

ライダーシステムによる福山大学上空の黄砂観測

— 2007 —

香川直己

LIDAR Observation of Asian Dust at Fukuyama University in 2007

Naoki KAGAWA

ABSTRACT

Observation of KOSA, Asian Dust, has been carried out every spring since 2001 with a constructed polarized Mie LIDAR system in department of electronic and electrical engineering, Fukuyama university at 133.23/34.47N. In this report, significant data of KOSA events obtained in 2007 are shown. Moreover, consideration of relation between KOSA and photochemical oxidant are described.

キーワード：レーザレーダ，ライダー，ミー散乱，黄砂，光化学オキシダント

Keywords: laser radar, LIDAR, mie scattering, Asian dust, photochemical oxidant

1. まえがき

レーザレーダの適用には種々の可能性があるが、一つの測定対象として、黄砂が挙げられる。これは、中国大陸の砂塵嵐を起源とするものであり、早春の風物詩であるが、一方で対流圏での物質輸送を把握する上でのトレーサとして注目され、観測データが蓄積されている。

本学の位置する福山は天候に恵まれ、瀬戸内海沿岸の独特の気候条件を持つことから、黄砂のレーザレーダによる観測に適しており、有意な観測データを提供することが期待できる。このような背景から、偏光解消度測定可能なミー散乱レーザレーダシステムの設計、構築を行い、2000年から観測を開始した。

エアロゾルの垂直分布の測定が可能であるレーザレーダは多地点での同時計測を行うことで、より立体的な輸送情報の把握が可能になる。2001年には東アジア地域を対象とした国際プロジェクト(ACE-ASIA)が実施され、当該レーザレーダも観測ステーションの一つとして、北京、筑波、東京、信楽、長崎のレーザレーダステーションと連携して黄砂の集中観測を行った[1]。この観測は現在も継続されている。

また近年、光化学スモッグが再注目されており、特に本年は都市大気汚染に加えて中国大陸を起源とする窒素酸化物等による越境性オキシダントの可能性が言われている[2]。そこで本稿では、2007年の観測結果を示し、同じく中国大陸を起源とする黄砂の動態との因果関係にも注目し考察する。

2. システムの概要

稼働中のライダーシステムのブロック図を図1に示す。これは、Nd-YAGレーザの第2高調波である波長532nmの光のミー散乱を観測する偏光ミーライダーであり、直線偏光化したプローブ光を大気中に垂直に打ち出し、上空の微粒子による散乱光をシュミット・カセグレン望遠鏡で集光する。受信光は干渉フィルターにより背景光が除去されたのち、偏光ビームスプリッターによりS偏光とP偏光に分配され、それぞれ別の光電子増倍管(PMT)で電気信号に変換される。また、これらの2系統とは別に単純にミー散乱強度だけを受信する系統を設けている。従って、全部で3つの受信チャンネルを持つ。

エアロゾルの密度はミー散乱強度信号から後方散乱係数を算出し推定する。後方散乱係数 $\beta(z)$ は大気分子の体積後方散乱係数(the volume backscatter-

ing coefficient) $\beta_m(z)$ とエアロゾルの体積後方散乱係数 $\beta_a(z)$ の和であり、 $\beta_a(z)$ は $\beta_m(z)$ に比べて高々度で急激に減少する特徴を持つ。

$\beta(z)$ は受信光パワ $P(z)$ の距離二乗補正值 $X(z)$

$$X(z) = P(z)z^2 \dots \dots \dots (1)$$

を用いて、

$$\beta(z) = \frac{X(z)}{P_0KY(z)T^2(z)} \dots \dots \dots (2)$$

で求めることができる。システムでは、効率を示す K を推定するために、 $\beta_m(z)$ が支配的になる高度

を 15km とし、その高度での $\beta_m(z)$ の値に米国標準大気モデルを用いて $\beta(z)$ を推定している。

S 偏光および P 偏光成分は、被測定物質の形状を推察するための偏光解消度を観察するために用いる。偏光解消度は出射時と同一方向の偏光の受信光強度と出射時とは 90 度偏向した受信光強度の比率から求められ、出射レーザー光の偏波方向に平行と垂直な後方散乱光パワを P_{\perp} と P_{\parallel} とすると

$$\delta \equiv \frac{P_{\perp}}{P_{\parallel}} \dots \dots \dots (3)$$

と定義される [3]。観測物質が砂、氷晶のような不

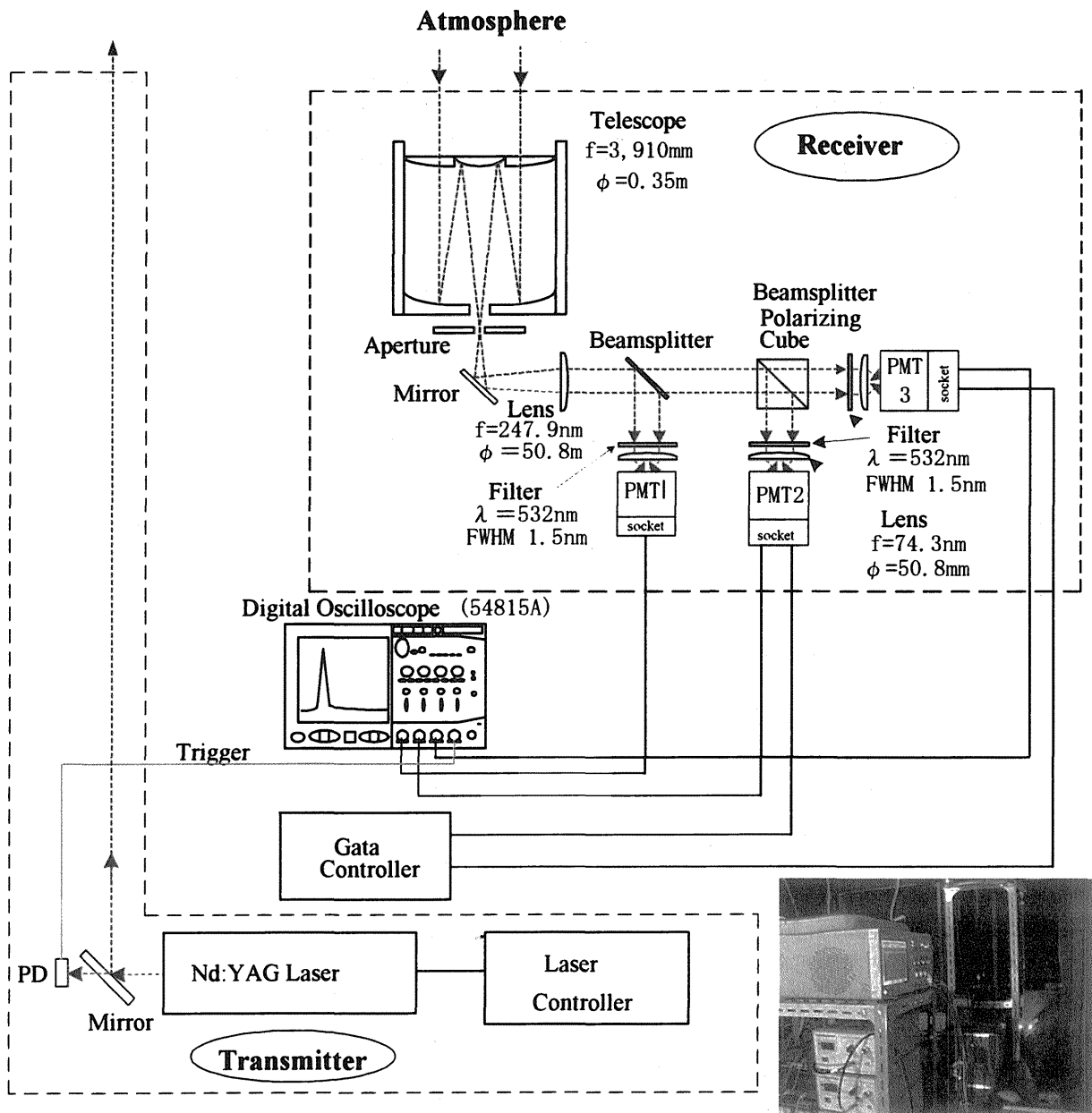


図1 偏光ミーライダーシステムの送受信系
Fig.1 Serving and receiving system of the LIDAR.

