

2010年3月21日の黄砂でみられたSPM濃度の減衰

西郷 雅典*

1. はじめに

2010年3月20～21日にかけて黄砂が飛来し、日本各地で高濃度の浮遊粒子状物質 (SPM) が観測された。

黄砂が地上に沈着する過程では、降水や地形などのメソ気象的な要因によって、濃度の空間的・時間的分布が現れると考えられる。しかし、メソスケール規模で黄砂の詳細な分布を知ることは困難であり、メソ気象現象が黄砂分布にどのように影響したのかといった研究はあまり報告されていない。

環境省が集約している大気汚染物質広域監視システムのSPMデータが黄砂観測の有効な手段であることは、これまで多くの研究で報告されている。本稿では、気象庁の目視観測とSPMデータを使って黄砂の濃度分布を解析し、アメダスや気象レーダー、高層ゾンデ、ウィンドプロファイラ (以下WPR)、数値予報モデルなどの通常のメソ気象解析で使用される手段を用いて、気象条件の分析をおこなった。その結果、寒冷前線通過後の乾性沈着過程における山岳による減衰、前線後面のシアラインに対応する弱い降水による除去 (湿性沈着) が、濃度分布に影響したと考えられる。

第1表 黄砂現象に関連した現在天気コード。

現在天気番号 (WWW)	気象状態
06	空中広くちり (dust)、黄砂*が浮遊している (ちり煙霧) (観測時に観測所付近で風に巻き上げられたものではない) (*視程10km未満)。
07	観測時に観測所または観測所付近から風に巻き上げられたちりまたは砂 (風じん) はあるが、発達したじん旋風 (dust whirl(s) or sand whirl(s)) または砂塵嵐 (duststorm or sandstorm) はない。また船舶の場合は観測点で高いしぶき (blowing spray) がある。
08	観測時または観測時前1時間内に観測所または観測所付近に発達したじん旋風 (dust whirl(s) or sand whirl(s)) が観測されたが、砂塵嵐 (duststorm or sandstorm) はない。
09	観測時に視界内に砂塵嵐 (duststorm or sandstorm) あり。または観測前1時間内に観測所に砂塵嵐あり。
30	砂塵嵐、弱または並 (*視程500m以上)、観測時1時間内にうすくなった。
31	砂塵嵐、弱または並 (*視程500m以上)、観測時1時間内に変化なし。
32	砂塵嵐、弱または並 (*視程500m以上)、観測時1時間内に始まった。
33	砂塵嵐、強 (*視程500m未満)、観測時1時間内にうすくなった。
34	砂塵嵐、強 (*視程500m未満)、観測時1時間内に変化なし。
35	砂塵嵐、強 (*視程500m未満)、観測時1時間内に始まった。
98	雷電、観測時に砂塵嵐 (duststorm or sandstorm) を伴う。

