

タクラマカン砂漠におけるライダー観測の成果と今後の観測計画

Results of lidar observations of the dust over the Taklimakan Desert and an observation plan

甲斐憲次¹⁾, 神 慶孝¹⁾, 周宏飛²⁾

K. Kai¹⁾, Y. Jin¹⁾, Zhou Hongfei²⁾

1) 名大・環境, 2) 中国科学院・新疆生態地理研究所

1) Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2) Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science

Abstract

As a part of the China-Japan Joint Research Program ADEC (2002 – 2004), the Nd:YAG depolarization lidar was operated 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 was designed to measure the vertical profiles of backscatter and depolarization of the aerosol particles from the atmospheric boundary layer and up to the stratospheric aerosol layer. The lidar observations during the Intensive Observation Period (2002-2004) show characteristics of the dust over the Taklimakan Desert i.e., 1) the structure of the dust layer, 2) its diurnal and synoptic-scale variations, 3) meso-scale transport of the dust in the system between Tianshan Mountains and Tarim Basin, and 4) the structure of the dust front. A new Kakenhi project (Local Circulations and Dust Storm in the Taklimakan Desert) from 2008 to 2010 started in April 2008. An APD unit was installed in the Aksu lidar in March 2009. A test observation by the new lidar system was carried on 23 – 25 March 2009 at Aksu, Xinjiang. The present paper shows previous results of lidar observations and an observation plan in future.

1. はじめに

タクラマカン砂漠は、天山山脈・パミール高原・崑崙山脈など5000m級の急峻な山脈に囲まれたタリム盆地の大部分を占め、その面積はほぼ日本全土に相当する。この盆地に巨大なダストプールが形成される。その3次元地形に起因する局地循環はダストの発生に大きな役割を果たしている。タクラマカン砂漠で発生するダストは、偏西風で運ばれ、地球規模に拡散しやすい。気候変動への影響では、ゴビ砂漠のダストよりも、大きな存在である。気候への影響を評価するためには、浮遊するダストを定量的に見積もることが重要であるが、発生源域全域において観測的に見積もられた例は少ない。2000-2004年度科学技術振興

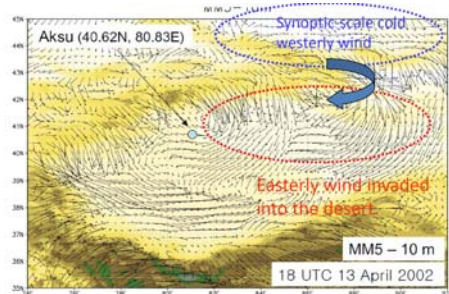


Fig.1 Topography around the Taklimakan Desert and simulated surface winds at 18 UTC on 13 April 2002. Ref.②

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、研究代表者: 三上正男)により、総合的な研究が行われた。ADEC の集中観測期間(IOP)に、タクラマカン砂漠のダストを対象とするライダー観測が実施された。2008 年度科学研究費・海外学術調査「タクラマカン砂漠上の局地循環と黄砂の発生機構の解明」(研究代表者: 甲斐憲次)により、ライダー観測が再開された。本報では、ADEC の研究成果と科研費による観測計画を述べる。

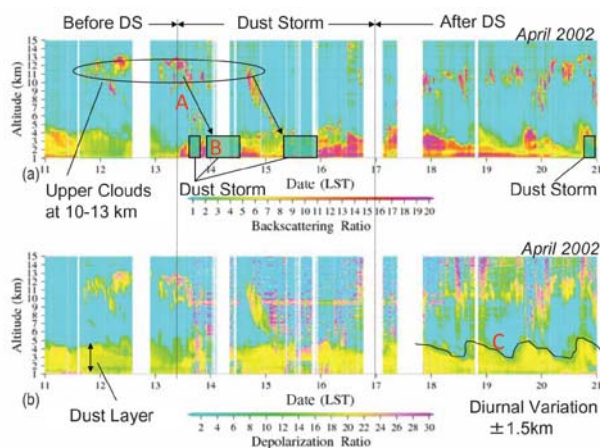


Fig.2 Time-altitude cross sections of back-scattering ratio and depolarization ratio during 11 and 21 April 2002 over Aksu, Xinjiang China (Kai et al., 2008). Ref.②

