

タクラマカン砂漠におけるダスト層高度の変動特性 —現地ライダー観測—

Characteristics of the height of dust layer over the Taklimakan Desert
revealed by the lidar

甲斐憲次¹⁾, 永田悠一¹⁾, 岩永博之¹⁾, H.S. Kim¹⁾, 常松展充²⁾, 永井智広³⁾, 阿保真⁴⁾, 周宏飛⁵⁾
K. Kai¹⁾, Y. Nagata¹⁾, H. Iwanaga¹⁾, H.S. Kim¹⁾, N. Tsunematsu²⁾, T. Nagai³⁾, M. Abo⁴⁾, Zhou Hongfei⁵⁾
1)名大・環境, 2) 科学技術振興事業団・気象研, 3)気象研・衛星, 4)首都大・工, 5) 中国科学院

1) Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2) Japan Science and Technology Corporation (Meteorological Research Institute), 3) Meteorological Research Institute, 4) Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University, 5) Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science

Abstract

As a part of ADEC, a newly developed lidar has been operated since 2001 at the Aksu oasis (40.6 N, 80.8E, 1028 m above the sea level) in the northern fringe of the Taklimakan Desert, Xinjiang, China. The lidar is a Nd:YAG depolarization lidar designed to measure the vertical profiles of backscatter and the depolarization of the aerosol particles from near the ground and up to the stratospheric aerosol layer. The present paper shows characteristics of the height of dust layer over the Taklimakan Desert, using the lidar observations at Aksu during the spring of 2002 - 2004.

1. はじめに

タクラマカン砂漠を起源とする黄砂（風送ダスト）については，平成 12-16 年度科学技術振興調整費「風送ダストの大気中への供給量評価と気候への影響に関する研究（略称 ADEC）」により，総合的な研究が行われた．ADEC の一環として，タクラマカン砂漠での現地ライダー観測が実施された．一連の研究成果は，日本気象学会誌の気象集誌特集号 (Vol. 83A, 2005) に掲載されている．

本研究では，周囲を天山山脈，パミール高原，チベット高原など 5000m 級の山脈に囲まれたタリム盆地内のダスト層の鉛直構造を現地ライダー観測から解明しようと試みた．アクスのライダー観測を用いた研究成果は，Tsunematsu et al. (2005)，Tsunematsu (2004) 等に発表されている．本報では，2002-2004 年春季の観測結果を総合的に報告する．

2. ライダー観測

観測場所はタクラマカン砂漠内のオアシス都市アクス (40. 27N, 80. 45E, 標高 1028m) である．Nd:YAG レーザー (波長 532nm) を用いたライダーは，受光用の望遠鏡を 2 つ持ち，受信信号を 3 つのチャンネルに分けることにより，地表面に極めて近い高度から成層圏までの幅広い高度範囲を観測できるよう設計されている．ADEC プロジェクトでは，2002-2004 年の春季，2 週間程度の集中観測 (おのおの IOP-1, IOP-2, IOP-3 と略称) が実施された．3 年間のライダー観測のまとめを Table 1 に示す．

3. 観測結果

1) IOP-1 / 2002

IOP-1 のライダー観測の結果を Fig. 1 に示す．2002 年 4 月に実施された IOP-1 では，4 月 11-12 日 静穏かで視程のよい状態が続いたが，トラフの通過後，寒気が侵入し，4 月 13 日激しいダストストームが発生した．ダストストームは 4 月 15 日まで続き，視程は 1km 以下になった．ライダー観測によると，ダスト層高度は海拔 5.5km に達した．それ以前に比べると，後方散乱比は 4~8 から 20 以上，偏光消度率は 8~10% から 15~25% に増加した．高度 10-13km はしばしば雲が観測された．タリム盆地を取り巻く天山山脈，クンルン山脈，パミール高原 (最高峰 7000m 級) の影響で，この高度が雲の通り道になっていると思われる．

