

図 45 は、ライダー観測近傍の格子点における 2007 年 5 月 24 日 00JST から同年 5 月 29 日 23JST までの SPM（上段）及び SO₂（下段）の格子平均およびその偏差時系列を示したものである。札幌を除く格子点において、SPM に正偏差がみられる。特に、長崎の格子点における SPM 正偏差は極めて大きくなっており、松江、富山、新潟、がそれに次いでいる。また、長崎の SPM 値の正偏差は、二つのピークを有していることがわかる。一方、当該期間における SO₂ の偏差時系列では、長崎、松江、富山、つくばの格子点において正偏差がみられ、SPM の正偏差に同期して顕著な変化をみせているのは長崎の格子点である。

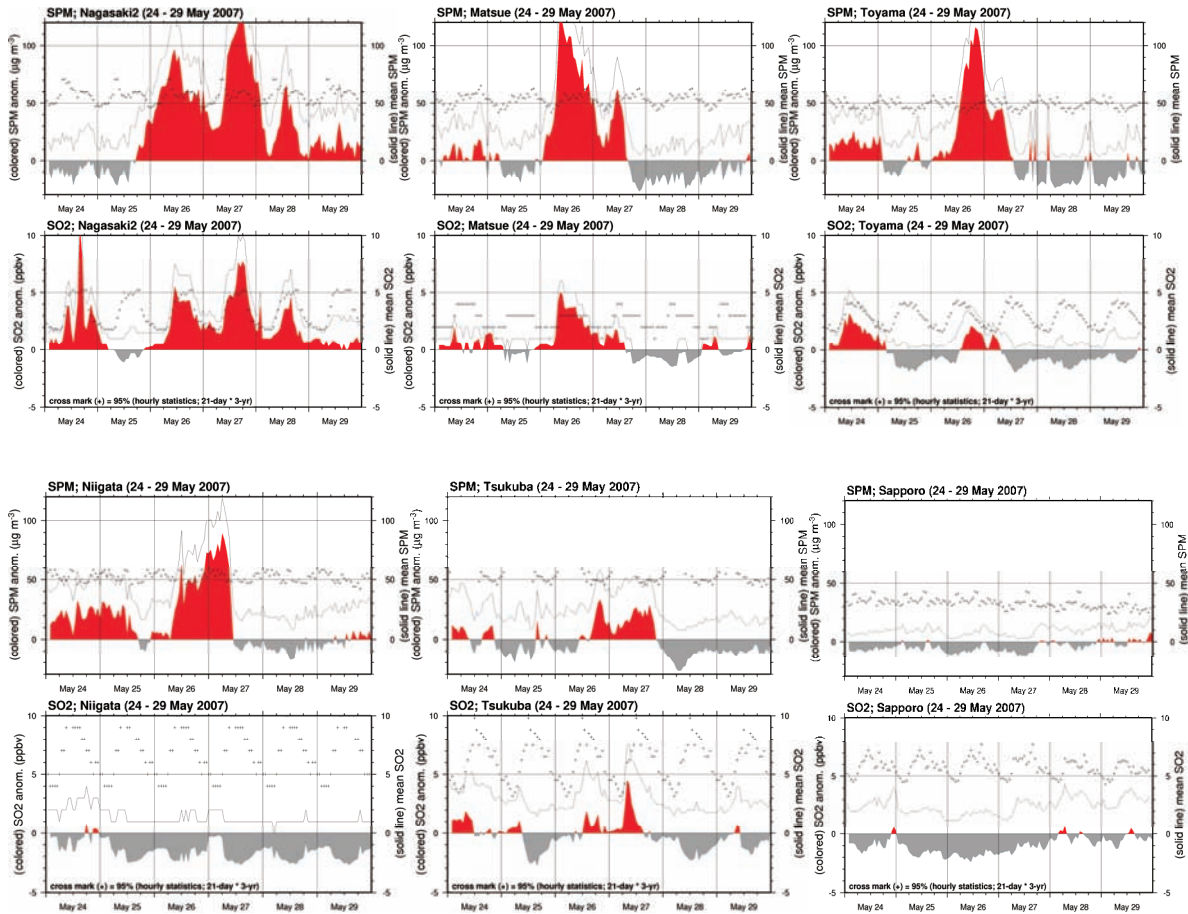


図 45 ライダー観測近傍の格子点における SPM（上段）、SO₂（下段）の格子平均およびその偏差時系列（2007 年 5 月 24 日 00 JST から同年 5 月 29 日 23JST）

