

日本上空で自由対流圏から境界層内に 取り込まれる黄砂のライダー観測

清水 厚, 西澤 智明, 神 慶孝
国立環境研究所 (〒 305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

Lidar observations of imported Asian dust particles from the free troposphere to the boundary layer over Japan

Atsushi SHIMIZU, Tomoaki NISHIZAWA, and Yoshitaka JIN
National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

Abstract: Sometimes mineral dust particles are transported downward from floating dust layers in the free troposphere to the ground surface by convective motions over Japan, especially in Kanto area. Lidars are most suitable equipment to observe the fine structures of such vertical transportations. In this study the signal of Asian dust measured at AD-Net stations in case on April 11, 2023 were analyzed to identify the characteristics of particle mixing along vertical direction. Both of surface measurements and upper soundings of meteorological parameters are also interpreted for the processes related to the vertical mixing in the boundary layer.

Keywords: Lidar, Asian dust, Convection, Vertical mixing, Boundary layer

1 はじめに

ユーラシア大陸から日本周辺に到達する黄砂のうち、主にタクラマカン砂漠由来のものは地上と相互作用することなく中部対流圏を通過していく様子が見られるのに対して、戈壁砂漠周辺由来のものは地上付近に到達してPM_{2.5}の上昇などを引き起こしている。ただし関東域においては、西方・北方を取り囲む高山に地上付近での水平輸送を遮られるためか、当初は上空に黄砂層が見られその後地上付近へ到達する場合がある。この時、地上へ黄砂をもたらすメカニズムとしては日中の対流によって混合層が発達して上空の黄砂層まで届くことで、鉛直混合により黄砂粒子が下方輸送されることが考えられる。黄砂は数値予報モデルにより相当な精度で飛来予測が行われているが多くの場合地上付近の濃度として高度0-1km平均の値が表示されており、地表に実際に届く量を正確に再現するには上述の鉛直混合による境界層内取り込みの実態を明らかにする必要がある。本研究では東アジア域ライダーネットワーク (AD-Net) で見られた取り込みのケースを解析し、黄砂輸送における鉛直混合の重要性について考察する。

2 2023年4月11日の観測例

2023年4月12-13日に日本に到来した黄砂はマスコミでも広く報道される等注目を集めたが、この時の黄砂は関東域であっても上空・地上にほぼ同時に達していた。これは先に東北方面に到達した黄砂が、北～北東風により関東に持ち込まれたためと考えられる。一方その前日4月11日にも浮いた黄砂層が各地で見られた。図1左に、つくばライダーによる偏光解消度の時間高度断面を示す。なおここで更に1日前の4月10日の日中に下層に見られた偏光解消度の上昇は、下層起源と見られるため関東域のローカルダスト由来と判断した。4月11日の日本時間午前3時頃には上空約3km以上に高偏光解消度の領域が見られ、午前9時にはその下端は1km付近に位置していた。図1右に示すつくば(館野)におけるラジオゾンデ観測結果に見られるように、高度3km付近の自由対流圏では西風が卓越しており、東西に傾いた底面を持つ黄砂層が東進してきた様子をライダーが捉えたものと考えられる。その後11日正午ごろに掛けて高度1km以下でほぼ鉛直方向の時間差なく偏光解消度が上昇し、午後5時頃までその状況は続いている。午前9時のゾンデ観測(図1右)では湿度の高い(気温と露点温度の差が小さい)領域が高度0.8km付近まで続き、この区間では南風、それより上空では西風が卓越しているが、温位の鉛直構造からしてもこの時点で高度1kmまで到達するような対流が起きる状況ではない。このことは、午前9時の時点で1km以下の偏光解消度が上昇していないことと対応している。日中の時間発展を見るために、自由対流圏下部(1.5km)と境界層内(0.3km)における偏光解消度の時系列とつくば館野での全天日射量時系列を描いたものを図2に示す。これによれば日中の境界層内の偏光解消度の上昇は全天日射量の増大からやや遅れて見られ、地表面が温められたことにより発生する対流が上空の黄砂層底部に到達することで鉛直方向の混合によって非球形の黄砂粒子が境界層内(地表付近)に持ち込まれたものと考えられる。

