

# 多重散乱偏光ライダを用いた EarthCARE/ATLID よる

## 水・氷粒子識別手法の開発

小川 翔太<sup>1</sup>, 岡本 創<sup>2</sup>, 佐藤 可織<sup>2</sup>, 西澤 智明<sup>3</sup>, 神 慶孝<sup>3</sup>  
九州大学大学院総合理工学府(〒816-0811 福岡県春日市春日公園 6 丁目 1 )  
九州大学応用力学研究所(〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6 丁目 1 番地)  
国立環境研究所(〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

### Development of Cloud Phase Classification Algorithm for EarthCARE/ATLID Using Multiple Scattering Polarization Lidar

Shota OGAWA<sup>1</sup>, Hajime OKAMOTO<sup>2</sup>, Kaori SATO<sup>2</sup>, Tomoaki NISHIZAWA<sup>3</sup>, Yoshitaka JIN<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>*Kyushu Univ., 6-1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka 816-0811*

<sup>2</sup>*Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu Univ., 6-1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka 816-0811*

<sup>3</sup>*National Institute for Environmental Studies (NIES), 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506*

**Abstract:** We develop an algorithm to discriminate between water and ice particles for ATLID onboard the EarthCARE satellite. EarthCARE ATLID is a high spectral resolution lidar and its wavelength is 355nm. Foot print size of ATLID on ground is about 30m, which is smaller than the foot print size of CALIPSO lidar. Thus it is expected that the smaller contribution of multiple scatterings for ATLID. We have conducted continuous observations of clouds by a ground-based Multi-Field-of-view Multiple-Scattering Polarization Lidar – 355nm (MFMSPL-355). We analyze clouds below 3km by using two years data obtained by the channel 1 and 2 of the MFMSPL-355 and derive the relation between depolarization ratio and attenuation for low level water clouds. It is found the depolarization ratio is smaller for the same attenuation for ATLID compared with CALIPSO.

**Key Words:** LIDAR, water cloud

## 1. はじめに

雲は気候変動の不確定性の最大の要因であり続けている。雲の検出には、衛星搭載ライダが薄い雲や小さいサイズの雲粒子で構成される下層雲等にも感度を持つ事、さらに昼夜を問わず観測できることから適していると言える。衛星搭載型のライダによる下層雲の観測結果は、光学的に厚い下層雲の場合多重散乱光の影響が多くなり、その結果下層雲偏光解消度( $\delta$ )は 10%を超える場合が多い。これは従来の地上ライダによる下層雲の偏光解消度は 10%程度以下になることと比較して、大きな違いである。これまで国立環境研と九州大学では、地上で衛星と同等の信号が得られるライダとして、CALIPSO ライダと同じ可視波長の多視野角多重散乱偏光ライダ(Multi-Field-of-view Multiple-Scattering Polarization Lidar : MFMSPL-532) <sup>[1]</sup>や EarthCARE 衛星に搭載される ATLID の波長 355nm の MFMSPL-355 <sup>[2]</sup>の開発と解析を実施してきた。

本研究では地上から高度 3km までに含まれる雲に着目し、MFMSPL-355 を用いて、水雲のデータの抽出、長期間のデータ解析を行なった。そして、EarthCARE 衛星搭載の ATLID に適用可能な水粒子と氷粒子の識別アルゴリズムの開発を行った。

## 2. 解析手法

MFMSPL-355 は東京都小金井市の情報通信研究機構に設置され、連続観測を行っている。ここでは 2019 年 9 月 1 日から 2021 年 9 月 30 日まで取得された真上向きの平行成分(Ch1)と直交成分データ(Ch2)を用いて解析を行った。視野角は 10mrad であり、高度 2~3km で ATLID のフットプリントと同等の 30m 程度を達成する。鉛直解像度は ATLID に近い 90m と、時間分解能は 5 分間隔に平均化したデータを使用した。