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)郊外の中国科学院新疆生態地理研究所の観測圃場である。装置は、Nd:YAG レーザー(波長 532nm)を用いた偏光ライダーである(Kai et al., 2008)。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、地表面付近から成層圏までの幅広い高度範囲を観測できる。

3. 観測の結果

3.1 集中観測 IOP-1(2002年4月)

IOP-1では、4月11-12日までは静穏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。Fig. 1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、ローラン付近からタリム盆地に侵入し、ダストストームをもたらした(Tsunematsu, 2004)。

Fig. 2は、4月11日から22日までの後方散乱比と偏光解消度の高度-時間変化を示す。ダストストーム発生後、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、偏光解消度は8~10%から15~25%に増加した。4月11-12日、高度10-13kmはしばしば雲が観測されたが、この雲がほぼ直線的に高度を下げ、地面に達した頃、地上でダストストームが発生している(Fig. 2のAとB)。この様子をライダーが捉えている(Fig. 3)。

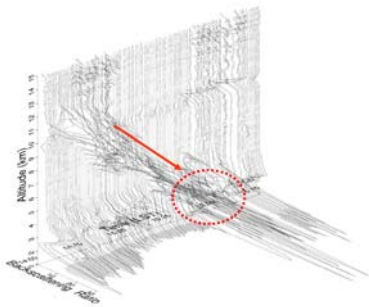


Fig.3 Time - altitude change in the descending upper clouds over Aksu during the passage of the dust storm on April 14 - 15, 2002. Ref.②

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(リサイクル)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。

ダストストームの後(4月17-20日)、ダスト層上端高度の日変化がはっきりと観測された(Fig. 2のC)。Fig. 4は、187m, 1, 2, 3, 4, 5kmの各高度におけるライダー信号の時系列を示す。この期間、下層(高度2km以下)のライダー信号は、徐々に減衰した。この結果は、地表近くの比較的粒径の大きいダスト(直径10μmかそれ以上の粗大粒子)が徐々に重力沈降していることを示す。他方、高度2-4kmのライダー信号は、夕方から深夜にピークをもつ、明瞭な日変化を示した。この高度のダストは粒径が小さいので、局地循環により、盆地内を循環していると予想される。

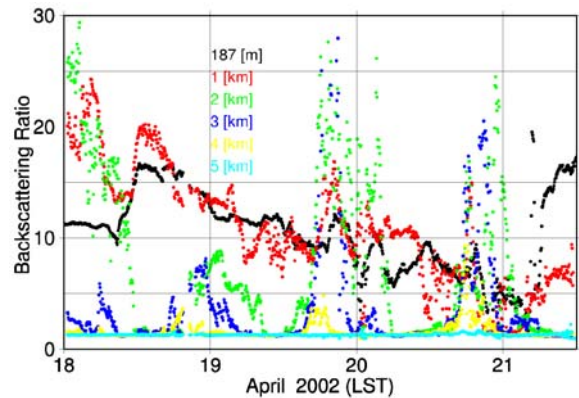


Fig.4 Time series of the backscattering ratios at heights of 0.187, 1, 2, 3, 4 and 5 km on April 18 - 21, 2002. Ref.②

局地循環の数値シミュレーションの結果をFig. 5に示す。この結果によると、重力落下が少ない、比較的粒径の小さいダスト(直径1-10μm位)に関しては、天山山脈-タリム盆地の局地循環が重要な役割を果たすことが分かった。主な点

