小郡	80
大牟田	70

(3) 局所イベントの除去

(2)の条件で抽出された SPM 高濃度を示した日時は、黄砂が飛来した時だけではなく、様々な局所的、広域的な気象要因、気象イベントによって引き起こされた場合も含まれているため、黄砂以外の要因で SPM 濃度が増加した日時を除去する必要がある。黄砂飛来時には、県域を超える広域範囲で SPM 濃度の上昇が観測されているため、SPM 濃度の上昇が広域で観測されなかった場合は局所的なイベントである可能性が高いと、的場ら (2005) では述べている。局所的な要因によって SPM 濃度が上昇した場合を除く条件として、7カ所の測定局を①宮津・豊岡、②津山・倉敷、③山口・小郡・大牟田の3ブロックに分け、あるブロック内で抽出された高濃度 SPM が他のブロックで前後数時間以内に抽出されない場合は、その日時を局所イベントと判断し除外した。

(4) 抽出結果の検討

(1)～(3)の手法により抽出された SPM 黄砂日を表 7-3-2 にまとめた。的場ら (2005) の手法により抽

出された SPM 黄砂日は計 8 日間あり、8 月 4 日から 8 月 9 日は煙霧が、3 月 29 日、3 月 30 日は気象庁の黄砂観測でも黄砂が観測されていた。一方、2.1 の PM_{2.5}/PM₁₀ で抽出された 5 月 12 日から 15 日及び 3 月 23 日から 24 日については、この手法では抽出できない結果となった。

表 7-3-2 2020 年度における的場ら (2005) の手法で抽出された SPM 黄砂日

年	月日
2020 年	5 月 30 日
	8 月 4 日
	8 月 5 日
	8 月 6 日
	8 月 7 日
	8 月 8 日
2021 年	3 月 29 日
	3 月 30 日

次に SPM 黄砂日として抽出されたが、気象庁で黄砂を観測していない 2020 年 5 月 30 日を対象に更なる解析を行った。Iwamoto ら (1993) では、SPM 濃度の日平均が環境基準を超えた日の気圧配置を、黄砂型、移動性高気圧型、夏型に分類している。図 7-3-3 に 2020 年 5 月 30 日における気圧配置を示したが、中国黄土地帯に低気圧が見られたものの、前線が確認できなかったため、黄砂型の気圧配置ではないと考えられる。

5 月 30 日は倉敷と小郡の西日本において、SPM 濃度が高くなっており、黄砂日として検出された。九州では例年 5 月下旬から 6 月中旬にかけて収穫後の「麦わら焼き (野焼き)」が行われていたため、この影響により、SPM 濃度が高くなった可能性が考えられる。

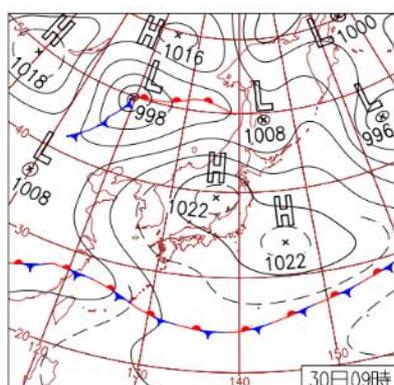


図 7-3-3 2020 年 5 月 30 日における気圧配置

7.4 人工衛星を用いた黄砂検出手法の検討

本節では、黄砂飛来状況の評価・包括的解析手法として、人工衛星を用いた黄砂検出手法の可能性について検討結果を報告する。その目的としては、前節までに検討した黄砂検出手法の弱点、即ちライダー

一観測が荒天時に欠測となってしまうこと、及び大規模黄砂が減少している昨今において SPM 濃度が低下傾向にあることの二点を補うため、黄砂飛来状況をより直接的に把握できる観測手法が期待されていることによる。

過年度までの業務において、気象衛星ひまわり 8 号による観測結果が検討され、Dust RGB 画像処理を施すことにより、黄砂が識別できることが報告されていた。一方で、日本海周辺で雲が発生しやすいこと、国内においてライダー観測が不可能な荒天時にも観測可能であることを考慮すると、観測範囲は日本周辺ではなく、黄砂発生源域の方が望ましいと考えられる。以上の経緯から、本年度は、韓国・中国における人工衛星観測を対象に調査を行い、中国により打ち上げられた静止衛星「風雲」(Fēngyún、略称 FY) が有用であるとの結論が得られた。

風雲 4 号は、2033 年までに全 5 機の打ち上げが予定されている静止衛星であり、1 機目の FY4-A が 2016 年 12 月に、2 機目の FY4-B が 2021 年 6 月に打ち上げられ、現在 2 機とも稼働している。Advanced Geostationary Radiation Imager(略称: AGRI)と呼ばれる、可視光から赤外線までをカバーする 15 チャンネルの撮像素子が搭載されており、0.5km~4k 解像度による中国国内、及び全球についての観測データが提供されている。特に黄砂に関連するデータとして、砂塵嵐発生状況が Dust Storm Detection というデータとして公開されていることから、上記の目的に適う黄砂検出手法として期待される。

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

本事例においては、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(表 7-5-1-1)。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る。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると(図 7-5-1-1)、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。また、弱い黄砂と思われる 5 月 14 日の前日、黄砂日であった 5 月 15 日の前々日の 5 月 13 日にはモンゴルで Slight Duststorm が発生していた。その後、5 月 14 日から 15 日にはモンゴル国内の広い範囲で Dust や Duststorm が見られた。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、5 月 13 日、14 日から遡る流跡線が砂塵嵐発生域の近くを通っていることがわかり、大陸からの移流があったことが示唆される(図 7-5-1-2)。

図 7-5-1-3 は粗大粒子成分、微小粒子成分の SO_4^{2-} と NO_3^- の時間変化を示すが、札幌においては弱い黄砂と仮定された時間帯である 5 月 12 日 19:00 頃から粗大粒子の濃度が増加し、黄砂日である 13 日の午後にかけて大きな値となっている。この傾向は新潟巻や大阪、福岡など他の地点でも見られる。また 5 月 14 日の隠岐のデータには弱い黄砂と仮定された時間帯で粗大粒子の NO_3^- 濃度にピークが見られる。この期間、札幌以外での他の観測地でも同様の傾向が見られる。図 7-5-1-4 に湿度と PM10 の時間変化を示す。札幌においては 5 月 12 日の明け方ころから湿度が急激に下がり乾燥した空気塊が入ってきたことを示唆する。その後、時間が遅れて PM10 の急激な上昇が見られた。これと同様な傾向は 5 月 14 日の隠岐でも見られる。

図 7-5-1-5 に新潟巻における各金属元素の時間変化を示す。自然起源、人為起源の元素全てで 5 月 11 日深夜から 13 日夜間にかけて他の期間と比較し濃度が高くなっている。図 7-5-1-6 は福岡における同様の図であるが、事例 1 の期間全体的に Ti、Fe、Si、Ca、Zn、Pb で高い値となっている。

以上と黄砂事例の結果を踏まえると、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。

表 7-5-1-1 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 以下となった観測地と時間帯

事例	期間	抽出条件を満たす観測地	抽出条件を満たす時間帯
1	2020/5/12-5/15	札幌	5/12 18:00-19:00、21:00
		隠岐	5/14 17:00-23:00