規則な表面形状している場合は出射光に対する偏向成分が増えるため、偏向解消度が増加する。逆に水滴のような球形粒子である場合は、概ね出射時の偏光状態で受光されるため偏光解消度が減少する。

実際には、各PMTからの電気信号はデジタルオシロスコープで同時サンプリングされ4096回の積算平均の後、ホストコンピュータに一度保存されるが、PMT固有の応答特性と光学的処理では排除できなかった背景光成分が残留するため、計算処理システムにおいて、保存されたデータを各受信チャンネルから得られる受信信号の時間波形とレーザの出射、受信記録から背景光成分を除去する。また、エアロゾル位置情報を信号の大きさから物体や微粒子の大きさや密度を信号処理部で抽出し、再び保存するとともに、ホストコンピュータのディスプレイ上に表示する。測定は、レーザ出力エネルギー30～50[mJ]、繰り返し周波数10[Hz]とし、毎時刻の正時から15分ごとに1時間に4回7分間レーザを出射し、その積算平均を記録する。以上の一連の操作は完全に自動化されている。なお、観測可能高度は13kmである。

3. 観測結果

本年は4月24日から7月5日まで、概ね中断なく集中観測を行った。ここでは、4月26日から5月31日までの観測結果を示すと共に、表1[4]に基づき光化学オキシダント状況も付記する。

3.1 4月26日から4月30日までの観測

図2は、4月26日から4月30日の5日間の観測結果を示したものである。左に後方散乱係数の概算結果、右に偏光解消度の計算結果を示している。後方散乱係数の観測結果より、4月28日までは不安定な大気状態であったことがわかる。偏光解消度を見ると、この間、地上2km～6kmにかけてダストの存在が認められるが、地上まで影響を及ぼしていないことが判る。一方、4月28日～30日は大気状態が安定するとともに、29日～30日に亘って、弱いながらも地表に達するダストの存在が認められる。

なお、この5日間において、4月26日14:00に福山地区においてオキシダント情報(0.104ppm)が発令されている。29日、30日はオキシダント情報の発令は無いが、福山地区で0.107ppm(29日16:00, 30日16:00)が観測され、広島地区ではオキシダント注意報(30日14:00, 0.121ppm)が発令されている。

3.2 5月1日から5月5日の観測結果

図3は、5月1日0:00(JST)から5月5日0:00(JST)までの観測結果である。この間は天候が不順であり、5月1日の正午までと5月4日の15:00以降は強い降雨のため観測を中止したためデータが欠落している。大気の状態が比較的安定したのは5月3日～4日の15:00頃までである。この僅かな安定期間中における偏光解消度の計算結果より、3日には弱いながらも地上に達するダストが存在したこ

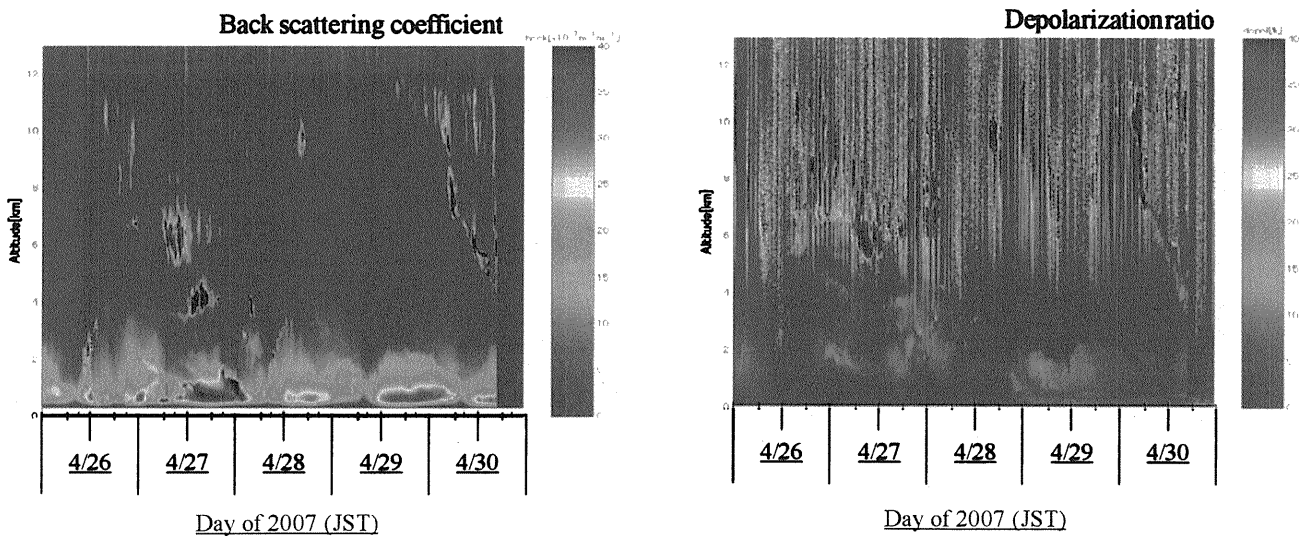


図2 2007年4月26日から30日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.2 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from April 26 to 30 every fifteen minutes.

とがわかる。

なお、この期間でのオキシダント情報および注意報の発令は無いが、3日17:00において、松永地区で0.100ppm、福山地区で0.109ppmのオキシダント濃度を記録している。因みに、5月4日のオキシダント最高値は松永地区で0.079ppm(13:00-14:00)、福山地区で0.100ppm(13:00)であり、地表付近からのダストの離反と関連した濃度変化を示している。

3.3 5月7日から5月11日の観測結果

図4に5月7日0:00(JST)から11日24:00(JST)の観測結果を示す。6日からの低気圧の影響で、5月7日の6:00(JST)の一時間に0.5mmの降雨が

あったが、その後5月10日の未明にかけて高気圧に覆われる天候条件であった。低気圧通過後地上から3kmの高度にかけて10%未満の偏光解消度を持つ層が認められるが、完全に高気圧圏内に含まれた5月8日9:00(JST)から低気圧の影響を受ける5月10日の未明にかけて、突然に高度1kmから5kmの範囲に10%以上の偏光解消度を持つ層が確認された。広島市、岡山市いずれの気象月報においても、この間のイベントは黄砂として記録されていない[5,6]。