Table 1 Summary of Lidar Observations at Aksu, Xinjiang, China during 2002-2004

April 2002	Before	Duststorm	After
Weather	Clear and good visibility	Invasion of trough Strong easterly wind Visibility < 1 km	Clear but bad visibility
Dust layer	4 km	5.5 km	2.5 – 5.5 km
B.S.R.	4 – 8	20 or more	5 – 20
D.R.	8-10	15 – 25	13 – 20
Memo		<i>Strong dust storm</i>	<i>Diurnal variation</i>
March 2003			
Weather	<i>Calm, fine and no dust storm</i>		
Dust layer	3 – 4.5 km		
B.S.R.	2 – 10		
D.R.	5 – 13		
Memo	Rich soil moisture because of the heavy snow cover		
April 2004	Before	Duststorm	After
Weather	Clear and good visibility	Visibility was gradually bad.	The dust was washed out by the rain.
Dust layer	3 – 6 km	5.5 km	3 km
Backscattering	4 – 6	more than 16	4 – 6
Depolarization	6 – 15	15 – 25	8 – 20
Memo		<i>Easterly in BL</i> <i>Westerly in FA</i>	<i>Washout</i>

トラフ通過後の4月16 - 20日、リッジに覆われ天気は回復したが、ダストが漂い視程の悪い状態が続いた。ダスト層のトップに着目すると、4月18-20日にかけて、顕著な日変化(振幅1.5km)がみられる。Fig. 1の時間はUTCであるが、新疆時間に直すと(UTC+6hr)、ダスト層高度は地方時の12-14時頃に最も低く(高度2-2.5km)、18時に最も高くなる(高度5.5km)。通常の境界層では、大気混合層は日射の増加と共に厚くなるが、アクスでは逆の現象が起きている。この現象は4月18-20日の3日間続いた。このように日射とは逆位相のダスト層高度の日変化は、タリム盆地内の局地循環が関わっている可能性がある(Tsunematsu et al., 2004)。

顕著なダストストームは、4月13日14:30-16:00と15日11:45-15:00(BST)に発生した。強い東風(10m/s以上)が吹き荒れた。あたりが白濁し、視程が1km以下になった。Tsunematsu(2004)の数値シミュレーションによると、天山山脈を迂回した気流が東風となって、ローランあたりからタリム盆地に侵入し、ダストストームをもたらした。

本ライダーシステムは3チャンネルあり、それぞれ下層用(境界層)、中層用(対流圏)、上層用(成層圏)に設計されている。ダストストーム時は、下層用のチャンネルが完全に飽和し、中・上層用のチャンネルに信号が得られない状態が数時間続いた(Fig. 1において、Dust Stormとマークした領域)。こうなると、ライダー観測は完全にお手上げになる。下層のダストが薄くなると、上空が見え始める。観測中は気づかなかつたが、Fig. 1を作成してみると、ダストストームの始まる数時間前に、上空10km付近の雲が高度を次第に下げ地面に近くに達する頃にダストストームが起きている。メソスケールの気象現象が関係しているように思われるが、その理由はまだ分からない。

Fig. 1の後方散乱比の全体の特徴を見ると、ダストストーム前の静穏な時期(Before: 4月11日から13日前半)、ダストストームの期間(Dust storm: 4月13-15日)、ダストストーム後のよどんだ時