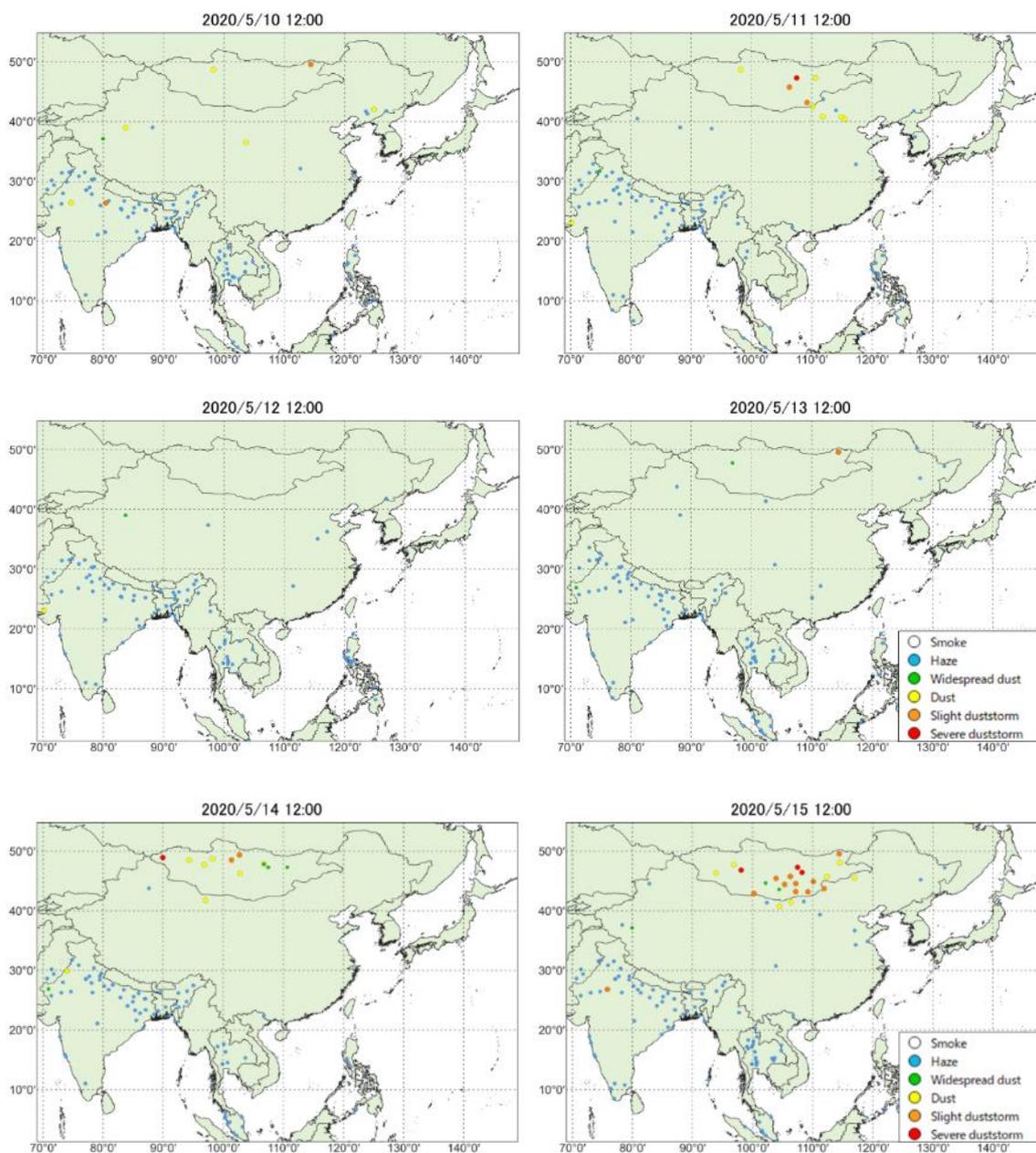


図 7-5-1-1 砂塵嵐発生状況

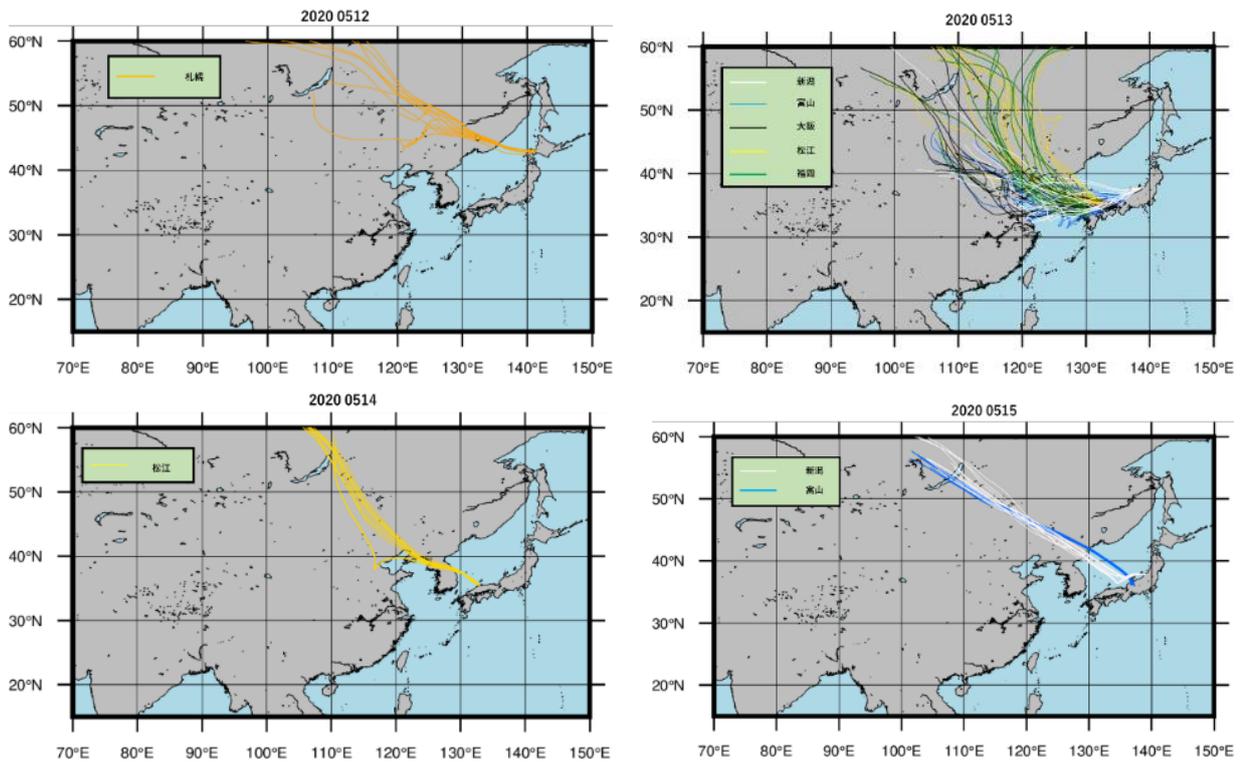
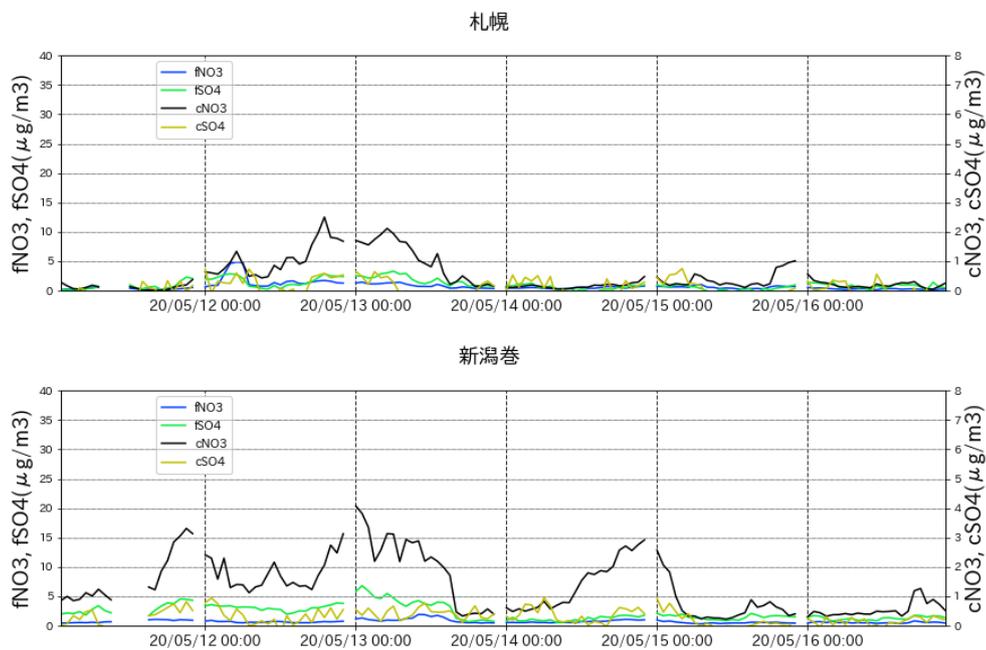


図 7-5-1-2 後方流跡線 (72 時間前より)。各地点、各黄砂観測日の 0:00 から 12:00 までの 1 時間ごと 13 時間分の、起点からさかのぼるデータを作図に利用した。これにより、ある黄砂観測日のある地点からは、13 の後方流跡線が作図される。出発高度は、SPM 濃度との関連を評価するため地表面に近い 1500m とした。