この観測期間におけるオキシダントの状況であるが、8日、9日共に高い濃度が記録され、5月8日には、オキシダント情報(尾道17:00, 0.112ppm,

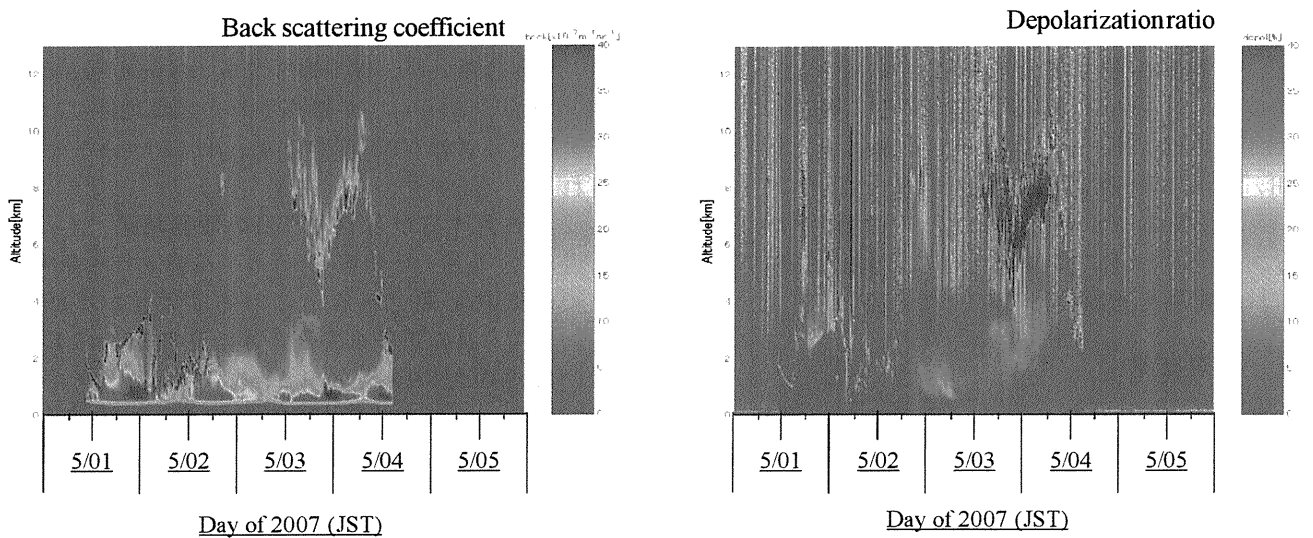


図3 2007年5月1日から5日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.3 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from May 1 to 5 every fifteen minutes.

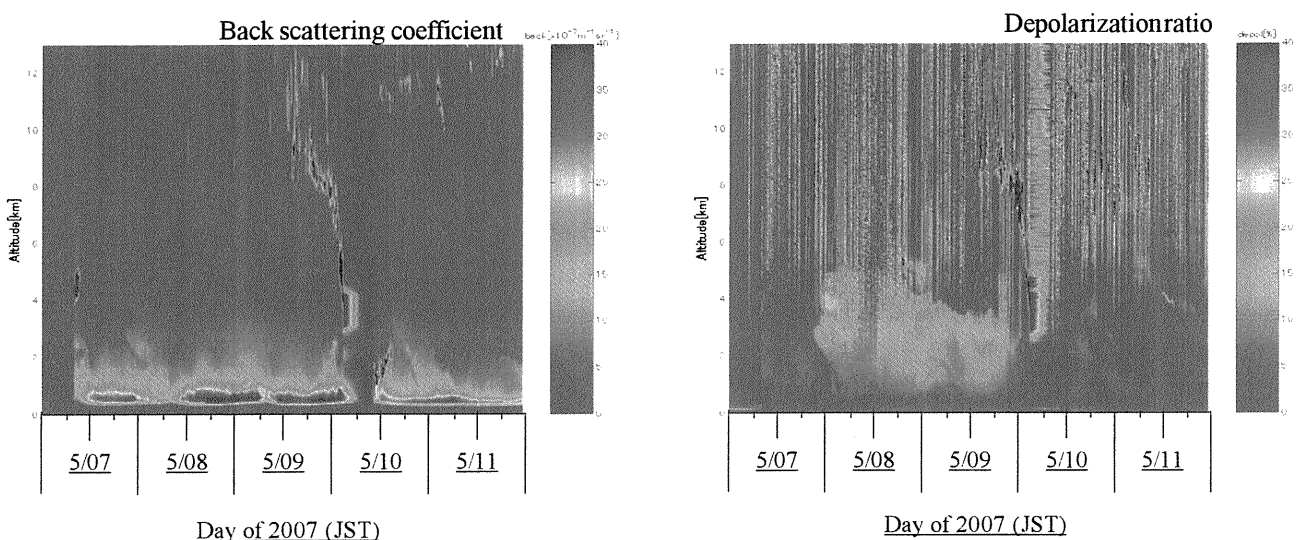


図4 2007年5月7日から11日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.4 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from May 7 to 11 every fifteen minutes.

松永 16:00, 0.109ppm, 広島 16:00, 0.121ppm) および注意報 (福山 17:00, 0.129ppm) が発令されている。また, 9 日にも情報 (尾道 13:00, 0.111ppm, 松永 16:00, 0.111ppm, 福山 16:00, 0.119ppm), 注意報 (広島 14:00, 0.122ppm) が発令されている。

3.4 5月12日から5月16日の観測結果

図5に5月12日から16日の観測結果を示す。5月12日および5月16日夜半からは天候不順であり, 16日17:00以降は観測を中断している。5月13日未明から15日9:00にかけて, 地表から最大4kmの高度にわたって10~25%の偏光解消度を観測した。この日は九州北部での黄砂が記録されているが[7], 広島市, 岡山市共に黄砂の気象記録は

無い[5,6]。

オキシダントに関しては, 情報, 注意報共に発令はないが, 5月15日には, 尾道 (16:00)0.089ppm, 松永(15:00)0.086ppm, 福山(19:00)0.096ppm, 広島(17:00)0.104ppmと前日最高値より0.007~0.023ppm高い濃度を記録している。

3.5 5月17日から5月21日の観測結果

図6に5月17日から21日の観測結果を示す。17日正午までは, 16日18:00~23:00にかけての降雨の影響を受けているが, その後18日の18:00まで低気圧の圏内ながら降雨は無く, この間に再び地表から最大4kmの範囲で10%~25%の偏光解消度を観測した。この間においても, 広島市, 岡

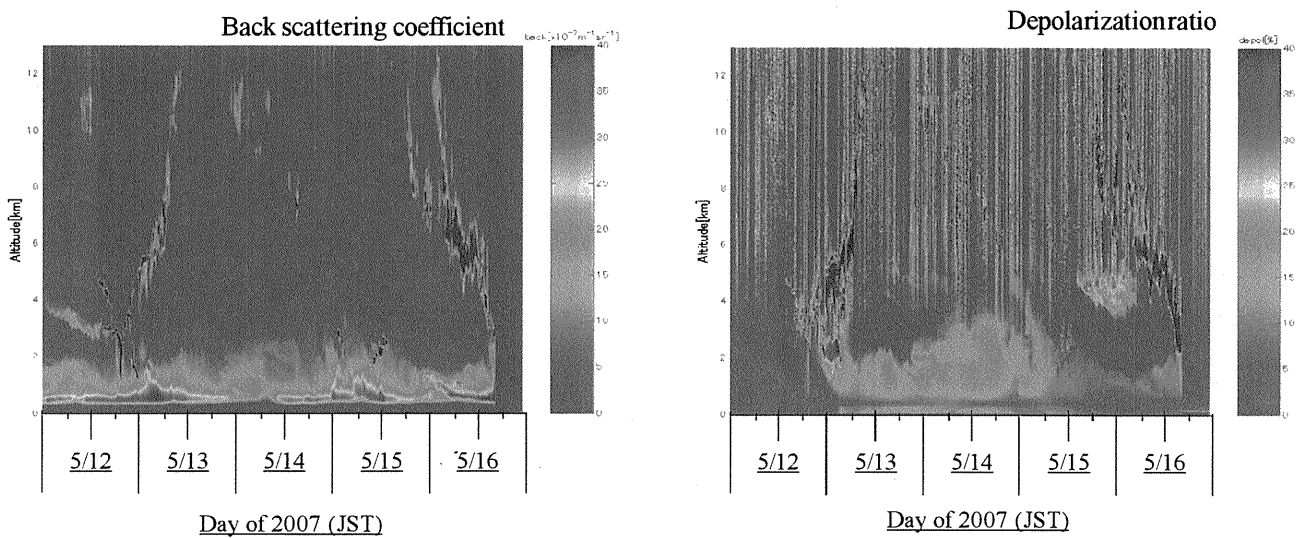


図5 2007年5月12日から16日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.5 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from May 12 to 16 every fifteen minutes.

