

# ドップラーライダーと多重散乱偏光ライダー観測による

## 鉛直流と雲底高度の関係解析

瀬戸 拓也<sup>1</sup>, 岡本 創<sup>1</sup>, 佐藤 可織<sup>1</sup>, 及川 栄治<sup>1</sup>, 藤川 雅大<sup>1</sup>  
岩井 宏徳<sup>2</sup>, 青木 誠<sup>2</sup>, 石井 昌憲<sup>3</sup>  
西澤 智明<sup>4</sup>, 神 慶孝<sup>4</sup>

<sup>1</sup>九州大学応用力学研究所(〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

<sup>2</sup>情報通信研究機構(〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

<sup>3</sup>東京都立大学(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

<sup>4</sup>国立環境研究所(〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

### Analysis of relationship vertical velocity and cloud bottom height by using the Coherent Doppler Wind Lidar and Multiple-Field-of-view Multiple Scattering Polarization Lidar-2

Takuya SETO<sup>1</sup>, Hajime OKAMOTO<sup>1</sup>, Kaori SATO<sup>1</sup>, Eiji OIKAWA<sup>1</sup>, Masahiro FUJIKAWA<sup>1</sup>  
Hironori IWAI<sup>2</sup>, Makoto AOKI<sup>2</sup>, Shoken ISHII<sup>3</sup>  
Tomoaki NISHIZAWA<sup>4</sup> and Yoshitaka JIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1 Kasuga Park, Kasuga, Fukuoka 816-8580

<sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

<sup>3</sup>Tokyo Metropolitan Univ., 1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo 192-0397

<sup>4</sup>National Institute for Environmental Studies, 16-12 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

**Abstract:** We examined relations between upward motion ( $w$ ) and cloud base height (CBH) and those between  $w$  and Turbulent Kinetic Energy (TKE). Coherent Doppler Wind lidar (CDWL) and Multiple-Field-of-view Multiple Scattering Polarization Lidar-2 (MFMSPL-2) are used. First, cloud mask scheme for DL has been developed using the Signal to Noise Ratio and its standard deviations. That for MFMSPL-2 has been designed to be compatible to that for atmospheric high spectral resolution lidar (ATLID) on EarthCARE satellite. The CBHs from DL agreed with those from MFMSPL-2. The  $w$  at the layer below cloud base are larger than that at cloud bottom layer. The relation between  $w$  and CBH shows linearly correlated and is planned to be implemented in the satellite retrievals for the study of aerosol-cloud interactions and the relation between  $w$  and TKE will be used to assess/improve the cumulus convective parametrization used in General Circulation Model.

**Key Words:** Doppler lidar, vertical wind, clouds

## 1. はじめに

気候変動予測精度向上に対する関心が国際的に高まっている。雲は地球の放射収支や水循環と密接に関連しており、気候変動予測の大きな不確定性要素とされている。雲の物理特性や、雲の生成・消滅過程を理解する上で、鉛直流と雲特性の関係が重要である。

Foutoukis ら (2007) は、航空機観測による雲粒子数密度、雲底下の鉛直流、エアロゾル数濃度や化学組成から、雲粒子の活性化のパラメタリゼーションを検証し、鉛直流が雲粒子の再現性にもっとも感度がある事を示した。積雲対流パラメタリゼーションに関しては、IPCC AR4 以降、大気大循環モデルで積雲中の鉛直流を扱うモデルが増えている (Donner et al., 2011)。氷粒子の生成にも鉛直流が本質的であると指摘されている。2022 年度には初のドップラー雲レーダ、高スペクトル分解ライダー (ATLID)、多波長イメージャー、放射計を搭載した EarthCARE 衛星の打ち上げが予定されており、エアロゾル、雲、放射の関係に加えて、雲レーダのドップラー観測を利用した雲内部の鉛直流の抽出も期待されている。

Zheng と Rosenfeld (2015) は、雲低高度とその高度における上昇速度の関係をドップラーライダーと雲レーダから求め、正の相関を示した。

本研究では情報通信研究機構によって開発された地上のドップラーライダーと、波長 355nm の多視野角・多重散乱偏光ライダーによる複合観測データを用いて、雲底や雲底下の鉛直流と雲底高度の関係解析を行った。