氷粒子と水粒子を識別するために、減衰量と真上向きの 2 つのチャンネルを利用して求めた偏光解消度  $\delta(=\beta_{Ch2}/\beta_{Ch1})$  を用いた <sup>[3]</sup>。信号の減衰を表す量として、高度方向の連続する 2 層の減衰後方散乱係数  $\beta$  の比として微係数  $x(=\log_{10}(\beta(R)/\beta(R+\Delta R)))$  を導入した <sup>[3]</sup>。ここで  $\beta$  は  $\beta_{Ch1}$  と  $\beta_{Ch2}$  の和で与えられる。X はその層の透過率に相当する。

まず、雲とそれ以外のエアロゾルや大気分子を区別するため、 $x$  の大きさをを用いて雲底の判定を行った。地上から  $x$  の値を確認し負の場合、水雲の雲底と判定した。この雲底よりも上層では、対象とする層と一つ上の層を比較し、 $\delta$  が増加する場合のみ雲とし、 $\delta$  が減少する層では雲が発生していないと判定した。これは雲内部では、多重散乱により上層にいく程偏光解消度が増加するからである。

### 3. 解析結果

事例解析として、2019年9月21日に観測された CH1 の  $\beta$  の高度時間断面を Fig.1 に示す。時刻 0 時から 7 時の間では、高度 2km から 3km 付近に  $\beta$  がの大きな領域があり、下層雲であると考えられる。雲よりも下層のデータはエアロゾルの層である。黒色で示したデータは、欠損値を示している。

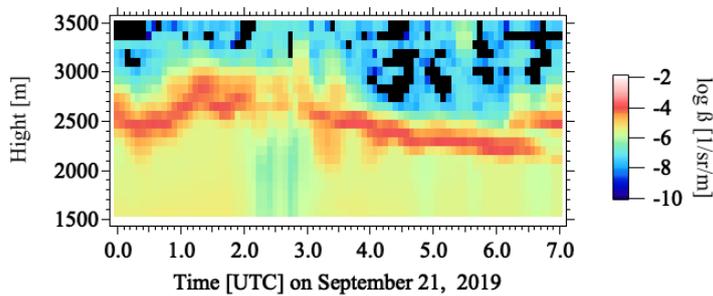
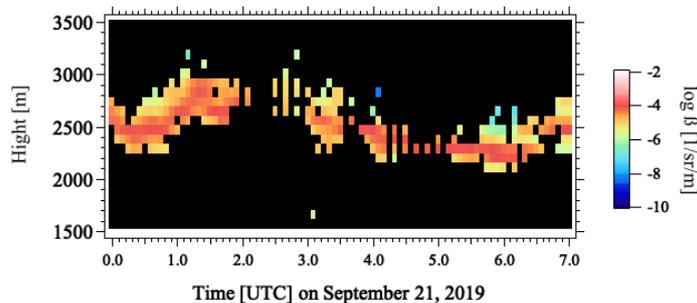
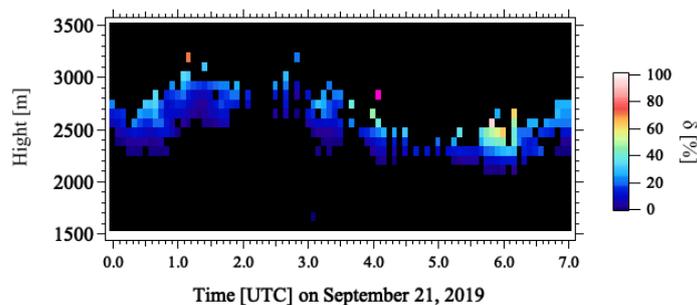


Fig.1 Time-height cross section of the  $\beta$  detected by Ch.1 on September 21, 2019.

