

タクラマカン砂漠におけるダスト現象-ライダー観測とWRF-Chemの比較

Comparison of the lidar observation of the dust over the Taklimakan Desert with the numerical simulation of PM10 diffusion by WRF-Chem

甲斐憲次¹⁾, 杉村直哉¹⁾, 常松展充²⁾, 神慶孝¹⁾, 周宏飛³⁾

Kenji Kai¹⁾, Naoya Sugimura¹⁾, Nobumitsu Tsunematsu²⁾, Y. Jin¹⁾, Zhou Hongfei³⁾

1) 名古屋大学・院・環境学研究科, 2) 防災科学技術研究所, 3) 中国科学院新疆生態地理研究所

1) Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3) Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS

Abstract

A one-week dust storm event was observed by the Mie-scattering depolarization lidar during 6 – 10 April 2004 at Aksu, Xinjiang, China. It was very clean on 4 and 5 April before the dust storm. A large amount of the dust was lifted up by the dust storm on 7 – 9 April, and was removed by the rainfall on 10 April. The rainfall washed out most of the dust, and it returned to the background condition on 11 April. The vertical scale of the dust reached to 5 km (ASL) and a horizontal scale was about 1000 km, occupying 70 % of the Taklimakan Desert. We carried out the numerical simulation of the one-week dust event by the WRF-chem. The simulated vertical distribution of PM10 concentration coincides with that of backscattering ratio observed by the lidar at Aksu. The correlation coefficient between the backscattering ratio and PM10 concentration is about 0.8 in the dust layer. The horizontal distributions of PM10 concentration, wind and rainfall also coincide with the in situ observations. The WRF-chem well simulates the one-week dust event in April of 2004 in the Taklimakan Desert.

1. はじめに

タクラマカン砂漠はアジアダストの主要な発生地域のひとつである。Fig. 1に示すように、5000m級の天山山脈、パミール高原、クンルン山脈に周囲を囲まれたタリム盆地の大部分をタクラマカン砂漠が占めている。閉鎖型の地形のため、春季は、巨大なダストプールが形成される。タリム盆地から流出するダストは、偏西風により長距離輸送されることがこれまで観測や数値モデル

を用いて確認されており、時には北太平洋や北アメリカに到達することもある (e.g. Iwasaka et al., 2003; Uno et al., 2005)。タクラマカン砂漠ダストは高々度に浮遊し、寿命も長いので、気候に及ぼす影響が大きいと考えられている。

本研究の目的は、2004年4月、気圧の谷の通過に伴いタクラマカン砂漠で発生したダストイベントを対象として、ライダー観測を中心とした現地観測と領域気象モデルWRF-Chemによる数値実験の比較を通じて、ダスト層の形成から崩壊までの様子を明らかにすることである。また、ライダー観測データを用いて、WRF-Chemによるダスト飛散シミュレーションを検証した(Meiji, 2009)。

2. 観測データと数値シミュレーション

1) ライダー観測データ

タクラマカン砂漠内部のアクス (40.37°N, 80.50°E、海拔1028 m) に設置された偏光ミュー散乱ライダーの観測データを用いて対流圏内のダストの解析を行い、2004年4月4日から11日までの観測データを解析した(Kai et al., 2008)。

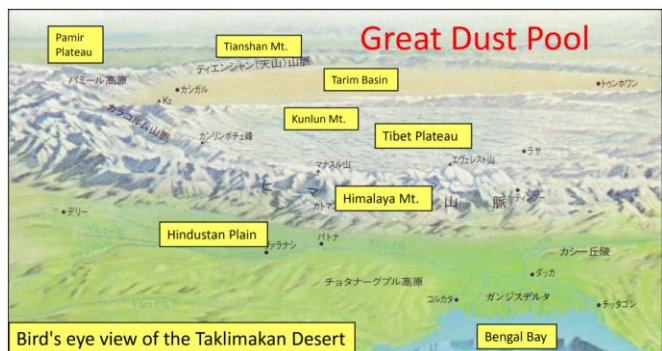


Fig.1 Birds-eyes view of Taklimakan Desert and Tarim Basin

2) 地上気象データ

タクラマカン砂漠内 10ヶ所の SYNOP 観測所の 4日 0000UTC から 11日 0000UTC までの地上気象データと、4日 0000UTC から 10日 1200UTC のアクス地上気象観測データ)を用いた。

3) 数値シミュレーション

WRF-Chem で黄砂の発生・輸送をシミュレートし、PM10 土壌粒子を黄砂粒子として仮定した。計算領域は、中心地点を東経 90.0°・北緯 45.0°、水平格子間隔を 40 km、水平格子点数を 102×102、鉛直 30 層と設定した。解析期間は 2004 年 4 月 4日 0700UTC から 11日 0000UTC とした。