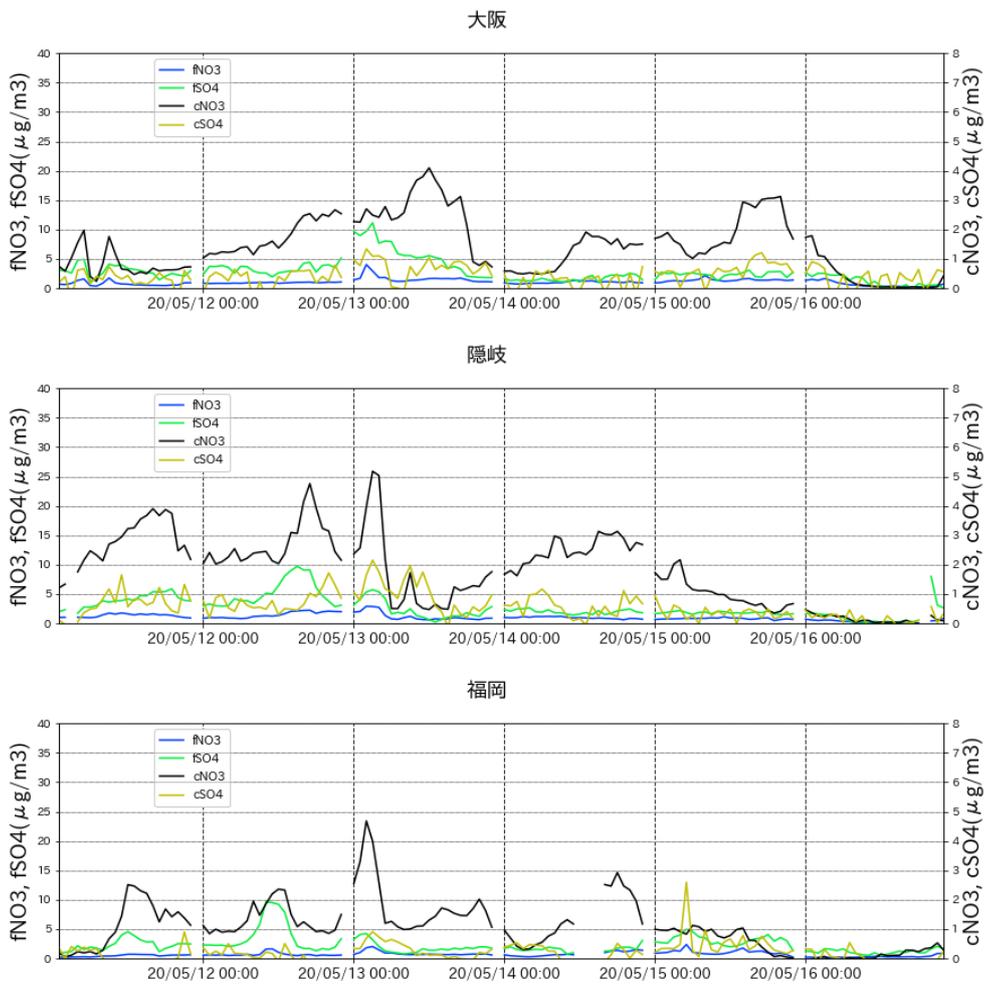
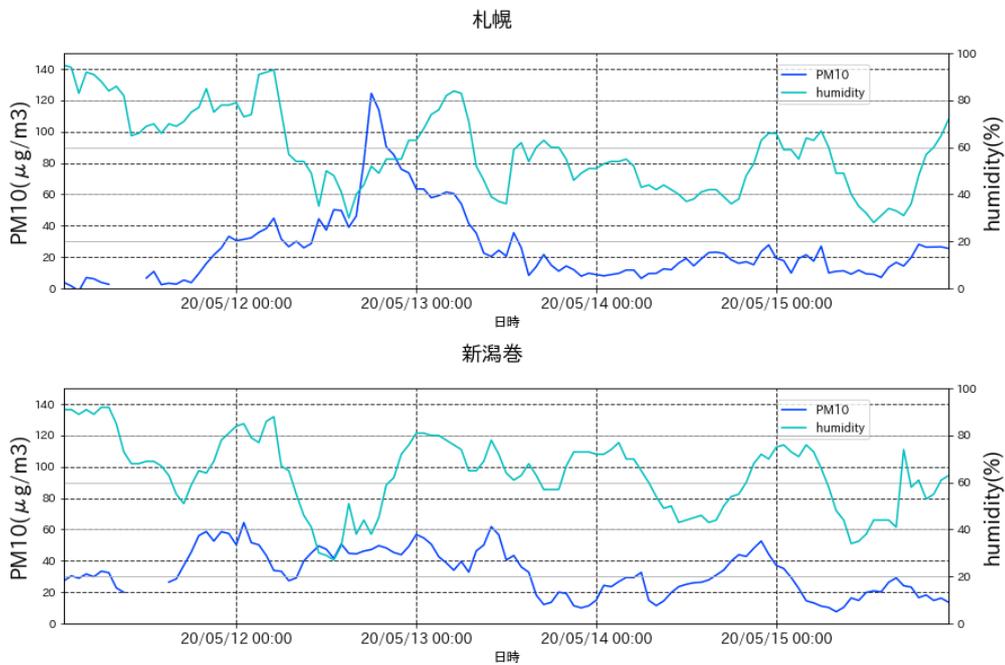


図 7-5-1-3 粗大粒子成分、微小粒子成分の SO_4^{2-} と NO_3^-



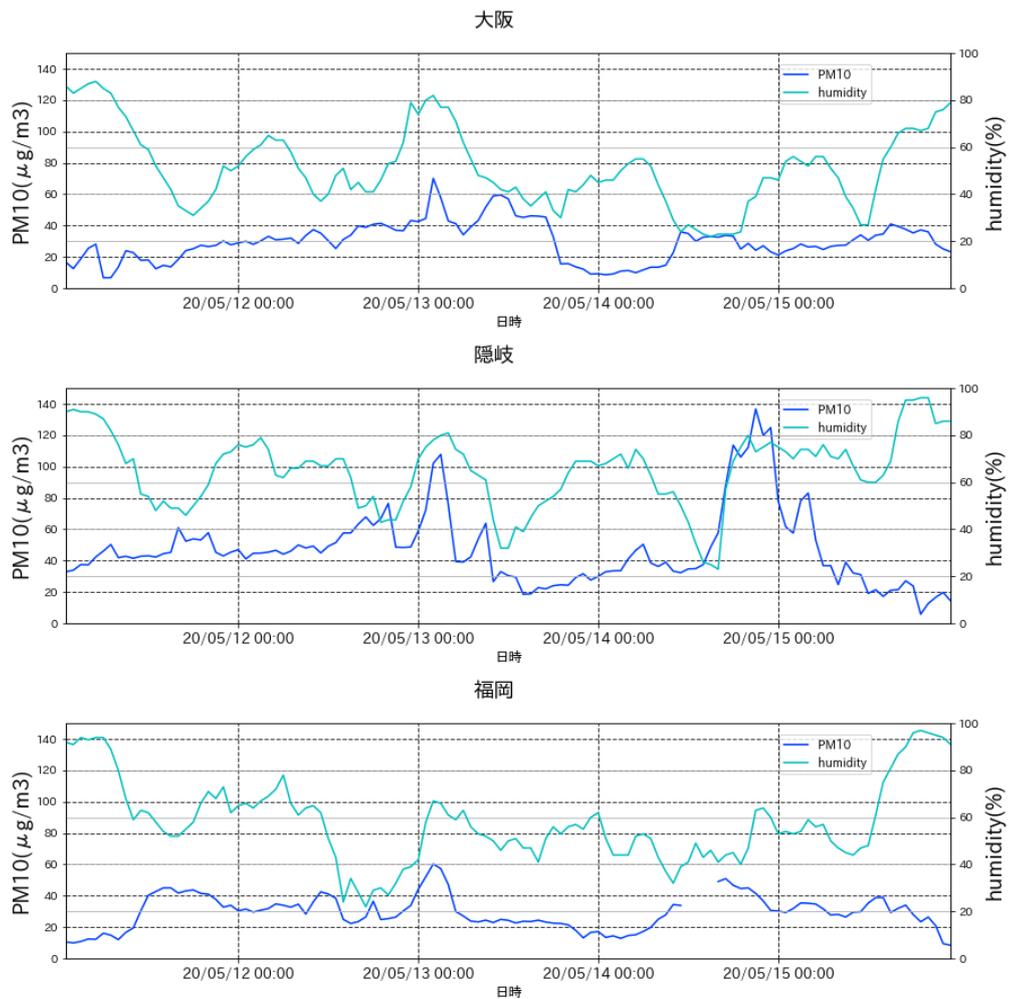
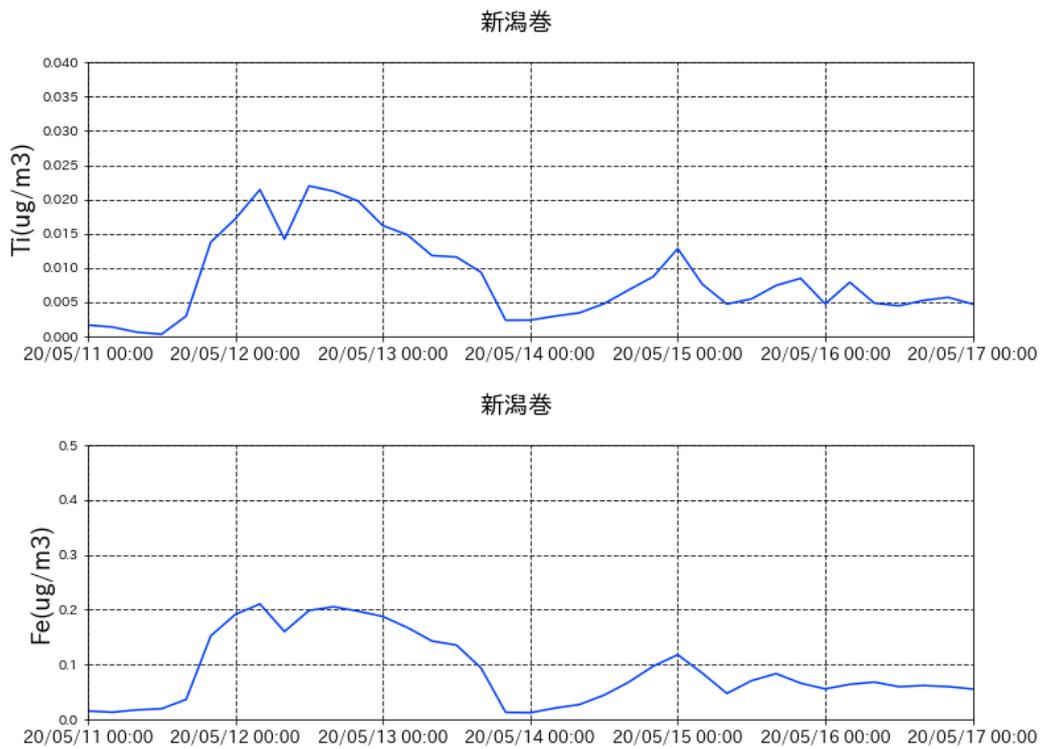
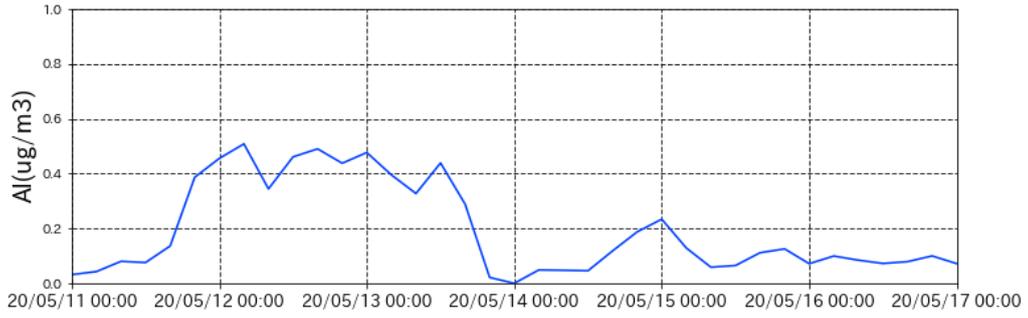


