

ひまわり 8 号ダスト RGB とライダー観測網を用いた

黄砂ホットスポットの解明—事例解析と科研費の概要—

甲斐 憲次¹, 神 慶孝², 河合 慶¹

¹名古屋大学 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)

²国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

Meteorological research on dust hotspots in the Gobi Desert by using Himawari 8 Dust RGB and lidar network

Kenji KAI¹, Yoshitaka JIN², and Kei KAWAI¹

¹ Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601

² National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506

Abstract: The Gobi Desert is a dominant source of dust on the Asian continent. In this study, we analyzed the characteristics of a typical Mongolian dust storm and identified a prominent dust hotspot in the Gobi Desert. In addition, we show an outline of the 2021-2023 Kakenhi project on the meteorological research on dust hotspots in the Gobi Desert by using Himawari-8 Dust RGB and lidar network.

Key Words: Dust hotspot, Himawari-8 Dust RGB, Lidar network

1. はじめに

ゴビ砂漠はアジアダストの主要な発生源である¹⁻³⁾。アジアダストはダストストームによって巻き上げられ、偏西風によって長距離輸送される⁴⁻⁶⁾。グローバルスケールにおいては、アジアダストは放射と雲物理のプロセスを通じて、地球全体の気候に影響を及ぼす⁷⁾。地域スケールにおいては、激しいダストストームは人的災害をもたらし、社会・経済活動を遮断することがある⁸⁾。ダストストームは重力流によって引き起こされ、そのメカニズムは室内と野外で多くの研究が行われている⁹⁻¹⁰⁾。局地的な地形と地表面状態により頻繁にダストが発生する、比較的小さい領域のダストホットスポットに関しては、サハラ砂漠やゴビ砂漠で研究が行われている¹¹⁻¹³⁾。

我々のグループは、シーロメーター・ライダーや地上測器を用いて、ゴビ砂漠におけるダストストームの構造や発達のプロセスを研究してきた¹⁴⁻¹⁶⁾。ひまわり 8 号ダスト RGB は、最も有用なダストモニタリングの衛星センサーである¹⁷⁾。ダスト RGB も用いて、中国・モンゴルのホルチン砂地に独立したダストソースを、またよく知られたゴビ砂漠のダストソースを検出することができた¹⁸⁻¹⁹⁾。

本研究では、中小規模のダストストームと地形・植生との関係を調べるため、2019 年 4 月 28 日、ウランバートルからダランザドガドまで 600 km のゴビ砂漠横断調査を行った (Fig. 1)。この調査で、我々は偶然にもダストの壁をもつ典型的なダストストームに遭遇した。本報では、このダストストームの事例解析²⁰⁾ (Kai, K. et al. 2021: SOLA, 17, 130-133) を報告し、関連する科研費の概要を紹介する。

2. 事例解析-2019 年 4 月 28 日のダストストーム

2.1 ダストストームの観測

2019 年 4 月 28 日早朝、ウランバートルから観測をはじめ、14:00 マンダルゴビで昼食休憩をとった。

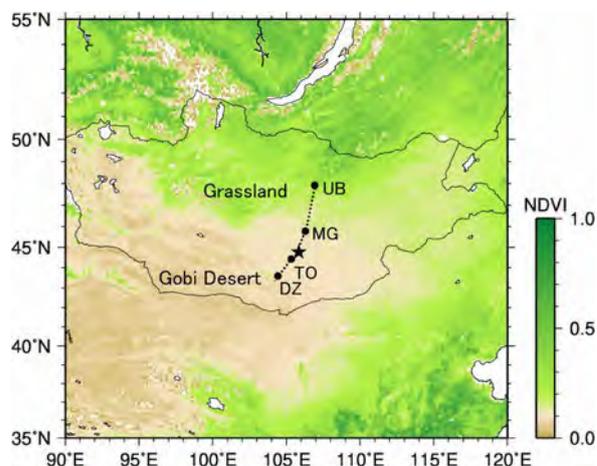


Fig. 1. Map of the research area showing the moving observation route (dotted line). UB: Ulaanbaatar, MG: Mandalgobi, TO: Tsogt-Ovoo, and DZ: Dalanzadgad. Terra/MODIS NDVI (April 2019) is indicated by the color scale. The star (44.53°N; 105.36°E) shows the site of the dust storm.



