

## ライダー観測データの解析結果にみられる松江市の黄砂現象の実態

(2006.4 ~ 2008.3)

多田納力、黒崎理恵、清水 厚\*、松井一郎\*、杉本伸夫\*

\* 国立環境研究所

NIESライダー観測地点の松江で測定されているライダー観測データを活用し、黄砂現象を解析するため、黄砂消散係数を用いて黄砂現象を示すサンプルを抽出する方法について検討した。下層 (120~700m)、中層 (0.7 km~1.3km) および上層 (1.3km~1.9km) の3層別の黄砂現象の有無をみるために、黄砂消散係数の1時間平均値に対し判定基準値を設定した。この方法により抽出されたサンプルには、降雨や降雪の影響を受けているものもあり、ライダー画像や気象情報による正否判定が必要であった。

黄砂現象が下層に及んでいたサンプルは、2006年度に19個、2007年度に37個であった。そのうち黄砂期 (3月~5月) のサンプルは、2006年度に16個、2007年度に20個あり、また、2007年度は黄砂期以外の通常期にもかなりのサンプルが抽出された。

いくつかのサンプルについて同じ現象の一部とみなされるとき、たとえば、サンプルのある日が2日以上に継続しているときは、それらのサンプルは同一のエピソードとした。黄砂期におけるそのエピソードの回数とそれらの延べ日数について、2006年度は エピソード9回、延べ日数26日、2007年度はそれぞれ 14回、31日であった。

黄砂期の黄砂の乾性沈着量を黄砂消散係数、黄砂継続時間、沈降速度によって計算し、沈着量は、2006年度 1.2ton/km<sup>3</sup>、2007年度 1.3ton/km<sup>3</sup>と推定された。黄砂現象の実態をみるためには量的に把握することが重要である。

キーワード：黄砂、ライダー、黄砂消散係数、高度分布、沈着量

### 1. はじめに

黄砂現象時には多くの一般環境大気測定局で浮遊粒子状物質濃度(SPM濃度)が大気環境基準を超過して観測されている。特に、島根県は黄砂の影響を受けやすい立地状況にあるため、2006年4月8日の大規模黄砂時には松江市のSPM濃度の最高値は全国で最も高い値となった。これは、島根県の過去のデータの中でも最も大きな値であった。黄砂粒子が呼吸器疾患等の健康影響に関与している可能性があることから、島根県では、黄砂現象の発生状況や粒子の物理的・化学的実態を把握するために、高濃度エアロゾル調査や環境省委託事業の黄砂実態解明調査を行っている。

また、環境省は国際的な黄砂モニタリングネットワークの構築を目指して、松江市を含む国内9カ所にライダー (レーザーを用いた測定器) を設置しており、島根県への飛来情報もリアルタイムで提供している。そこで、ライダー観測データを活用した黄砂現象の把握調査と解析を進めるため、黄砂現象の抽出方法を検討した。この方法により2006年度~2007年度に発生した

黄砂現象の実態を把握し、黄砂粒子の地表面への沈着量を推定したので報告する。

### 2. 調査・解析方法

#### 2. 1 ライダー観測

- ① ライダー観測装置 (LIDAR : Light Detection And Ranging) : 国立環境研究所が開発し、国設松江大気環境測定所 (島根県保健環境科学研究所敷地内) に隣接して設置している柴田科学製L2S-SMII型。
- ② 測定項目および収集方法 : 国立環境研究所により公表されている、高度30mごとの黄砂消散係数5分間観測 (15分間に1回) テキストデータをダウンロードした (<http://www-lidar.nies.go.jp/Matsue/>)。
- ③ データ解析方法 : 5分間観測値を1時間データ (4個の平均値) にまとめ、高度30mごとの測定値を高度300m (10個の平均値) ごとの層に分類し、高度約2kmまでの高度分布を得た。解析手順は表1のとおりである。

表1 ライダーデータの解析手順

- ① 黄砂消散係数について負のデータを除外する（測定値0は使用する）。  
日本では 黄砂消散係数  $1 = \text{約 } 1 \text{ g/m}^3$  として計算される。  
ここでは、黄砂消散係数を1000倍し、 $\text{mg/m}^3$ で表す。
- ② 高度分布は120m～2.2kmについて次の7層に分類し、平均値を求める。  
各層において、0を超えるデータが1個もない場合は欠測とする。  
I層(120m～400m), II層(400m～700m), III層(700m～1km), IV層(1km～1.3km),  
V層(1.3km～1.6km), VI層(1.6km～1.9km), VII層(1.9km～2.2km),
- ③ 時刻UTCはJST表記に換え、15分間値の平均値より1時間値を求める。  
(例)12時のデータ:12:00, 12:15, 12:30, 12:45の平均値
- ④ 時刻別黄砂現象の有無について、次ぎの高度に大分類し黄砂消散係数による判別基準を定めた。  
下層 (I層, II層)、中層 (III層, IV層)、上層 (V層, VI層)、TOP (VII層)  
下層に黄砂「有り」: I層, II層ともに0.05以上、かつI層とII層の和が0.15以上  
中層に黄砂「有り」: III層, IV層ともに0.05以上、かつIII層とIV層の和が0.15以上  
上層に黄砂「有り」: V層, VI層ともに0.05以上、かつV層とVI層の和が0.15以上  
TOPに黄砂「有り」: VII層0.05以上、かつVI層とVII層の和が0.15以上
- ⑤ ある期間の黄砂現象継続は、基本的に連続4時間以上とした。
- ⑥ 継続する黄砂現象の平均値、最高値、最小値の算出方法を定めた。  
下層はI層の値、中層はIII層の値、上層はV層の値によった。  
下層を基本にほぼ上層まで分布した場合は全層と記し、I層の値によって評価した。  
同様に、下層中層はI層の値、中層上層はIII層の値である。
- ⑦ 上記の手順で抽出された黄砂現象について、下層まで降りた黄砂現象と中層上層の黄砂現象に大別した。
- ⑧ 上記の手順で抽出された黄砂現象について、ライダー公表画像より正否を判定した。  
下層まで降りた黄砂現象の正否は松江气象台の天候データも参考にした。  
ライダー画像で不適とされた多くが降雨や降雪の場合に一致した。