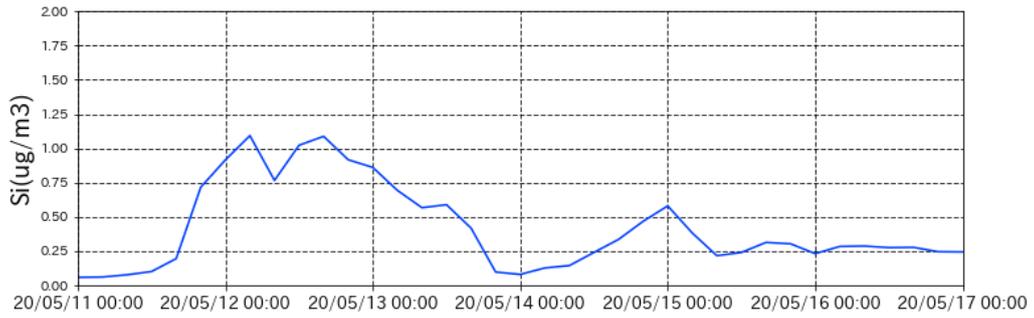
図 7-5-1-4 湿度と PM10 の時間変化。



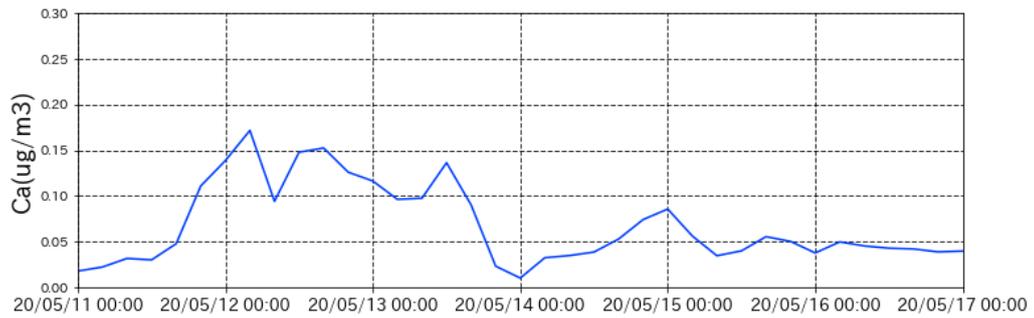
新潟巻



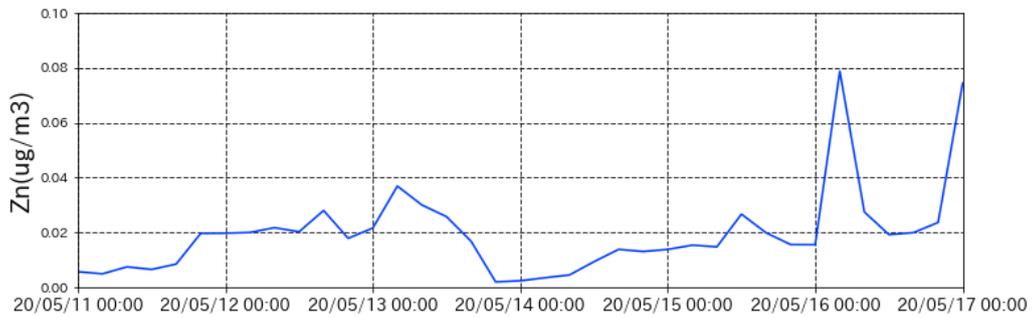
新潟巻



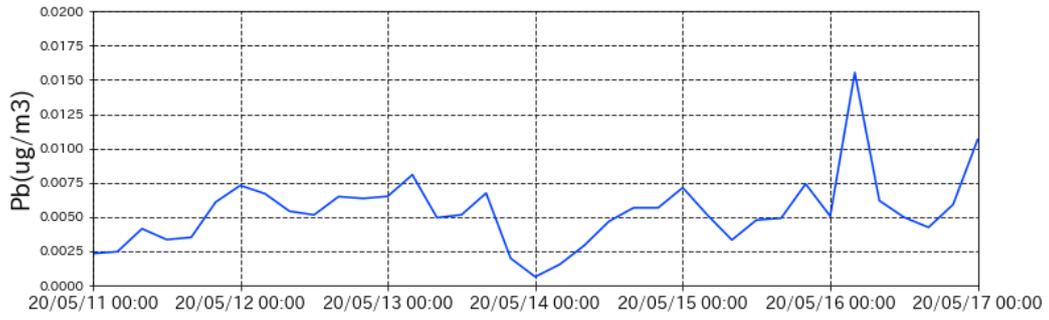
新潟巻



新潟巻



新潟巻



新潟巻

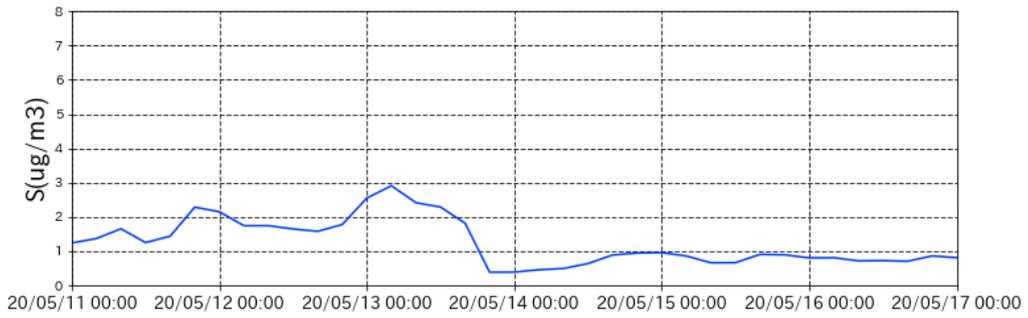
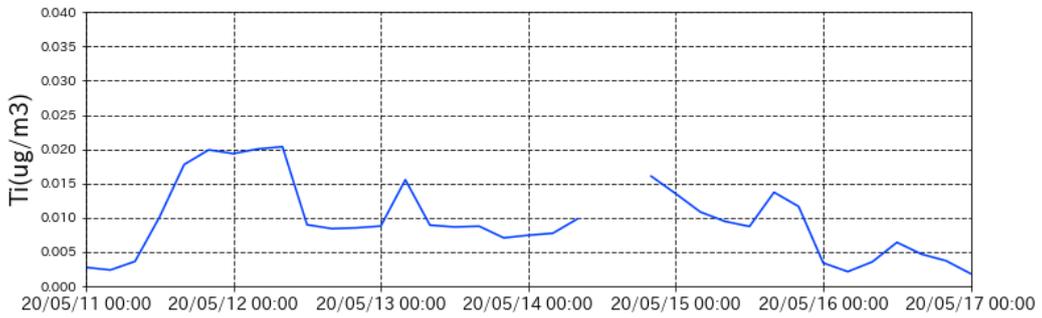
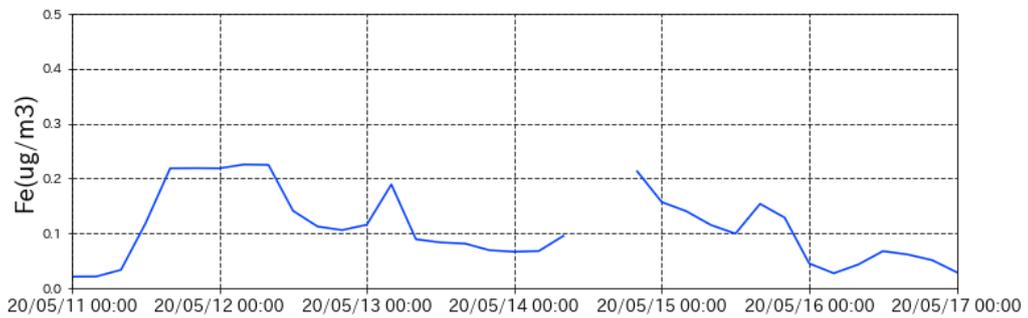