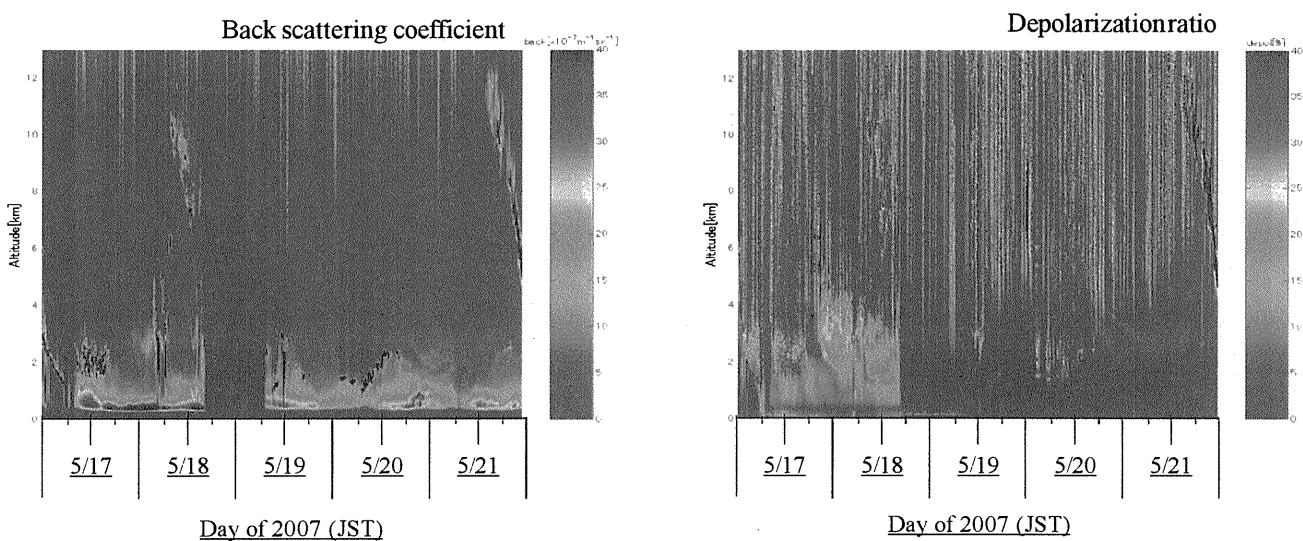


図6 2007年5月17日から21日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.6 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from May 17 to 21 every fifteen minutes.

山市共に黄砂の気象記録は示されていない[5, 6]. 5月18日18:00~24:00に総雨量24.5mmが記録されたが, この降雨を境に地表付近からの偏光解消度の上昇が見られなくなった.

この間のオキシダントに関しては, 情報, 注意報共に発令はないが, 地表ダストの存在が認められる5月18日に5月14日相当のオキシダント濃度が観測されている.

3.6 5月22日から5月31日の観測結果

図7に5月22日から26日, また, 図8に5月27日から31日までの観測結果を示す.

5月18日の降雨以降, 偏光解消度の顕著な上昇は認められなかったが, 低気圧の通過に伴い5月

25日5:00~18:00に総雨量36mmの降雨を記録した後, 地表から4kmの範囲で顕著な偏光解消度の上昇が観測された. これは5月27日の21:00(JST)まで継続した. このイベントは, 高気圧の圏内に完全に含まれると共に終焉した. なお, 広島市, 岡山市の気象月報共に5月26日, 27日に黄砂を記録している[5, 6].

この間のオキシダントに関しては, 5月22日に情報(松永0.109ppm, 15:00, 福山0.105ppm, 15:00, 広島0.109ppm, 16:00)が発令され, 5月27日には各地で5月8日, 9日の記録を超える高い濃度を示し, 情報(尾道0.111ppm, 17:00, 松永0.119ppm, 17:00), 注意報(福山0.131ppm, 16:

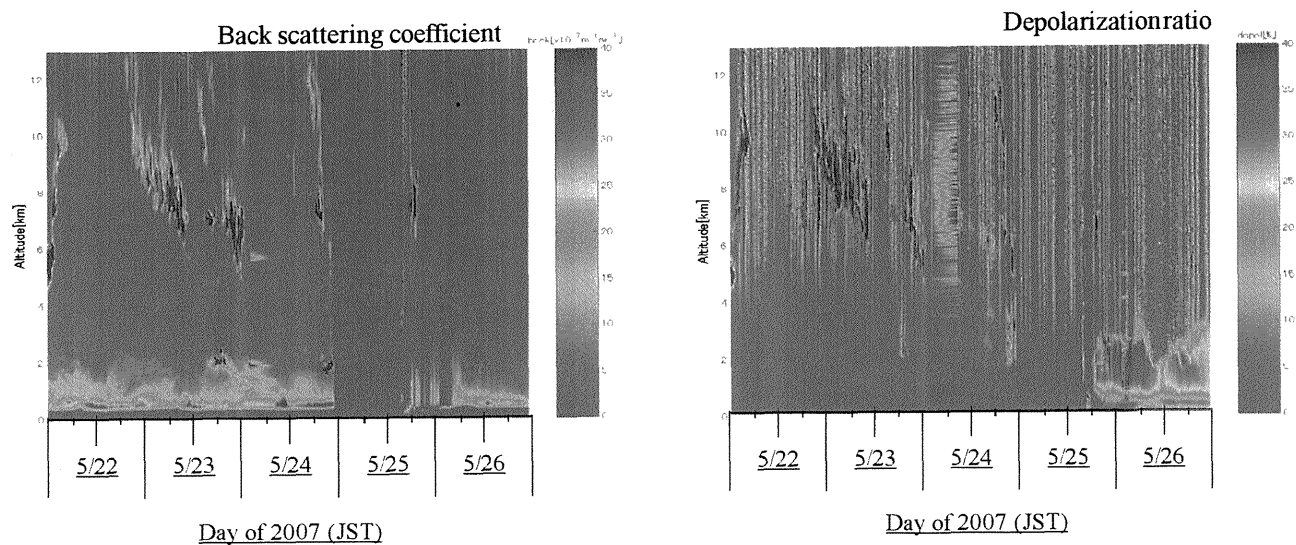


図7 2007年5月22日から26日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.7 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from May 22 to 26 every fifteen minutes.

