

衛星搭載ライダー信号解釈のための多視野角・多重散乱偏光ライダー開発

Development of Multiple-Field of view Multiple-Scattering Polarization Lidar for the interpretation of lidar signals from space.

岡本 創¹、佐藤可織¹、西澤智明²、杉本伸夫²、神慶孝²、清水厚²、鷹野敏明³
Hajime Okamoto¹, Kaori Sato¹, Tomoaki Nishizawa², Nobuo Sugimoto², Yoshitaka Jin², Atsushi Shimizu²
and Toshiaki Takano³

1.九州大学応用力学研究所、2. 国立環境研究所、3.千葉大学大学院工学研究院

1. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 2. National Institute for Environmental Studies, 3. Graduate School of Engineering, Chiba University.

Abstract

We have developed the Multiple Field of view Multiple Scattering Polarization Lidar (MFMSPL) system for the study of signals obtained by space borne lidar. Space borne lidar has much larger foot print size compared with that of conventional ground-based lidar so that much larger effect due to multiple scattering are generally expected. This situation is especially true for water clouds in low-level. Difficulties remain in interpretation of the backscattered signals observed from space borne lidar such as Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO). This is partly due to the lack of corresponding ground-based observations. We have showed the MFMSPL offers a way to simulate space-borne lidar signals including depolarization ratio. We also have conducted the collocated observations of 95GHz cloud radar and MFMSPL to evaluate the performance of the latter system.

1. はじめに

通常地上観測において利用されているライダーは、視野角が 1mrad 程度であり、検出可能な雲の光学的厚さは最大で 3 程度である。水雲の光学的厚さの分布はそれより大きいものが多いため、これでは下層に多く存在する水雲の雲底付近しか観測できないことになる。一方で衛星に搭載されたライダーの場合は、フットプリントのサイズが地上ライダーと比較して大きく、そのため多重散乱の影響が大きくなる。このため、より光学的に厚い部分からの信号を検出可能になっていると考えられる。このため衛星搭載ライダーによる偏光解消度は地上観測の場合とはその様相が大きく異なり、30% を超える場合もある[Yoshida et al., 2010]。このような地上観測の問題を解決する事を目的として、大きな視野角を持つライダーによって、射出されるレーザー光と異なる方向から来る後方散乱光を積極的に検出する多重散乱ライダーがこれまでに開発されている [例えば Davis 2008]。しかし、これまで偏光の情報を取得可能な多重散乱ライダーはなかった。

我々は一つの視野角が 10mrad のものを異なる角度で傾けて複数利用する事で最大の視野角を広げ、同時に偏光解消度も観測可能なシステムとして、多視野角多重散乱偏光ライダー (MFMSPL) を開発した。ここではこのライダーによって得られた観測結果、その検証のため 95GHz を利用した雲レーダとの同時観測結果、また、MFMSPL の信号から衛星搭載ライダー信号を再現する事を試みた。

2. MFMSPL システムの校正

波長は 532nm を使用し、一つの望遠鏡の視野角は 10mrad とし、8 個の望遠鏡を利用する。平行チャンネル(Ch 1、3、5、7)と垂直方向のチャンネル (Ch2、4、6、8) に各 4 つを利用し、これらは 10mrad づつ異なる角度で鉛直方向から傾けられている。また 4 つの合計で最大視野角が 30mrad になる。時間分解能と垂直分解能はそれぞれ 10 秒、6m である。このライダーはつくばの国立環境研究所において 2014 年 6 月から連続観測に用いられている。校正には、絶対校正と相対校正の 2 段階で実施している。絶対校正には、同じ国立環境研究所のミー散乱ライダーとの同時解析から、エアロゾルの観測データを利用している。これによって Ch1 の校正を行う。次に、すべてのチャンネルを真上に向け、かつ平行成分のみを観測するようにし、やはりエアロゾルのシーンを利用することで、相対校正を実施する。

3. 観測結果と衛星信号のシミュレーション

これまでに観測されたデータは、下層雲を観測した場合、外側のチャンネルほど高い雲頂を示し、また偏光解消度は外側のチャンネルの組から求めたものが、真上向きのチャンネルの組から求めたものより大きい値と示していた。また雲レーダとの同時観測はつくば国立環境研究所において、

