

下層雲の観測を目的とした多視野角・多重散乱偏光ライダーの開発

Multi-Field of view-Multiple-scattering-Polarization Lidar Development for Observation of Low-level Clouds

牧野 利行*1、岡本 創*2、佐藤 可織*2、田中 健太*1、
西澤 智明*3、杉本 伸夫*3、松井 一郎*3、神 慶孝*3、内山 明博*4、工藤 玲*4
Toshiyuki Makino*1, Hajime Okamoto*2, Kaori Sato*2, Kenta Tanaka*1
Tomoaki Nishizawa*3, Nobuo Sugimoto*3, Ichiro Matsui*3, Yoshitaka Jin*3, Akihiro Uchiyama*4, Rei Kudo*4

- *1 九州大学総合理工学府：Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University
- *2 九州大学応用力学研究所：Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
- *3 国立環境研究所：National Institute for Environmental Studies(NIES)
- *4 気象庁気象研究所：Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Abstract

We have developed a new ground-based observation lidar system, Multi-Field of view-Multiple-Scattering-Polarization Lidar (MFMSPL). The MFMSPL has been designed to obtain the similar multiple scattering effects from space-borne lidar such as CALIOP on CALIPSO satellite. It has also been developed to detect both of backscattering signals for parallel and perpendicular channels from optically thick clouds. It is expected to offer detailed microphysical information from low-level clouds that has optical thickness much larger than 3. The MFMSL has four telescopes with different angles, ranging from 0 to 45mrad, respect to the direction of laser beam to detect backscattering signals for parallel channels and another four telescopes for the perpendicular channels. The outer receivers attached with larger angles generally detect the lidar signals from clouds located at upper altitudes due to the multiple scattering compared with the inner receivers with smaller angles where it is only possible to detect the lidar signals from cloud bottom. Therefore the information of optically thicker regions can be obtained than the conventional type of lidar with small FOV. In addition, MFMSL is the first lidar system that can measure depolarization ratio strongly affected by multiple scattering from optically thick cloud regions. The MFMSPL have been continuously operated at NIES since June 2014. Initial analysis of the observed signals indicated expected performances. Angle and range resolved signals for both of parallel and perpendicular channels have been successfully observed. And the received signals from outer receivers actually returned from clouds at upper altitude than the inner receivers and the conventional type of co-located lidar. And the depolarization ratio from deeper part of the clouds showed much larger values than those from . The knowledge from this study will be applied to satellite observation to improve the treatment of multiple scattered lidar signals and to retrieve cloud microphysics.

1. はじめに

ライダー(LIDAR: Light Detection and Ranging)は、地上、そして衛星観測による雲の観測に用いられている。これらのデータを用いる事で雲内部の詳細な鉛直構造が得られることで、雲の生成・消滅過程、降水形成過程の理解、雲の微物理特性と放射場、水循環の関係、気候システムにおける雲の果たす役割の理解に大きく貢献できることが期待される。地上に設置される通常のタイプのライダー観測では下層雲との距離が短く観測面積が小さいため、ライダー光の減衰のため光学的に厚い下層雲の観測可能領域は雲底付近にとどまるという大きな問題があった。多重散乱光を解析することを主目的としたライダー開発の研究は、Davis (2008)の研究がある。これは1つの大きな視野角を持つライダーであり、偏光解消度の情報は観測できなかった。一方、衛星搭載ライダーによる観測では、雲までの距離が長く観測面積が大きいので、多重散乱過程が卓越し、地上観測よりも光学的に厚い部分からの信号が観測されていると考えられる。このような衛星ライダー観測の解析には多重散乱光の理解が不可欠であるが、その理解は地上との観測条件の大きな違いもあり、十分とは言えない。そのため、本研究では、地上観測においても衛星ライダー観測と同等の多重散乱過程を再現できるような観測システムを構築する。また、1つの視野角は10mradで、それが複数集まった受信部で構成されるシステムにより、初めて多重散乱光の偏光解消度の直接観測を可能にする。これら地上観測で得られた観測結果と解析技術の知見を、衛星観測データの解析に応用することで、ライダーには不得意とされてきた光学的に厚い雲の観測の改善が期待される。

2. 観測システム

本観測システムの特異点は、複数の受光用の望遠鏡を持つ点である。それらをライダー射出点から外側に向かって1列に並び、異なる角度で傾けることで広い視野を得ている。1つの受信部の視野角はそれぞれ10mradであり、複数が合計した視野角を、CALIPSO衛星搭載ライダーの視野角とほぼ一致させるために、高度1km地点で半径50mの領域を捉えられるよう設定した。現在、鏡筒は8本設置している(便宜上チャンネル1~8と呼ぶ)。奇数チャンネルと偶数チャンネル各4本ずつを2列平行に並び、それぞれの列で後方散乱光の並行成分と垂直成分を観測する。チャンネル1と2は真上方向を観測し、同列内でチャンネル数が大きいもの程、ライダー射出点から離れた領域を観測している。よって、チャンネル1と2以外は視野内にレーザー光が直接照射される領域を含まないので、多重散乱光成分のみの観察に相当する。ライダーには532nmの波長を用いている。本システムでの連続観測は、国立環境研究所において2014年6月から開始している。