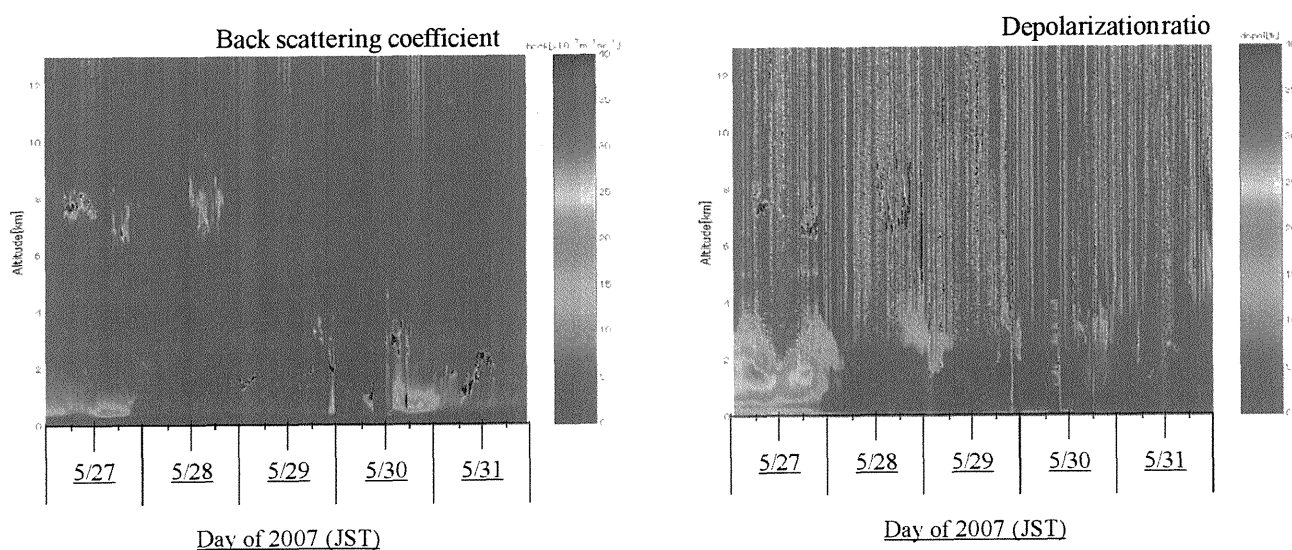


図8 2007年5月27日から31日の後方散乱係数(左)と偏光解消度(右)の高度分布の時間変動
Fig.8 Temporal variation of vertical distribution of the back scattering coefficient, left, and the depolarization ratio, right. They were obtained from May 27 to 31 every fifteen minutes.

00 - 17:00, 広島 0.137ppm, 16:00 - 18:00) が発令されている。また、26 日においては、情報、注意報共に発令はないが、オキシダント濃度に関しては 5 月 22 日相当の最高値を示している。

4. 黄砂の出現と光化学オキシダントとの相関

表 1 はライダー観測期間中において注目した日のオキシダント最高濃度値を示したものである [4]。光化学オキシダントの緊急時の発令基準は情報においては「光化学オキシダント濃度が 1 以上の観測点において、1 時間値で 0.10ppm 以上となった場合で、かつ気象条件からみて当該大気汚染状況が継続すると認められた場合」であり、注意報の場合は同上の条件で 1 時間値が 0.12ppm 以上となった場合となっており、濃度値だけで緊急時発令がなされるわけではない。よって、この表より緊急時発令がない場合でも各基準濃度値を超える場合があることがわかる。然るに、最高濃度値だけを観点にすれば、前節の測定結果は黄砂と光化学オキシダントに何らかの関係がある可能性を示すものといえる。そこで、黄砂と大気中オキシダントとの関係に着目し、黄砂の動態と越境性オキシダントの関連性について考察する。

4.1 黄砂の出現とオキシダント濃度上昇が同期する場合

黄砂の主たる発生源はゴビ砂漠であり、一方、大陸起源の光化学オキシダントは大陸沿岸部の大都

市(香港, 上海, 北京)が考えられ、両者の発生源は異なる。また、オキシダントの主成分であるオゾンはミー散乱ライダーでの直接測定は不可能である。従って、両者に相関が見られるとするならば、両者が混合された後に日本上空に流入していると考えるのが妥当である。

ここで、5 月 8 日、9 日におけるオキシダント緊急情報に着目する。この両日の光化学オキシダントは中国大陸からの越境性オキシダントの可能性が高いことが九州大学応用力学研究所と国立環境研究所広域大気モデリング研究室の数値計算による分析により明らかになった [2]。そこで、5 月 6 日から 9 日にかけてのオゾン濃度の推移と地表付近風速、および、この 4 日間の地上天気図を比較し、当該日の気圧配置の特徴を検討した。図 9 に 5 月 6 日から 8 日の午前 9 時 (JST) の地上天気図を示す [7]。これらの天気図から次の特徴が見られる。まず、6 日では北緯 40 度東経 105 度付近のゴビ砂漠上空に強い低気圧、その南部、北緯 30 度付近の湖北省周辺に高気圧、加えて、西日本に低気圧が存在する気圧配置となり (パターン 1)、次に、各気圧が東進し、7 日には河北省付近にあった高気圧が日本列島の南を通過する (パターン 2)、更に、この後、8 日には西日本上空の等圧線が陸地に平行となるような気圧配置になる (パターン 3)。先の九州大学の解析結果と比較すると、この気圧配置の変化により、6 日の気圧配置により中国都市起源のオキシダ

表 1 2007 年 4 月、5 月の尾道、松永、福山、広島各地区の光化学オキシダント日最高濃度と緊急時発令状況
Table.1 Highest density of Photochemical oxidant at Onomichi, Matsunaga, Fukuyama, and Hiroshima in April and May of 2007.

Photochemical oxidant								: ppm
Date	Apr. 26	Apr. 29	Apr. 30	May 02	May 03	May 04	May 08	May 09
Onomichi							information	information
Max(hour)	0.098 (15h)	0.097 (16h)	0.092 (17h)	0.071 (17h)	0.093 (17-18h)	0.076 (12h)	0.112 (17h)	0.111 (13h)
Matsunaga							information	information
Max(hour)	0.094 (14h)	0.096 (16h)	0.083 (16h)	0.073 (16h)	0.100 (17h)	0.079 (13-14h)	0.109 (16h)	0.111 (16h)
Fukuyama	information						Caution	information
Max(hour)	0.104 (14h)	0.107 (16h)	0.107 (16h)	0.080 (13h)	0.109 (17h)	0.100 (13h)	0.129 (17h)	0.119 (16h)
Hiroshima			Caution				information	Caution
Max(hour)	0.085	0.100 (18h)	0.121 (14h)	0.078 (17h)	0.100 (16h)	0.080 (17h)	0.121 (16h)	0.122 (14h)

								: ppm
Date	May 13	May 14	May 15	May 18	May 22	May 26	May 27	
Onomichi							information	
Max(hour)	0.064 (12h)	0.074 (19h)	0.089 (16h)	0.074 (13h)	0.084 (14h)	0.096 (15h)	0.111 (17h)	
Matsunaga					information		information	
Max(hour)	0.067 (12h)	0.079 (19h)	0.086 (15h)	0.081 (14h)	0.109 (15h)	0.104 (15h)	0.119 (17h)	
Fukuyama					information		Caution	
Max(hour)	0.072 (12h)	0.081 (19h)	0.096 (19h)	0.087 (15h)	0.105 (15h)	0.108 (16h)	0.131 (16-17h)	
Hiroshima					information		Caution	
Max(hour)	0.067 (12-13h)	0.081 (16h)	0.104 (17h)	0.085 (14h)	0.109 (16h)	0.104 (14h)	0.137 (16-18h)	