2015年2月後半から4月半ばまでの約2ヶ月間実施した。雲レーダによって得られた水雲の同時観測データは、雲底を明確に示す事ができておらず、霧雨の影響を大きく受けたものとなっていた。これに対して、MFMSPLでは、Ch.1では霧雨が検出されているが、Ch.3等の斜め方向を向いているチャンネルでは明確な霧雨はとらえられておらず、雲底が直接検出されている。これは下層雲では多重散乱の影響が大きい、霧雨が光学的に薄いため多重散乱光がほとんどない事による。これらから、複数の視野角の観測データを利用する事で雲底と霧雨を明確に区別して検出する事ができると言える。MGMSPLのCh.1の雲頂は雲レーダのものより下の高度であったが、外側のチャンネルでは、雲レーダのものと同程度、場合によってはそれより上の高度の雲も検出していた。雲底雲頂の解析結果からMFMSPLによって、ライダと雲レーダの両方で検出する雲の範囲は飛躍的に増加した事が確認された。

さらにMFMSPLの全視野角のデータを利用して、CALIPSO衛星搭載ライダの後方散乱係数と偏光解消度の再現を試みた。CALIPSOライダと同等のフットプリントサイズとし、CALIPSOライダのビームパターンはガウス型を仮定し、各チャンネルで得られた値を積分し、CALIPSOライダ相当の値を見積もった(図1)。2層の水雲を衛星が仮想的に下から観測したのに対応しており、実際の衛星観測とは上下が逆に多重散乱の影響が表れている事がわかる。また後方散乱係数は最大で0.001[1/m/sr]、偏光解消度は雲の中心付近で30%程度に、雲頂付近で最大で80%程度にまで達するものが有るなど、このシステムによって取得された観測量を組み合わせ適切に積分する事で、衛星で観測されている値と同等のものが再現されている事がわかる。

今後はこのシステムの雲レーダとの同時観測データのより詳細な解析によって、雲頂、雲底高度などを検出雲マスク手法、雲粒子タイプ識別手法、微物理特性抽出の開発や、CALIPSOライダやEarthCARE衛星搭載ライダATLIDに適用可能な解析アルゴリズムの開発と検証を実施していく予定である。

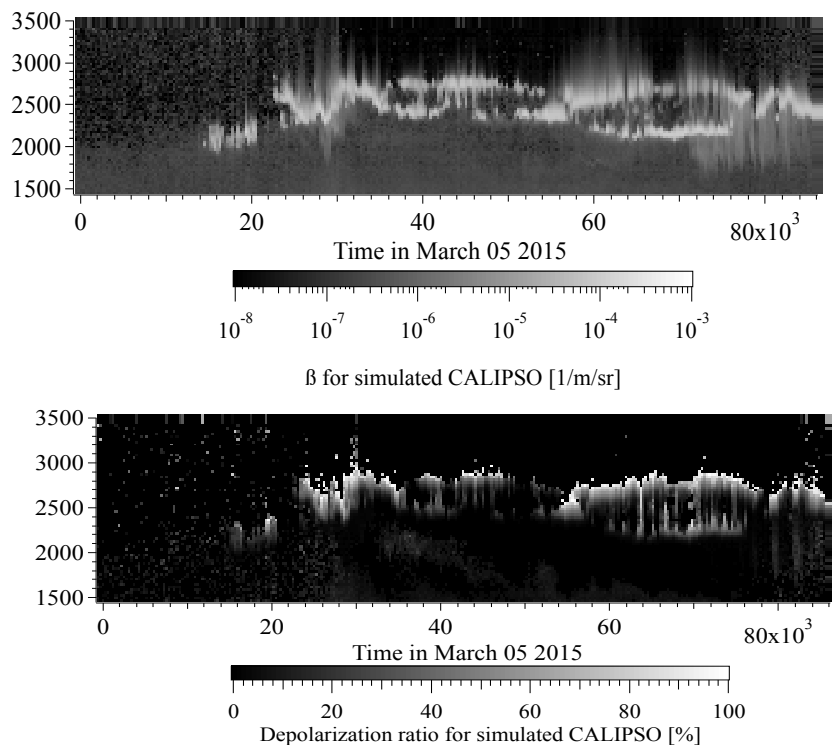


図1 (上) 2015年3月5日に観測された多視野角・多重散乱偏光ライダの各チャンネルのデータから再現された、衛星と同等な視野角を持つライダで観測される減衰の影響を受けた後方散乱係数の再現値。横軸は0時(UTC)から24時間のデータである。(下) 同じだが、偏光解消度。

参考文献

- [1] Yoshida, R., H. Okamoto, Y. Hagihara and H. Ishimoto, 2010: Global analysis of cloud phase and ice crystal orientation from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO) data using attenuated backscattering and depolarization ratio, *J. Geophys. Atmos.*, **115**, D00H32, doi:10.2929/2009JD012334.
- [2] Davis, B. A. 2008: Multiple-scattering lidar from both sides of the clouds: Addressing internal structure, *J. Geophys. Res.*, **113**, D14S10, doi:10.1029/2007JD009666.