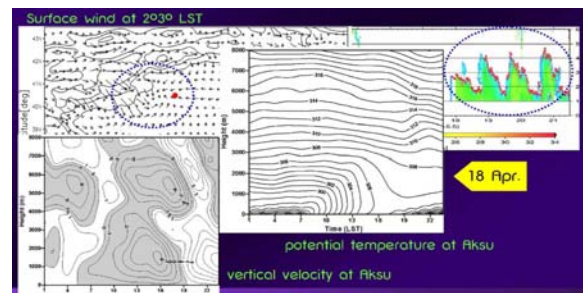


Fig.5 Simulated surface wind, potential temperature, and vertical velocity at 2030 LST on 18 April 2002. Ref.①

は、次の2点である。①日中、天山山脈の谷風が発達し、その反流がアクス付近に下降流となって現れる。この下降流が日中におけるダスト層上端部の発達を抑制する。②夜間、パミール高原と天山山脈からの二つの山風がアクス付近で収束域を形成し、上昇気流を生み出す。さらに、アクス上空には日中形成された混合層の名残(residual layer)があり、ダスト層の上昇を加速した。

3.2 集中観測 IOP-2(2003年3-4月)

IOP-2の期間中は、全般に風も穏やかで、比較的土壌水分も高く、顕著なダストストームは発生しなかった。Fig.6は、2003年3月18-27日の観測結果を示す。

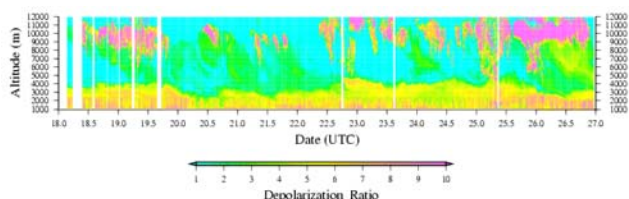


Fig.6 Time-altitude cross sections of depolarization ratio during 11 and 21 April 2002 over Aksu, Xinjiang China (Tsunematsu et al., 2005). Ref.⑥

ダスト層高度に着目すると、ダスト層高度の高い時期(3月18-19日と3月23-25日)とダスト層高度の低い時期(3月20-22日)がある。前者は上層雲が多く、後者は上層雲が少ない傾向がある。このようなダスト層高度の変化は、シノプティックな風系が影響を及ぼすことがある。例えば、3月22日から23日にかけて、ダスト層高度が約

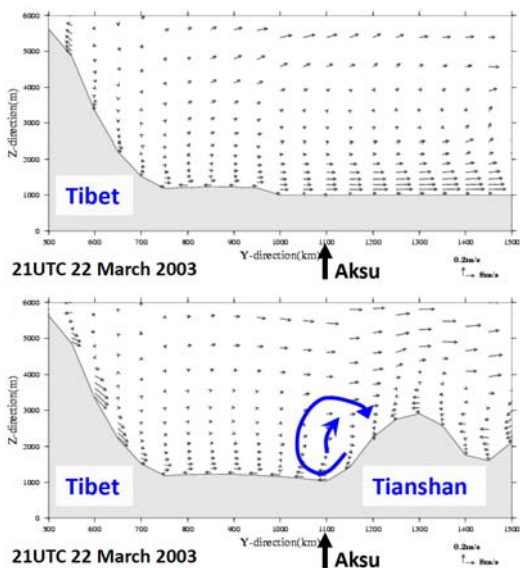


Fig.7 Vertical cross section of simulated wind vector for the no-Tianshan Mountains and for the real topography.⑥

1 km 上昇している。Fig.7は、この期間の風系を天山山脈 ON/OFF の条件で数値シミュレーションを行ったものである。天山山脈 ON の場合、タリム盆地の卓越風・南風と天山山脈の山風がアクス付近で上昇流を生み出している。

3.3 集中観測 IOP-3 (2004年3-4月)

2003年3月、パミール高原越えの気流により砂塵嵐が発生した。ライダーで観測された砂塵嵐の様子をFig.8に示す。05UTC、砂塵嵐が侵入し、黄砂は高度6 kmまで舞い上がった。砂塵嵐は6時間継続し、12UTC頃終息する。