ントと黄砂が黄海上空で合流する。特に西日本沿岸の低気圧が前線を伴う場合、黄砂は中国大陸沿岸に沿って広く南下し、その到達域はオキシダント発生地域と広く重なる(1)。次に7日の気圧配置になると混合された大気がほぼ真西から日本列島を覆うように広がる(2)。そして、8日の気圧配置では西からの大気の流入が継続される(3)。従って、このような一連の気圧配置変動の場合は、黄砂の出現とオキシダント濃度の上昇と終焉の同期が予想でき、図4と表1の結果はこれを裏付けるものといえる。

これと同様の気圧配置を見せたのが5月25日から27日である。図10に、この3日間の地上天気図を示す。図9と比較して極めて類似した気圧構成と変動を示している。図7および図8より5月26日から27日にかけて地上付近の強い黄砂の層が観測されている。表1よりこの両日の光化学オキシダント濃度が高くなっており、5月8日、9日と同様の動態

であったことを裏付けるものとなっている。

更に、図11から図13に4月25日から30日[8]、および、5月2日から4日の地表天気図[7]を示す。光化学オキシダントは表1より4月26日、29日、30日で高い濃度を示している。これらの気圧配置も図9、図10に類似しており、黄砂飛来と越境性オキシダントの関係が疑われる。但し、図11および図12ではゴビ砂漠の低気圧の勢力が弱く、大気中に含まれるダストの濃度が低くなることが考えられ、このことは図3における当該日の地表付近の偏光解消度の上昇が僅かであることに現れている。一方、5月2日から4日ではゴビ砂漠付近の低気圧がやや強いため、大気中の黄砂濃度も僅かに高くなることが考えられる。しかしながら、南部の高気圧の張り出しが図9、図10に比べて強かったために高濃度オキシダントの流入経路が北にそれたため、5月8日、9日、27日のようなオキシダ

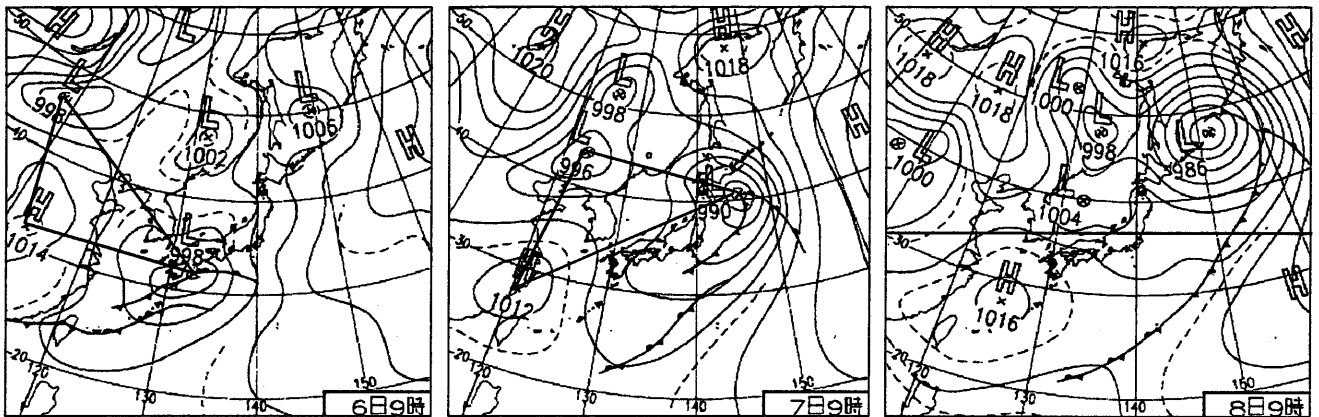


図9 2007年5月6日から8日までの地上天気図
Fig.9 Meteorological charts from May 6 to 8 of 2007 (JST).

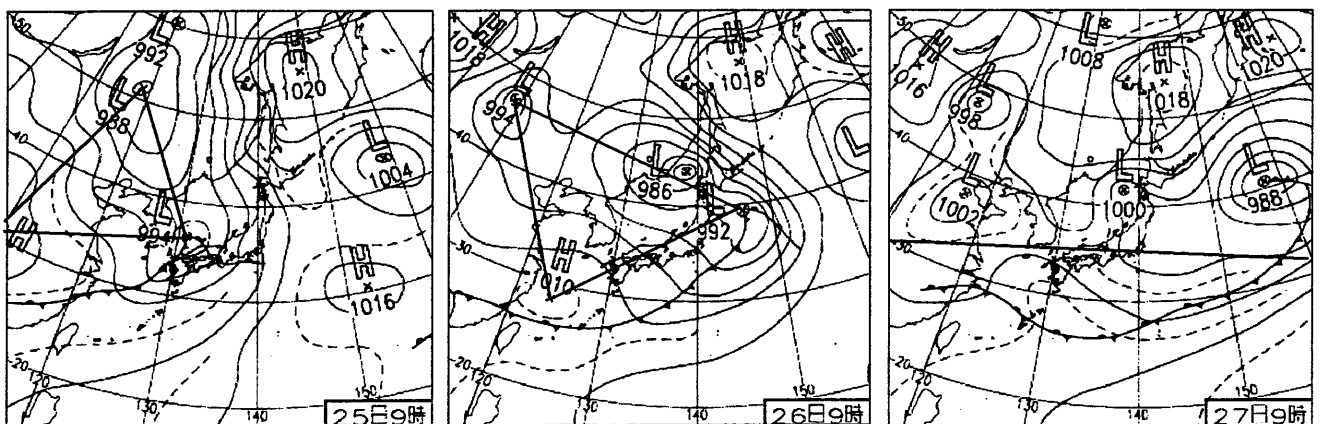


図10 2007年5月25日から27日までの地上天気図
Fig.10 Meteorological charts from May 25 to 27 of 2007 (JST).

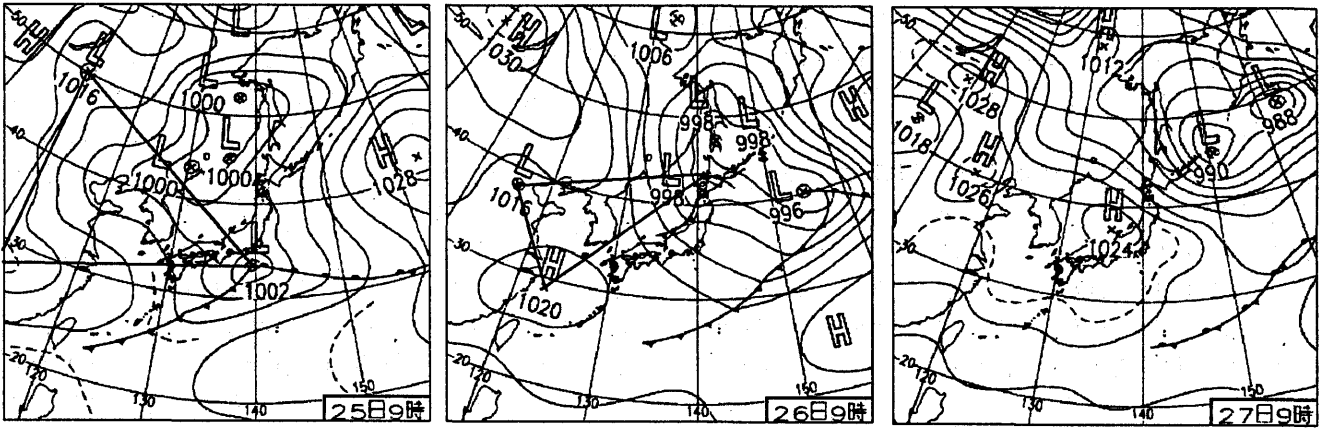


図11 2007年4月25日から27日までの地上天気図
 Fig.11 Meteorological charts from April 25 to 27 of 2007 (JST).

