

ライダーシステムによる福山大学上空の黄砂観測

— 2004-2005 —

香川直己

LIDAR Observation of Asian Dust at Fukuyama University in 2004 and 2005

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 2004 and 2005 are shown.

キーワード：レーザレーダ，ライダー，ミー散乱，黄砂，偏光解消度

Keywords: laser radar, LIDAR, mie scattering, Asian dust, depolarization

1. まえがき

我々は、瀬戸内海沿岸地域における信頼性の高いライダー（レーザレーダ）サイトの運営を目的とし、偏光解消度が算出可能な偏光ミーライダーを用いて毎年3月から5月にかけての集中観測を行っている。本稿では、2004年および2005年の観測結果についてまとめる。

2. システムの概要

我々が構築したライダーシステム¹⁾の概観およ

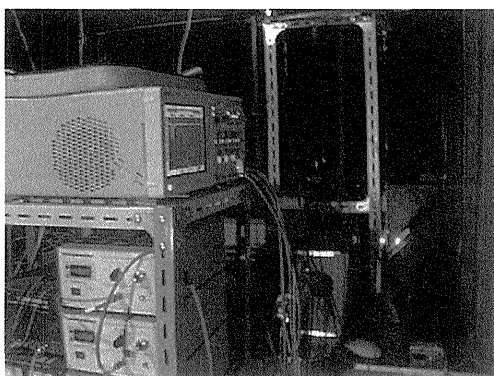


図1 偏光ミーライダーシステムの送受信系
Fig.1 Serving and receiving system of the LIDAR.

び性能緒元を図1 および表1 に示す。このシステムは、Nd-YAG レーザの第2 高調波である532nm をプローブ光とした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ものである。受信信号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2 台の光電子増倍管(PMT)で電気信

表1 福山大学偏光ミーライダーの性能緒元
Table.1 The specification of Mie LIDAR.

Transmitter	
Laser	Nd-YAG
Wave Length	532nm(SHG)
Energy/Pulse	245mJ(max.)
Repetition	10Hz
Beam Diameter	9.5mm
Pulse Length	7-8ns
Receiver	
Telescope	Schmidt
Area	0.38m ²
Detector	PMT
Signal	8bit A/D

号に変換される。これは、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である。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、観測物質が砂、氷晶のような不規則な表面形状している場合は偏向成分が増えるため、偏向解消度が増加する。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設けている。従って、全部で3つの受信チャンネルを持つ。これらの受信チャンネルから得られる受信信号の時間波形から物体や微粒子の位置情報を、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、デジタルオシロスコープで表示する。

システムは、レーザの出射、受信記録から背景光成分の除去や偏向解消度の計算までをコンピュータにより自動で行えるようにしてある。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。なお、観測可能高度は13kmである。

3. 観測結果

3.1 2004年春季の観測結果

2004年は3月から5月まで集中観測を行ったが、ここでは顕著な黄砂イベントが観測された3月11日から17日と4月16日から25日の観測結果を示

すこととする。

<3月11日から17日の観測結果>

図2に3月11日16:30(UTC+9)から3月17日22:00(UTC+9)までの集中観測結果を示す。上は散乱光強度[a. u.]、下は偏光解消度[%]を示す。

気象月報によれば、この期間では、11日~12日に広島市と岡山市で、また、14日~17日では広島市で黄砂が観測されている。また、11日と17日は雨雲が多い天候であった。ライダーの観測結果ではそれを裏付けるように地表付近に散乱光強度は値が低い、偏向解消度が15%から25%を示す浮遊物質が継続して観測されている。散乱光強度が低いことから粒子が細かいか密度の低い黄砂の層を示すものと判断できる。地上での黄砂の観測記録のない13日においても地上2km付近に密度および偏向解消度の高い層が待機しており、加えて4km付近にあるダスト層と合流して14日の未明から明け方にかけて地表付近に下降している様子が観測されている。広島市で黄砂が観測された14日から17日は岡山市では黄砂は観測されておらず、また地表付近の偏向解消度を見ると14日と16日未明から17日にかけては10%程度以下とあまり高くないことから、福山市近辺がこの期間の黄砂イベントの境界であったと推察できる。