図 7-5-1- 5PX-375 による新潟巻における各金属成分元素

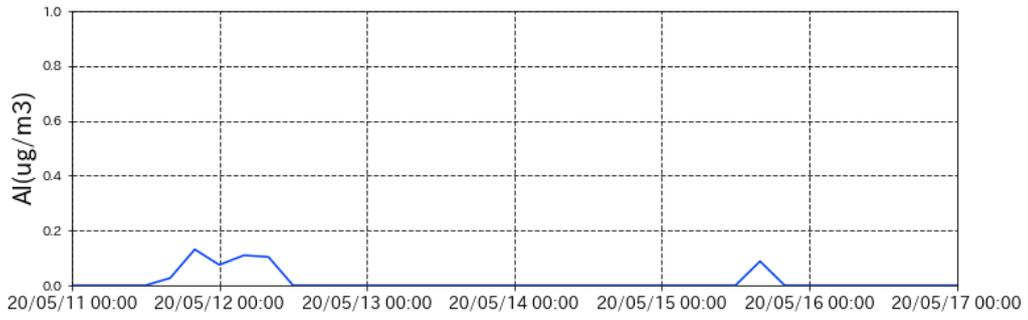
福岡



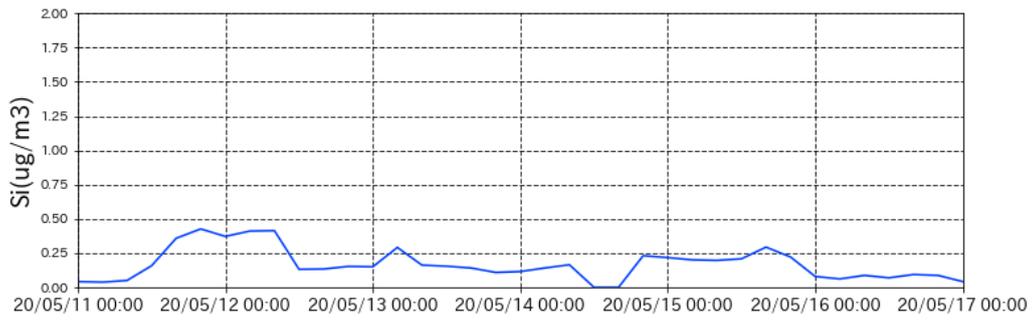
福岡



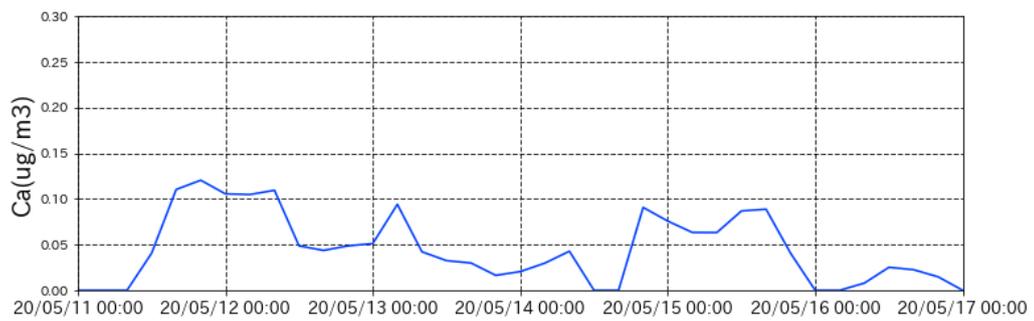
福岡



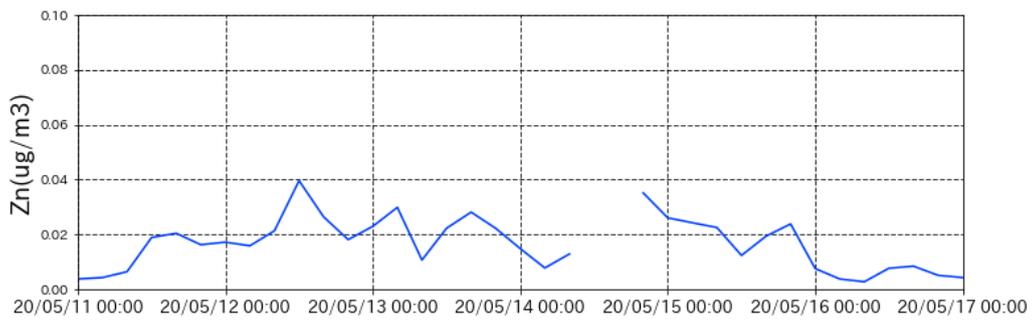
福岡



福岡



福岡



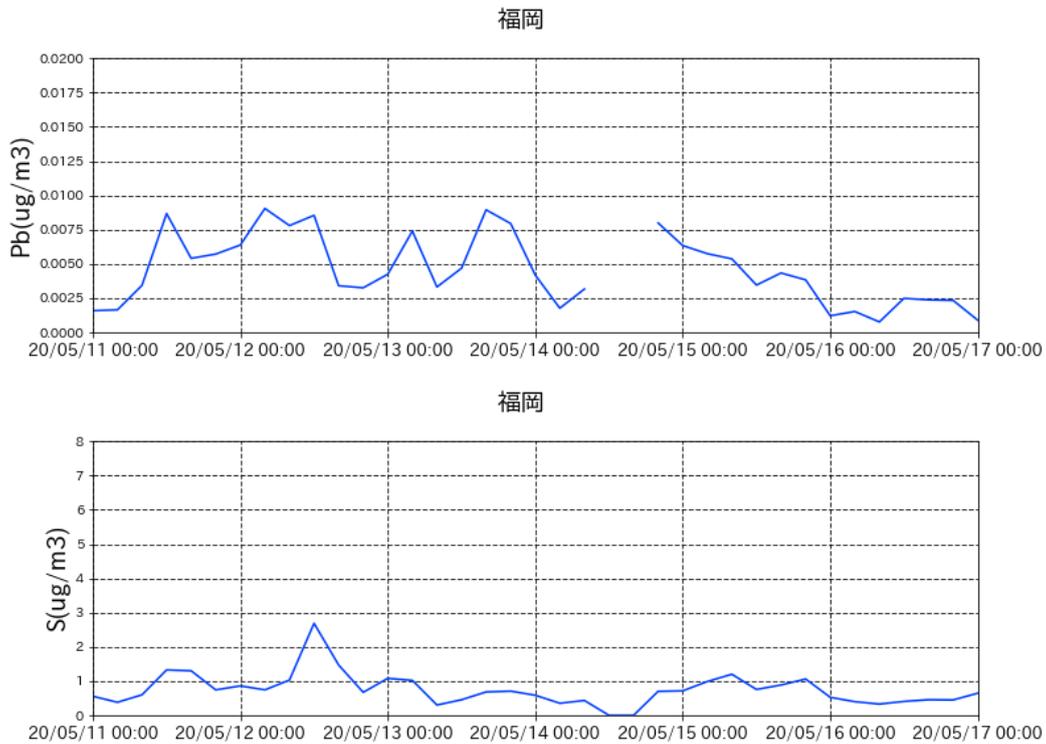


図 7-5-1-6 PX-375 による福岡における各金属成分元素

(2) 弱い黄砂事例 2 : 2021 年 3 月 23 日～3 月 24 日

本事例においては、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 (表 7-5-2-1)。

日本で黄砂が観測される前の大陸の状況を見ると (図 7-5-2-1)、黄砂観測前の 3 月 21 日、22 日にモンゴルの数地点で Dust や Slight 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、流跡線は砂塵嵐発生域の近くを通過していないように見える (図 7-5-2-2)。