## 2. ドップラーライダー (CDWL) と多視野角・多重散乱偏光ライダー (MFMSPL-2)

本研究では小金井の情報通信研究機構で開発され、運用されている波長 2 ミクロンのドップラーライダー (Coherent Doppler Wind Lidar, CDWL) の鉛直上向きの観測データを利用した。CDWL では、時間分解能 1 秒、空間分解能 96m で鉛直流の観測データを記録している。まず CDWL のデータに適用可能な雲マスクを信号対雑音比の鉛直方向に隣り合う 2 層の微係数と信号対雑音比の標準偏差のデータに基づいて開発し、雲域の特定を行った。水平風の分散を無視できるとすると、鉛直速度の分散から、乱流運動エネルギーを求める事ができる。

雲域の検証として、波長 355nm の多視野角・多重散乱ライダー(MFMSPL-2)を用いた(Nishizawa et al., 2021)。これは、波長 532nm の 8 チャンネル (4 種類の視野角) の MFMSPL(Okamoto et al., 2016)を、2022 年度打ち上げ予定である EarthCARE に搭載予定の ATLID ライダーと同じ波長である波長 355nm にした全部で 10 チャンネルに拡張したものである。MFMSPL-2 では、後方散乱係数と偏光解消度が観測でき、これにより雲域の特定と 5 つの異なる視野角で減衰後方散乱係数と偏光解消度の観測ができる。

## 3. 解析結果

CDWL によって得られた 2019 年 4 月 21 日におけるドップラー速度と、SN 比の時間高度断面を図 1 a と b にそれぞれ示した。ドップラー速度の正の符号は上昇を表す。また同じ日に、MFMSPL-2 の鉛直上向きのチャンネルによって観測された減衰後方散乱係数と偏光解消度を図 2a と b にそれぞれ示した。どちらのセンサーでも 5UTC に高度 2km 付近に下層雲が観測され、高度 4 km より上の層で、長時間にわたり上層雲が観測され、偏光解消度から氷雲であることがわかる。

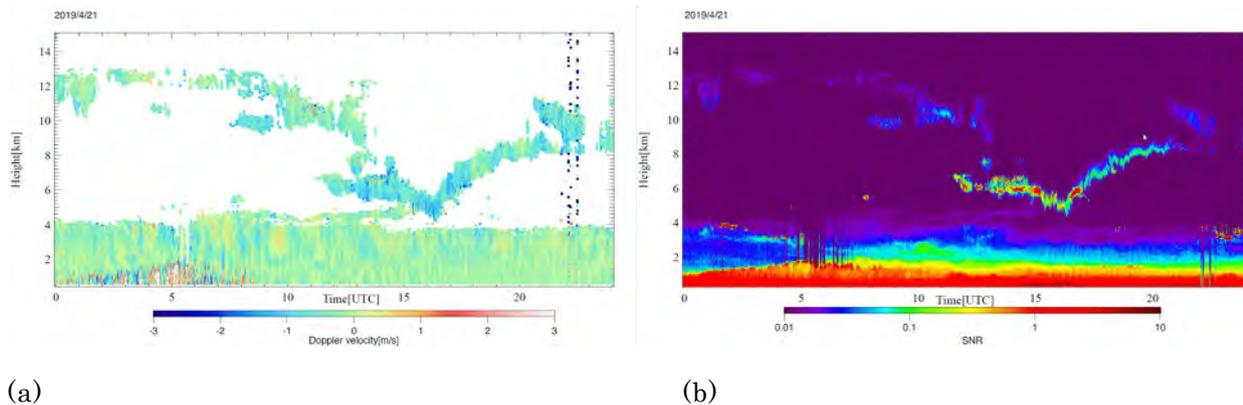
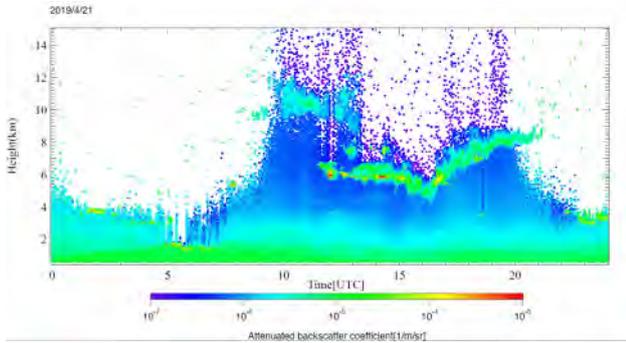
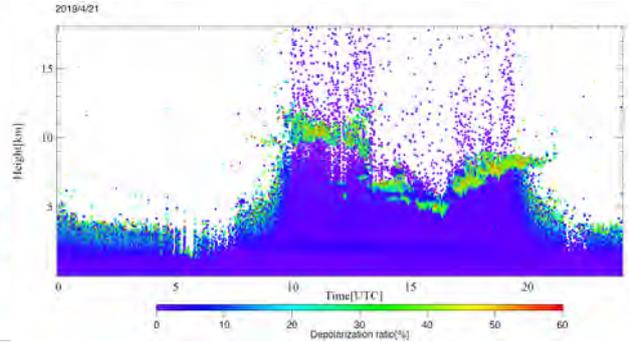