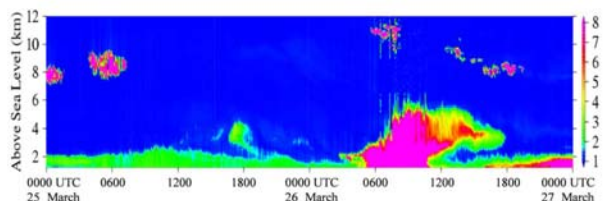


Fig.8 Time-altitude cross sections of backscattering ratio during 25 and 27 March 2004. Ref.④

Fig.9左は、MODISによる砂塵嵐の衛星写真である。この写真の乳白色の部分が発塵しているところで、タリム盆地の北西部から東部に向かって分布している。

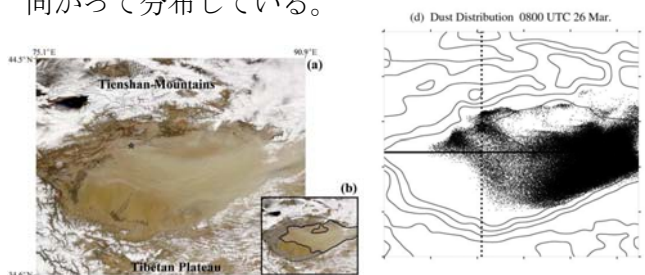


Fig.9 Satellite image of the Taklimakan Desert by MODIS and simulated dust distribution on 26 March 2004. Ref.④

この様子を数値モデルで再現すると、Fig.9右のようになり、Fig.9の衛星写真とよく対応している。ライダー観測と数値シミュレーションをまとめると、次のようになる。夜間に発達したタリム盆地内の接地逆転層が日照により崩壊し、それまで逆転層により遮断されていた上空の空気塊(運動量)が短時間のうちに地上に乱流輸送され、砂塵の発生をもたらした。このメカニズムは衛星画像による砂塵の分布を極めてよく説明するとともに、ライダーにより観測された砂塵の観測時間とも整合する。

4. タクラマカン砂漠のダスト量の推定

2002年と2004年の集中観測期間中のデータを

用いて、タクラマカン砂漠全体のダスト量を推定した。ダスト量の推定手順は、次の通りである。まず、ダスト層の平均消散係数、ダスト濃度、Mass / Extinction Conversion Factor (MECF) を用いて、ダスト量を推定した。ここで、MECF は、ライダー観測によるエアロゾルの消散係数と地上で観測されたエアロゾル濃度との比である。次に、ライダーから得られる消散係数と TOMS エアロゾルインデックスとの関係を求めると、相関係数 0.95 の回帰式が得られた。この関係を用いて、タクラマカン砂漠全域のダスト量を推定する。

Fig. 10 は、上述の方法で算出したタクラマカン砂漠のダストカラム量分布である。Fig. 10 右は、2004 年 4 月 6 日の分布である。タクラマカン砂漠東部から北部は 500 mg/m³ 程度のダストカラム量となっている。一方南西部には一部ダストカラム量の多い地域があり、1500 mg/m³ を超えている。タクラマカン砂漠の春季のバックグラウンド状態では、おおよそ 500 mg/m³ 程度のダストカラム量であることが見積もられた。Fig. 10 左は同じく 2004 年 4 月 7 日の分布である。6 日に比べ、タクラマカン砂漠全域的にダストカラム量が上昇している。特に東部でその上昇が激しく、2500 mg/m³ 以上の領域が存在し、一部では 3000 mg/m³ を越えている。この事例では、ダストストームが発生すると、ダストカラム量がバックグラウンドの状態に比べて約5倍増加している。

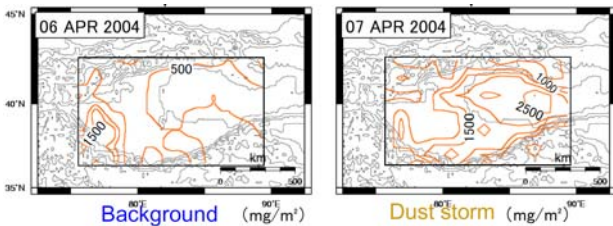


Fig.10 Column dust distributions for the background and the dust storm.