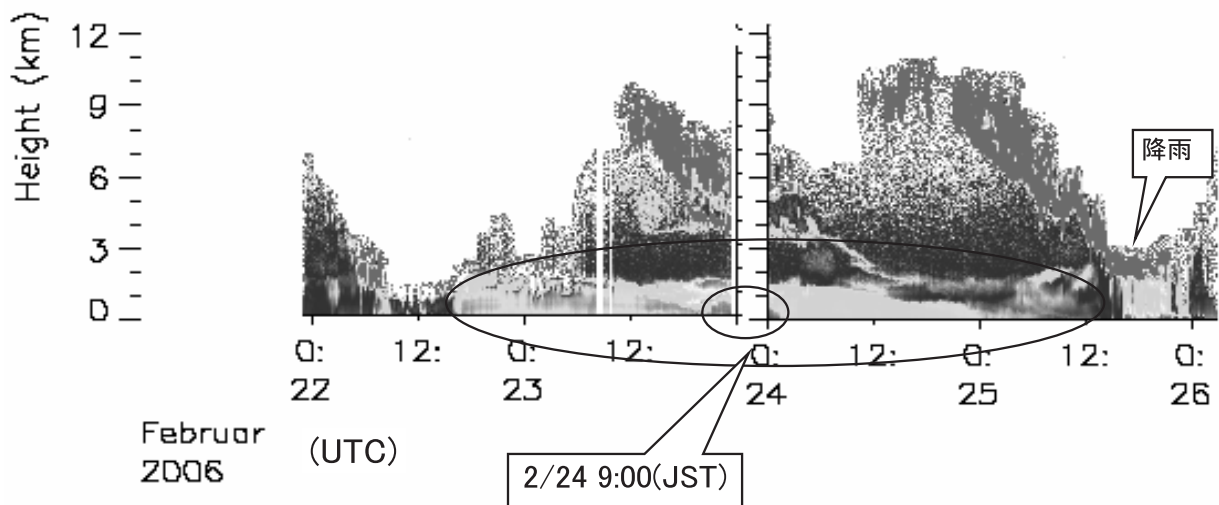


図1 ライダー解析表示画像 (松江市)、時刻 UTC (国際標準時)  
JST 2/22 9:00 ~ 2/26 9:00 (2006)

## 2. 2 大気中粒子状物質の捕集およびイオン成分分析

- ① 粒径分布：測定条件は以下のとおりである。
- 1) サンプルング方法と装置：アンダーセローポリウムエアサンプラー法（Dylec製 AN-200、8段分級捕集）
  - 2) 捕集ろ紙：Polyflon Filter（SUMITOMO AF-07P、80mm）
  - 3) 捕集時間：24時間以上
- ② PM10およびイオン成分の濃度変化：測定条件は以下のとおりである。
- 1) サンプルング方法と装置：グローバルサンプラー法（Dylec製）、PM10インパクター付きろ紙ホルダー
  - 2) 捕集ろ紙：Membrane Filter（ADVANTEC PTFE 47mm）
  - 3) 捕集時間：6時間
- ③ イオン成分の分析：イオンクロマトグラフ法（Dionex製 DX500）

## 3. 結果と考察

### 3. 1 黄砂現象の抽出条件設定

黄砂消散係数テキストデータより黄砂現象の有無を判別抽出する条件については、比較的小規模な黄砂エピソードである2006年2月23日～25日の事象（SPM濃度平均値  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を対象として検討した。図1に532nmでの散乱の偏光特性を測定した偏光解消度の表示画像を示す<sup>1),2)</sup>。黄砂のような非球形粒子では大きな偏光解消度を示している。一方雲については、水雲は小さく氷雲は非常に大きな値を示すことから、黄砂と雨雲を判別した。図1では、2/23 1:00（UTC 2/22 16:00）～2/25 24:00（UTC 2/25 15:00）に、地上より高度約1 kmまでの層に黄砂粒子がみられる（灰色部分）。ただし、2/24 9:00（UTC 2/24 0:00）前後と2/25 9:00（UTC 2/25 0:00）以降は薄い灰色に変化し、黄砂粒子が低濃度となったことを示している。

この期間が確かに黄砂現象であったかどうか、浮遊粒子状物質の粒径分布（2/24 9:20～2/25 14:40）とイオン成分の濃度変化（2/23 14:30～2/25 14:30）を調べた。図2より、粒子状物質濃度はStage 2（4.7～7  $\mu\text{m}$ ）、Stage 3（3.3～4.7  $\mu\text{m}$ ）、Stage 4（2.1～3.3  $\mu\text{m}$ ）の粗大粒子側で高く、微小粒子側は低濃度であった。Stage 3が粒径分布のピークとなり主粒径は約4  $\mu\text{m}$ である。一般的に日本に飛来する黄砂粒子の主粒径は約4  $\mu\text{m}$ とされ、島根県の他の大規模な黄砂事象においても同様の粒径分布が得られている。また、この分級捕集された粉じん中のイオン成分分析