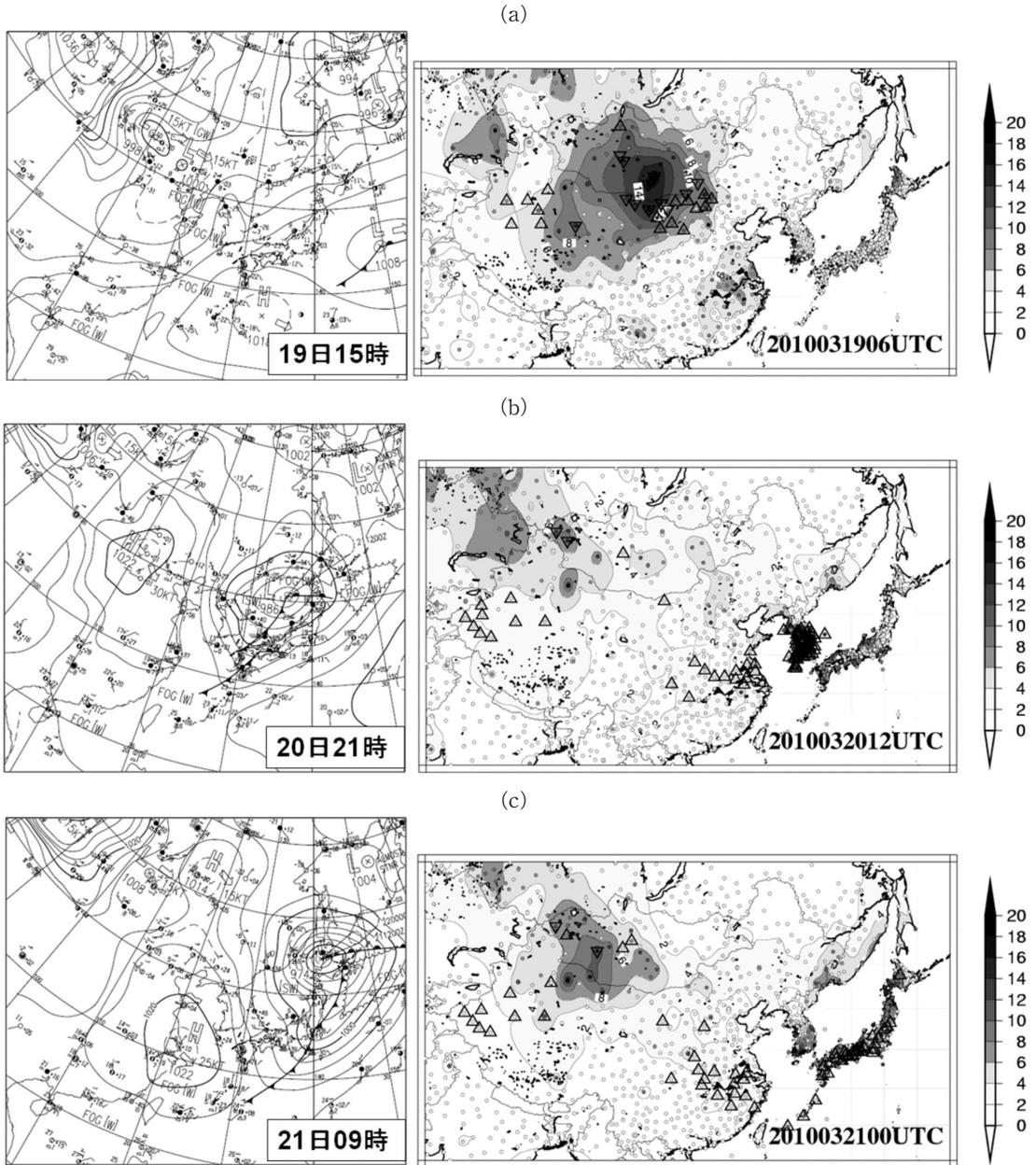
2. 総観場と黄砂の発生条件

第1図に19日15時、20日21時、21日09時の天気図と気象観測通報による風速分布、黄砂現象に関連した現在天気を示す。第1表に示したように気象観測通報の現在天気で黄砂や砂塵嵐に関するものは、06～09、30～35、98と細かく分類されているが、図中では、現在天気で観測地点でまさに観測時に砂塵の巻き上がりが発生している砂塵嵐 (30～35、98) を▽印、そうでない場合を△印で区別している。

3月18日、大陸のバイカル湖の南西に低気圧が発生し、南東進しながらモンゴルでやや発達した。19日は新たな低気圧も発生するなどゴビ砂漠地帯を中心に低気圧が持続した (第1図 a)。20日03時には低気圧は中国の黄土地帯から黄海に移り、500 hPa の5340 m 付近のトラフの深まりに対応して、20日09時に朝鮮半

* Masanori SAIGO, 福岡管区気象台。

© 2011 日本気象学会

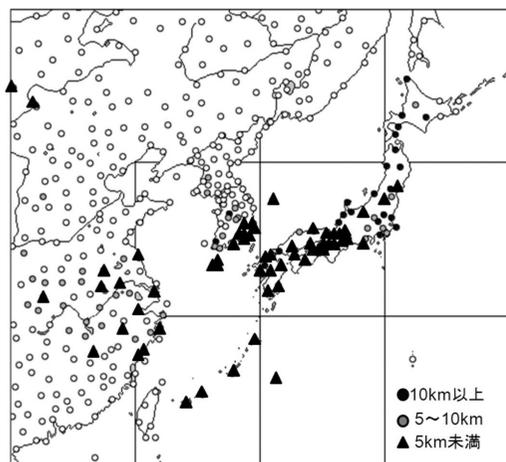


第1図 地上天気図(左), 地上風速分布および現在天気で黄砂に関連した地点(右). 2010年3月19日15時 (a), 20日21時 (b), 21日09時 (c). 陰影は2 m/s毎の風速. 現在天気で砂塵風(30~35, 98)を▽印, そうでない場合(06, 07, 08, 09)を△印で区別している.