WRF-Chem のダストフラックスは、次式で与えられる。

$$F = C(|\mathbf{v}_{10}| - v_t) |\mathbf{v}_{10}|^2 \quad \text{for } |\mathbf{v}_{10}| \geq v_t, \quad (1)$$

$$F = 0 \quad \text{for } |\mathbf{v}_{10}| \leq v_t,$$

ここで、F はダストフラックス、 v_{10} は高度 10m の風速、 v_t はダスト発生臨界風速である。臨界風速は、6.5m/s とした。式(1)の係数 C は、土壌水分に関わる係数で、次式で与えられる。

$$C = 1.3 \times \frac{S_t - S}{S_t} \quad \text{for } 0 \leq S \leq S_t, \quad (2)$$

$$C = 0 \quad \text{for } S \geq S_t,$$

ここで、S は表層の土壌水分量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)、 S_t は臨界土壌水分量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) である。したがって、WRF-Chem では、風速と土壌水分がそれぞれの臨界値を越えたとき、ダストが発生する。

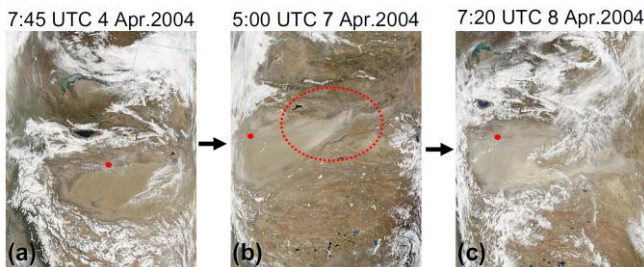


Fig. 2 MODIS images of the dust storm. (a) The background conditions, (b) the beginning of the dust storm. The eastern part of the desert was invaded by the dust storm, (c) the full stage of the dust storm.

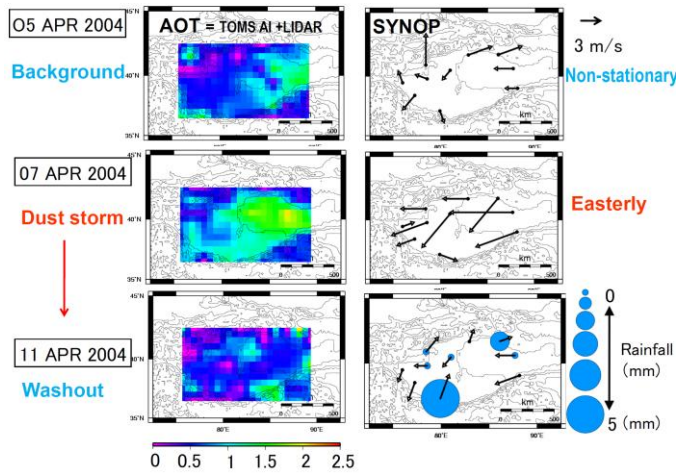


Fig. 3 Horizontal fields of AOT and SYNOP before and after the dust storm on 7 April 2004

3. 結果と考察

トラフの通過後、2004 年 4 月 7-10 日、強い東風が吹き、ダストストームが発生した。この東風は、テンション山脈の北を流れる冷たい偏西風がタリム盆地東端の低地から東寄りの風となって、盆地内に侵入したものである。この間のダストの発生状況をみるために、Fig. 2 に 4 月 4、7、8 日の MODIS 画像を示す。4 日の段階では、タリム盆地内は静穏でダストはみられない。7 日、タリム盆地の東端から強い東風が吹き込み、ダストが巻き上げられている。8 日、ダストはタリム盆地全体を覆う。

ダストストーム前後のエアロゾル光学的厚さと地上気象要素の水平分布を Fig. 3 に示す。エアロゾル光学的厚さ AOT は、衛星 TOMS のエアロゾルインデックスとアクス・ライダーから推定した。右の図は、SYNOP による風と降水量の分布を示す。7 日、強い東風により盆地東部を中心に AOT が増加する。AOT の最大値は、東端で 2 を越える。10-11 日、降雨により、盆地内に滞留するダストは washout され、バックグラウンドの状態に戻る。

Fig. 4 にライダーによる後方散乱比と WRF-Chem で再現された PM10 濃度の高度-時間変化を示す。4-5 日、バックグラウンドの弱いダスト層が地上から 4-5km に分布する。6-7 日、下層から強いダスト層が成長しはじめ、9 日にピークを迎える。ダスト層の高さは 5km で、散乱比は 15 を越える。10-11 日、降雨によりダストが washout される。11 日はバックグラウンドの状態に戻る。 Fig. 4(b) は、WRF-Chem で再現された PM10

濃度の高度-時間変化である。PM10 をダストとみなすと、ダスト層の形成期~成長期（6日から9日）における再現性は高い。降雨による、ダスト層の崩壊期も比較的良好に再現される。

