

ドップラー雲レーダと多視野角・高スペクトル分解・

偏光ドップラーライダーによる雲・エアロゾル・対流観測ミッション

岡本 創¹, 西澤智明², 鈴木健太郎³, 石井昌憲⁴

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

²国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

³東京大学 大気海洋研究所 (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

⁴情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市 4-2-1)

Cloud-Aerosol-Convection-Observation Mission by Doppler of cloud radar and Multi-FOV-High-Spectral-Resolution-Polarization-Doppler-Lidar

Hajime OKAMOTO¹, Tomoaki NISHIZAWA², Kentaroh SUZUKI and Shoken ISHII^{3,4}

¹RIAM, Kyushu Univ., 6-1 Kasuga park, Kasuga, Fukuoka 816-8580

²National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

³AORI, Univ. of Tokyo, 5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8568

⁴National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuikitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

Abstract: We propose a synergy space-borne observation system that consists of Doppler cloud radar and Doppler lidar to study clouds, aerosol and convection. Expected products will include (1) microphysics of clouds, aerosols and precipitations, (2) fall velocity of clouds, rain and snow particles, and (3) air motion in cloud, above clouds and in clear sky condition. Radar frequency is 94GHz to detect both of clouds and aerosols. Lidar wavelengths are 355nm, 532nm and 1064nm and high spectral resolution functions are considered for 355nm and 532nm. Polarization capability is implemented at least for 532nm. Direct detection method is used to estimate Doppler velocity at 532nm or 355nm, which is effective to estimate wind velocity of high altitude. Dual-Doppler-capability from cloud radar and lidar can be used to discriminate air motion and vertical fall velocity of the cloud/precipitation particles. Retrieval of cloud- and precipitation microphysics are much improved.

Key Words: Doppler, clouds, aerosol, precipitation, air motion

1. はじめに

気候変動予測モデルによる雲の再現性は、モデル間で大きなばらつきが存在する。鉛直積算雲水量と鉛直積算氷水量の比較結果は、それぞれ 10 倍、20 倍程度の開きがあった。また大循環モデルの放射効果のばらつきが、気候変動予測の不確定性の幅のうち 70% に相当する。

CloudSat 衛星搭載雲レーダと CALIPSO 衛星搭載ライダーが 2006 年に打ち上げられた事で、雲とエアロゾルの 3 次元分布が観測や降水量の改善によって、地表面長波放射量等地球放射収支を顕著に改善する等大きな進展があった。

衛星観測の解釈には課題も存在し、たとえば CALIPSO の解析から得られた我々のグループによるもの、NASA ラングレー研究所のもの、フランスのグループのもの 3 つのグローバル比較結果は、最大と最小で 2 倍程度の大きな開きがある事を示していた。我々の氷雲雲量は 3 つのプロダク

トのうち中間で、下層の水雲に関しては最小だった。これらは、エアロゾルと雲の識別手法、雲のライダー信号の多重散乱の取り扱い、雲の相識別手法に違いがあるためである。また放射収支の見積もりに必要な雲とエアロゾルの微物理特性抽出にも不確定性が存在している状況にある。

気候変動予測モデルでは、これらの最新のアクティブセンサ搭載衛星の解析結果と矛盾なく、エアロゾル-雲-降水過程を表現することに成功していない。本質的に気候変動予測モデルにおける雲再現性、雲から降水への変換過程を改善するためには、エアロゾル・雲・降水・放射・対流過程を観測可能なシステムが必要である。

2021 年度には日欧共同衛星ミッション EarthCARE の打ち上げが予定されている。EarthCARE には 94GHz のドップラー雲レーダ、波長 355nm の高スペクトル分解ライダー、多波長イメージャー、広帯域放射計が搭載される。CloudSat と CALIPSO の後継の後継ミッションとして期待され

ると同時に、雲の鉛直方向の運動が取得できるため、雲・降水の微物理特性やフラックスの抽出の改善、対流性の雲内の大気鉛直速度抽出、エアロゾルの消散係数の直接測定等多くの新しい知見が得られると期待されている。ここでは、EarthCARE 衛星の次を見据え、ドップラー雲レーダとドップラー機能を持つ高スペクトル分解ライダーを組み合わせた衛星ミッションの提案を行う。