<4月16日から25日の観測結果>

図3に4月16日0:00(UTC+9)から26日0:00(UTC+9)までの10日間の観測結果を示す。なお、18

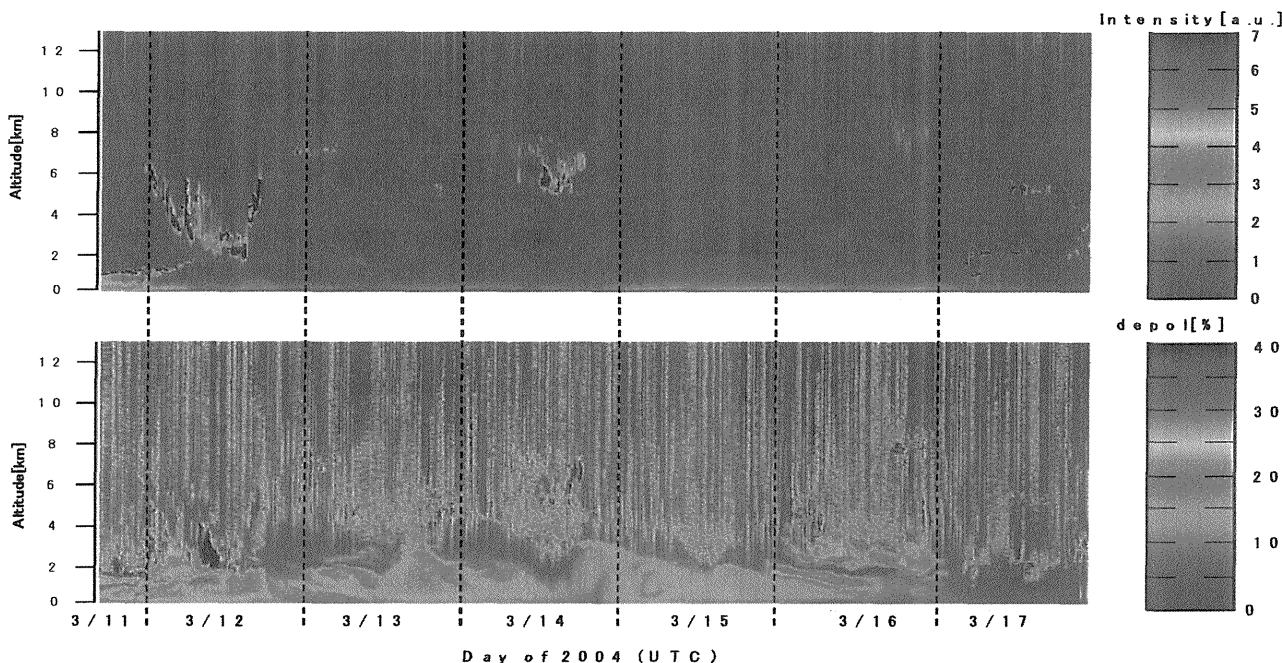


図2 2004年3月11日から17日に観測された散乱光強度と偏光解消度の高度分布の時間変動

Fig.2 Temporal variation of vertical distribution of the signal intensity, the upper, and the depolarization ratio, the lower. They were obtained from March 11 to 17 every fifteen minutes.

日および23日の午前中は降雨のためにデータが欠落している。気象月報によれば、この期間において、広島市、岡山市ともに17日から18日の両日および21日から23日の3日間に地上において黄砂が観測されている。

観測データでは、16日21:00 (UTC+9) から地表付近の偏光解消度が10%を超えており、黄砂が地上に到達しつつあることがうかがえる。このイベントは17日まで続いているが、ライダーによる観測は18日9:00 (UTC+9) からの降雨で中断され、19日夕刻の再開の時点で完全に終息している。

後半のイベントについては、21日の夕刻から偏

光解消度の高い層が地表に到達していることが判る。このイベントは22日夜半からの弱い天候の崩れと降雨によりライダーによる観測が困難となっているが、完全に天候が回復した23日21:00 (UTC+9) の時点において地表付近での偏光解消度が25%に達しており、弱い降雨により黄砂が地表に運ばれたと考えられる。

<4月27日から5月2日の観測結果>

図4に4月27日12:00 (UTC+9) から5月2日15:15 (UTC+9) の観測結果を示す。この期間は地上での黄砂の観測は皆無であり、ほぼ黄砂飛来の時期の終焉に近い期間の観測データと言える。