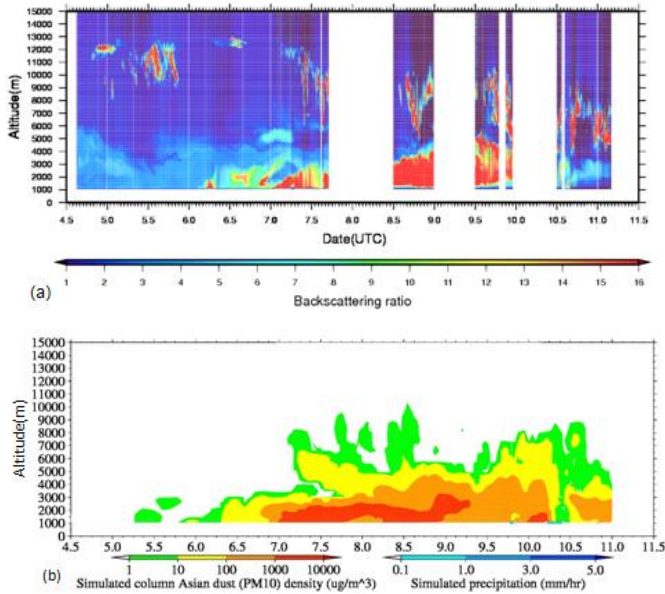


Fig. 4 Time-altitude cross-sections of backscattering ratio (a) and PM10 concentration simulated by WRF-chem (b) in April 2004

次に、数値シミュレーションの中で最もアクセスに近い地点の PM110 濃度とライダー後方散乱比のプロファイルと比較した。Fig. 5は、7日、8日、および10日のプロファイル（上段はライダー観測、下段は WRF-Chem）を比較したものである。7日の04,07,08UTCをみると、ダストの立ち上がりのタイミングと舞上り高度（地上2km）はよく一致している。ダストが本格的に舞上がりはじめた8日もダストの到達高度など再現されている。10日は、降雨による washout が発生した日である。雲を除けば、washout によりダストが除去された様子が再現されている。

Fig. 6 は、ライダー後方散乱比と PM10 濃度の相関を検証したものである。ダスト層内の高度 1.2km、2.2km、3.1km では相関が極めて高く、高度 1.2km では 0.807 である。自由対流圏にあたる高度 4.1km では 0.287 と低かった。以上より、ダスト層内部の後方散乱比と PM10 の相関は高いが（0.8 前後）、自由対流圏は低い。

Fig. 7 は、WRF-Chem で再現した PM10 濃度、風、

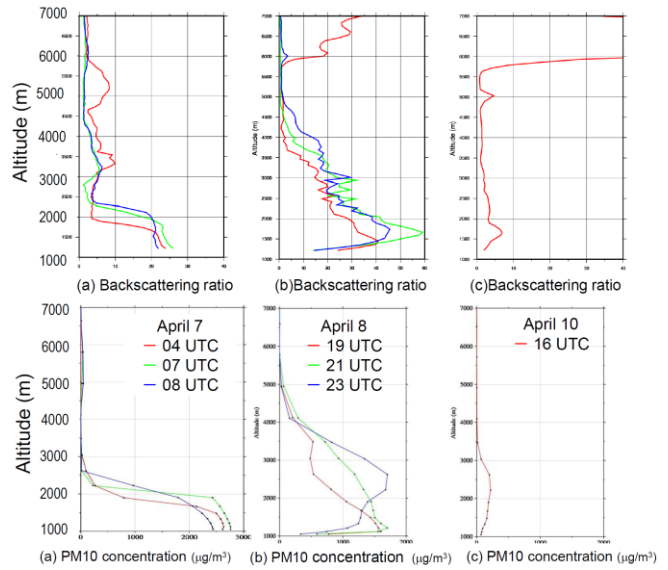


Fig. 5 Comparison between the profiles of simulated PM10 concentration and those of backscattering ratio on 7, 8 and 10 April 2004.

および降水量の水平分布を示す。図中の黒丸は、SYNOB 観測所を示す。(a)は、ダストストーム前のバックグラウンドの状態である。(b)は、タリム盆地に吹き込む強い東風により、ダストが盆地内に拡がる。(c)は、降雨によりダストが washout される。図中の青い点は、WRF-Chem で降雨が発生した場所を示す。Fig. 1 の MODIS 衛星画像、Fig. 2 の SYNOB と比較すると、全体的に WRF-Chem によるダストイベントの再現性は高く、特にダスト層の形成期~成長期（6日から9日）における

