

地球を一周するアジア起源ダストの発見

Asian dust transported one full circuit around the globe

九州大学応用力学研究所 鷗野 伊津志
Kyushu University Itsushi Uno

The transport of mineral dust is well known to occur usually within the lower troposphere. Long-range transport of Asian dust has occasionally been observed on a trans-Pacific scale, and, in a few cases, Asian dust has been detected in the ice and snow cores in Greenland and French Alpine. Here, we present findings from a comprehensive study of an extensive dust storm occurring in China's Taklimakan Desert during May 8-9, 2007. We found the dust-veiled cloud was transported in the upper troposphere more than one full circuit around the globe. This extraordinarily long-range transport was tracked by the recently launched CALIOP space-lidar and confirmed by our model simulations. The dust transport took approximately 13 days. Upon reaching the northwestern Pacific after one circuit, the dust descended to the lower troposphere caused by the subsidence of a high-pressure system, indicating the possibility that Asian dust can supply mineral nutrients to open oceans far from the source region. During the transport, the dust appears to have interacted with cirrus clouds, suggesting that the Asian dust can impact the global radiation budget via indirect effects.

中国内陸域で発生する黄砂（鉱物性ダスト）が日本に飛来することは、古来より知られ、北米大陸やヨーロッパアルプスにまでも達することが報告されている。しかし、太平洋・大西洋などの洋上には限られた島嶼の観測点しかなく、ダストの長距離輸送の詳細は十分に解明されてこなかった。我々は、全球のエアロゾル輸送モデルSPRINTARS¹⁾、NASAが2006年4月に打ち上げたレーザーレーダー搭載のCALIPSO衛星の宇宙からの計測^{2, 3)}、国立環境研究所がアジア域で展開する地上レーザーレーダーネットワーク⁴⁾の計測結果を総合的に解析し、アジア起源ダストが地球を完全一周することをNature Geoscience 8月号に世界で初めて報告した⁵⁾。概要を以下に示す。

2007年5月8-9日に中国タクラマカン砂漠で大規模な砂嵐（砂塵暴）が発生した。それによるダストは、上空8-10kmの対流圏上部（海拔高度8-10km）まで運ばれ、北米大陸に達することをSPRINTARSモデルとCALIPSOデータを解析して報告した⁶⁾。同時期に発生したダストは、その後の発展的な統合解析から偏西風によって、地球を約13日で一周する様子が世界で初めて明瞭に報告された。図1に北極から投影されたダストが地球を周回する経路と解析に用いたCALIPSO軌道とSPRINTARSで計算された結果などを示す（詳細は文献5）とそのSupplementary Figuresを参照されたい）。

SPRINTARSシミュレーションでは、タクラマカン砂漠から2日間で約800Gg（80万トン）の黄砂が舞い上がり、その60%が対流圏上部を輸送された。対流圏上部では降水による除去がほとんど無かった。そのため大気中のダストの寿命が長くなり、地球を一周した後も、その10%の量が大気中に滞留していた。シミュレーションの結果は、宇宙・地上レーザーレーダー計測の両方の結果とよく一致していた。対流圏上部に運ばれたダストは氷晶核として作用し、-35℃以上の比較的高い温度で過飽和水蒸気の氷雲の形成を促す（非均質核形成）可能性も示唆した。これは、大気を加熱する方向に作用し、大気の放射バ

ランスに重要な役割をもつ高々度での巻雲形成にアジア起源ダストが寄与することを意味している。

さらに、地球を一周する旅程で太平洋や大西洋の中央部などのHigh-Nitrate Low-Chlorophyll（高栄養塩低クロロフィル）海域に不足している微量栄養成分（鉄など）を供給することも示した。これは植物プランクトンを増すことにつながり、その海域の海洋生態系の活動に影響を与える可能性を意味している。

アジア域で発生するダスト量は、全世界でのダスト発生総量20億トンの1/10程度とされているが、アジア域での発生は春季に集中し、春季のダストの量は膨大である。ダスト発生域の非常に複雑な地形条件とも重なって、アジア起源のダストが対流圏上部にまでに輸送され、地球を周回し、長期間滞留することは、大気科学研究者間でも今まで十分に認識されてこなかった。今回の統合研究の結果は、アジア起源のダストが北半球の雲・放射バランス・海洋生態などの多岐にわたって重要であることも示唆し、モデルと観測を統合解析することの威力と重要性を明示した成果と言える。

研究ではダストの輸送を追跡しているが、ここで明らかにされた事実は、「汚染物質もダストと同様に地球を周回していることを証明する」結果であり、誰もが同じ履歴の空気を呼吸していることを意味する。半球規模の大気汚染研究として進められているLRTAP (Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution) の重要性を強くサポートしている。

ダストの全球輸送モデルの結果はCALIPSO衛星での計測結果を非常によく説明していたが、ダストの絶対濃度レベルの一致には依然として課題が残されている。CALIPSOの宇宙ライダー結果のインバース手法の精度にも問題が残されているが、概してモデルの結果は観測に比して過小評価であった。これはダストの発生量の推定の困難など多くの原因があるが、これらのモデルの問題を解決する方法として、観測結果をモデル