（左上から長崎、松江、富山、新潟、つくば、札幌。格子平均偏差の計算に用いた平均値は、対象日前後の 10 日ずつ（計 21 日間）の測定値を時刻別に 3 年平均（2004–2006 年）して算出（データ個数は最大 63 個；欠測値は除外する）。図中の+は、平均値算出で使用したデータの 95 パーセンタイル値。）

(3) ライダー観測

長崎では、5月25日から28日まで、持続した黄砂が観測されており、最大濃度は26日未明の高度1km以下となっている。松江では、上端が3km程度に達しており、26日朝に非常に濃くなるが、その後急速に終息している。富山もほぼ同様の変化を呈している。新潟は、26日朝から24時間程度継続し、上端はやはり3kmに達している。つくばも新潟に似ているが、ピークがはっきりしていない。

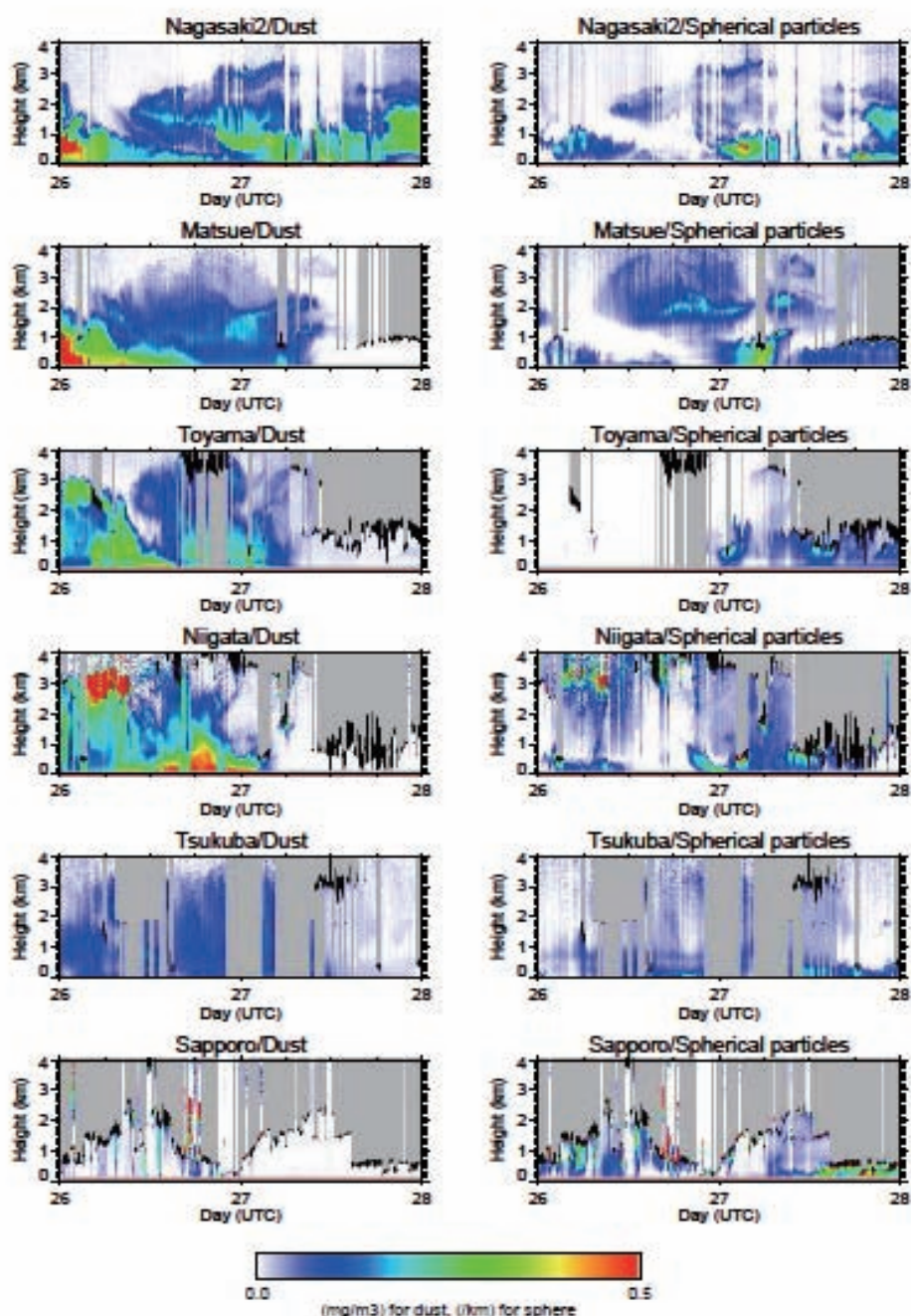


図44 ライダー観測 (2007年5月26日~27日)

(ライダーによる(左)黄砂質量濃度と(右)球形粒子532nm消散係数の時間-高度断面図。上から長崎、松江、富山、新潟、つくば、札幌。ライダーにより雲と判定された高度は黒、それより上や雨と判定された時間帯の全高度を灰色で塗り分けてある。横軸は実態調査の日程に対応する世界協定時の2日分。縦軸は高度。)

また、当該期間における CFORS の結果を図 47 に示す。この図から、23 日に発生した黄砂の前面には、強い南風が入り込んでおり、東進速度は小さいが本体は徐々に南に広がり長江付近に達している。その後黄砂全体が東へ進み、その前面で濃度の水平勾配が大きいことと、南西風成分が卓越しているのが特徴的である。