により、黄砂粒子の指標である $\text{Ca}^{2+}$ イオンは粗大粒子側で同様の粒径分布を示し、更に大気中の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の変化は、図3に示すように通常時に比べ上昇した。以上の結果は、この期間が黄砂現象の状況にあったことを示している。

ライダー観測データについて、2. 1の解析手順によりI層～VII層の高度別の黄砂消散係数を求め、図4にその分布図を示した。図3の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度変化はI層（120～400m）の黄砂消散係数の変化にほぼ対応しており、黄砂消散係数の解析による黄砂現象の判別が可能であった。

一方、黄砂現象の継続期間の設定について2/23 1:00～2/25 24:00を継続した黄砂現象とみることもできるが、図4において黄砂消散係数の値の変化は、2/23、2/24 および 2/25のそれぞれにピークが出現し

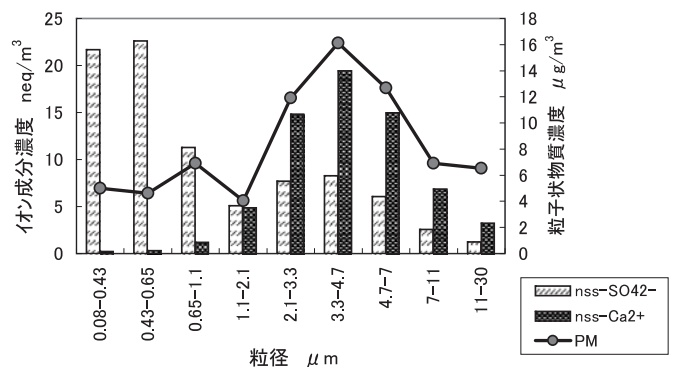


図2 黄砂現象時の粒径分布  
（アンダーセローポリウムサンプラー法）  
2/24 9:20 ～ 2/25 14:40（2006）

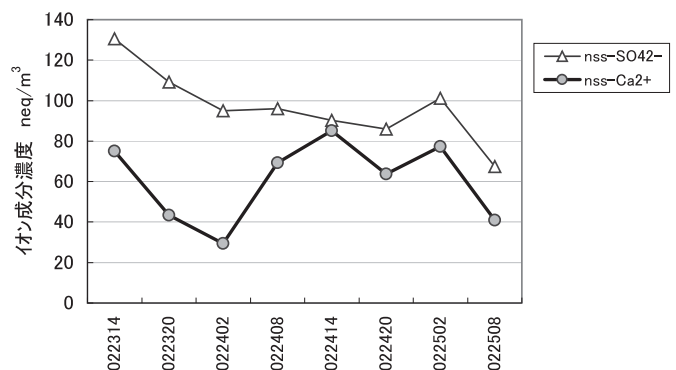


図3 イオン成分濃度の変化  
（グローバルサンプラー法）  
2/23 14:30 ～ 2/25 14:30（2006）

ている。黄砂の判定基準について黄砂消散係数を低く設定した場合には、継続時間が長くなり、その期間に気象状況の変化によって黄砂現象以外の影響が入る危険性がある。図1のライダー表示画像においても、降雨の影響により2/26 3:00~9:00 (UTC 2/26 0:00) に測定値が上昇した。

この抽出条件により上記の黄砂エピソードを解析した結果、表2に示すように2つのサンプルとして抽出された。それぞれの開始と終了の境界を図4に記入した。先の粒径分布調査はサンプルNo.2の期間にほぼ対応していた。高濃度エアロゾル現象の設定濃度レベルに関しては、国設松江大気環境測定局のSPM濃度が、サンプルNo.1で平均値 $34\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、サンプルNo.2で平均値 $29\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、かなり低濃度領域までカバーできる抽出条件であると考えられた。

### 3.2 2006年度~2007年度における下層での黄砂飛来状況

2006年度~2007年度の松江市での黄砂現象について、ライダー観測データを表1の解析手順でサンプル抽出をした。下層(120~700m)に黄砂現象の及んでいる高度分布を示したサンプルは、2006年度は43サンプルあった。そのうち24サンプルについては、ライダー表示画像や降水・降雪などの天候状況による正否判定により除外し、表3-1に示す19サンプルを黄砂現象とした。なお、表中の黄砂濃度は解析手順に記載したよ

うに、低層はI層(120m~400m)の、中層はIII層(700m~1km)の、上層はV層(1.3km~1.6km)の値である。高度2kmのTOP層の値は、上層における黄砂有無の判定の参考として使用している。

2007年度は68サンプルが抽出され、そのうち31サンプルを上記の方法で除外し、表3-2に示す37サンプルを黄砂現象とした。黄砂消散係数による抽出条件には該当しているが除外されたサンプルについて、「下層のデータしか得られていない(下層に雨雲がある)」、あるいは、「降雨や降雪がある」、という共通点がみられた。3月~5月の黄砂期(以後、黄砂期と略す)のサンプルは、2006年度が19個のうち16個、2007年度は37個のうち20個で、2007年度は黄砂期以外の通常期(以後、通常期と略す)にも多くのサンプルが抽出された。黄砂期の黄砂消散係数の平均値は、2006年度: $0.25\text{mg}/\text{m}^3$  (n=16)、2007年度: $0.16\text{mg}/\text{m}^3$  (n=20)であった。平均濃度が高い黄砂サンプルは、2006年度についてはNo.2(040210-040213): $0.98\text{mg}/\text{m}^3$ とNo.5(040806-040824): $0.55\text{mg}/\text{m}^3$ で、2007年度については、No.1(040109-040219): $0.50\text{mg}/\text{m}^3$ とNo.35(030220-030311): $0.32\text{mg}/\text{m}^3$ であった。2007年4月1日の高濃度サンプルに関して、鶴野ら(2008)は、3月30日に中国・モンゴル国境付近でダストが発生し東進していること示すとともに、ライダー観測データの同化によってダスト発生・輸送モデルの精度の向上を図っている<sup>3)</sup>。