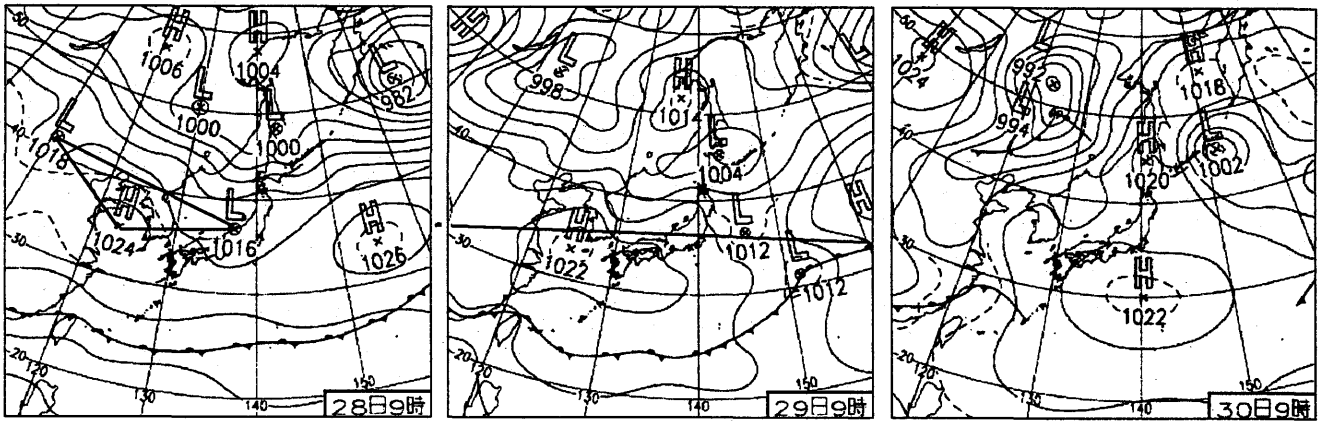


図12 2007年4月28日から30日までの地上天気図
 Fig.12 Meteorological charts from April 28 to 30 of 2007 (JST).

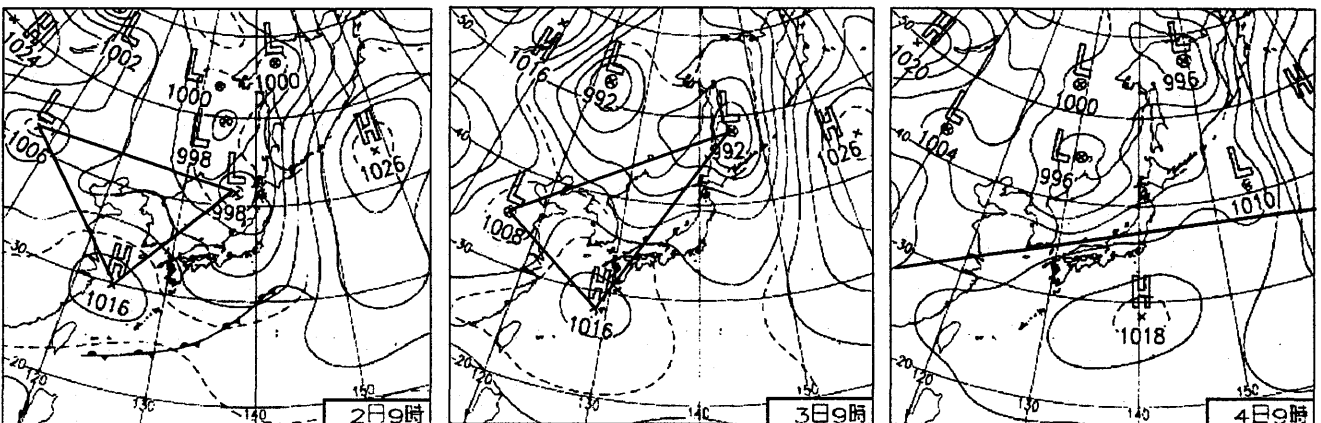


図13 2007年5月2日から4日までの地上天気図
 Fig.13 Meteorological charts from May 2 to 4 of 2007 (JST).

ント緊急発令までには及ばなかったと予想される。しかしながら、表1より5月3日、4日には高いオキシダント濃度を示しており、越境性オキシダントがあったといえる。

4.2 オキシダント濃度上昇が遅延する場合

観測期間中において、黄砂の出現と光化学オキシダントの相関が認められにくい場合もあった。図5および図6に示した、5月13日から14日、および、5月17日から18日の地上付近の偏光解消度は10%を超える高い数値を示している。しかしながら、表1に示すオキシダント濃度では当該日において高濃度を示していない。これらの日の地上天気図を図14と図15に示す。これらは相互に類似している。さらに、図9、図10と比較するとパターン1の代わりに大陸からの低気圧の張り出しが強い気圧配置になっていることがわかる。この低気圧の影響で大気に含まれる黄砂濃度は高くなった

と考えられる。この後、パターン2および3の気圧配置を見せることにより、越境性オキシダントの東進が起こると考えられる。即ち、このような気圧配置の場合、黄砂とオキシダントの混合が充分に行われぬまま、黄砂が先行して日本上空に現れると考えられる。従って、顕著な黄砂イベントの終焉の後に光化学オキシダント濃度の上昇が生じることが予想される。表1において、5月13日から15日のオキシダントの推移に着目すると、顕著な黄砂イベントが観測された13日から14日にかけてオキシダント濃度が上昇し、地上付近の偏光解消度が減少する15日に最も高い観測値を示しており、このことを裏付ける結果となっている。

また、5月18日のオキシダント濃度は、5月14日と同等の値を示している。従って、翌日には更に高い濃度を示す可能性があったといえる。

以上のことより、黄砂イベントに遅れて越境性

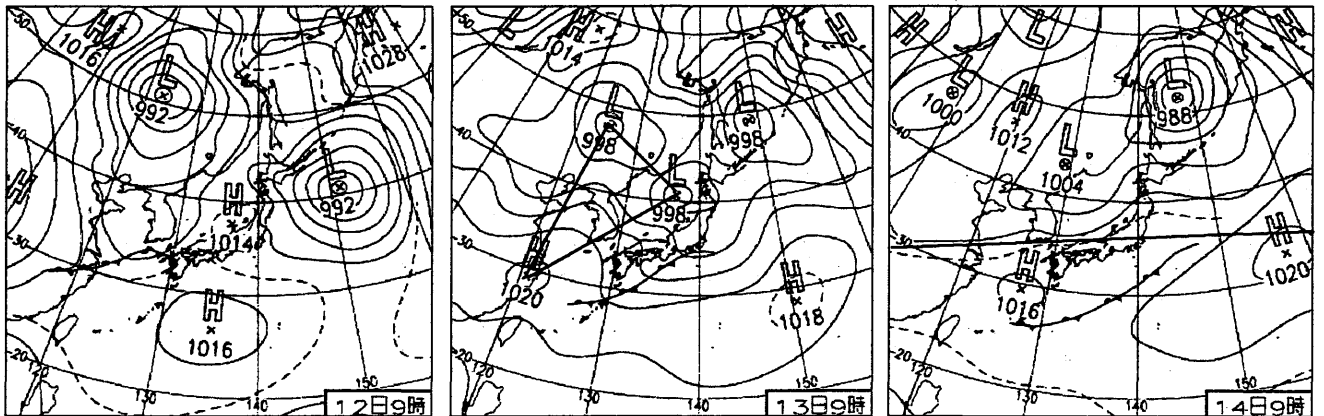


図14 2007年5月12日から14日までの地上天気図
Fig.14 Meteorological charts from May 12 to 14 of 2007 (JST).