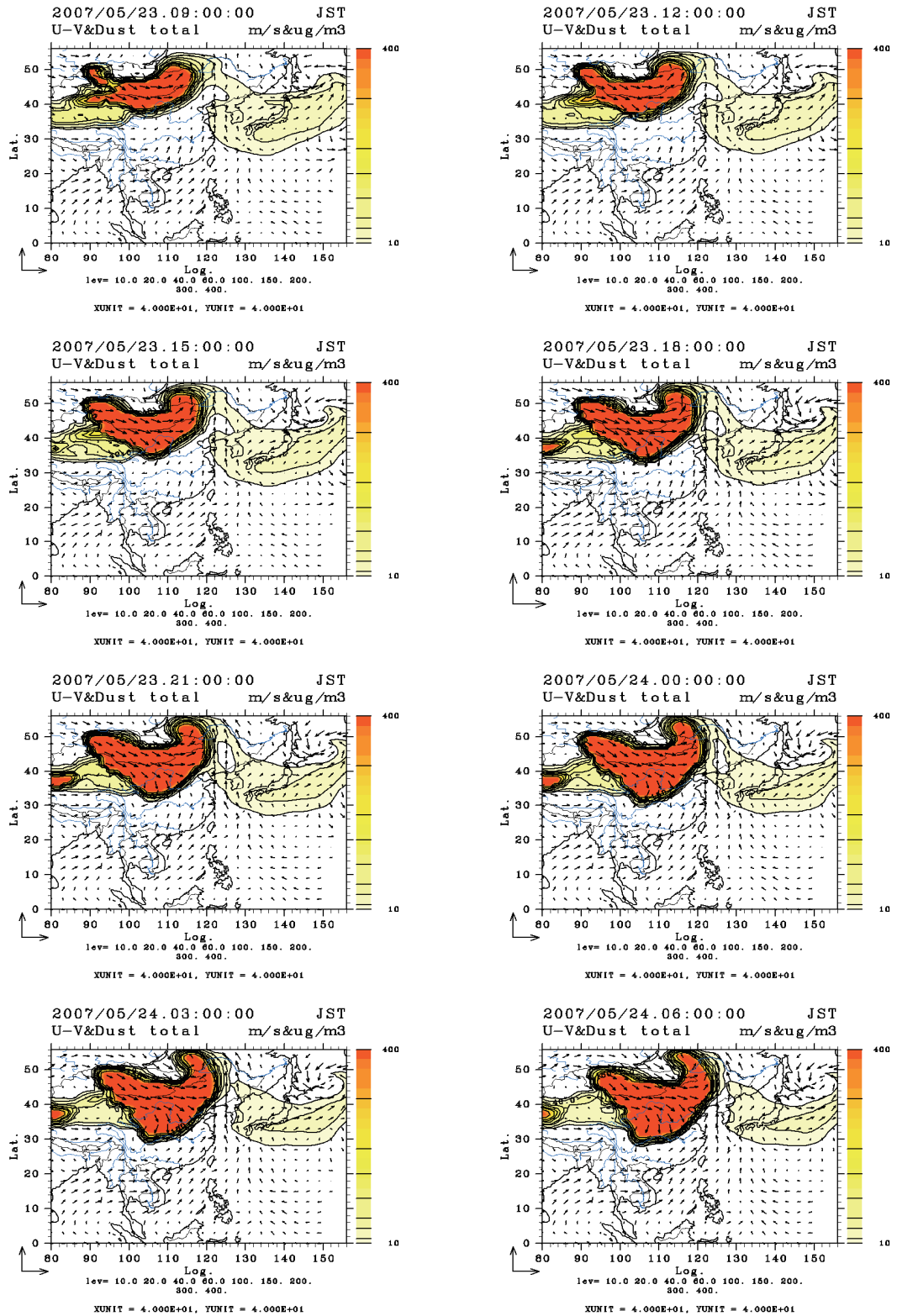


図 47 CFORS (2007 年 5 月 23 日 09 : 00 ~ 5 月 24 日 06 : 00)