3. 観測結果

本システムによる観測事例として、図1には、2014年6月9日の平行成分チャンネル毎の距離自乗補正された観測値の時間-高度図を示した。図2には、図1と同時間帯における偏光解消度の時間-高度図を示す。両図とも、最上段が真上向きチャンネルであり、下段にいくほど傾きの大きなチャンネルとなっている。つまり、下段チャンネルほどレーザー射出点から離れた領域であり、その分多重散乱過程が卓越すると期待される。実際に図1の結果から、多重散乱過程が卓越した領域の方が雲の内部まで観測されていることが分かる。これは、本システムで多重散乱過程の再現が示唆される結果である。また、図2からは、下段チャンネルほど雲内部に深く潜ったところまで有意な信号が検出されており、雲内部ほど偏光解消度は大きくなっている。雲内部では多重散乱により偏光が大きくなることが考えられるため、この結果からも多重散乱過程再現の妥当性が確かめられる。

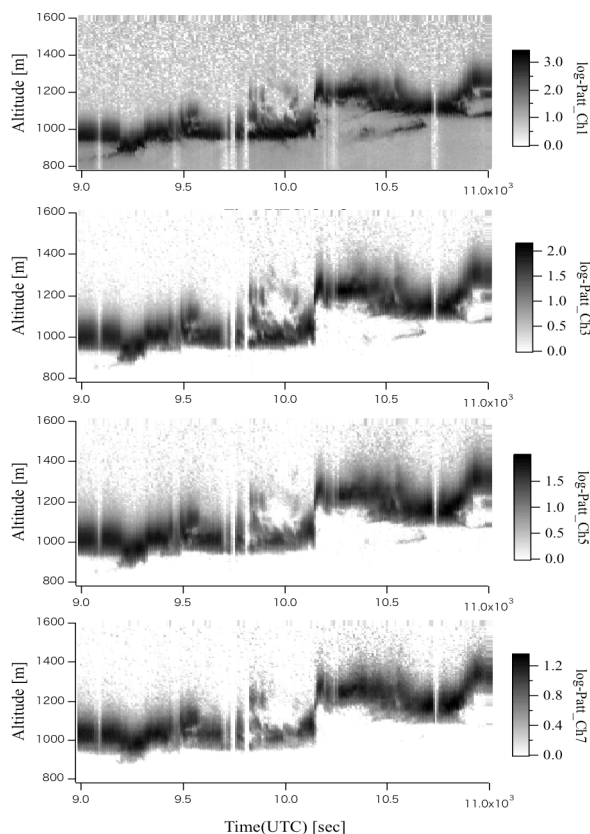


Fig 1. Time-height plot of observational signals for parallel channels by MFMSL on 9 Jun 2014. In order from the top, Ch.1, Ch.3, Ch.5, Ch.7. As channel number becomes large, the angle between laser and the direction of the receiver become large. The time resolution is 10 seconds, and the vertical resolution is 6 m.

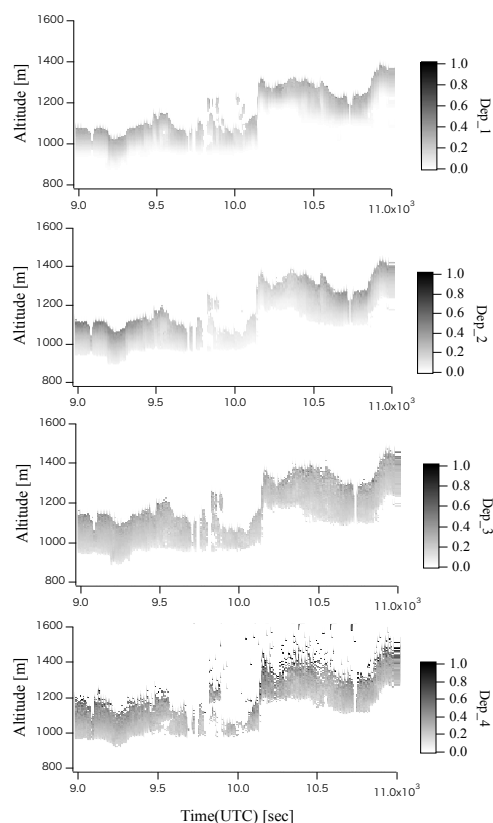


Fig 2. The same as Fig.1 except for depolarization ratio

4. まとめと今後の展望

初期観測結果から、本システムにより多重散乱過程の観測が達成出来ていることが分かった。このライダーシステムと同じく環境研に設置されている通常型のライダー観測データと比較することで、校正を実施し、後方散乱係数の値を算出する予定である。今後は、解析アルゴリズムの開発とともに、受光望遠鏡を増設することで、多重散乱過程のより詳細に観測できるよう改良を行うことを検討する。さらに、千葉大学の雲観測レーダーとの同時観測も実施し、それらのデータを複合利用することで雲内部の微物理量算出も行う予定である。

謝辞：本研究はJSPS 科研費 25247078 基盤研究(A)の助成を受けたものです。

参考文献

- Davis, A. B. (2008), Multiple-scattering lidar from both sides of the clouds: Addressing internal structure, J. Geophys. Res., 113, D14S10, doi:10.1029/2007JD009666.
- Winker, D. M., and Coauthors, 2010: The CALIPSO Mission: A Global 3D View of Aerosols and Clouds. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1211-1229.
- 岡本創, 衛星搭載アクティブセンサによる雲研究の現状と今後の展開, 低温科学 72(2014), 231-239