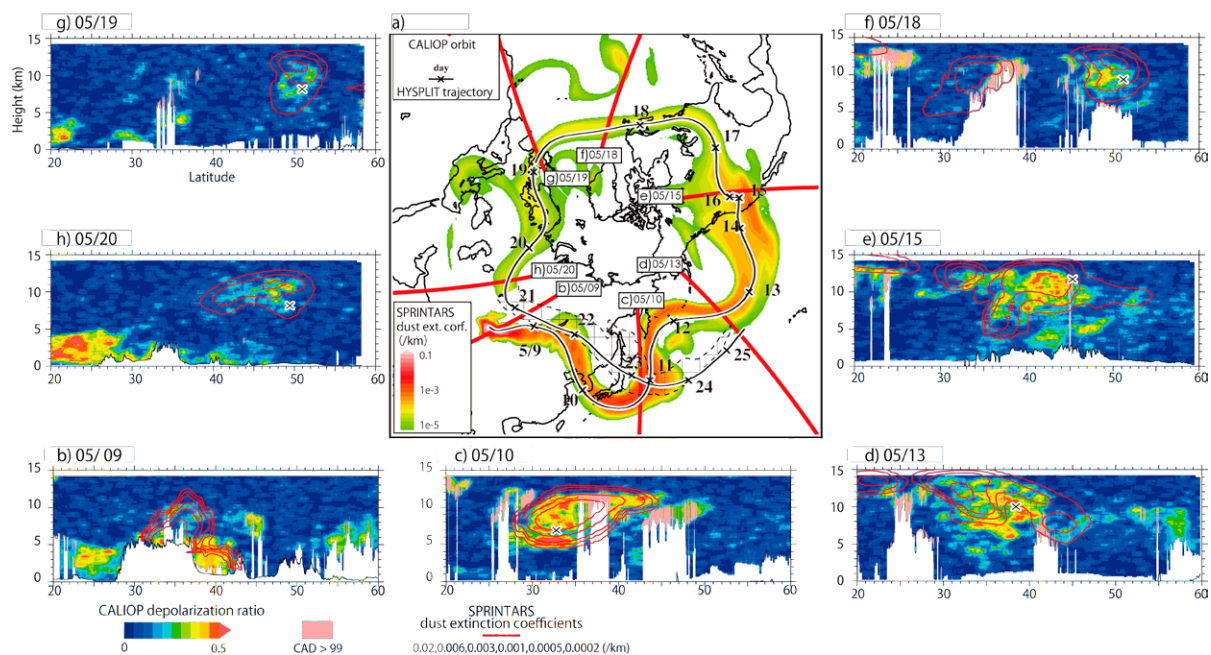


図1 a) 北極から投影されたアジアダストが地球を周回する経路（黒）、SPRINTARSモデルのダスト濃度（カラー）、b-h) に対応する衛星CALIPSOの軌道（赤線）。数字は5月の日付。b-h) 各軌道鉛直断面の衛星計測ダスト濃度（カラー）とSPRINTARSモデル（赤）のカーテンプロット。

に同化するデータ同化手法が注目を集めている。我々の研究グループは、既に地上レーザーレーダーネットワークの結果を4次元変分法(4DVAR)によって、アジアスケールの領域ダスト発生・輸送モデルに同化する方法⁷⁾を開発している。今後4DVARなどのデータ同化手法を全球エアロゾル輸送モデルに導入し、モデルと観測を融合し、モデルの物理過程などを改良してモデルの精度向上を進める研究が重要であり、今後の展開が期待できる。

最後に、ここで紹介した研究は、文部科学省科学研究費特定領域研究「海洋表層・大気下層間の物質循環リンケージ(W-PASS)」と、環境省地球環境研究総合推進費「広域モニタリングネットワークによる黄砂の動態把握と予測・評価に関する研究(C-061)」の一部として行ってきた成果であることを、記して関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) Takemura, T. T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima (2000) Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins, *J. Geophys. Res.*, **105**, 17853–17873.
- 2) Winker, D. M., W. H. Hunt, and M. J. McGill (2007) Initial performance assessment of CALIOP, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L19803, doi:10.1029/2007GL030135.
- 3) Uno, I. et al. (2008) 3D structure of Asian dust transport revealed by CALIPSO lidar and a 4DVAR dust model, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L06803, doi:10.1029/2007GL032329.
- 4) Sugimoto et al. (2006) Network observations of Asian dust and air pollution aerosols using two-wavelength polarization Lidars, 23rd International Laser Radar Conference, July 2006 Nara, Japan, 23ILRC, ISBN 4-9902916-0-3, 851–854.
- 5) Uno, I., K. Eguchi, K. Yumimoto, T. Takemura, A. Shimizu, M. Uematsu, Z. Liu, Z. Wang, Y. Hara and N. Sugimoto, (2009) Asian dust transported one full circuit around the globe, *Nature Geoscience*, **2**(8), 557 – 560, DOI:10.1038/NGEO0583.
- 6) Eguchi, K. Uno, I., Yumimoto, K., Takemura, T., Shimizu, A., Sugimoto, N., and Liu, Z. (2009) Trans-Pacific dust transport: integrated analysis of NASA/CALIPSO and a global aerosol transport model, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 3137–3145.
- 7) Yumimoto, K., I. Uno, N. Sugimoto, A. Shimizu, and S. Satake (2007) Adjoint Inverse Modeling of Dust Emission and Transport over East Asia, *Geophys. Res. Lett.*, **34**(8), L08806, doi:10.1029/2006GL028551.