図 7-5-2-3 は隠岐、福岡における粗大粒子成分、微小粒子成分の SO_4^{2-} と NO_3^- の時間変化を示すが、弱い黄砂と仮定された時間帯でどちらの観測地点においてもその時間帯には粗大粒子の NO_3^- が大きな値となっているのがわかる。図 7-5-2-4 に湿度と PM10 の時間変化を示す。隠岐においては 3 月 23 日午前から湿度の低い状態が継続している。また、湿度の低下に遅れて PM10 が急激に上昇している。福岡においては 3 月 23 日の午前中から夕方にかけて湿度の低い状態となっているが、その極小値と PM10 の極大値が一致しているように見える。その傾向は 3 月 24 日にも若干見られる。

図 7-5-2-5 に福岡における各金属元素の時間変化を示す。自然起源の全ての元素で 3 月 23 日深夜午前から 24 日夜間にかけて、それらの各濃度が高くなっており、少なくとも 2 つのピークが現れているが、そのピークは弱い黄砂と仮定された時間帯に含まれている。人為起源の金属については Zn、Pb に 3 月 23 日のピークが現れている。

以上より、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 起源の黄砂が、3 月 23 日 10:00 頃から、若干の人為起源系汚染物質を含み飛来し、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。

表 7-5-2-1 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 以下となった観測地と時間帯

事例	期間	抽出条件を満たす観測地	抽出条件を満たす時間帯
2	2021/3/23-3/24	福岡	3/23 10:00-21:00
		隠岐	3/23 22:00-23:00
		福岡	3/24 10:00-13:00
		隠岐	3/24 19:00-22:00

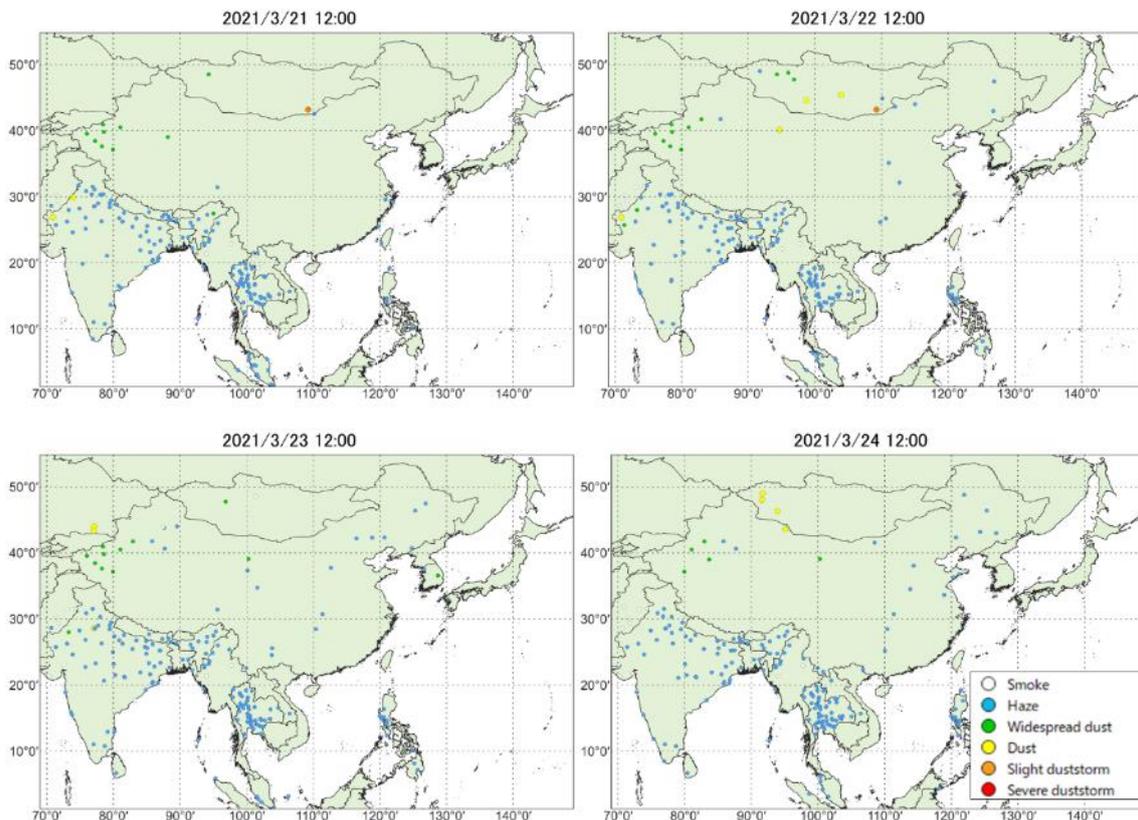


図 7-5-2-1 砂塵嵐発生状況

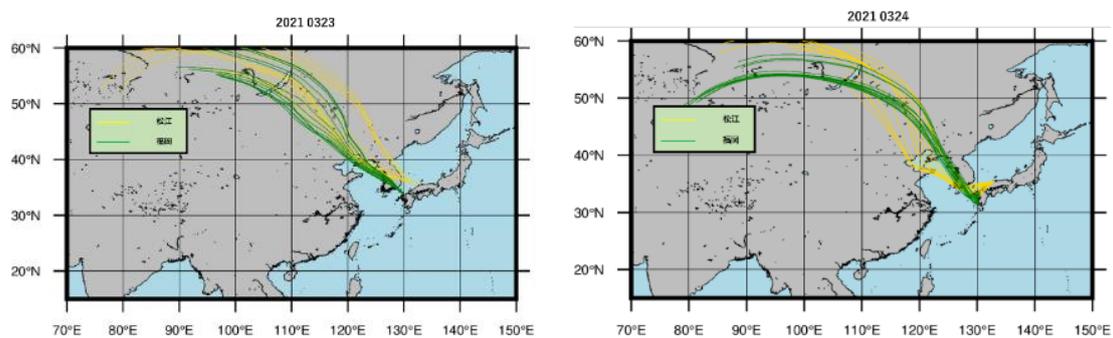


図 7-5-2-2 後方流跡線 (72 時間前より)。また、各地点、各黄砂観測日の 0:00 から 12:00 までの 1 時間ごと 13 時間分の、起点からさかのぼるデータを作図に利用した。これにより、ある黄砂観測日のある地点からは、13 の後方流跡線が作図される。出発高度は、SPM 濃度との関連を評価するため地表面に近い 1500m とした。