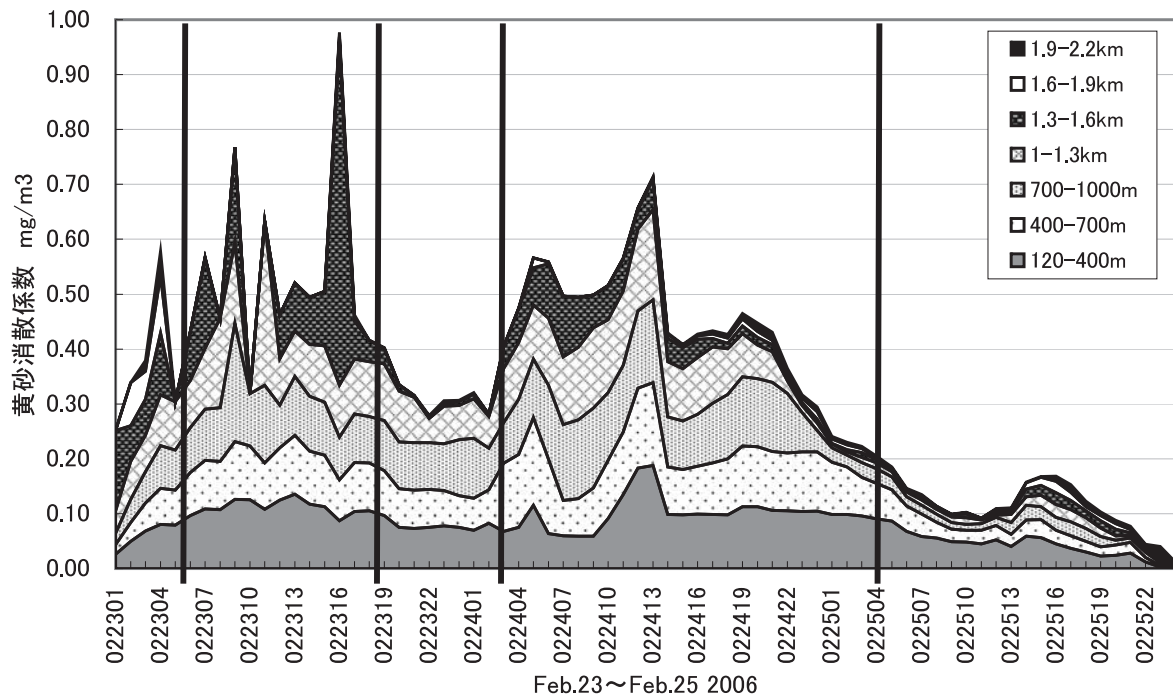


図4 黄砂消散係数の高度分布解析にみられる黄砂現象の変化



表2 黄砂現象抽出条件によって分類された黄砂サンプル  
対象：2/23 1:00 ~2/25 24:00 (2006)

サンプル No	開始時刻	終了時刻	継続時間 (hrs)	高度分布	濃度 mg/m <sup>3</sup>				
					平均値	最大値	時刻	最小値	時刻
No. 1	022306	022319	14	下層中層	0.11	0.14	022313	0.087	022316
No. 2	022403	022504	26	下層中層	0.10	0.19	022413	0.059	022408

表3-1 2006年度に下層(120~700m)で黄砂現象が観測されたサンプル

年 月	サンプル No	開始時刻	終了時刻	継続時間 (hrs)	高度分布	濃度 mg/m <sup>3</sup>					天候
						平均値	最大値	時刻	最小値	時刻	
2006年4月	No. 1	040113	040201	13	全層	0.16	0.96	040120	0.033	040122	くもり
	No. 2	040210	040213	4	全層	0.98	1.74	040210	0.328	040212	くもり/雨
	No. 3	040323	040402	4	下層	0.068	0.076	040401	0.059	040323	快晴
	No. 4	040414	040420	7	全層	0.27	0.51	040420	0.049	040418	くもり/雨
	No. 5	040806	040824	19	全層	0.55	1.21	040814	0.055	040822	快晴
	No. 6	040910	041001	16	全層	0.15	0.23	040922	0.091	040910	薄曇り
	No. 7	041611	041614	4	全層	0.11	0.13	041612	0.088	041611	晴れ
	No. 8	041717	041903	35	全層	0.17	0.33	041814	0.047	041817	快晴/薄曇り
	No. 9	042320	042503	32	全層	0.39	0.68	042410	0.017	042324	快晴
	No. 10	042911	043102	40	全層	0.13	0.29	043013	0.044	043001	晴れ/くもり
2006年5月	No. 11	052203	052216	14	全層	0.078	0.14	052215	0.053	052204	くもり
2006年12月	No. 12	122202	122207	6	全層	0.070	0.13	122207	0.048	122206	霧
2007年2月	No. 13	021418	021504	11	全層	0.14	0.32	021419	0.058	021504	くもり
	No. 14	021514	021520	7	全層	0.11	0.13	021516	0.079	021520	くもり/晴れ
2007年3月	No. 15	030412	030421	10	全層	0.10	0.14	030414	0.037	030419	晴れ
	No. 16	032114	032321	56	全層	0.11	0.21	032214	0.046	032309	晴れ/快晴
	No. 17	032603	032715	37	全層	0.17	0.43	032713	0.093	032617	くもり
	No. 18	032803	032905	27	全層	0.18	0.58	032904	0.059	032803	晴れ
	No. 19	032918	033002	9	全層	0.31	0.73	032919	0.051	032921	くもり