Fig. 2. Photographs of the dust storm crossing the road ahead of our vehicle between Mandalgobi and Tsogt-Ovoo. (a) 16:48:44, (b) 16:54:44, (c) 16:57:10, and (d) 16:57:28 LST on 28 April 2019.

14:20–14:30, レストランから優勢な積乱雲がみえ、これらはスコールと雹をもたらした。16:00, ソクトーボーの北 80 km (45.12°N, 105.56°E) の地点では、平均風速は 3.3 m/s, 最大風速は 5.8 m/s, 風向は北, 気温は 16.6°C, 相対湿度は 41.7 % でであった。

マンダゴビからダランザドガドに向けてドライブすると、ソクトーボー付近で自動車の数 km 先にダストストームのヘッドが見えた (Fig. 2 はダストストームの連続写真である)。16:48:44, ダストストームの壁はゆっくりと西から東に移動してし、16:57:10, ヘッドは自動車の前を横切った (Fig. 2c)。この写真から、ダストストームのヘッドの高さは 600 m と推定される。この高さは、GPS から計算したカメラとダストストームの距離と、カメラレンズの焦点距離から推定した。ヘッドの構造から、ダストストームは重力流によって引き起こされたと推定される^{9), 10), 21)}。

16:57:28 LST (Fig. 2d), 我々はダストストームの前線の中に入った。視程の悪化 (10 m 以下) と乱流により、自動車の運転は危険になった。17:08, 我々は自動車を止めて、ダストストームの観測を始めた。10 分間の平均風速と最大風速はそれぞれ 15.4 m と 18.2 m/s で、風向は西であった。気温は 16.6 °C, 相対湿度は 30.6 % であった。ダスト粒子の粒径分布 (Fig. 3) は、2015 年 4 月 29–30 日, ダランザドガドで観測したダストストームの観測結果とほぼ同じであった。このことは、二つのダストストームが同じダストソースをもつことを意味する。粒径 7 μm における正規化されたダスト粒子数密度は、通常の状態よりも二桁大きかった。

マンダゴビのシーロメーター観測の結果は、Fig. 4 に示される通り、14:00 LST, 高度 4–6 km にあった雲底が高度 1 km まで低下した。14:00–15:50, 降水を観測した。Fig. 4 は、15:00 LST 頃, ダスト濃度の低い突風前線が通過したことを示す。この点は、4 章で議論する。

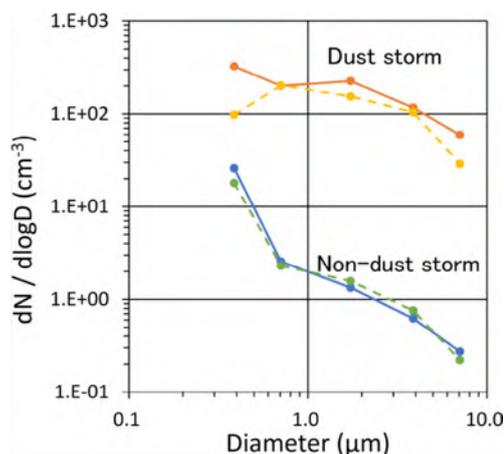


Fig. 3. Size-resolved number concentrations of aerosol particles measured with an optical particle counter during (at 17:12 LST on 28 April 2019; orange line) and before (at 12:20 LST on 28 April 2019; blue line) the dust storm at the study site, as well as during (at 21:09 LST on 29 April 2015; yellow dotted line) and after (at 07:46 LST on 30 April 2015; green dotted line) the dust storm at Dalanzadgad (Kawai et al. 2019). The observation taken at 12:20 LST on 28 April 2019 was situated at 46.43°N; 106.50°E.