2. 雲・降水・エアロゾル・放射・対流ミッション

2.1 ミッションコンセプト

雲レーダと高スペクトル分解ライダーの双方にドップラー機能を持たせ、雲・エアロゾル・降雨・降雪の微物理特性、それらの放射特性、雲・降水粒子落下速度、雲内鉛直流、晴天域と雲頂より上方の鉛直流抽出の全球解析を実現する。このための観測機器として、以下の構成を計画している。

雲レーダは最小構成としては、鉛直真下向きでドップラー機能を実現し、最大では3方向でドップラー観測の実現を可能とする構成を検討する。観測パラメータはレーダ反射因子、ドップラー速度とドップラー速度幅である。

ライダーは、最小構成として波長 532nm の高スペクトル分解観測を実施、かつ直接検波方式によるドップラー観測を鉛直真下向きで実施する。ドップラー観測は、最大で3方向も検討する。また 355nm と合わせた2波長で高スペクトル分解観測の可能性を検討する。1064nm の後方散乱係数の取得も検討する。さらに広視野角と狭視野角の多視野角観測を行う事で、光学的に厚い領域の雲のライダーによる観測実現を目指す。偏光解消度は最小構成で波長 532nm で実現する。最小構成の場合の観測パラメータは、波長 532nm における減衰後方散乱係数、直交成分の減衰後方散乱係数、粒子後方散乱係数、粒子消散係数、レイリー後方散乱係数、レイリー消散係数、ドップラー速度である。

2.2 衛星提案の要素技術・アルゴリズム開発研究

CloudSat 雲レーダと CALIPSO ライダーの観測解析では、従来と異なる次元で大きな進展があった。CloudSat と CALIPSO の雲検出スキーム(雲マスク)(KU-mask)²⁾、雲の相や粒子タイプ識別(KU-type)³⁾、雲微物理特性プロダクト(KU-micro)等^{4,5)}の開発を行い、それらは国際研究機関に配布され気候変動研究に用いられてきた。衛星ライダーでは、そのフットプリントの大きさから雲観測の場合、地上ライダー観測と比較して多重散乱の影響が大きい。このような衛星ライダーの観測条件を地上で初めて実現する多視野角・多重散乱偏光ライダーの開発を行い、実際に CALIPSO 衛星の水雲観測と同等の大きな偏光解消

度の検出に成功している⁶⁾。また衛星解析アルゴリズムに使用可能な時間に依存した放射伝達方程式を、モンテカルロ法と比較して高精度でかつ6桁以上高速に計算可能である高速に解く事の可能な手法 Physical Model/Vectorized Physical Model の開発に初めて成功している^{7,8)}。これらの手法を衛星ライダー・レーダ解析に組み込む事で、従来のアクティブセンサ搭載衛星と、本提案の衛星計画でセンサの違いを包含するシームレスな雲解析プロダクトの作成が可能になる。これら長期の3次元解析雲・エアロゾル・降水プロダクトの構築は、気候変動研究の予測不確定性低減の重要なインフラとなる。

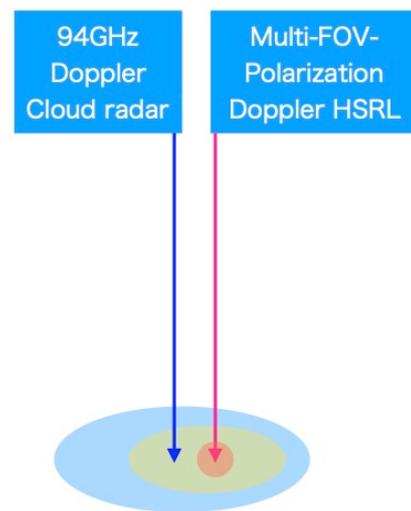


図 ドップラー雲レーダ（青）と高スペクトル分解ドップラーライダー（赤）。ライダーは広視野と狭視野を持ち、最小で鉛直下向き観測。

謝 辞

本研究は科研費基盤研究 S(JP17H06139)、JAXA EarthCARE RA の支援を受けました。

参考文献

- 1) A. Illingworth et al., BAMS, **96** (2015)
- 2) Y. Hagihara et al., J. Geophys. Res., **115** (2010).
- 3) R. Yoshida et al., J. Geophys. Res., **115** (2010)
- 4) H. Okamoto et al., J. Geophys. Res., **115** (2010)
- 5) K. Sato and H. Okamoto J. Geophys. Res., **116** (2011)
- 6) H. Okamoto et al., Opt. Express, **24**,26, (2016)
- 7) K. Sato et al., Opt. Express, **26**,6, (2018)
- 8) K. Sato et al., Opt. Express, **27**,4, (2019)