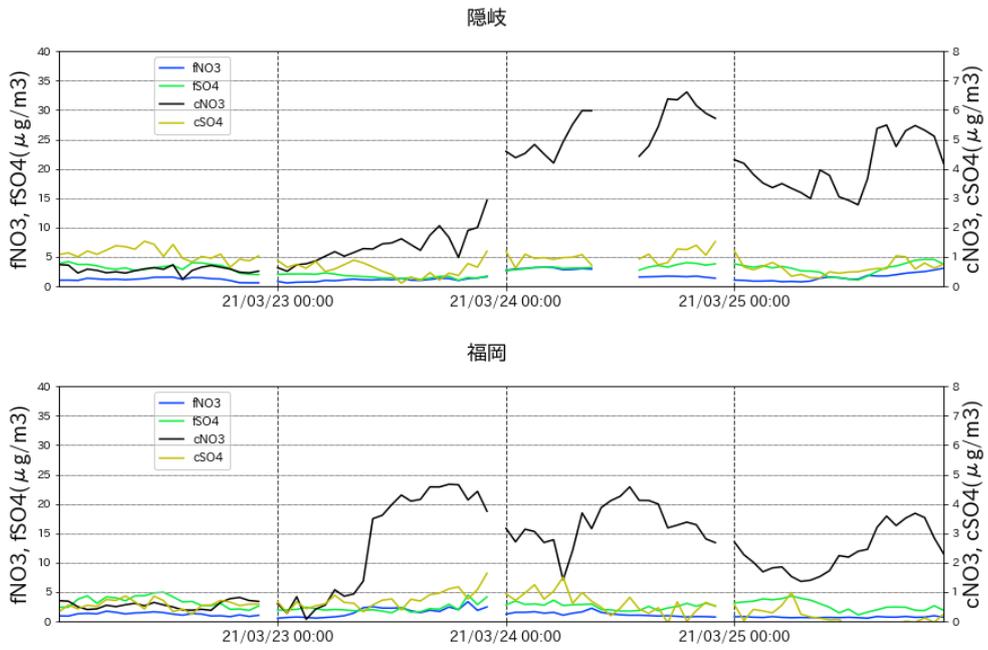


図 7-5-2- 3 粗大粒子成分、微小粒子成分の SO_4^{2-} と NO_3^- 及びその比

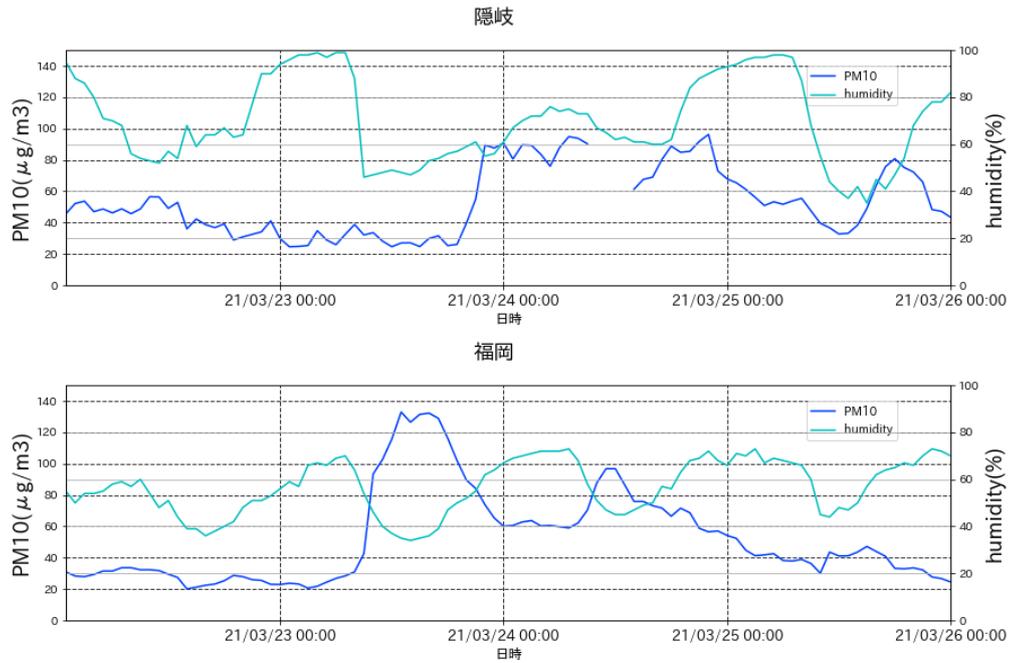
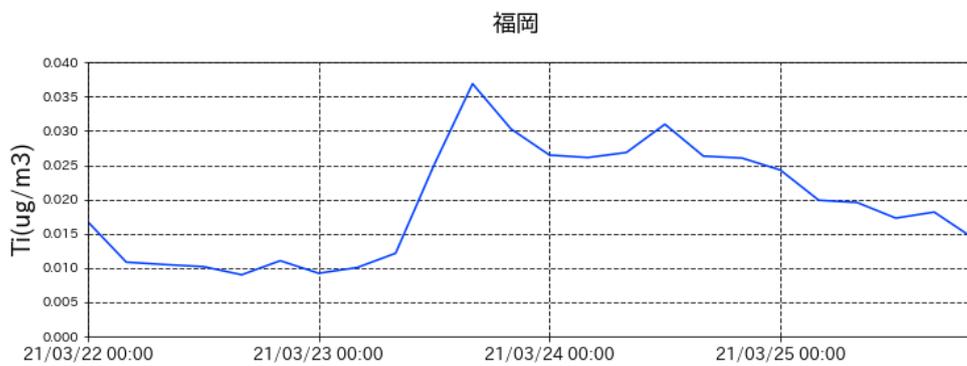
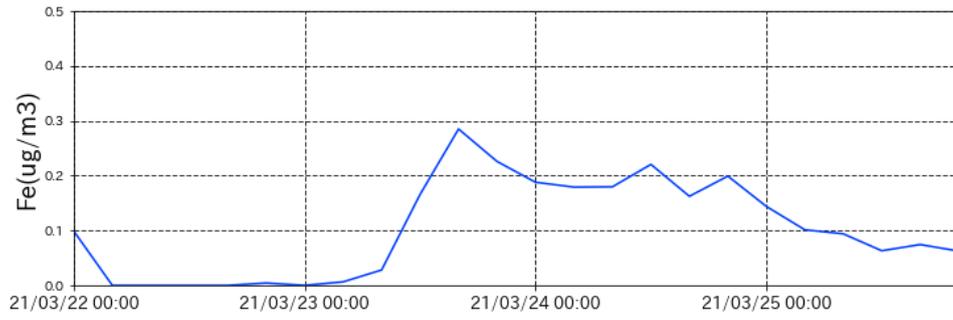