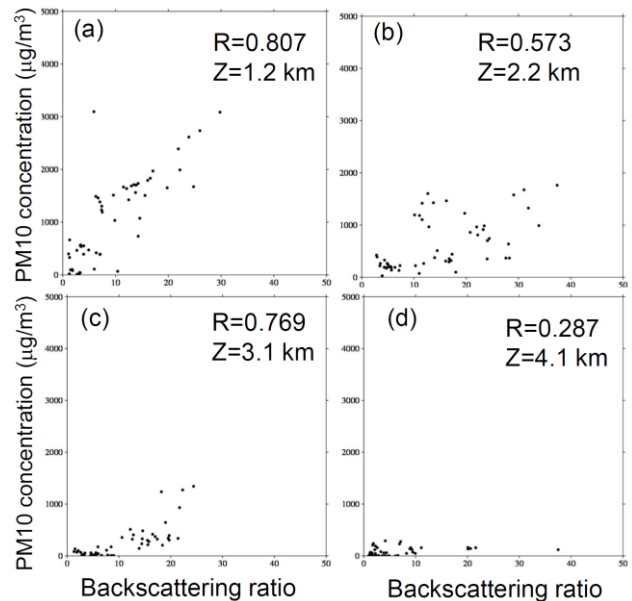
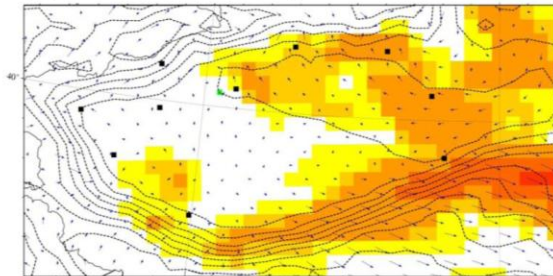


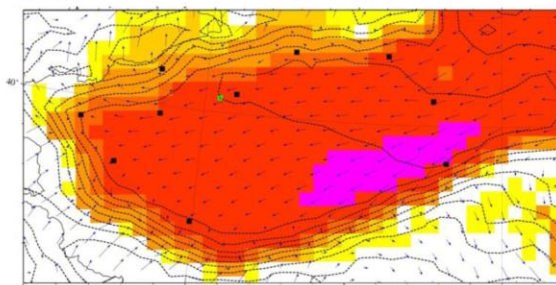
Fig. 6 Backscattering ratio versus PM10 concentration at heights of 1.2, 2.2, 3.1 and 4.1 km

再現性は高かった。またダスト層内部の後方散乱比とPM10の相関は、0.8前後であった(図省略)。一方、ダスト層の崩壊期は、それまでと比べて再現性は高くなかった。この原因として、降雨における湿性沈着の影響から、ダスト層が急激に変化することが挙げられる。

(a) 0600UTC 5 April 2004



(b) 0600UTC 7 April 2004



(c) 0600UTC 11 April 2004

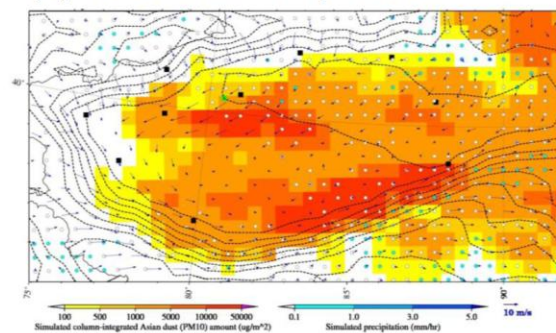


Fig. 7 Horizontal distribution of PM10 concentration, wind and precipitation on 5, 7 and 10 April 2004.

4. まとめ

2004年4月、タクラマカン砂漠で発生したダストイベントを対象に現地ライダー観測とWRF-ChemによるPM10飛散シミュレーションの比較を行った。

全体的にWRF-Chemによるダストイベントの再現性は高く、特にダスト層の形成期～成長期における再現性は高かった。ダスト層内部の後方散乱比とPM10濃度の相関は、0.8前後であった。

以上のことから、シノプティクススケールのダストイベント(気圧の谷の通過など)のように比較的大きな構造をもつ現象は、WRF-ChemのPM10飛散シミュレーションでよく再現されることがわかった。

今後は、夏季晴天日の不安定擾乱や混合層によって、発生する“弱い”ダストイベントの解明を進めたい。

文献

- Iwasaka, Y. et al., 2003: Importance of dust particles in the free troposphere over the Taklamakan Desert: Electron microscopic experiments of particles collected with a balloon-borne particle impactor at Dunhuang, China, *J. Geophys. Research*, **108**(D23), doi:10.1029/2002D003270.
- Husar, R.B. et al., 2001: Asian dust events of April 1998, *J. Geophys. Res.*, 106, 18317-18330.
- Kai, K., et al., 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.
- Meij, A. et al., 2009: The impact of MM5 and WRF meteorology over complex terrain on CHIMERE model calculations, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 661-6632.
- Uno, I. et al., 2005: Meteorological characteristics and dust distribution of the Tarim Basin simulated by the nesting RAMS / CFORS dust model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **83A**, 219-239.