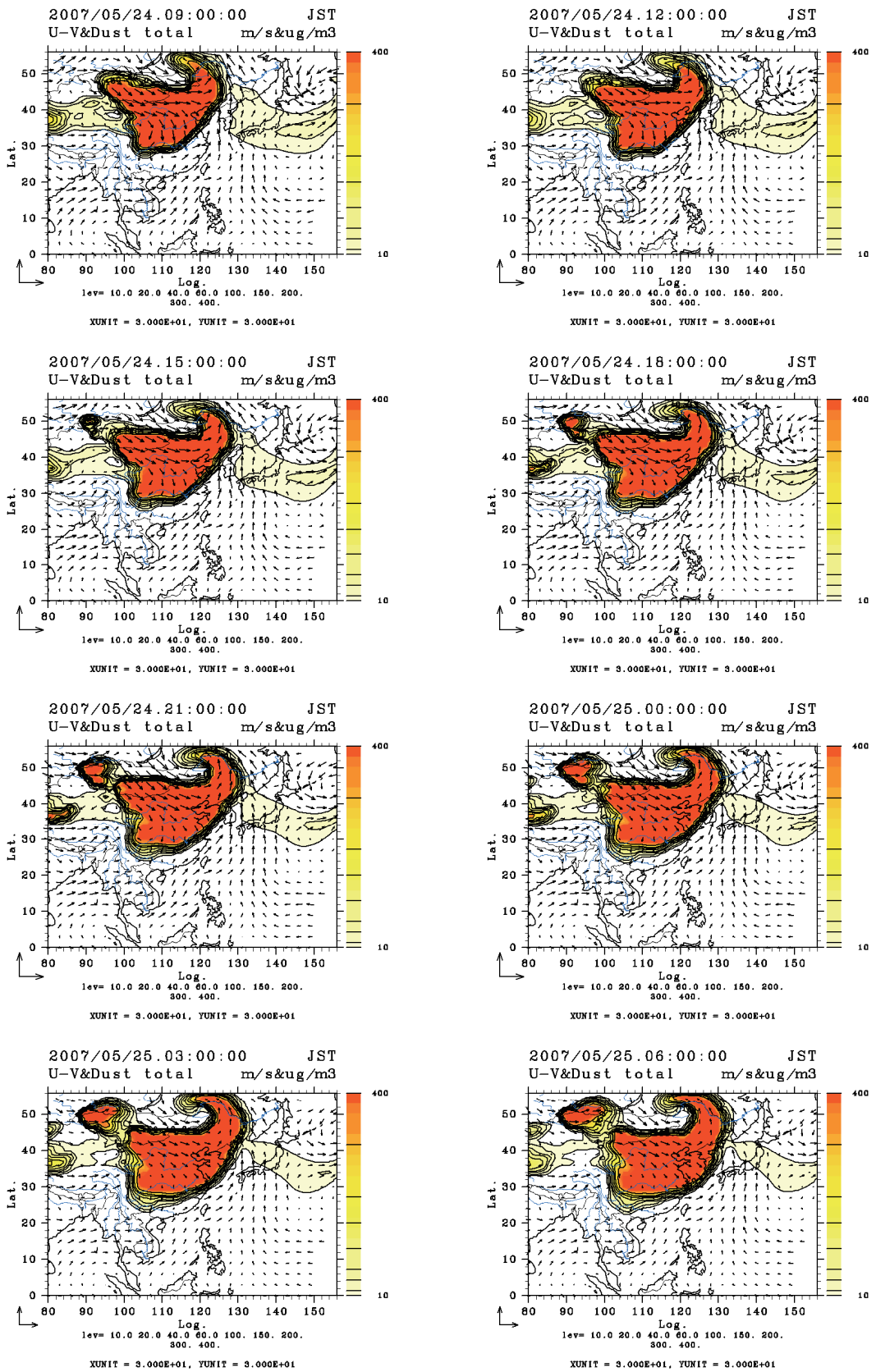


図 47 CFORS (2007 年 5 月 24 日 09 : 00 ~ 5 月 25 日 06 : 00)