表3-2 2007年度に下層(120~700m)で黄砂現象が観測されたサンプル

年 月	サンプル No	開始時刻	終了時刻	継続時間 (hrs)	高度分布	濃度 mg/m <sup>3</sup>					天候
						平均値	最大値	時刻	最小値	時刻	
2007年4月	No. 1	040109	040219	35	全層	0.50	1.20	040208	0.097	040219	くもり
	No. 2	040811	040915	29	全層	0.10	0.11	040912	0.080	040915	快晴
	No. 3	041210	041213	4	全層	0.085	0.10	041211	0.067	041210	晴れ
	No. 4	041901	041917	17	全層	0.20	0.91	041902	0.014	041916	快晴
	No. 5	042311	042415	29	全層	0.10	0.11	042412	0.080	042415	晴れ/薄曇り
	No. 6	042710	042713	4	全層	0.085	0.10	042711	0.067	042710	薄曇り
2007年5月	No. 7	050218	050314	21	下層・中層	0.10	0.11	050310	0.086	050218	快晴
	No. 8	050322	050417	20	下層・中層	0.11	0.14	050408	0.079	050417	快晴
	No. 9	050504	050515	12	全層	0.10	0.15	050515	0.066	050504	くもり
	No. 10	050709	050722	14	下層・中層	0.10	0.10	050713	0.083	050722	晴れ
	No. 11	050801	050914	38	全層	0.12	0.15	050806	0.084	050801	快晴
	No. 12	051216	051321	30	全層	0.12	0.31	051218	0.011	051223	くもり/快晴
	No. 13	051404	051509	30	下層	0.12	0.21	051501	0.071	051404	快晴/晴れ
	No. 14	051609	051618	10	下層・中層	0.10	0.17	051612	0.022	051610	くもり
	No. 15	051804	051817	14	全層	0.14	0.21	051814	0.077	051806	雨/曇り
	No. 16	052519	052715	45	全層	0.29	0.63	052608	0.057	052522	晴れ/快晴
2007年6月	No. 17	053011	053019	9	下層・中層	0.11	0.17	053013	0.072	053019	くもり
	No. 18	062709	062723	15	下層・中層	0.088	0.15	062709	0.059	062717	くもり/薄曇り
	No. 19	070702	070720	19	下層	0.093	0.12	070704	0.067	070702	くもり
	No. 20	070807	070810	4	下層・中層	0.080	0.090	070807	0.074	070809	くもり
2007年7月	No. 21	071906	071918	13	全層	0.12	0.15	071906	0.085	071913	薄曇り/くもり
	No. 22	072501	072513	13	下層・中層	0.11	0.16	072510	0.074	072513	晴れ/くもり
	No. 23	072610	072620	11	下層・中層	0.086	0.18	072620	0.046	072617	くもり/快晴
	No. 24	072806	072814	9	下層・中層	0.091	0.10	072808	0.076	072814	晴れ
	No. 25	072824	072917	18	下層・中層	0.13	0.19	072908	0.105	072917	快晴/くもり
2007年9月	No. 26	091210	091219	10	下層・中層	0.093	0.12	091215	0.068	090120	晴れ
	No. 27	091301	091310	10	下層	0.094	0.12	091302	0.080	090213	晴れ/快晴
2007年11月	No. 28	111510	111516	7	下層・中層	0.11	0.16	111516	0.081	111512	晴れ/くもり
	No. 29	112703	112709	7	下層	0.10	0.14	112709	0.086	112708	くもり
2007年12月	No. 30	120211	120216	6	下層・中層	0.11	0.12	120213	0.100	120216	くもり/晴れ
2008年1月	No. 31	010717	010821	29	下層・中層	0.11	0.16	010813	0.073	010723	くもり
	No. 32	010911	010919	9	全層	0.10	0.12	120213	0.083	010919	くもり/晴れ
	No. 33	011008	011110	27	全層	0.090	0.11	011014	0.074	011101	くもり
2008年2月	No. 34	022922	030105	8	全層	0.14	0.20	030105	0.090	022922	薄曇り
2008年3月	No. 35	030220	030311	16	全層	0.32	0.77	030310	0.11	030303	雨/くもり
	No. 36	031619	031704	10	下層・中層	0.12	0.17	031704	0.089	031619	薄曇り
	No. 37	031711	031819	33	下層	0.19	0.30	031810	0.11	031718	快晴/薄曇り