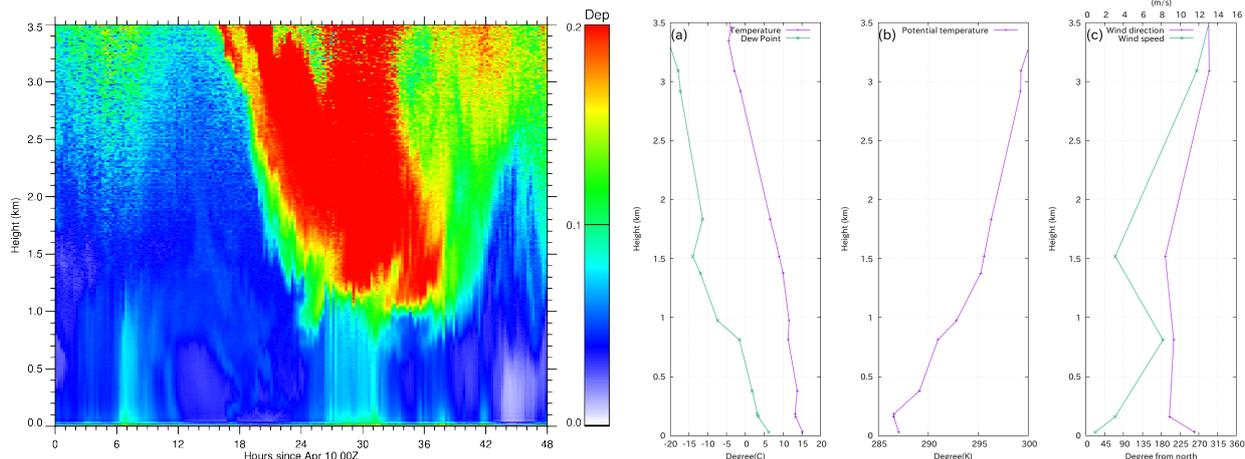


Figure 1: (Left) A time-height indication of the volume depolarization ratio at 532 nm obtained by Tsukuba lidar. The horizontal axis corresponds to the hours since April 10 00Z, 2023. (Right) Vertical profiles of (a) temperature and dew point, (b) potential temperature, and (c) wind direction and speed over Tsukuba on April 11 00Z, 2023.

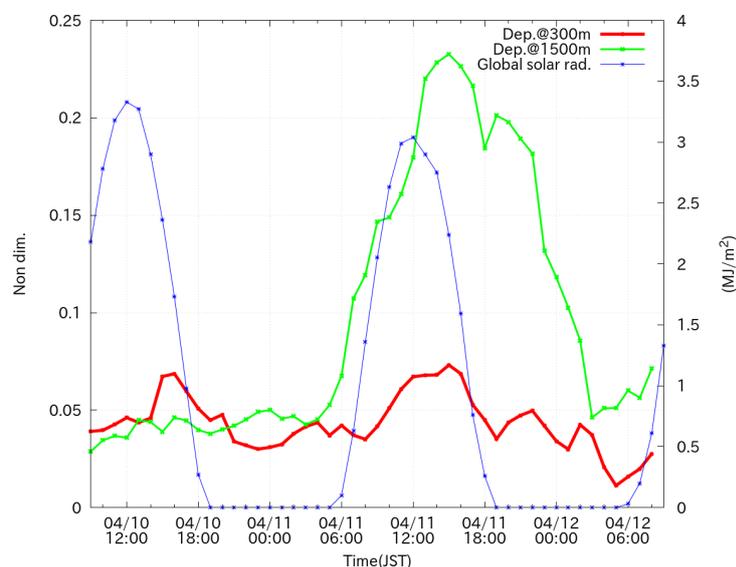


Figure 2: Time series of volume depolarization ratio at altitudes of 300 m and 1500 m over Tsukuba obtained by AD-Net lidar, and global solar radiation measured at Tsukuba meteorological observatory during April 10–12, 2023.

3 その他の事例

2023年7月6日頃、梅雨期間中に日本上空を通過する黄砂が見られた。気象庁目視観測による黄砂判定では1967年以降7–9月の報告事例がなく、今回は歴史的な黄砂となるという予測もあったが地上に十分な濃度で届かなかったためか黄砂を報告した気象台はなかった。ライダー観測では、九州から北海道までの日本各地で高度0.5km付近を下限とする黄砂層が見られた。これらのうち、7月6日や7日の日中に高偏光解消度の領域が地上まで達したケースも複数の地点で見られた。ただし、黄砂層の上空通過が夜間である場合には地上付近への黄砂粒子の到達はあまり見られず、太陽入射によって温められる地表面の存在が鉛直混合に重要であることが示唆された。

4 まとめ・今後の展望

2023年の黄砂層について鉛直混合による地表付近への土壌粒子の輸送事例を示した。他の年にも同様の例が見られるので解析を重ねた上で、地上にもたらされる黄砂量の推定に繋がるパラメータの特定等を行いたい。