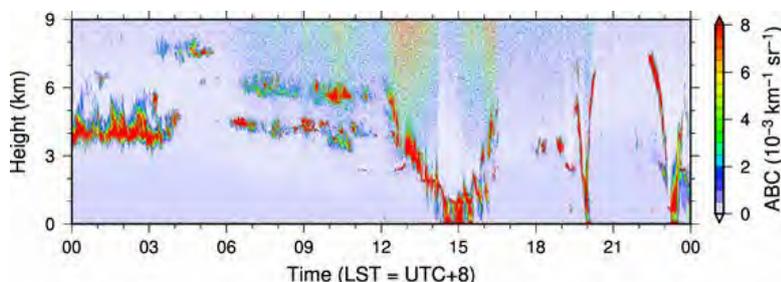


Fig. 4. Ceilometer observation of attenuated backscatter coefficients (ABC) from the ground to a height of 9 km above the ground at Mandalgobi Observatory on 28 April 2019. A gust storm with low dust concentration passed over Mandalgobi Observatory around 15:00 LST, and rainfall and hailstones were observed.

2.2 気象条件とひまわり 8 号ダスト RGB

2019 年 4 月 28 日 14:00LST の地上天気図を見ると、気圧の谷が北からソクトーボー付近に伸びている。

この気圧の谷にもたらされた強風が観測されたダストストームの原因と思われる。

Fig. 5 は 2019 年 4 月 28 日 17:00LST におけるひまわり 8 号ダスト RGB の画像である。ピンク色で示されたダスト雲は二つに谷に沿って分布している。一つのダスト雲はハンガイ山脈とアルタイ山脈に、もう一つのダスト雲はアルタイ山脈とゴルバン・サイハン山脈に挟まれている。ダストストームによる強風が二つに谷筋でダストを巻き上げ、ダストを含む二つの気流がダストストーム発生地点で収束している。

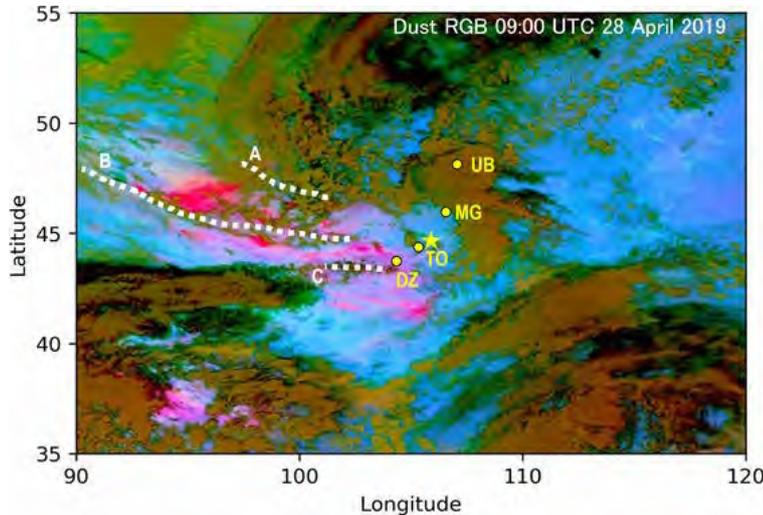


Fig. 5. Dust RGB imagery taken at 17:00 LST (9:00 UTC) on 28 April 2019. The pink regions indicate dust clouds, and the yellow, brown, green, and black regions signify atmospheric clouds. The yellow circles indicate the site locations: Ulaanbaatar, Mandalgobi, Tsogt-Ovoo, and Dalanzadgad (from north to south). The three white dotted lines indicate the locations of the (A) Khangai, (B) Altai, and (C) Gurvan Saikhan Mountains. The star shows the site of the dust storm.