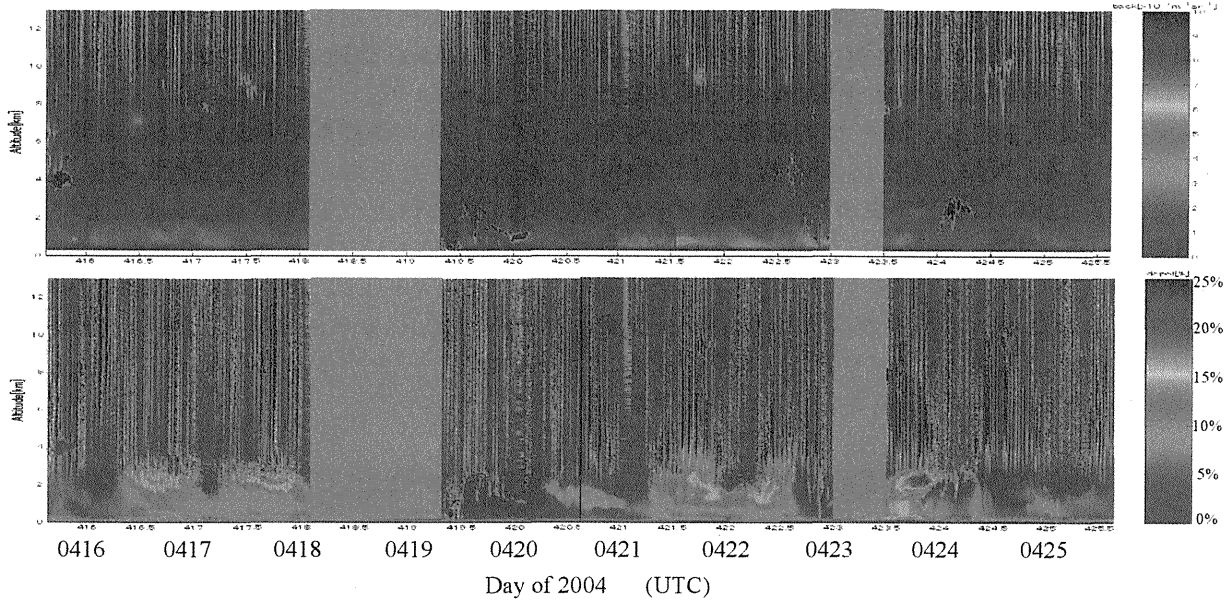


図3 2004年4月16日から25日に観測された散乱光強度と偏光解消度の高度分布の時間変動
 Fig.3 Temporal variation of vertical distribution of the signal intensity, the upper, and the depolarization ratio, the lower. They were obtained from April 16 to 25 every fifteen minutes.