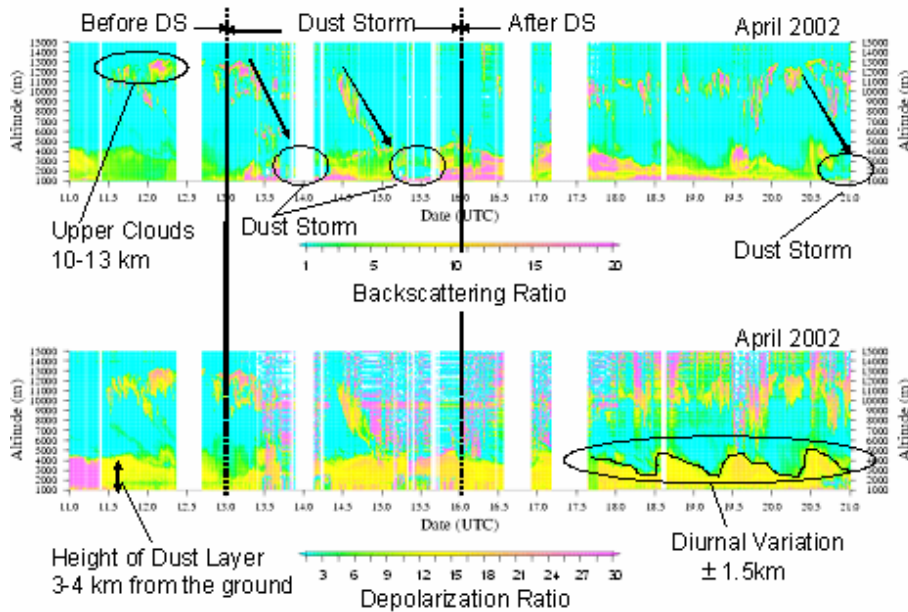


Fig. 1 Time-altitude cross sections of backscattering ratio (upper) and depolarization ratio (lower) over Aksu, Xinjiang, China during 11 and 21 April 2002.

期 (After: 4月16-20日) の3つの期間に分けることができる。Beforeの後方散乱比が4~8, 偏光解消度8~10%であるのに対して, Afterではそれぞれ5~20および13~20%と大きく増加している。これはダストストームによって舞い上がったダストが数日間漂っていることを意味し, 地形的に閉鎖系になっているタクラマカン砂漠の特徴のように思われる。

先に述べたように, Afterの中で4月18-20日, ダスト層トップの高度が最低2.5km (地方時の正午頃) から最高5.5km (地方時18-20時) まで約3kmも変動した。このことは, ダストストーム以外の通常の時期においても, エントレメントによって, 自由対流圏と境界層 (ダスト層) との間で物質交換が行われている可能性を示唆している。

2) IOP-2 / 2003

IOP-2は2003年3月18-27日実施された。IOP-2の間中は, 全般に風も穏やかで, 比較的湿度も高く, 顕著なダストストームは発生しなかった。その理由は, 次のように考えられる。アクスオアシスは3月10日頃, 大規模な灌漑が行われ, 土壌水分が多かった。そのため, 地下水位が高く, 至るところで塩類が析出していた。さらに, その年の冬季は例年になく積雪が多く, タクラマカン砂漠全域で土壌水分が多い状態にあった。

Table 1の後方散乱比と偏光解消度はそれぞれ, 2~10および5~13%で, 春季としてはかなり小さい値であった。ついでながら, 2003年はゴビ砂漠でもダストストームの発生が少なく, 日本での黄砂の観測は4年ぶりに少ない水準に戻った。

3) IOP-3 / 2004

2004年春は04.06.12:00(UTC)頃まで春のバックグラウンドの状態 (後方散乱比で5~7) が続き, その後次第にダスト濃度が高くなっていった。ダスト層は高度5~6kmまで広がった。ダストストーム発生時には最大で後方散乱比の値は33, 偏光解消度の値は27%を示した。このとき, ダスト層は海拔5.5kmまで広がった。4月10日10:00 UTC~12:00 UTCの短い時間の降雨で, 大気中のダストの大部分はウォッシュアウトされた。降雨後の後方散乱比の値は7~9とほぼ春季のバックグラウンドの状態と同じ値を示した。ダストストームが発生した2004年4月7日0:00 UTC頃, タクラマカン砂漠のほぼ真東に位置した高気圧とタクラマカン砂漠内の低気圧との気圧差が約20hPaと大きくなり, 砂漠内に吹き込むように東風が卓越した。この東風(4~9m/s)によって東経90°付近でダストストームが発生したと考えられる。