2.3 ダストホットスポットの議論

我々は 2015 年以来、モンゴルでフィールド調査を行ってきた。この間、我々は同じ場所でしばしばダストイベントに遭遇した。我々は 2015-2018 年に発生した中小規模のダストイベントを予察的に解析し、ゴビ砂漠におけるダストホットスポットの位置を特定しようとした。ひまわり 8 号ダスト RGB を用いて、典型的な 6 つの中小規模のダストイベントを解析した。6 つのダストイベントは、すべて、本研究で特定した地域・ホットスポットで発生している²⁰⁾。したがって、我々は、ハンガイ山脈、アルタイ山脈、ゴルバン・サイハン山脈に挟まれた二つの気流の収束によってダストホットスポットが形成されるとの仮説を提示する。これは、ゴビ砂漠におけるホットスポットの新しい見方である。ダスト気候学に関する先行研究^{22-23), 3)}は、主要なダストソースとして、ソクトーボーやアルタイ山脈南面を含む、モンゴル南部を特定しているが、局地スケールの収束などの地形効果については言及していない。我々の仮説をサポートするため、ひまわり 8 号ダスト RGB の連続画像を用いて、ダストイベントのアニメーションを作成した。このアニメーションは、ダストを含む二つの気流が本研究で提示されたダストホットスポットで収束し、ダストストームが生じていることをはっきりと示した²⁰⁾。

Fig. 6 は、この地域の地形を考慮した、ゴビ砂漠におけるダストホットスポットの概念図をしめす。ダストホットスポットは、二つの谷が出会う、地形的な収束域に位置する。したがって、ダストストームは、この二つの谷筋を流れる気流の収束によって生じる。2015-2018 年の事例を解析したところ、少なくとも 6 回、中小規模のダストイベントがこの地域で発生していた。このことは、この地域がゴビ砂漠のホットスポットであることを示唆する。本研究で解析した、ダストの壁をもつダストストームもこのホットスポットで発生した。

2.1 章でふれた Fig. 4 について議論したい。

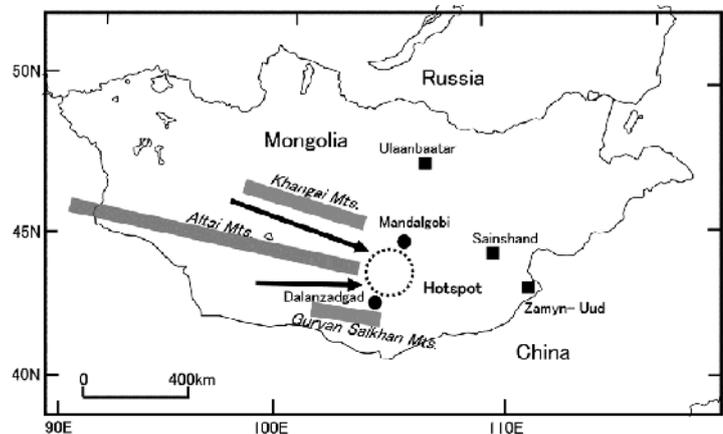


Fig. 6. Map of Mongolia indicating the dust hotspot (dotted circle) and the surrounding terrain. The two airflows (black arrows) between the Khangai, Altai, and Gurvan Saikhan Mountains converge at the hotspot.

最初に我々がマンダゴビのシーロメーターの観測記録を調べた時、当然、ダストストームをはっきりと捉えていると思った。ところが、それはダストがほとんど発生しないガストフロントの通過を示していた。15:00LST、マンダゴビでは最大風速 17.6 m/s、風向は西であった。局地天気図を解析すると、マンダゴビとダランザドガド付近に気圧の谷があり、当時の午後は大気が不安定であった。15:00LST 頃、ガストフロントはシノプティックスケールではなく、一つか二つの積乱雲によって引き起こされたと推定される。それではなぜ、マンダゴビでダストストームが発生しなかったのであろうか。気象条件とダストホットスポットの位置を考慮すると、「マンダゴビはダストホットスポットの北に位置し (Fig. 6)、ダストストームが発生しなかった」と結論付けられる。このように、シーロメーターの観測結果は、ダストホット仮説を部分的にサポートする。

3. 科研費の概要: R3-R5 年度科学研究費・基盤研究(C)「黄砂ホットスポットの気象学的研究—ひまわり 8 号ダスト RGB とライダー観測網の活用」No. 21K03659 (代表者: 甲斐憲次)