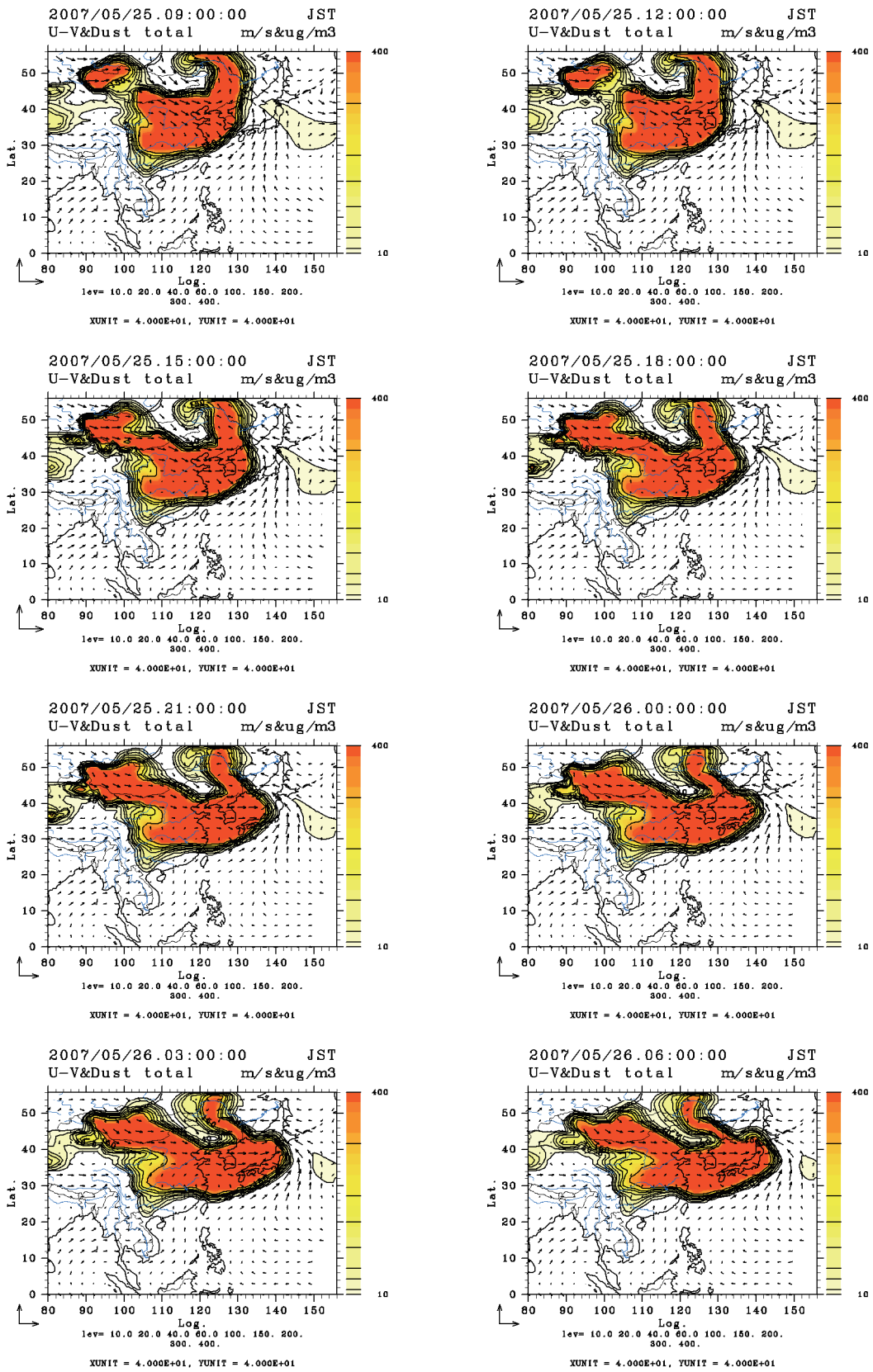


図 47 CFORS (2007年5月25日09:00~5月26日06:00)

4.3. 総合解析

第3章において、ライダー観測近傍の格子点におけるSPM及びSO₂の偏差による汚染状況の解析により「黄砂飛来による単独型」と分類された地点は、ライダー観測結果によれば、地上付近に黄砂が飛来していた。このときの汚染物質の混在の程度を示す $(NO_3^- + nssSO_4^{2-}) / TSP$ とexAnionの平均値は、それぞれ0.05、0.0007であった。「黄砂と汚染された気体の混在型」と分類された地点は、ライダー観測結果によれば、地上付近に黄砂が飛来しており、多くが大気汚染由来の粒子状物質も観測されていた。このときの $(NO_3^- + nssSO_4^{2-}) / TSP$ とexAnionの平均値は、それぞれ0.14、0.0014であり、「黄砂飛来による単独型」の平均値より高かった。これは、エアロゾル中の汚染物質の割合が高かったことを示唆している。また、前述のように、exAnionは黄砂粒子に付着する可能性がある硫酸イオンと硝酸イオンの積算値である。黄砂粒子表面への硫酸塩や硝酸塩の付着はこれまでに論文等で報告されており、本調査で得られた結果は、「黄砂と汚染された気体の混在型」のときの方が、「黄砂飛来による単独型」のときより、黄砂粒子に付着している可能性がある硫酸イオンや硝酸イオンが高い割合で存在していたことを示している。

「非黄砂型」の地点は、ライダーによって黄砂は観測されておらず、地上付近では球形（汚染）粒子の卓越がみられた。このときの $(NO_3^- + nssSO_4^{2-}) / TSP$ とexAnionの平均値は、それぞれ0.16、0.0012であった。

(4) TSP と化学成分の特徴

捕集期間中に、0.5 mm 以上の降水が記録されなかった地点は、長崎、太宰府、松江、金沢、立山、巻、犬山、つくばであった。調査地点における浮遊粉じん量 TSP は、それぞれ、 $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $205 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $203 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $271 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $298 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり（表 7）、九州北部から中部にかけて $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の値となった。 $(\text{NO}_3^- + \text{nssSO}_4^{2-}) / \text{TSP}$ は、それぞれ 0.14、0.15、0.13、0.10、0.12、0.08、0.10、0.09 となり、全地点で 0.1 前後の値を呈した。exAnion / TSP は、それぞれ 0.0017、0.0014、0.0014、0.0012、0.0012、0.0010、0.0013、0.0011 であり、全地点で 0.001 以上となった。