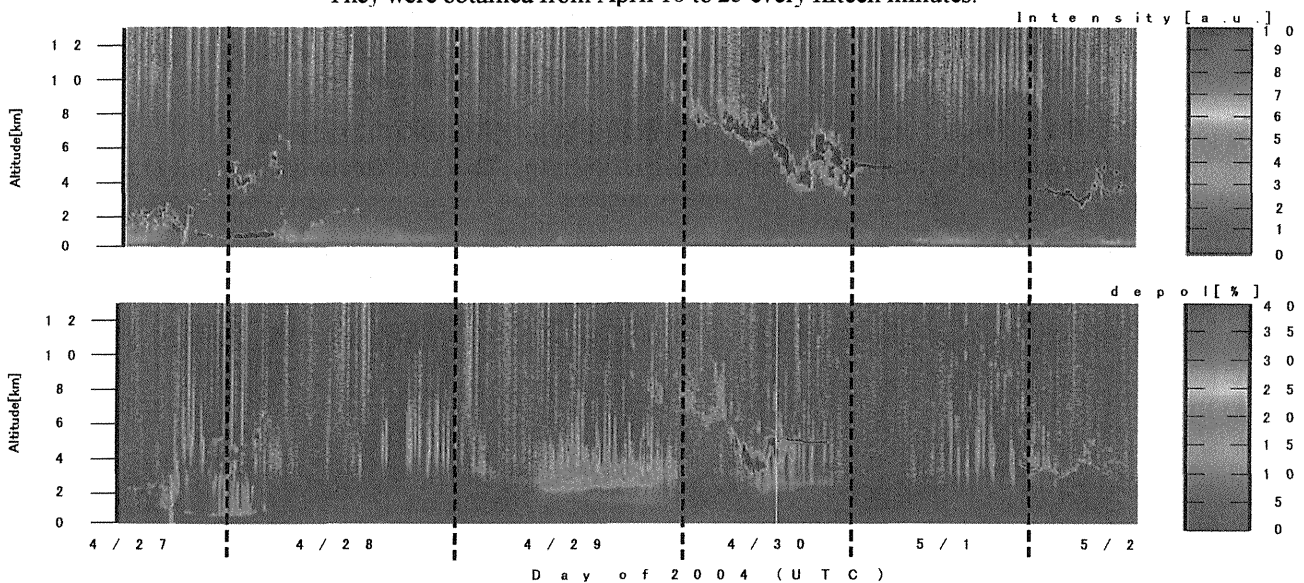


図4 2004年4月27日から5月2日に観測された散乱光強度と偏光解消度の高度分布の時間変動
 Fig.4 Temporal variation of vertical distribution of the signal intensity, the upper, and the depolarization ratio, the lower. They were obtained from April 27 to May 2 every fifteen minutes.

この期間では地表付近まで偏光解消度の高い層が達することはなく、3km付近に25%程度の層が留まることが確認できる。また、高度10km付近から絹雲と見られる偏光解消度の高い雲が目立つようになってくる。

3.2 2005年の観測結果

2005年も3月20日から6月7日まで、概ね中断なく集中観測を行ったが、3月から4月初旬にかけては後方散乱光強度および偏光解消度ともに微弱であり、注目すべきイベントが観測されなかった。ここでは4月12日から5月11日にかけて行った観測結果を掲載する。

< 4月11日から4月20日の観測結果 >

図5は4月11日9:00(UTC+9)から4月20日0:00(UTC+9)までの10日間の集中観測による後方散乱係数の概算結果を示し、図6は同期間の偏光解消度を示している。なお、4月15日の21:00(UTC+9)から23:45(JST)は装置不良のため、観測データが欠落している。また、4月19日の0:00から20日の12:00(UTC+9)までは降雨が予想されたため観測を中断したため、データが欠落している。気象月報によると、広島市においてこの期間で地表で黄砂が観測されたのは15日から17日の3日間と

20日であり、岡山市では15日と16日の2日間である。

4月12日は前日から存在した高度約2kmにある後方散乱係数の高い層に覆われる様に地表付近の偏光解消度がやや高い値を示しているが、この層に起因する9:00(UTC+9)頃の降雨により地表付近の偏光解消度は低くなり、地表付近におけるイベントは一時終焉している。然しながら、21:00(UTC+9)頃に一旦地表付近までであった雲層が切れた時刻から地表付近の偏光解消度の若干の上昇が認められる。これは、この雲層より上に存在していた黄砂が降下したためと推測される。4月12日夕刻には再び短時間の降雨があり、この後、4月21日にかけて地上付近の偏光解消度が継続的に高くなっていく。この期間においては、明け方にかけて、24時間周期で10km以上の高度から地表付近まで降下する層があり、これに起因して昼間において地表付近の偏光解消度が上昇している。この10日間においては、4月16日午後から17日朝にかけてと20日21:00(UTC+9)以降の地表付近の偏光解消度が10%に上昇しており、地表における黄砂観測と一致する結果となっている。

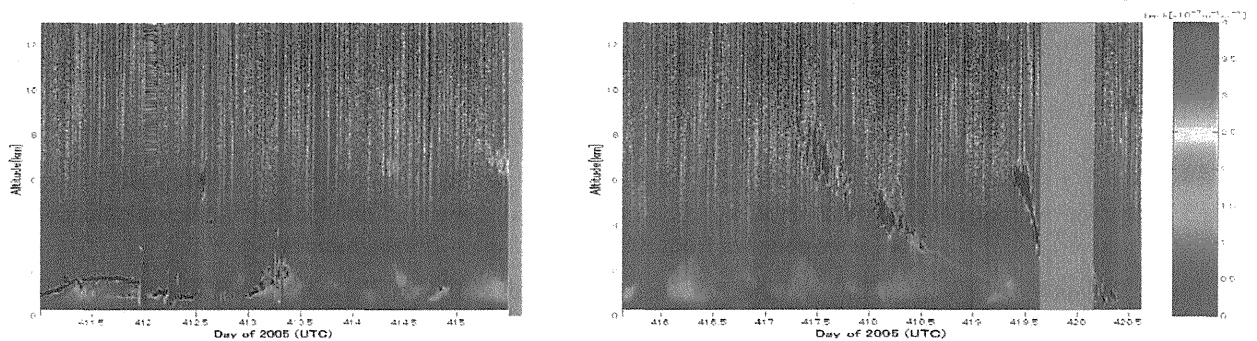


図5 2005年4月11日から4月20日に観測された散乱光強度の高度分布の時間変動

Fig.5 Temporal variation of vertical distribution of the signal intensity. They were obtained from April 11 to 20 every fifteen minutes.