近年、黄砂と共に飛来する PM_{2.5} やバイオエアロゾルの重要性が認識されている。また、黄砂は広大な砂漠域で様に発生するのではなく、黄砂の発生しやすい場所・ホットスポットがあることが知られている。最新の静止気象衛星ひまわり 8 号のプロダクトであるダスト RGB を活用すると、広大な砂漠域で発生する中小規模の黄砂現象を検出し、その輸送過程を詳細に研究することができるようになった。一方、申請者のグループは黄砂観測用のシーロメーター (小型ライダー) をゴビ砂漠の 2ヶ所に設置して、国立環境研究所が運用する東アジアライダーネットワーク (AD-Net) のライダー 3 台と共に運用している。このライダー観測網を用いると、ゴビ砂漠における黄砂の舞上りと輸送高度をリアルタイムで観測することができる。本申請では、ひまわり 8 号のダスト RGB データとライダー観測網を活用して黄砂のホットスポットを解明し、日本における大規模な黄砂の予測に資することを目的とする。

謝 辞

本研究は、H28-R1 年度科学研究費・基盤研究(A)「発生源地域におけるアジアダストと環境レジームシフトの国際共同研究」No. 16H02703、R3-R5 年度科学研究費・基盤研究(C)「黄砂ホットスポットの気象学的研究—ひまわり 8 号ダスト RGB とライダー観測網の活用」No. 21K03659 (代表者: 甲斐憲次)、R2 年度千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究費の支援を得た。

参考文献

- 1) Sun, J. et al. 2001: J. Geophys. Res., **106**, 10325-10333.
- 2) Kurosaki, Y. and M. Mikami, 2005: J. Meteor. Soc. Japan, **83A**, 1-18.
- 3) Wu, J. et al. 2016: SOLA, **12**, 187-191.
- 4) Kai, K. et al. 1988: J. Meteor. Soc. Japan, **66**, 457-472.
- 5) Uno, I. et al. 2009: Nat. Geosci., **2**, 557-560.
- 6) Yumimoto, K. et al. 2009: Atmos. Chem. Phys., **9**, 8545-8558.
- 7) Knippertz, P. and J.-B. W. Stuut, Eds., 2014: *Mineral Dust: A Key Player in the Earth System*, Springer, 509 pp.
- 8) Shao, Y. et al. 2013: J. Geophys. Res. Atmos., **118**, 11107-11118.
- 9) Simpson, J. E., 1987: *Gravity Currents: In the Environment and the Laboratory*. Ellis Horwood Limited, 244 pp.
- 10) Sakai, T. et al. 2005: J. Meteor. Soc. Japan, **83**, 293-304.
- 11) Gillette, D.A. 1999: Contr. Atmos. Phys., **72**, 67-77.
- 12) Knippertz, P. and M. C. Todd, 2010: J. Geophys. Res., **115**, D12117.
- 13) Zhang, X. et al. 2016: Atmos. Chem. Phys. Discuss., doi:10.5194/acp-2016-681.
- 14) Kawai, K. et al. 2015: SOLA, **11**, 156-159.
- 15) Kawai, K. et al. 2018: J. Meteor. Soc. Japan, **96**, 255-268.
- 16) Kawai, K. et al. 2019: SOLA, **15**, 52-56.
- 17) Bessho, K. et al. 2016: J. Meteor. Soc. Japan, **94**, 151-183.
- 18) Minamoto, Y. et al. 2018: SOLA, **14**, 33-38.
- 19) Jin, J. et al. 2020: Atmos. Chem. Phys., **20**, 15207-15225
- 20) Kai, K. et al. 2021: SOLA, **17**, 130-133.
- 21) Stull, R., 2006: *The atmospheric boundary layer. Atmospheric Science: An Introductory Survey. Second edition*, J. M. Wallace, and P. V. Hobbs, Eds., Academic Press, 375-417.
- 22) Kurosaki, Y. and M. Mikami, 2003: Geophys. Res. Lett., **30**, 1736
- 23) Natsagdorj, L. et al. 2003: Atmos. Environ., **37**, 1401-1411.