島にある低気圧が前線を伴い、発達しながら日本海を北東進した。20日15時から21時にかけて九州から四国付近には停滞前線が解析されているが、21日03時以降は日本海の低気圧からのびる寒冷前線がメインとなっ

て日本を横断し、21日09時には前線は関東地方を通過した(第1図c)。21日午後には西日本は東シナ海に中心をもつ高気圧に次第に覆われた。

黄砂は、18日以前から既にモンゴルで発生していた



第2図 2010年3月21日の黄砂観測地点と視程。色抜き○は黄砂を観測していない地点。

が、19日の低気圧の発達に伴い、およそ風速6 m/s以上でゴビ砂漠を中心に砂塵嵐が拡大した(第1図a)。これは、Kurosaki and Mikami (2003)で報告されたダストストーム発生の風速条件と一致する。20日には低気圧の移動に伴い、黄砂は中国の黄土地帯に移り、華北から朝鮮半島に広がった。20日21時の華北では風速2 m/s以下の風が弱い地点でも黄砂が観測されており(第1図b)、北方の黄土地帯で空中に舞い上がった黄砂が大気の流れに乗って運ばれた結果であると考えられる。黄砂は寒冷前線の後面を追う形で東シナ海を渡り、20日22時から九州地方の気象官署でも目視観測され始めた。21日は北海道の道東を除き、日本のほぼ全域で黄砂が観測された(第2図)。

期間中、タクラマカン砂漠でも黄砂は観測されているが、19日20日ともに風速6 m/s未満で風が弱く、広範囲の砂塵嵐ではなかった。Kurosaki and Mikami (2005)によれば、この地域はもともと砂塵嵐の発生が少ない一方で、ダストの浮遊・飛砂が多い場所である。このため、今回、日本に飛来した黄砂にもタクラマカン砂漠起源の黄砂が含まれていたかもしれないが、ダストストームの規模からみて、ゴビ砂漠起源のものが主と推定できる。

3. SPM濃度の解析

3.1 期間最大濃度分布と高濃度継続時間の特徴

SPM観測地点は大気汚染物質の監視という設置目

的のため、都市部に偏った配置をしているが、日本全体の分布の特徴を概ね捕捉できるものと考えられる。

第3図に3月20日から21日の2日間に観測されたSPM濃度の期間最大値の分布を示す。西日本、北陸地方、山形県、宮城県、愛知県で 0.5 mg/m^3 以上の高濃度となったが、中部山岳地帯から関東地方、青森県、岩手県では低濃度となり、差が明瞭となった。

最大濃度は、21日10時に愛知県日進市の日進市上納池スポーツ公園における 1.034 mg/m^3 であるが、同市内の日進市五色園では同じ時刻で 0.357 mg/m^3 であった。このような周辺よりも突出した高濃度は、長崎県大村市大村(21日03時, 0.944 mg/m^3)、兵庫県神戸市垂水区(21日07時, 0.944 mg/m^3)でも観測されている。これは測定局の設置環境にも依るため、必ずしも自然要因だけではないかもしれないが、地形的な「吹き溜まり場所」となったか、あるいは、近隣から舞い上がったダストが影響した可能性もある。

0.1 mg/m^3 以上の濃度の継続時間を第4図に示す。なお、 0.1 mg/m^3 以上の時間帯が期間中2回以上ある場合は、ピークの濃度が大きい時間帯の方を採用している。継続時間は西日本で長く、特に九州南部や紀伊半島南西部で10~12時間続いた。また、中国地方の日本海側から北陸地方にかけては高濃度だったにも拘らず、継続時間は8時間以下と短い。これは後述するように、降水による除去(湿性沈着)が作用した可能性が高い。

3.2 毎時のSPM濃度変化

(1) ステージI (20日15時~20日20時)