表4-1 2006年度 上層・中層での黄砂飛来状況

年 月	サンプル No	開始時刻	終了時刻	継続時間 (hrs)	高度分布	濃度 mg/m <sup>3</sup>				
						平均値	最大値	時刻	最小値	時刻
2006年4月	No. 1	040309	040315	7	上層	0.09	0.12	040312	0.028	040309
	No. 2	040316	040322	7	中層	0.16	0.21	040320	0.070	040316
	No. 3	040724	040805	6	中層上層	0.05	0.07	040805	0.030	040804
	No. 4	040905	040909	5	中層上層	0.14	0.20	040907	0.085	040905
	No. 5	042201	042206	6	上層	0.13	0.16	042204	0.094	042201
	No. 6	042611	042616	6	上層	0.08	0.09	042611	0.073	042616
	No. 7	042903	042909	7	上層	0.09	0.11	042909	0.065	042904
2006年5月	No. 8	050420	050509	14	上層	0.10	0.16	050502	0.051	050424
	No. 9	052014	052114	25	上層	0.09	0.16	052114	0.051	052018
	No. 10	052115	052202	12	中層上層	0.08	0.14	052202	0.058	052121
	No. 11	052404	052408	5	中層上層	0.16	0.19	052406	0.085	052404
2006年6月	No. 12	061001	061011	11	中層上層	0.09	0.12	061008	0.059	061003
	No. 13	061605	061611	7	上層	0.08	0.12	061610	0.064	061606
	No. 14	062906	062909	4	中層上層	0.08	0.09	062908	0.066	062906
2006年10月	No. 15	100921	101013	17	中層上層	0.08	0.12	101012	0.059	101009
	No. 16	101114	101304	39	中層上層	0.12	0.25	101216	0.023	101220
	No. 17	101510	101513	4	中層上層	0.03	0.06	101510	0.018	101512
	No. 18	103124	110108	9	中層上層	0.08	0.10	110106	0.042	110103
2006年11月	No. 19	110501	110511	11	中層上層	0.07	0.11	110507	0.038	110502
	No. 20	110605	110615	11	中層上層	0.15	0.63	110605	0.027	110606
2006年12月	No. 21	121422	121506	9	上層	0.09	0.15	121423	0.031	121501
2007年1月	No. 22	011202	011209	8	中層上層	0.08	0.11	011205	0.058	011207
2007年2月	No. 23	022205	022209	5	上層	0.15	0.26	022205	0.080	022209
2007年3月	No. 24	030906	030917	12	中層上層	0.08	0.13	030907	0.025	030910
	No. 25	031012	031015	4	中層上層	0.10	0.11	031015	0.076	031012
	No. 26	031414	031423	10	中層上層	0.08	0.09	031422	0.069	031419
	No. 27	032519	032602	8	中層上層	0.10	0.11	032522	0.088	032520
	No. 28	032720	032802	7	上層	0.16	0.25	032802	0.100	032720

表4-2 2007年度 上層・中層での黄砂飛来状況

年 月	サンプル No	開始時刻	終了時刻	継続時間 (hrs)	高度分布	濃度 mg/m <sup>3</sup>				
						平均値	最大値	時刻	最小値	時刻
2007年4月	No. 1	040220	040303	8	中層上層	0.12	0.29	040302	0.042	040224
	No. 2	040724	040808	9	中層上層	0.083	0.10	040804	0.042	040807
	No. 3	042823	042914	16	中層	0.19	0.86	042823	0.021	042906
2007年6月	No. 4	060709	060712	4	中層上層	0.087	0.10	060709	0.080	060712
2007年7月	No. 5	070604	070616	13	中層上層	0.068	0.10	070611	0.039	070606
2007年8月	No. 6	080409	080418	10	中層上層	0.063	0.14	080418	0.016	080416

### 3.3 2006年度～2007年度における上層・中層での黄砂飛来状況

上層（1.3km～1.9km）あるいは中層（0.7km～1.3km）が黄砂現象である高度分布を示したサンプルとして、2006年度は36サンプルが抽出された。そのうち8サンプルについてはライダー表示画像に基づく判定により除外し、表4-1に示す28サンプルを黄砂現象とした。2007年度は25サンプルが抽出され、そのうち19サンプルを除外、表4-2に示す6サンプルを黄砂現象とした。2006年度は下層にまで及ばなかった黄砂飛来の回数が多かったが、2007年度には著しく減少した。黄砂期の上層～中層における黄砂消散係数の平均値は、2006年度：0.11mg/m<sup>3</sup>（n=16）、2007年度：0.13mg/m<sup>3</sup>（n=3）で、いずれも下層に比べ低濃度である。

### 3.4 黄砂期における黄砂現象時の粉じん沈着量

黄砂飛来によってもたらされる黄砂粉じん沈着量の影響をみるために、サンプルごとの黄砂沈着量を下式により推計した。

$$\text{黄砂粉じん濃度 } C = \text{黄砂消散係数 } D \times \text{変換係数 } f$$

(C : mg/m<sup>3</sup>、ただし f = 1 とした)

$$m = Cx \times v \times t$$

m : 沈着量 (kg/km<sup>2</sup>)

Cx : 黄砂粉じん平均濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

V : 沈降速度 (m/h)、

$$4.89 \times 10^{-3} \text{ m/s} = 17.6 \text{ m/h}$$

\*黄砂実態解明調査中間報告書<sup>4)</sup>

t : 黄砂現象継続時間 (h)

2006年度の結果を表5-1に、2007年度の結果を表

5-2に示す。黄砂期の黄砂沈着量については、2006年度：1.2ton/km<sup>2</sup>、2007年度：1.3ton/km<sup>2</sup>でほぼ同じ値となった。なお、松江市の黄砂降下量については、1986～1995年における黄砂期と6月～8月の期間の非水溶性降下ばいじん量の差から1.5ton/km<sup>2</sup>/月と推定しており<sup>5), 6)</sup>、今回の推定沈着量はその約3分の1であった。黄砂現象が降雨によって終息することがしばしばみられ、湿性の黄砂沈着量の影響がかなり大きいものと考えられた。推定黄砂沈着量の大きかったサンプルは、2006年度が、No. 9 (042320-042503) : 220kg/km<sup>2</sup>、No. 5 (040806-040824) : 180kg/km<sup>2</sup>で、2007年度についてはNo. 1 (040109-040219) : 310kg/km<sup>2</sup>、No. 16 (052519-052715) : 230kg/km<sup>2</sup>であった。このように、黄砂沈着量の推定は黄砂現象の規模を比較するうえで有効であった。