パイバルによる上層風の観測を3時間ごとに行った。Fig.2はパイバル観測とライダー観測を比較したものである。4月5日は, ダストストームの前の穏やかな日の事例で, 地上から3.5kmまでダスト層あるいは境界層が発

達し、その内部では微風になっている。ダスト層(境界層)トップでは、強い西風が吹いている。このことは、ダスト層の中で強い対流が発生すると、上端付近では西風によってダストがタリム盆地から長距離輸送されることを示している。4月7日は、ダストストームが発生したときの事例である。ダスト層内部では地上から高度3kmまで4~8m/sの強い東風が吹いている。

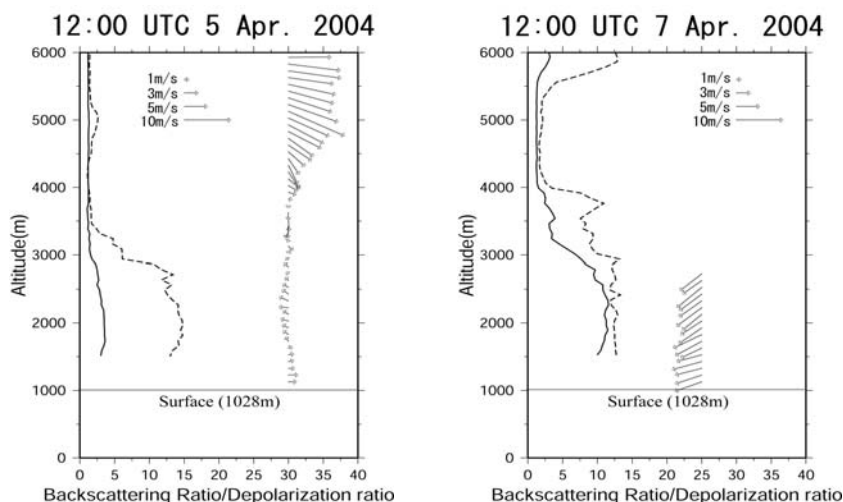


Fig. 2 Vertical profiles of wind, backscattering (solid line) and depolarization (dot line) ratios on 5 April (left) and 7 April (right) 2004.

4. まとめ

過去3年間(2002-2004年)、タクラマカン砂漠で実施したライダー観測より、春季におけるダスト層高度の変動特性を調べた。強い偏西風が天山山脈を迂回して東からタリム盆地に侵入するケースについて、観測結果から推論したタリム盆地のダスト高度分布と風系の概念図をFig. 3に示す。また、ダストストーム以外の通常の場合でもダスト層内部の対流により、定常的にダストが自由対流圏に流出する可能性が示された。

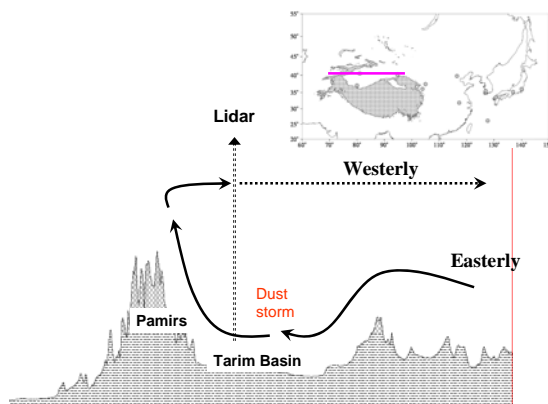


Fig. 3 Long-range transport of the Asian Dust originated from the Taklimakan Desert.

参考文献

- J. Meteorological Society of Japan. Special Issue on ADEC – Aeolian Dust Experiment on Climate Impact- 2005
- Kai, K. et al., J. Arid Land Studies, 11,321-325, 2002.
- Tsunematsu, N., SOLA, 1, 21-24, 2004.
- Tsunematsu, N. et al., J.Geophys. Res., 2005 in press.