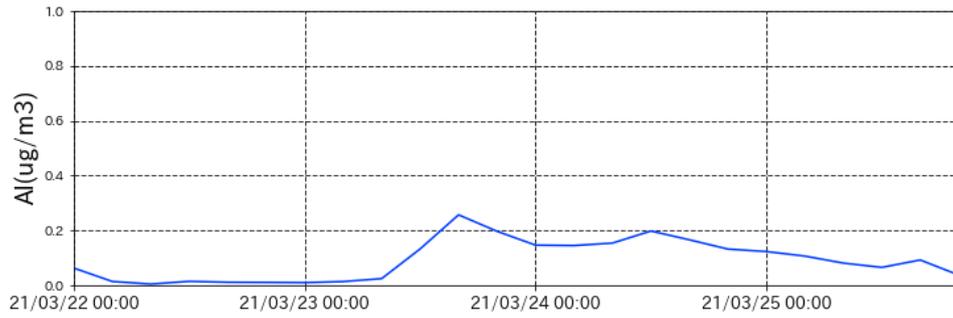
図 7-5-2- 4 湿度と PM10 の時間変化。



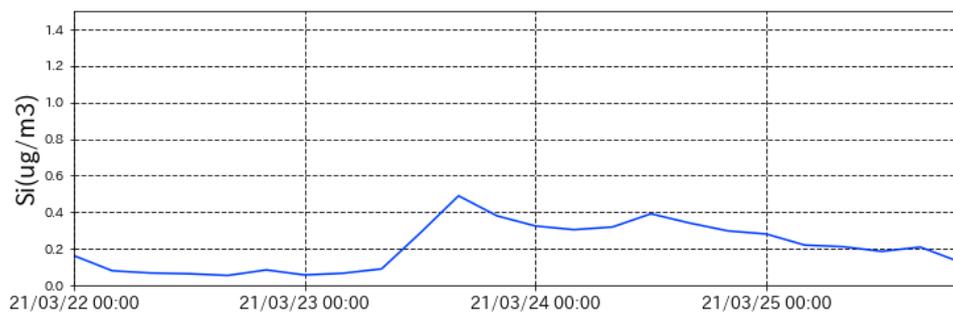
福岡



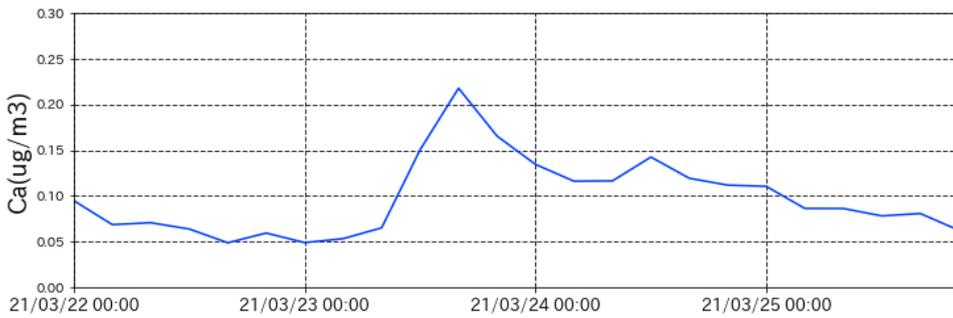
福岡



福岡



福岡



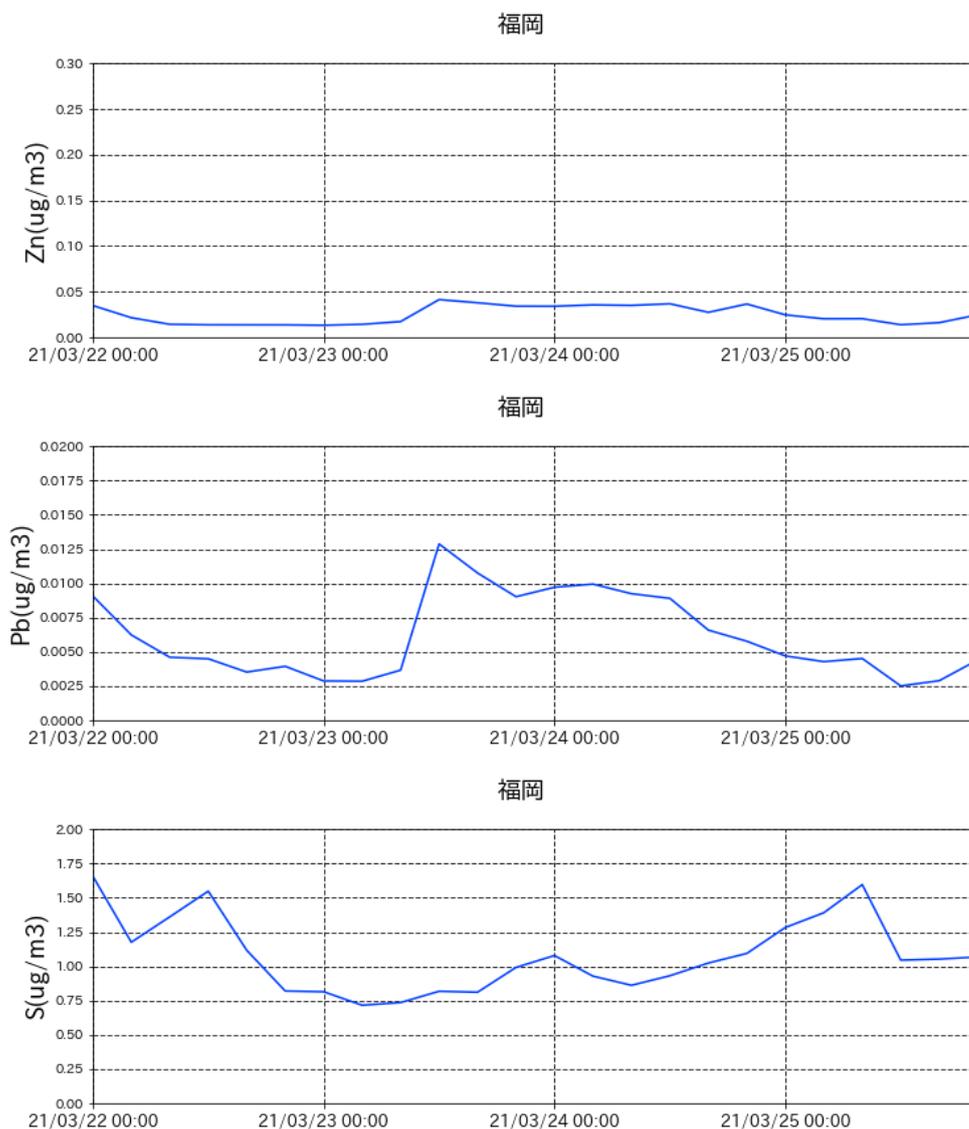


図 7-5-2-5 PX-375 による福岡における各金属成分元素

7.6 まとめ

ここでは、本年度の黄砂検出手法の検討として、PM_{2.5}/SPM 濃度比と PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度比を比較し考察した。そのため PM₁₀ に対する PM_{2.5} の比が 0.2 以下、かつ PM₁₀ 濃度が 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の日時を抽出した結果、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 PM_{2.5}/SPM 濃度比を調べた結果、PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度比と同様な黄砂と思われる特徴は見取れなかった。

上記の 2 事例について、ライダー黄砂消散係数、及び SPM 濃度の経時変化を確認したところ、いずれの事例についても、抽出された日時前後において値が上昇する様子が見られた。その一方、上記 2 事例における SPM 濃度の最大値、及びライダーと SPM 濃度の相関係数は、過年度の調査における黄砂検出の基準には満たない値であった。これらの数値に関しては、同様の調査を通じた今後の情報の蓄積により、ライダー・SPM 濃度を用いた検出手法の定量的な指標の設定に有用となることが期待される。

また、的場ら(2005)の手法を用いて、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、PM_{2.5}/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。

更に、人工衛星を用いた黄砂検出手法の検討を行い、中国により打ち上げられた静止衛星「風雲4号」が有用であるとの結論を得た。風雲4号は、現在2機が稼働中で、中国域・全球の砂塵嵐発生状況の観測データが公開されている。これらのデータを、上述のライダーデータ・SPM濃度を用いた手法等と組み合わせることで、より多角的な観測が可能となると考えられる。

最後に、抽出された2事例について詳細に解析を行った結果、1事例は2020年5月13日、15日の気象庁黄砂日と一連の比較的長期的な黄砂事例であることが示唆された。また、2021年3月23日から3月24日の事例は、後方流跡線が明確ではないものの砂塵嵐の状況、粗大粒子のNO₃や自然起源の金属元素の時間変化を考慮すると弱い黄砂が飛来したことを示唆する事例であった。

8 今後の課題

本報告書では、ライダーデータ、自動測定機により測定されているデータ、全国大気汚染常時監視局で測定されているデータ等により、黄砂飛来状況について把握するとともに、黄砂と大気汚染物質との混在について、全国的な状況を確認した。

今後の課題として、次の事項があげられる。

○黄砂は粒径が比較的大きい粒子の割合が大きいため、飛来時にSPM濃度が上昇することが知られているが、PM₁₀、PM_{2.5}濃度も上昇し、健康影響が懸念される研究報告もなされているため、今後も黄砂飛来状況の事例解析を継続するとともに、さらなる状況把握が必要である。

○黄砂は大気汚染物質が混在していることが多いことから、大気汚染物質を把握するために成分分析を行う必要がある。今後はPX-375などのデータにより、金属成分が人為起源か否か元素比などを詳しく見て調べていくことも検討する。

○本年度のPM_{2.5}/PM₁₀比の解析により、弱い黄砂日の検出を行った結果、2020年度において弱い黄砂と思われる2事例が検出された。このように弱い黄砂の検出の際には、SPM濃度よりPM₁₀濃度を用いることで弱い黄砂を検出できる可能性が示されたため、ライダーデータ及びSPM頻度分布の検出手法においてもPM₁₀を用いた場合の検出可否について検討する必要がある。

○これまで活用してきた観測結果、モデル結果によるデータ解析のほかに、より直接的に黄砂飛来状況を確認する手法として、衛星データの活用による黄砂検出の検討も必要であると考えられる。そのため今後は、黄砂発生源のゴビ砂漠などのデータを含む中国の衛星（風雲4号）などの活用も検討する。その際、どのようなセンサーを搭載しているか等の情報も収集した上で、現在天気とのデータと比較しデータの品質を確認しながら活用していく方針である。

○日本・中国・韓国が黄砂対策に関するモニタリング及び予測、発生源対策について共同研究等を行っているが、発生源及び日本におけるモニタリングについての情報共有などを通し、黄砂問題検討会と日中韓三カ国共同研究と連携をさらに深めることによって、黄砂発生の減少及び混在する大気汚染物質減少につなげる必要がある。

参考文献リスト

1. 「環境省」 2021：令和元年度黄砂飛来状況調査報告書
2. 「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/>
3. 「気象庁」 HP(地球環境のデータバンク黄砂)：
https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_data_indexdex.html
4. 「気象庁」 HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
5. 「気象庁」 HP（過去の気象データ検索）：
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=&block_no=&year=&month=&day=&view=
6. 「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/>
7. 「国立環境研究所」 HP(東アジア域黄砂・大気汚染物質分布予測(CFORS):
<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>
8. 「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>
9. 「環境省」 HP PM2.5 モニタリングデータ（海外）
<http://www2.env.go.jp/pm25monitoring/index.html>
10. Sugimoto, N., A. Shimuzu, I. Matsui and M. Nishikawa (2016): A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM2.5-to-PM10 ratios, *Particuology*, 28, 114-120
11. ライダー観測によるダストの推定と地上観測によるエアロゾル質量濃度の比較 兼保直樹、杉本伸夫、清水厚、山本重一、河本和明 著、大気環境学会誌 第47巻 第6号 p.285 (2012)
12. SPM/PM2.5 からの黄砂判定の可能性-ライダー黄砂消散係数を指標として-清水厚、杉本伸夫、松井一郎、西澤智明 著、第33回レーザーセンシングシンポジウム予稿集（2015）
13. 「風雲4号」等衛星情報：<https://directory.coportal.org/web/coportal/satellite-missions/f/fy-4>
14. WMOによる「風雲4号」データベース：https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/fy_4
15. 中国気象局による「風雲4号」ホームページ：
http://www.cma.gov.cn/en2014/news/Features/201509/t20150916_293082.html
16. Matoba, S., Mori, I., Hayakari, S., Nishikawa, M. (2005) : New Method of Detecting Kosa (Asian Dust) from SPM Data Measured by Environmental Air Monitoring Stations., *J. Aerosol Res.*, 20 (3), 225-230 (in Japanese)
17. Iwamoto, S. and Shimohara, T. (1993) : Relationship Between High Concentration of SPM Meteorological Conditions -Comparison Within Three Cities in Fukuoka Prefecture-, *J. Japan Soc. Air Pollut.*, 28, 330-340 (in Japanese)
18. 柳澤宏彰、飯野英樹、安藤忍、高木朗充、及川輝樹（2002）：西之島の2020年6～8月のバイオレント・ストロンボリ式噴火、火山、第65巻、p119-124
19. 九州地方8月上旬の煙霧は「西之島噴火」の噴煙が原因|研究|FUKUDAism（フクダイズム）|福岡大学 (fukuoka-u.ac.jp)

20. 環境省 微小粒子状物質の成分分析 大気中微小粒子状物質 (PM2.5) 成分測定マニュアル 3. 向き元素測定方法
21. 川端康弘、梶野瑞王、財前祐二、足立光司、田中泰宙、清野 直子 (2021) : 東京都心における視程の変化、天気、第 68 巻 1 号、p5-12