(5) まとめ

図 44 から、地上の SPM 濃度の空間分布は、北海道と東北地方北部を除き広範囲に展開し、SPM 濃度の極大は、 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度と非常に高濃度になっており、期間中に二度の極大値を呈している。特に、長崎においては、この二度の極大値を示す現象を非常によくとらえている。また、当該期間中の SO_2 偏差時系列は、長崎及び松江の場合は SPM の正偏差と同期しており、濃度の上昇がみられる。一方、富山と新潟では SPM に正偏差がみられるものの SO_2 の濃度上昇はあまりみられない。

ライダー観測近傍の格子点における SPM 及び SO_2 の偏差による汚染状況の解析では、2007 年 5 月 26 日及び 27 日にかけての黄砂飛来は、5 月 25 日に日本海上にあった寒冷前線をともなう低気圧の東進により、同寒冷前線の寒気側で黄砂と汚染気体とが混合した状態で観測されたと考えられる。長崎及び松江の格子点においては黄砂飛来と汚染された気体が混在しており、富山及び新潟の格子点においては黄砂飛来と汚染された気体の混在が少ないと考えられる。よって、長崎及び松江は、表 4 の黄砂飛来状況分類区分で設定した「黄砂飛来と汚染された気体の混在型」、富山及び新潟は「黄砂飛来による単独型」の黄砂飛来状況に該当すると考えられる。ライダーでは、長崎、松江、富山、新潟で黄砂と球形（汚染）粒子が観測された。エアロゾル中の化学成分の解析結果は、汚染物質が 5 事例の中で相対的に高い割合で含まれているとともに、硝酸イオン及び硫酸イオンが相対的に高い割合で黄砂エアロゾルに付着していた可能性が高かったことを示した。

したがって、事例 5 のとき、西日本と東日本に黄砂が飛来していたと考えられる。また、5 事例の中では、大気中に汚染物質が相対的に高い割合で存在するとともに、硝酸イオンと硫酸イオンが相対的に高い割合で黄砂エアロゾルに付着していた可能性が高かったと考えられる。

表 8 黄砂飛来状況解析結果

	調査地点	黄砂飛来状況 分類結果	ライダー 解析結果	浮遊粉じん量 (TSP)	(NO ₃ ⁻ + nssSO ₄ ²⁻) /TSP (1)	exAnion / TSP(2)
2006年04月08日 ～ 2006年04月09日	長崎	混	◎+	N/A	N/A	N/A
	太宰府	非	N/D	144 μg/m ³	0.10	0.0009
	松江	単	◎	N/A	N/A	N/A
	金沢	単	N/D	N/A	N/A	N/A
	立山	単	◎	N/A	N/A	N/A
	巻	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	犬山	単	N/D	318 μg/m ³	0.03	0.0003
	つくば	N/A	△	N/A	N/A	N/A
	札幌	N/A	●+	N/A	N/A	N/A
2006年04月18日 ～ 2006年04月19日	長崎	N/A	◎+	N/A	N/A	N/A
	太宰府	N/A	N/D	N/A	N/A	N/A
	松江	混	◎	66 μg/m ³	0.14	0.0014
	金沢	非	N/D	204 μg/m ³	0.09	0.0012
	立山	混	◎	252 μg/m ³	0.12	0.0016
	巻	単	N/A	198 μg/m ³	0.16	0.0017
	犬山	混	N/D	165 μg/m ³	0.13	0.0016
	つくば	N/A	△+	174 μg/m ³	0.18	0.0018
	札幌	N/A	●+	41 μg/m ³	0.09	0.0010
2007年04月01日 ～ 2007年04月02日	長崎	単	◎+	N/A	N/A	N/A
	太宰府	単	N/D	509 μg/m ³	0.04	0.0005
	松江	単	◎	419 μg/m ³	0.03	0.0004
	金沢	単	N/D	261 μg/m ³	0.03	0.0004
	立山	単	◎	404 μg/m ³	0.02	0.0004
	巻	N/A	◎	N/A	N/A	N/A
	犬山	単	N/D	N/A	N/A	N/A
	つくば	単	◎+	178 μg/m ³	0.05	0.0006
	札幌	N/A	●	N/A	N/A	N/A