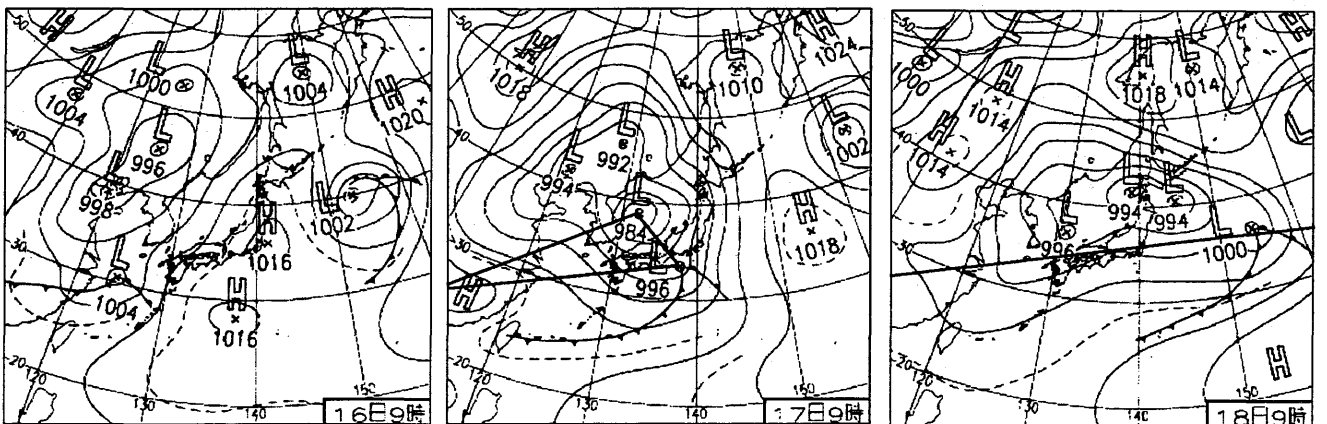


図15 2007年5月16日から18日までの地上天気図
Fig.15 Meteorological charts from May 16 to 18 of 2007 (JST).

オキシダントが到来する場合もあると言え、このような場合でも黄砂の出現は越境性オキシダントの到来と関連が高いと考えられる。

4.3 越境性オキシダントと異なる場合

黄砂の出現と光化学オキシダントの相関が認められない別の事例として、5月22日の場合がある。表1より当該日において光化学オキシダントの濃度値は松永地区で0.109ppm(15:00)、福山地区で0.105ppm(15:00)、広島地区で0.109ppm(16:00)を示し、この三地区でオキシダント情報が発令されている。一方、図7に示す5月22日の偏光解消度には全く反応が認められない。ここで図16に示す5月20日から22日の地上天気図に着目すると、この3日間は中国大陸から日本列島にかかる高気圧の勢力が強い。これにより、大陸起源のオキシダントも黄砂も北方に押し上げられ、本州方向には流入していなかったと考えられる。従って、22日のオキシダント濃度の上昇は越境性ではなく局所的な都市大気汚染が主であったと考えられる。

以上の考察より、4月、5月において、ライダー観測データの偏光解消度の上昇が認められる場合は、中国大陸からの越境性オキシダントの到来の影響があると考えられる。

5. まとめ

本稿では、2007年4月24日から7月5日にかけて行なったライダー集中観測のうち、比較的顕著なイベントが認められた4月26日から5月31日までの観測結果を示し、同時に黄砂飛来時における光化学オキシダントとの関係について考察した。

集中観測の期間、天候および機器の不具合により若干の中断を余儀なくされたが、概ね観測を完遂できた。2005年度は4月中旬から5月初旬にか

けて活発なイベントが認められ、これは、2004年度より約一ヶ月の遅延があったが[8]、今年度は更に遅い黄砂イベントが観測されたといえる。

また、黄砂イベントと光化学オキシダント濃度の関係を気圧配置を参考に考察した結果、三つの場合が考えられるが、黄砂の飛来に併せて大陸起源のオキシダントが越境している可能性が高いことを示した。今後もライダー観測を継続し、黄砂と光化学オキシダントの関係を明らかにする予定である。

謝辞

光化学オキシダント濃度データに関しては広島県環境部環境対策局環境対策室 神笠拓也氏のご厚意を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] A.Shimizu, *et al*, Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidars in China and Japan during ACE-Asia, *JGR*, Vol.109, D19S17(2004)
- [2] 朝日新聞インターネット版サイエンス欄, 2007年5月13日。
- [3] R.M.Measures, *Laser Remote Sensing*, Wiley, New York, pp.46-47(1984)
- [3] 広島地方気象台編, "広島県の気象 平成19年(2007年)5月", p.11(2007)。
- [4] 広島県環境部環境対策局環境対策室との私信。
- [5] 岡山地方気象台編, "岡山県の気象 平成19年5月(2007年)", p.20(2007)。
- [6] 気象庁"日々の天気図2007年5月" No.64(2007)
- [7] 気象庁"日々の天気図2007年4月" No.63(2007)
- [8] 香川直己, "ライダーシステムによる福山大学上空の黄砂観測," 福山大学工学部紀要, Vol.30, pp.13-18(2006)

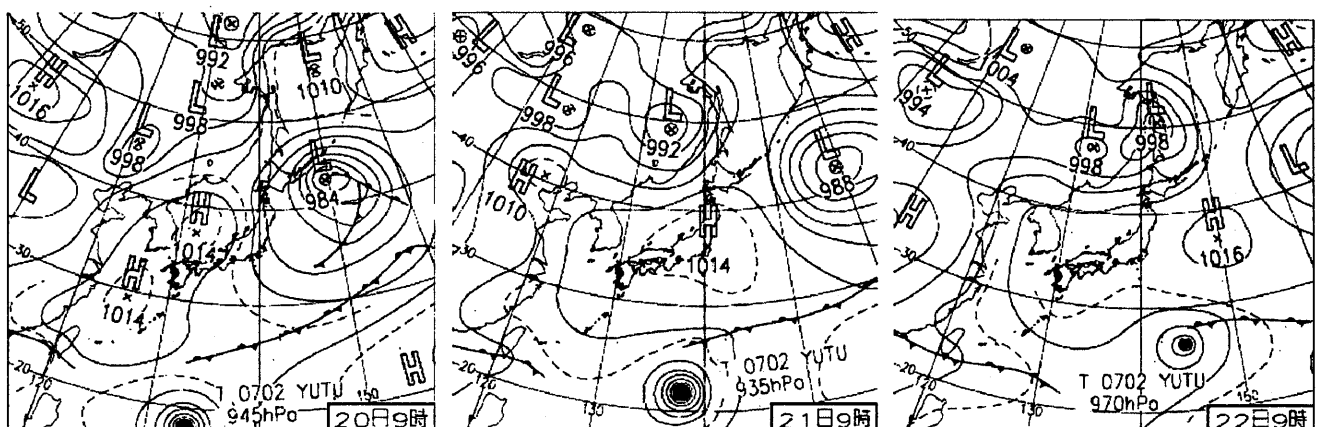


図16 2007年5月20日から22日までの地上天気図
Fig.16 Meteorological charts from May 20 to 22 of 2007 (JST).