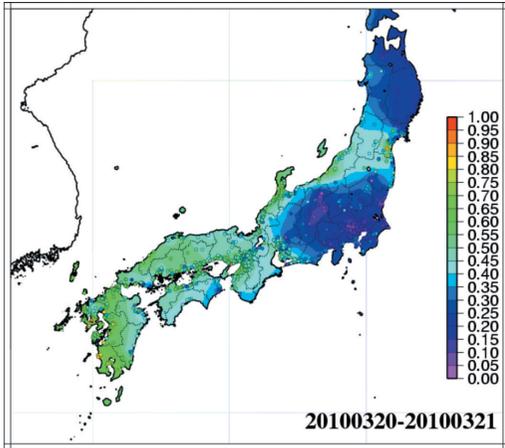
0.1 mg/m^3 以上といった通常よりも高濃度のSPMは、20日07時以降、関東地方から西日本に散在する形で検知され始めていた。ただし、低気圧前面の南西風がやや強く、黄砂の一部が先行する形で飛来したものか、単に観測所付近のダストが舞い上がったものなのかは不明である。単純化のために、以下では主に 0.2 mg/m^3 以上の動向に着目し、6時間毎に記述する。

(2) ステージII (20日21時~21日02時)

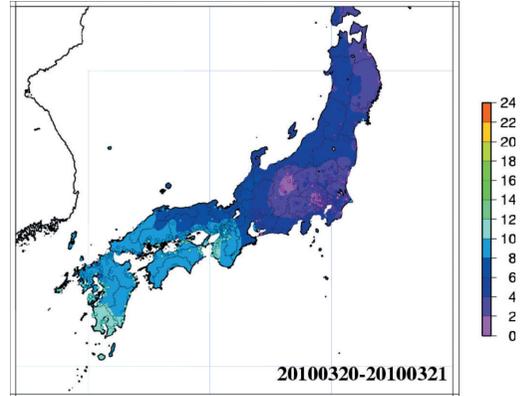
20日21時から長崎県対馬市で 0.333 mg/m^3 の高濃度SPMが観測され始め、02時には九州地方、中国・四国地方の一部まで東進した。九州の西岸では 0.8 mg/m^3 を超える顕著な高濃度が存在している。また、02時には北陸地方の石川県金沢市でも 0.241 mg/m^3 となっている。

(3) ステージIII (21日03時~08時)