抽出条件の検討のために3. 1で取り上げたエピソードについて、図1のライダー画像が示すように、2個の抽出サンプルは黄砂の発生起源や輸送経路等について同一であると推定される。従って、黄砂の発生状況やその粒子の物理的・化学的実態をみるためには、抽出されたサンプルのうち同じエピソードのものは1つにまとめた解析が適当である。ここでは、抽出されたサンプルの日が継続した場合は同じエピソードとした。その結果、2006年度～2007年度の黄砂期におけるエピソードの個数と延べ日数は表6-1のようになった。2006年度黄砂期はエピソード9回(延べ日数26日、サンプル16個)、2007年度黄砂期はエピソード14回(延べ日数31日、サンプル20個)で2007年度が2006年度に比べ黄砂の発生回数は多かった。このサンプルの同一化については、今後、後方流跡線解析等による検証が必要と考えている。通常期については表6-2に示した。

表5-1 2006年度 黄砂沈着量の推定値 (kg/km<sup>2</sup>)

年 月	サンプル No	開始時刻	継続時間 (hrs)	濃度 mg/m <sup>3</sup>	黄砂沈着量 kg/km <sup>2</sup> v=17.6m/h	計
				平均値		
2006年4月	No. 1	040113	13	0.16	37	814
	No. 2	040210	4	0.98	69	
	No. 3	040323	4	0.07	5	
	No. 4	040414	7	0.27	33	
	No. 5	040806	19	0.55	185	
	No. 6	040910	16	0.15	41	
	No. 7	041611	4	0.11	8	
	No. 8	041717	35	0.17	106	
	No. 9	042320	32	0.39	218	
	No. 10	042911	40	0.13	92	
2006年5月	No. 11	052203	14	0.08	19	
2006年12月	No. 12	122202	6	0.07	7	
2007年2月	No. 13	021418	11	0.14	27	47
	No. 14	021514	7	0.11	13	
2007年3月	No. 15	030412	10	0.10	18	372
	No. 16	032114	56	0.11	108	
	No. 17	032603	37	0.17	111	
	No. 18	032803	27	0.18	86	
	No. 19	032918	9	0.31	49	

表5-2 2007年度 黄砂沈着量の推定値 (kg/km<sup>2</sup>)

年 月	サンプル No	開始時刻	継続時間 (hrs)	濃度 mg/m <sup>3</sup>	黄砂沈着量 kg/km <sup>2</sup> v=17.6m/h	計
				平均値		
2007年4月	No. 1	040109	35	0.50	311	1114
	No. 2	040811	29	0.10	50	
	No. 3	041210	4	0.085	6	
	No. 4	041901	17	0.20	60	
	No. 5	042311	29	0.10	50	
	No. 6	042710	4	0.085	6	
2007年5月	No. 7	050218	21	0.10	36	389
	No. 8	050322	20	0.11	38	
	No. 9	050504	12	0.10	22	
	No. 10	050709	14	0.10	24	
	No. 11	050801	38	0.12	83	
	No. 12	051216	30	0.12	65	
	No. 13	051404	30	0.12	65	
	No. 14	051609	10	0.10	18	
	No. 15	051804	14	0.14	35	
	No. 16	052519	45	0.29	229	
	No. 17	053011	9	0.11	17	
2007年6月	No. 18	062709	15	0.088	23	
2007年7月	No. 19	070702	19	0.093	31	220
	No. 20	070807	4	0.080	6	
	No. 21	071906	13	0.12	26	
	No. 22	072501	13	0.11	25	
	No. 23	072610	11	0.086	17	
	No. 24	072806	9	0.091	14	
	No. 25	072824	18	0.13	43	
	No. 26	091210	10	0.093	16	
2007年9月	No. 27	091301	10	0.094	17	
2007年11月	No. 28	111510	7	0.11	13	12
	No. 29	112703	7	0.10	13	
2007年12月	No. 30	120211	6	0.11	12	
2008年1月	No. 31	010717	29	0.11	54	20
	No. 32	010911	9	0.10	16	
	No. 33	011008	27	0.090	43	
2008年2月	No. 34	022922	8	0.14	20	90
	No. 35	030220	16	0.32	90	
2008年3月	No. 36	031619	10	0.12	22	108
	No. 37	031711	33	0.19	108	

表6-1 黄砂期における黄砂現象の発生回数

m/y	エピソード (回)	延べ日数 (日)	サンプル数 (個)
Apr-06	5	16	10
May-06	1	1	1
Mar-07	3	9	5
Apr-07	6	9	6
May-07	6	17	11
Mar-08	2	5	3

表6-2 通常期における黄砂現象の発生回数

m/y	エピソード (回)	延べ日数 (日)	サンプル数 (個)
Dec-06	1	1	1
Feb-07	1	2	2
Jun-07	1	1	1
Jul-07	4	7	7
Sep-07	1	2	2
Nov-07	2	2	2
Dec-07	1	1	1
Jan-08	1	5	3
Feb-08	1	2	1

#### 4. まとめと展望

松江市に設置されたライダーの観測データを活用して黄砂現象を解析するため、国立環境研究所が情報公開している黄砂消散係数を用いて黄砂現象を抽出する方法について検討した。このデータベースは15分間隔の鉛直分布からなっており、下層（120～700m）、中層（0.7km～1.3km）および上層（1.3km～1.9km）の3層別に、黄砂現象を解析した。黄砂粉じんの有無の判定のために、これら3層のそれぞれを更に2層に分けTOP層を加えた計7層（Ⅰ～Ⅶ層）の黄砂消散係数の1時間平均値について基準値との比較を行った。この基準値の検討の対象とした黄砂現象は、黄砂粉じんの粒径分布や黄砂指標成分Ca<sup>2+</sup>濃度の時間変化によって黄砂現象と確認された小規模な黄砂エピソード（2006年2月23日～25日）である。この方法により抽出されたサンプルには、降雨や降雪の影響を受けているものもあり、ライダー画像や気象情報による正否判定を必要とした。