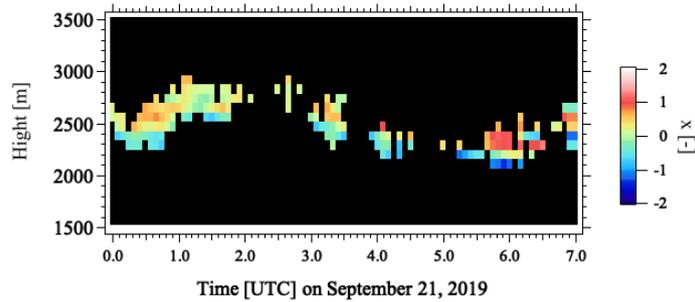
ここで雲マスクを適用し、雲域のみを抽出したものを Fig.2 に示す。ここで Fig.2 には上から順に、Ch1 の  $\beta$ 、 $\delta$ 、そして  $x$  をそれぞれ示す。雲底下のエアロゾル層や雲の層より上層のエアロゾル、大気分子やノイズの層が除去されていることがわかる。高度 2km から 3km 付近で  $\delta$  が 0~30% であり高度が上がると  $\delta$  が増加している様子がわかる。 $x$  は -1~1 の範囲であった。6時に高度 2500m 付近の雲は、気温は 3°C 程度で水雲であるが、 $\delta$  は 40% を超えていた。



(a)



(b)



(c)

Fig.2 The time-height cross section of the lower clouds on September 21, 2019. (a)  $\beta$  for Ch1, (b)  $\delta$  for Ch1 and Ch2, and (c)  $x$  for Ch1 and Ch2.

2年間の解析から得られた高度3km以下の雲の雲底の $x$ と $\delta$ の関係をFig.3に示す。 $x$ が大きくなると $\delta$ も大きくなっており、CALIPSOで得られた特徴と定性的には同じ傾向であったが、今回のものは、同じ $x$ に対してはやや小さい $\delta$ を示していた[3]。氷雲との識別のために決定した $\delta$ の上限を示す曲線を黄色の線で示した(Fig.3)。さらに、 $x$ が0から1.5の範囲で、 $x$ に対する $\delta$ の変化量を一次関数で近似した。その結果をFig.3中の赤色の直線で示した。

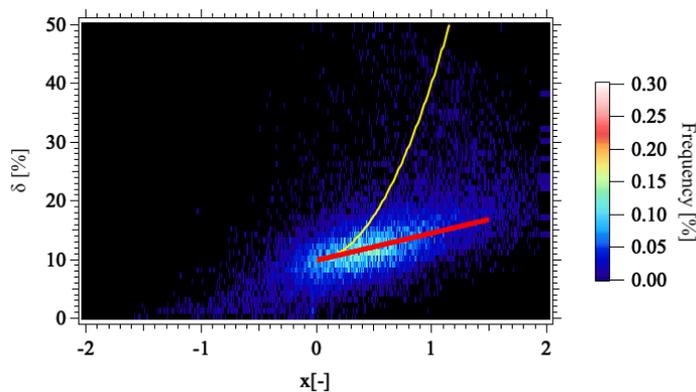


Fig.3 Relationship between  $\delta$  and  $x$  at cloud base observed at altitudes below 3 km, using data from September 2019 to September 2021.

#### 4. まとめ

MFMSPL-355を使用し、高度3km以下で観測された水雲の識別を行い、ATLIDに適用可能な水と氷雲の識別を可能とする経験式を求めた。この結果はCALIPSOで利用したものと異なるものであった<sup>[3]</sup>。さらに、2019年9月から2021年9月の2年間の観測データを用いて、高度3km以下で発生した水雲の $x$ と $\delta$ の関係を解析し、水雲と氷雲の識別に有効な曲線を決定した。さらに、ATLIDで期待される下層雲のみかけの減衰量と偏光解消度の関係を、地上観測から求めた。これらはATLIDの解析で使用する雲粒子タイプ識別アルゴリズム等で利用される予定である。

#### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 基盤研究(A) JP24H00275 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

[1] H Okamoto, K. Sato, T. Nishizawa, N. Sugimoto, T. Makino, Y. Jin, A. Shimizu, T. Takano, and M. Fujikawa (2016), Development of a multiple-field-of-view multiple-scattering polarization lidar: comparison with cloud radar, Opt. Express 24, 30053-30067

- [2] T. Nishizawa, Y. Jin, N. Sugimoto, K. Sato, S. Ishii, M. Fujikawa, M. Aoki, K. Nakagawa and H. Okamoto (2021), Observation of clouds, aerosols, and precipitation by multiple-field-of-view multiple-scattering polarization lidar at 355 nm, *JQRST* 271, 107710-107718
- [3] 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. Res.*, 115, D00H32, doi:10.1029/2009JD012334