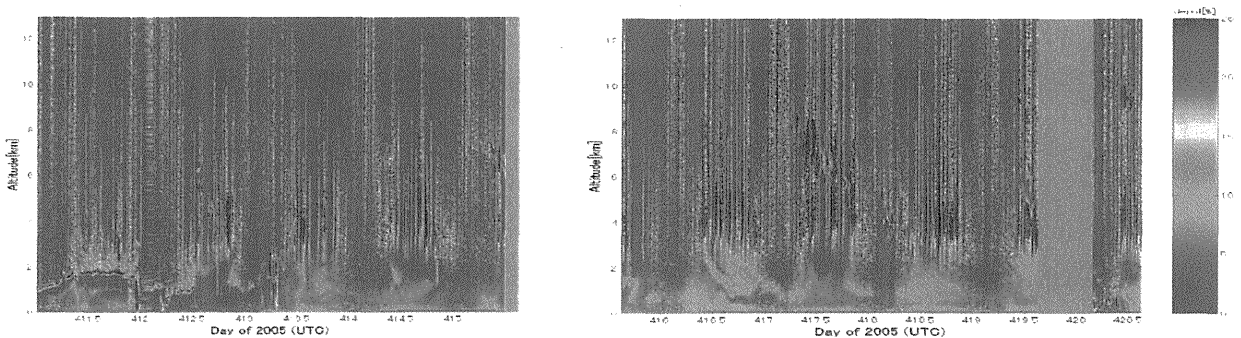


図6 2005年4月11日から4月20日に観測された偏光解消度の高度分布の時間変動

Fig.6 Temporal variation of vertical distribution of the depolarization ratio. They were obtained from April 11 to 20 every fifteen minutes.

< 4月21日から4月30日の観測結果 >

図7は4月21日0:00(UTC+9)から4月30日0:00(UTC+9)までの10日間の集中観測による後方散乱係数の概算結果を示し、図8は同期間の偏光解消度を示している。なお、4月23日の12:00(UTC+9)から24日の0:00(UTC+9)まではデータが欠落しているが、これは装置不良のため観測を中断した時間帯である。この観測期間において21日と22日に広島市と岡山市で地表の黄砂が観測された。

4月21日においては、前日から継続されて地表付近の偏光解消度が高い状態が続いていたと思われるが、同時に上空から降下してきた層によって夜半から高度2kmにかけての偏光解消度の上昇が著しくなり、22日の日中には15%を記録している。気象月報では広島市と岡山市で黄砂が記録されたのは21日と22日であるが、ライダーの記録では、このイベントは4月25日の未明にかけて継続し、この日午前中の降雨により終焉したことを示している。4月26日9:00(UTC+9)からは再び晴天となったが、この後5日間にかけては、断続的な後方散乱係数の上昇は見られるが、偏光解消度の値はきわめて低く、地表に達する黄砂の飛来はほぼなかったといえる。

< 5月2日から5月11日の観測結果 >

図9は5月2日8:30(UTC+9)から5月11日0:00(UTC+9)までの集中観測による後方散乱係数の概算結果を示し、図10は同期間の偏光解消度を示している。なお、5月5日20:00(UTC+9)から5月7日9:00(UTC+9)までは天候の悪化が予測されたために終日観測を中断したことによりデータが欠落している。

この期間においては広島市、岡山市いずれにおいても地表観測では黄砂は記録されていない。しかしながら、5月2日の8:30(UTC+9)には高度2kmに恐らく前日から継続的に存在していたと考えられる強い後方散乱係数を示す層が認められ、この層から地表付近にかけて偏光解消度のやや高くなっている。これとは別に、先の後方散乱係数が極めて大きい層の上方から、徐々に高度を下げる層が認められ、これが地表に達する5月3日未明から朝にかけて、この層に沿って後方散乱係数が15%に達しており、地表においても黄砂が観測されてもおかしくはない状況であったといえる。これは、前日までに地表付近に存在した黄砂層と混合したためと推測される。この層は5月4日の朝まで地表付近に存在したと考えられる。