黄砂現象が下層（120～700m）を含む高度分布を示したサンプルは、2006年度が19個、2007年度は37個であった。そのうち黄砂期（3月～5月）の黄砂消散係数の平均値については、2006年度0.25mg/m<sup>3</sup>（n=16）、2007年度0.16mg/m<sup>3</sup>（n=20）であった。サンプル日が継続した場合は同一のエピソードに含め、そのエピソード数が黄砂発生回数とすると、黄砂期における発生回数は、2006年度9回（延べ日数26日）、2007年度14回

（延べ日数31日）で、2006年度に比べ2007年度の発生回数が多かった。

黄砂飛来によってもたらされる黄砂粉じんの降下量の影響をみるために、黄砂消散係数による粉じん濃度（mg/m<sup>3</sup>）、黄砂継続時間（h）、沈降速度（4.89×10<sup>-3</sup> m/s = 17.6 m/h）によってサンプルごとの黄砂沈着量を推定すると、黄砂期について、2006年度：1.2 ton/km<sup>2</sup>、2007年度：1.3 ton/km<sup>2</sup>とほぼ同じ値となった。これらの黄砂の乾性沈着量は、過去に降下ばいじん法によって得られた黄砂降下量の約3分の1であり、黄砂沈着量における湿性沈着の影響が大きいことが伺える。

イオン成分分析等によって黄砂現象としたエピソードが、ライダー解析のサンプルとしては抽出されなかった事例があり、黄砂のサンプル抽出結果の精度について課題がある。また、2007年度には黄砂期以外にも多くのサンプルが抽出されており、中国・モンゴルの発生源地域の黄砂発生状況について情報収集が必要である。

抽出された黄砂サンプルのⅠ層（120m～400m）、Ⅲ層（700m～1 km）Ⅴ層（1.3km～1.6km）に対応した高度500m、1000m、1500mにおける後方流跡線解析等によって、輸送経路の推定とエピソードの分類が必要である。また、粒径分布調査結果およびイオン成分の挙動調査結果を加えた解析によって、黄砂の起源や輸送経路とイオン成分との関係を調べ、黄砂現象の物理的・化学的な実態把握を行いたいと考えている。中層や上層を飛来する黄砂現象について2006年度には28個におよぶ多数のサンプルが抽出され、これらの黄砂現象については全国への広域的な影響あるいは中国山地の高所域に影響する可能性が考えられる。

#### 文 献

- 1) 杉本伸夫：ライダー、天気、54, 601-604（2007）
- 2) 杉本伸夫ら：ライダーが捉えた2005年4月30日の仙台の黄砂現象、天気、52（11）、3-4（2005）
- 3) 鶴野伊津志、弓本桂也、杉本伸夫、清水厚：随伴モデリングを用いた東アジア域のダストの発生・輸送の逆推定、大気環境学会誌、43, 191-197（2008）
- 4) 黄砂実態解明調査 中間報告書：環境省、平成19年3月 p61
- 5) 多田納力：島根県における大規模黄砂現象の発生状況と特徴、環境技術、36, 251-257（2007）
- 6) 多田納力ほか：大気中粒子状物質調査－黄砂の島根県への影響－、第24回環境保全・公害防止研究発表会講演集、63（1997）



# **The realities of the Asian dust phenomena in Matsue City based on an analysis of the Lidar observation data**

**(Apr 2006 — Mar 2008)**

**Tsutomu TATANO, Rie KUROSAKI,  
Atsushi SHIMIZU\*, Ichiro MATSUI\*, Nobuo SUGIMOTO\***

\*National Institute for Environmental Studies

To analyze the Asian dust phenomena using the observational data of the lidar at Matsue site of NIES LIDAR observation sites, the extracting method of the samples showing plumes of the Asian dust by the dust extinction coefficient was examined.

The Asian dust phenomena were evaluated according to the judgment standard value set to the hourly mean of the Asian dust extinction coefficients in the lower layer (120-700m), the intermediate layer (0.7km<sup>2</sup>-1.3km), and the upper layer (1.3km-1.9km), respectively. Because the rainfall and the snow had influenced some samples extracted by this method, the lidar image and weather information were necessary for the final judgment.

The number of samples in which plumes of Asian dust was shown in the lower layer was 19 samples in fiscal year 2006 and 37 samples in fiscal year 2007. Among those, 16 samples were in the period at the Asian dust phenomenon (March, April and May) in fiscal year 2006 and 20 samples in fiscal year 2007, and a considerable number of samples extracted were in the usual period other than this period in fiscal year 2007.

When some samples were considered to be parts of the same Asian dust phenomenon, for instance, the similar samples continued for two days or more, those samples were assumed belonging to the same episode. After the re-consideration it was nine times of the episode and total 26 days during the period of the Asian dust phenomenon in fiscal year 2006. Moreover, it was 14 times of the episode and total 31 days in fiscal year 2007.

From the Asian dust extinction coefficient, the continuance time and the deposition velocity, the amount of the dry deposition for dust during the period of the Asian dust phenomenon was estimated to be 1.2 ton/km<sup>2</sup> in fiscal year 2006, and 1.3ton/km<sup>2</sup> in fiscal year 2007. Quantitative estimation is important to understand the realities of the Asian dust phenomenon.

Key words : Asian dust, Lidar, Asian dust extinction coefficient, High degree distribution, Deposition