表 8 黄砂飛来状況解析結果

	調査地点	黄砂飛来状況 分類結果	ライダー 解析結果	浮遊粉じん量 (TSP)	(NO ₃ ⁻ + nssSO ₄ ²⁻) /TSP	exAnion / TSP
2007年05月08日 ～	長崎	非	●+	103 μg/m ³	0.25	0.0016
	太宰府	混	N/D	122 μg/m ³	0.25	0.0010
2007年05月09日	松江	非	●+	N/A	N/A	N/A
	金沢	非	N/D	107 μg/m ³	0.21	0.0009
	立山	非	◎	189 μg/m ³	0.12	0.0009
	巻	非	◎+	151 μg/m ³	0.14	0.0008
	犬山	非	N/D	97 μg/m ³	0.16	0.0009
	つくば	非	●+	83 μg/m ³	0.19	0.0008
	札幌	N/A	●+	57 μg/m ³	0.11	0.0005
	2007年05月26日 ～	長崎	混	◎+	153 μg/m ³	0.14
太宰府		混	N/D	194 μg/m ³	0.15	0.0014
2007年05月27日	松江	混	◎+	205 μg/m ³	0.13	0.0014
	金沢	混	N/D	271 μg/m ³	0.08	0.0010
	立山	単	◎+	298 μg/m ³	0.10	0.0013
	巻	単	◎+	202 μg/m ³	0.09	0.0011
	犬山	単	N/D	203 μg/m ³	0.10	0.0012
	つくば	N/A	●	95 μg/m ³	0.12	0.0012
	札幌	N/A	●+	N/A	N/A	N/A

単：黄砂飛来による単独型、混：黄砂と汚染された気体の混在型、非：非黄砂

◎：黄砂を地上と上空で観測、△：黄砂を上空のみで観測、●：黄砂を観測せず、+：球形（汚染）粒子が地上付近で卓越

N/A：判定不能

N/D：欠測

(1) (NO₃⁻ + nssSO₄²⁻) / TSP：浮遊粉じん中の汚染物質の割合

(2) exAnion / TSP：黄砂への付着が疑われる汚染物質の割合

東アジア酸性雨観測ネットワーク（EANET）測定局の隠岐及び八方尾根におけるPM10、PM2.5、 O_3 、 SO_2 の時間変化を図48に示した。これらの O_3 と SO_2 の値は、測定局が離島または山岳地にあるため、少なくとも測定局近傍の汚染影響（国内起源の汚染影響）が少ないと認識されている。上述した5事例について、PM10濃度変化とほぼ同期して SO_2 濃度が増加しているのは、事例2、4、5の3つとなっている。また、事例4の隠岐では、PM2.5/PM10比が0.7前後となり、粗大粒子よりも微小粒子が卓越していたことを意味している。なお、事例1及び3では、同比率はPM10の極大時においては0.5以下となり、粗大粒子が卓越していることが分かる。

また、ライダー観測結果から、「黄砂と汚染された気体の混在型」のケースでは、黄砂が地上だけでなく比較的上層にまで及んでいる（ないし上空を黄砂層のボディが通過する）場合があることが判明した。一方、「黄砂飛来による単独型」のケースでは、地上付近の低い層に高濃度の黄砂が集積している場合もあることが、EANETの八方尾根（標高1,850m）においてエアロゾル粒子の顕著な濃度上昇をしていない事などから示唆された。

これらの考察から、下層に限定された黄砂が飛来する場合には、気象条件による当該日の個別の影響をあまり加味しない場合は、中部山岳域の下流側に当たる関東地方では、高濃度の黄砂が直接飛来しにくい要因となっていると思われる。換言すれば、関東地方の地表付近で観測される黄砂は、(1) 日中の混合層発達に伴い上空を通過している黄砂を下層付近に取り込む、(2) 山岳を迂回した黄砂が、下層の東風ないし南よりの風により鹿島灘側かまたは相模湾側から輸送される、という2つのパターンがある場合が考えられる。