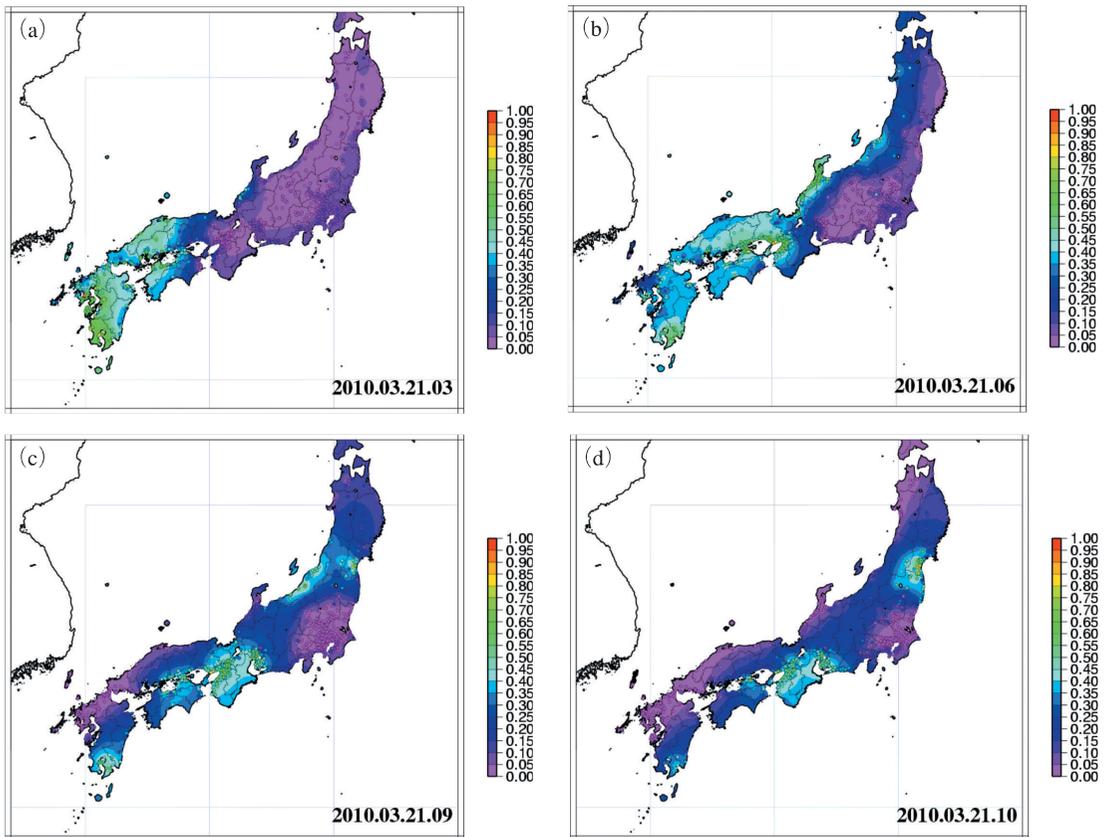
第5図に21日03時、06時、09時、10時のSPM濃度



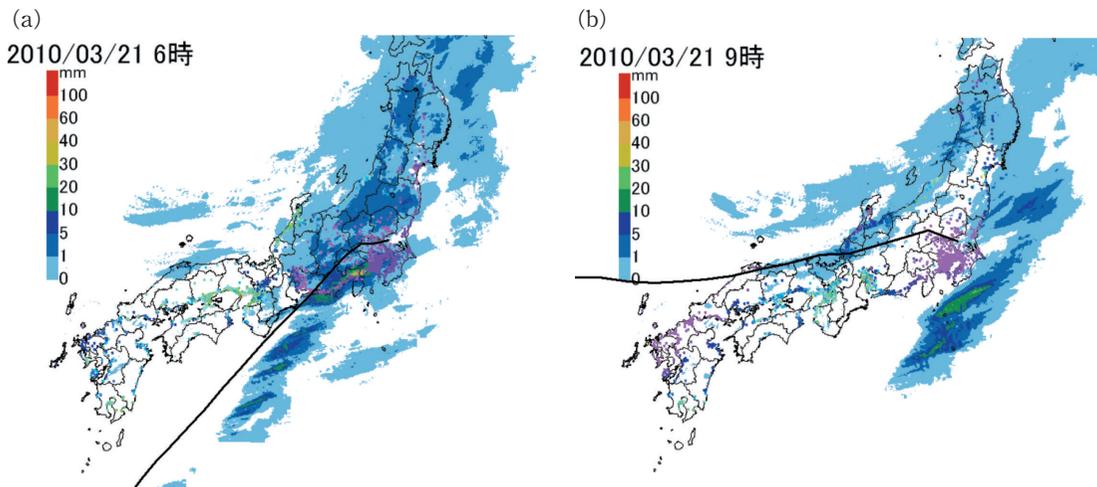
第3図 2010年3月20～21日の期間最大SPM濃度 (mg/m³)。図中の小さい○印はデータの入手できた観測地点を表す (第4図以降も同様)。



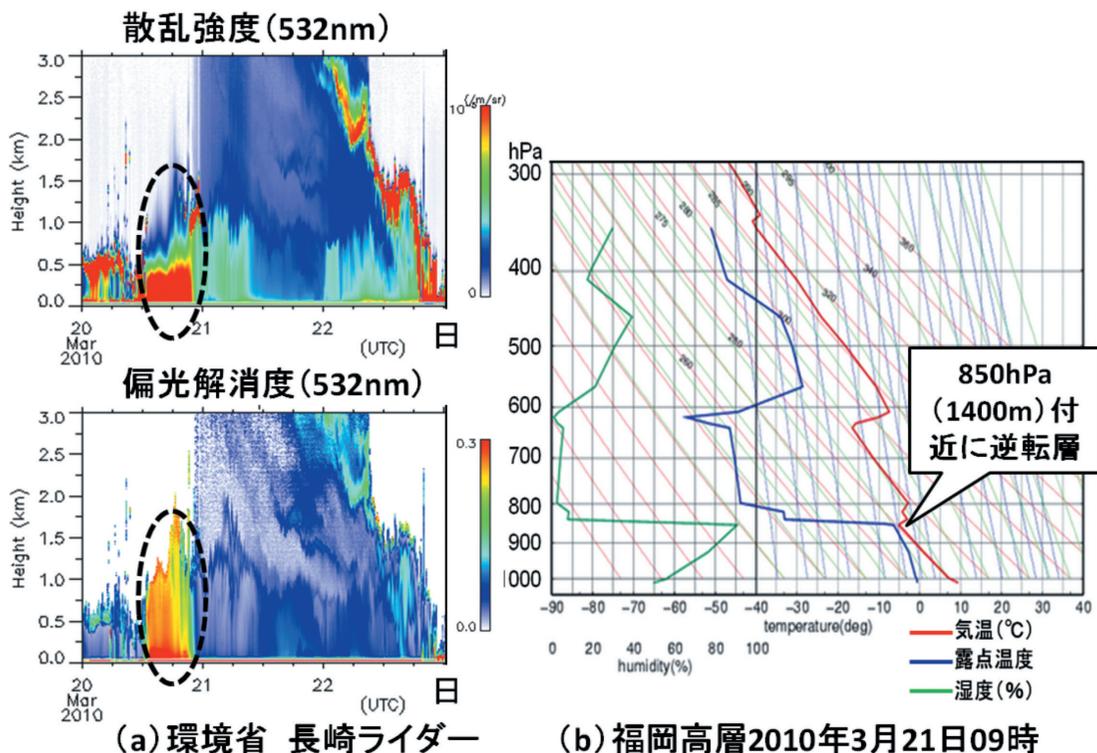
第4図 2010年3月20～21日のSPM濃度0.1 mg/m³以上の継続時間 (単位: 時間)。