Fig.1 Time-Height distribution by CDWL (a)Doppler velocity [m/s], (b)Signal to noise ratio.



(a)



(b)

Fig.2 Time-Height distribution by MFMSPL-2 (a)Attenuated backscattering coefficient [1/m/sr] at 355nm (b)Depolarization ratio

2019年4月19日から28日の10日間のCDWLから得られた雲底高度と、MFMSPL-2から得られたものを比較した結果を図3に示す。CDWLによる雲底高度は、MFMSPL-2の雲底高度に、およそ一致していたことがわかった。

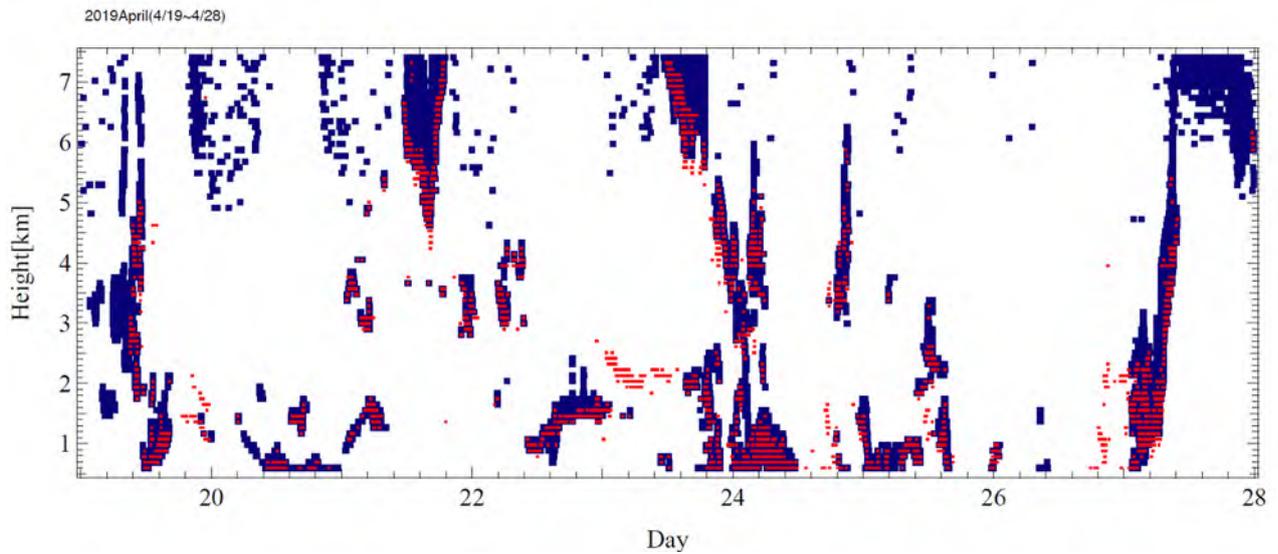


Fig3. Cloud base height by using the 2.05 $\mu$ m-Coherent Doppler Wind Lidar (Red), and cloud regions detected by the 355nm-Multiple-Field-of-view Multiple Scattering Polarization Lidar (Blue).