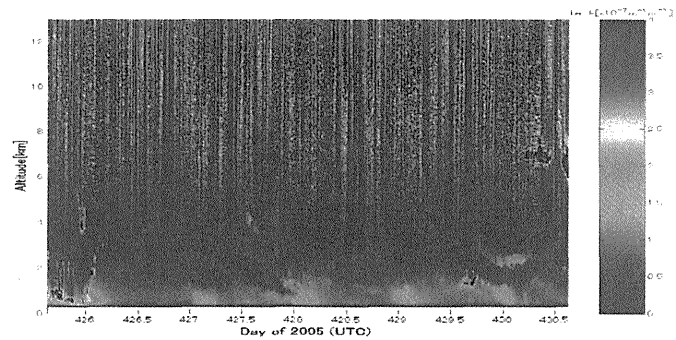
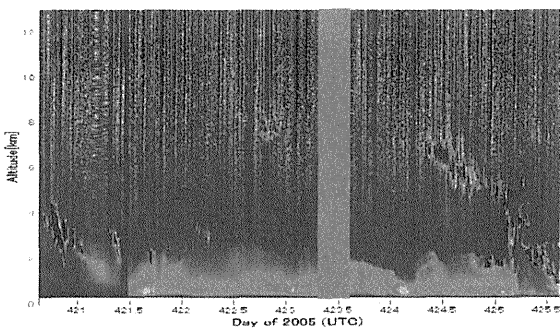


図7 2005年4月21日から4月30日に観測された散乱光強度の高度分布の時間変動

Fig. 7 Temporal variation of vertical distribution of the signal intensity. They were obtained from April 21 to 30 every fifteen minutes.

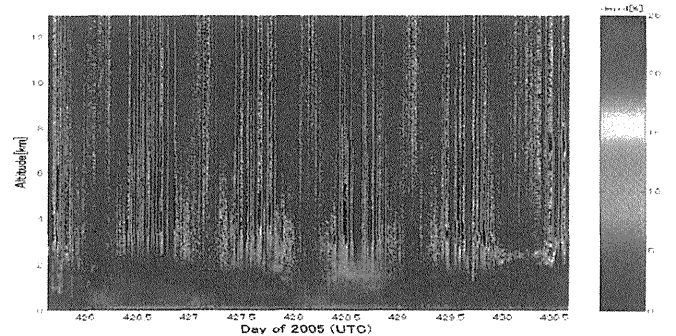
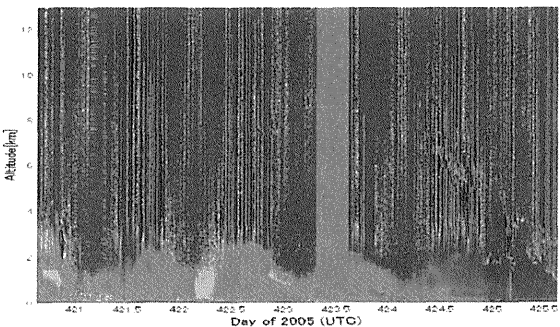


図8 2005年4月21日から4月30日に観測された偏光解消度の高度分布の時間変動

Fig. 8 Temporal variation of vertical distribution of the depolarization ratio. They were obtained from April 21 to 30 every fifteen minutes.

これと同時に5月4日の未明から徐々に下降する層が認められ、4日の夕刻から5日の未明にかけて、高度2 km 付近の偏光解消度の値が高くなっている。この層は徐々に下降を続けており、地表付近での偏光解消度の上昇を期待した。後方散乱係数の観測結果から、この層は5月5日の夕刻には地表付近に達したと推定されるが、その時刻の偏光解消度の顕著な上昇は認められなかった。

5月7日から5月9日の夜にかけては、高度1 km 付近に雲の層があり、地表付近の偏光解消度は極めて低い。但し、この雲層は5月9日の9:00 (UTC+9) から上昇を始め、夕刻には解消している。その後、同日の21:00 (UTC+9) 頃から地表から高度3 km にかけての偏光解消度が15%に達しているが、気象観測記録には黄砂現象としては記録されていない。ライダー観測においては、低高度に存在した雲層の影響により因果関係が詳らかではないが、この層は後方散乱係数の観測結果の5月8日に高度6~7 km 付近に存在する層を外挿した結果と接続する傾向が見られるため、この層に起因するイベントではないかと推測される。