第5図 毎時のSPM濃度分布。2010年3月21日03時 (a), 06時 (b), 09時 (c), 10時 (d)。



第7図 レーダー・アメダス解析1時間雨量とSPM濃度。SPM濃度は第3図や第5図と同じ色で表現。21日06時 (a), 21日09時 (b)。実線は茨城県の地点(北緯36.20, 東経139.95)における下層925 hPaの空気塊の流跡線で、気象庁の衛星SATAIDを使用して解析したもの。



第8図 (a) 長崎市におけるライダー観測(2010年3月20~22日)。横軸はUTC時刻、縦軸は高度(km)。破線で囲んだ偏光解消度の大きい部分が黄砂に対応。国立環境研究所ホームページの図を加工して使用。(b) 福岡の高層ゾンデデータによるエマグラム(2010年3月21日09時)。

分布を示す。

黄砂の東進により、08時には高濃度域の中心は近畿地方となり、九州北部地方や山陰地方では減衰した。また、03時から06時頃にかけて北陸地方と東北地方の日本海側を中心に顕著な高濃度（第5図b）が広がった後、北陸地方から東進したものは、その後、東北地方太平洋側の宮城県沿岸に到達している。

(4) ステージIV（21日09時～13時）

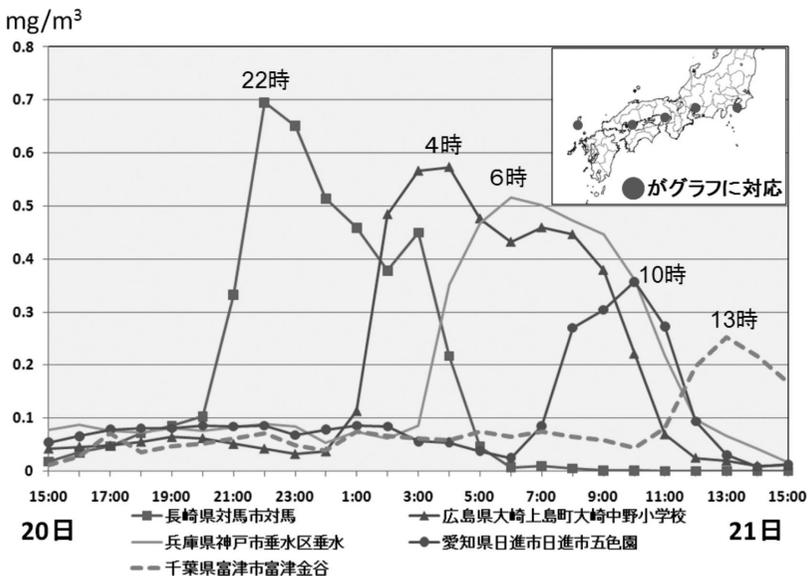
東北地方では10時頃、宮城県を中心に高濃度のピークとなり、宮城県柴田町では 0.878 mg/m^3 の高濃度を観測した（第5図d）。逆に北陸地方では10時以降は急速に減衰している（第5図d）。

近畿地方から東進したものが愛知県に入り、前述したように、10時には愛知県日進市で 1.034 mg/m^3 の高濃度となった。

長野県では08時頃、関東地方でも10時から13時頃にかけて 0.2 mg/m^3 の高濃度の到達が認められるが、 0.5 mg/m^3 未満に止まっている。これは、九州から近畿地方、北陸地方から東北地方太平洋側に東進してきた濃度と比較して、明らかに小さな値である。