次に、上述の期間で、雲底高度における上昇流のみを取り出し、以下の解析を行った。雲底高度と期間で平均した上昇流の関係は、線形の関係を示唆していた。次に、雲底直下の層の平均的な上昇流との比較を行った。両者は良い対応を示していたが、雲底下の上昇速度が、雲底の速度より大きく、両者の速度差は、高度に応じて大きくなっていった。雲底付近の鉛直流と雲底高度の関係を調べた結果、雲底下の鉛直流と、雲底高度の相関数は0.4程度であった。

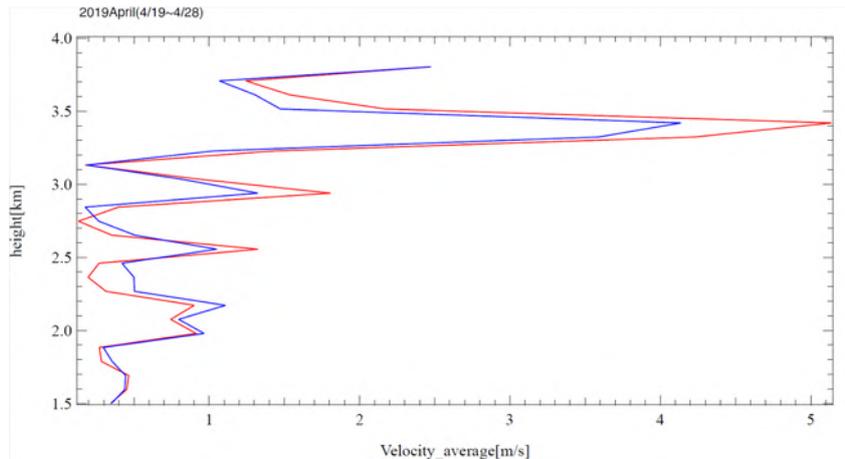


Fig4. The relationship between upward velocity and cloud base height by using CDWL. The mean velocities are estimated at cloud base (in blue) and also at the cloud base (Red), and the average velocity of the cloud base (Blue).

#### 4. まとめ

CDWL と MFMSPL-2 を用いて、雲底付近の鉛直流と雲底高度の関係を求めた。両者の比較から、CDWL で検出された雲底高度は、MFMSPL-2 によるものと良い一致を示していた。10 日間の期間平均した鉛直流と高度の関係は、線形の関係を示唆していた。雲底下と雲底の鉛直流の比較結果は良い対応を示しており、また、雲底下の上昇流の方が大きい値となっていた。この要因は、雲底高度では雲生成で、雲底より下の層の上昇流が抑えられることが挙げられる。ドップラー速度と分散の関係や、分散に応じた上昇流と雲底高度の関係解析結果についても報告する予定である。

霧雨や降水が生成されている場合は、粒子の落下速度のドップラー速度への影響が無視できない場合も考えられるが、今回は上昇流に限定していることで、この影響を解析から除いている。

今後は、より解析期間を伸ばすこと、氷雲と水雲に分けた解析をすること、ここで求めた雲底付近の上昇流と高度の関係を、衛星解析に適用すること、鉛直流と乱流運動エネルギーの関係をを用いた、GCM で使用されている積雲パラメタリゼーションのスキームの検証を行う予定である (Donner 2011)。

#### 謝辞

本研究はJSPS科研費17H06139の助成を受けました。

#### 参考文献

- [1] Fountoukis, C., et al., 2007, J. Geophys. Res
- [2] Donner, L. J., et al., 2011, J. Clim
- [3] Okamoto, H., et al, 2016, Opt. Express
- [4] Nishizawa, T., et al., 2021, JQSRT
- [5] Zheng, Y., and D. Rosenfeld, 2015, Geophys. Res. Lett