5. ライダーの増設と今後の観測計画

2008 年度科学研究費・海外学術調査「タクラマカン砂漠上の局地循環と黄砂の発生機構の解明」(研究代表者：甲斐憲次)では、タクラマカン砂漠を取り巻く3次元地形と中央アジアという地理的位置に起因する局所な特性を解明し、それが東アジア域での黄砂の長距離輸送にどのように関わっているかを解明することである。この目的を達成するため、現地ライダー観測・衛星観測・数値シミュレーションという手法を総合化し、研究を推進する(Fig.11)。

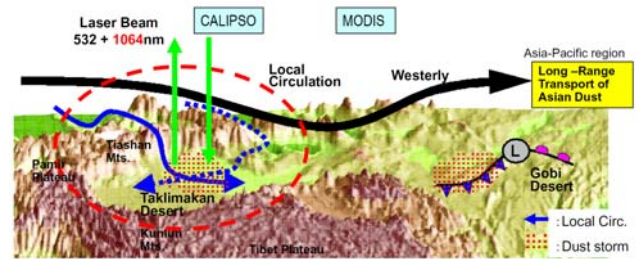


Fig.11 Local Circulations and Dust Storm in the Taklimakan Desert - 2008 ~ 2010 -.

参考文献 (タクラマカン砂漠ダスト研究)

- ① Kim, H.-S., Y. Nagata, K. Kai, 2009: Variation of dust layer height in the northern Taklimakan Desert in April 2002, *Atmos. Env.*, 43, 557-567.
- ② Kai, K., Y. Nagata, N. Tsunematsu, T. Matsumura, H.-S. Kim, T. Matsumoto, Hu Shunjun, Zhou Hongfei, M. Abo, T. Nagai, 2008: The structure of the dust layer over the Taklimakan Desert during the dust storm in April 2002 as observed using a depolarization lidar, *J. Meteor. Soc. Japan*, 86(1), 1-16.
- ③ Kim, H.S. and K. Kai, 2007: Recent dust outbreaks in the Taklimakan Desert and their relation to surface wind and the land surface condition, *Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*, 3, 69-72.
- ④ Tsunematsu, N., T. Sato, K. Kai, F. Kimura, Y. Kurosaki, T. Nagai, Hongfei Zhou, and M. Mikami, 2005: Extensive dust outbreaks following the morning inversion breakup in the Taklimakan Desert. *J. Geophys. Research*, 110(D21207), doi:10.1029/2005JD005994.
- ⑤ Taichu Y. Tanaka, Y. Kurosaki, M. Chiba, T. Matsumura, T. Nagai, A. Yamazaki, A. Uchiyama, N. Tsunematsu, and K. Kai, 2005: Possible transcontinental dust transport from North Africa and the Middle East Asia. *Atmospheric Environment*, 39, 3901-3909.
- ⑥ Tsunematsu, N., K. Kai, and T. Matsumoto, 2005: The influence of synoptic-scale air flow and local circulation on the dust layer height in the north of the Taklimakan Desert. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 5(3-6), 175-193.
- ⑦ Tsunematsu, N., 2005: Observed dust storm in the Taklimakan Desert on April 13, 2002. *Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*, 1, 21-24.
- ⑧ Okada, K. and K. Kai, 2004: Atmospheric mineral particles collected at Qira in the Taklamakan Desert, China. *Atmospheric Environment*, 38, 6927-6935.
- ⑨ Kai, K., S. Hu, H. Zhou, T. Yasojima, B. Xu, T. Nagai, and M. Abo, 2002: Development of a new lidar for measuring the aeolian dust originated from the Taklamakan Desert: test observation at Tsukuba, Japan. , *J. Arid Land Studies*, 11(4), 321-325.

謝辞 2009 年 3 月の現地調査を無事遂行することができたのは、柴田隆名大教授のご尽力のたまものである。永井智広気象研主任研究官、阿保真首都大教授からご助言を得た。ここに記して謝意を表す。