4. 時刻差から求めた黄砂の位相速度

第6図に示した対馬市とほぼ同緯度にある5地点（長崎県対馬市、広島県大崎上島町、兵庫県神戸市、



第6図 長崎県対馬市とほぼ同緯度の5地点（図中地図の●印）におけるSPM濃度の時系列。20日15時～21日15時。

愛知県日進市、千葉県富津市)におけるSPM濃度ピークの時間差から単純に、東進の平均位相速度を計算すると、およそ 70 km/時 (19 m/s)であった。黄砂は西日本とほぼ同じ速度で順調に関東地方まで東進して来たものの濃度が減衰したと推定できる。

5. レーダーアメダス解析雨量、衛星SATAIDによる流跡線解析、高層データ解析

第7図に21日06時と09時のSPM濃度、レーダーアメダス解析雨量 (mm/時) の分布を示す。高濃度のSPMは寒冷前線に伴う降水帯では観測されず、降水帯の通過直後に観測されている。

06時における北陸地方能登半島のSPMは降水帯の中にあるように見えるが、これは解析雨量が1時間毎に計算されているためで、10分毎のレーダー画像で見ると、降水帯は完全にこの地方を抜けている。07時頃から北陸地方には寒冷前線の後面のシアー（アメダスの風解析）に対応する弱い降水帯が再びかかり、同時にSPM濃度は急速に減衰した。これは降水によって、黄砂が大気中から除去（湿性沈着）されたものと考えられる。

関東地方では09時には、寒冷前線に伴う降水帯が完全に抜けているにも拘らず、SPM濃度は低いままである。第7図には茨城県南西部の地点（北緯 36.20 ，東経 139.95 ）における、気象庁の衛星SATAID解析による下層 925 hPa の空気塊の流跡線を実線で示している。21日06時の下層の空気塊は南西からの太平洋上から移流して来ていたが（第7図a）、寒冷前線通過後の09時には西からの中部山岳地帯を超えてくる流れに変わっている（第7図b）。水戸のWPRによると、08時頃、地上の寒冷前線が通過して、12時前にかけて 2 km 以下の下層では強い西風が変わったことがわかる。

環境省のライダー観測（福江，長崎，新潟，東京）を参照すると、顕著な黄砂

層は2 km 以下の層にあった。第8図aの長崎市の場合、20日21時頃から21日09時頃にかけて、黄砂に対応する偏光解消度の大きな層(0.2以上)が2 km 以下の下層で顕著である。また、21日09時の福岡のエマグラムでは850 hPa (1400 m) 付近に逆転層があり、それより上空は乾燥し、安定していた(第8図b)。

6. SPM 濃度減衰の要因の考察

以上のことから総合的に判断すると、寒冷前線の後面の下層の安定層内にトラップされた黄砂は順調に西日本まで飛来したが、中部山岳地帯の影響で減衰し、関東地方では弱まったと考えられる。一方、北陸地方に飛来した黄砂はあまり減衰を受けずに一部は東北地方の太平洋側まで到達した。また、北陸地方では寒冷前線後面の弱い下層シアーに対応する降水があったため、黄砂は速やかに除去され、高濃度の継続時間は短くなったと思われる。

このように日本に飛来した黄砂は山岳など地形の影響や降水の影響を受け、多様な沈着過程を辿ることが確認できた。

謝 辞

国立環境研究所の杉本伸夫氏にはライダーデータの使用許可と助言を頂きました。また、読者の方からは多くの助言を頂きました。お礼を申し上げます。

参 考 文 献

- Kurosaki, Y. and M. Mikami, 2003: Recent frequent dust events and their relation to surface wind in East Asia. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1736, doi: 10.1029/2003GL017261.
- Kurosaki, Y. and M. Mikami, 2005: Regional difference in the characteristic of dust event in East Asia: Relationship among dust outbreak, surface wind, and land surface condition. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83 A**, 1-18.
- 三上正男, 2007: ここまでわかった「黄砂」の正体. 五月書房, 250 pp.
- 西川雅高, 溝口次夫, 笹野泰弘, 金森 悟, 金森暢子, 1991: 黄砂エアロゾルの降下量分布—一般環境大気測定局の利用—. *天気*, **38**, 221-228.