5月12日以降は地表付近で僅かな偏光解消度の上昇が認められる程度であり、また降雨の頻度が高まり機器障害が生じたため、2005年の集中観測

は6月7日を以って終了した。

4. むすび

本稿では、2004年および2005年に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2004年3月11日から5月2日までの観測結果および2005年4月11日から5月12日のデータを示した。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。2004年は3月から4月にかけて黄砂イベントが観測され、特に3月11日から16日にかけて最大の現象が観測された。一方、2005年の集中観測では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、特に4月20日から4月25日にかけて最も活発であり、前年に比べ約一ヶ月の遅延があったといえる。また、気象記録には現れていない黄砂現象も捉えられている可能性も示しており、立体的な黄砂観測への展開を示唆したといえる。

参考文献

- 1) 香川ほか, "対流圏大気環境計測のためのレーザ・レーダシステムの開発" 福山大学工学部紀要, 24, pp. 23-29 (2000).

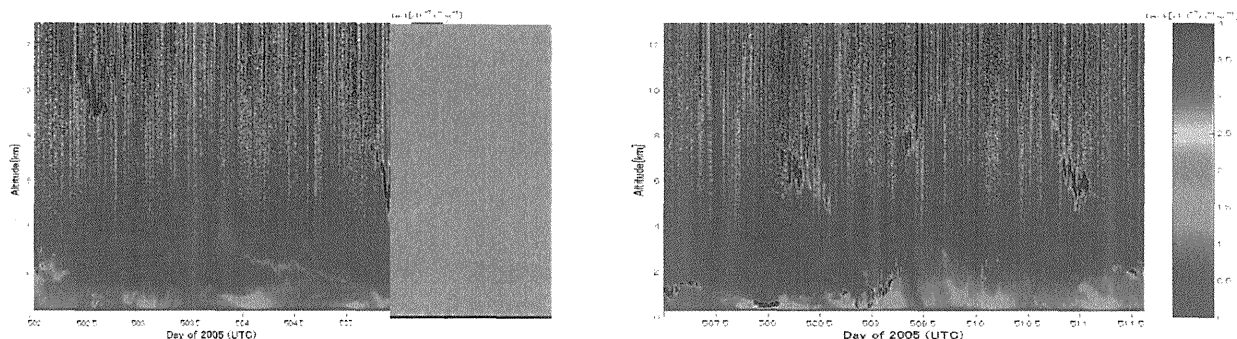


図9 2005年5月2日から5月11日に観測された散乱光強度の高度分布の時間変動

Fig.9 Temporal variation of vertical distribution of the signal intensity. They were obtained from May 2 to 11 every fifteen minutes.

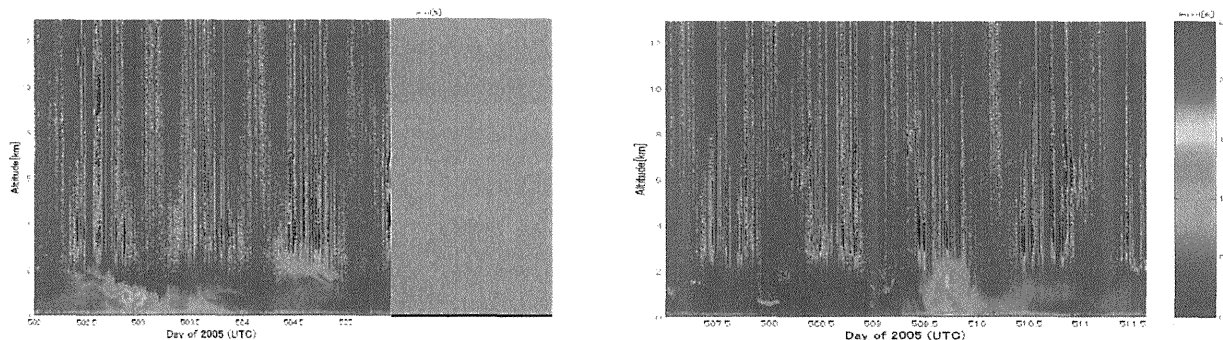


図10 2005年5月2日から5月11日に観測された偏光解消度の高度分布の時間変動

Fig.8 Temporal variation of vertical distribution of the depolarization ratio. They were obtained from May 2 to 11 every fifteen minutes.