

衛星搭載ライダー・雲レーダーによる 雲・エアロゾル・対流の全球観測計画

西澤 智明¹, 岡本 創², 鈴木健太郎³, 石井 昌憲⁴, 神 慶孝¹

¹ 国立環境研究所 (〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2)

² 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)

³ 東京大学大気海洋研究所 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

⁴ 東京都立大学 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

Plan on global observation of cloud, aerosol and convection by space-borne lidar and cloud radar

Tomoaki NISHIZAWA¹, Hajime OKAMOTO², Kentaro SUZUKI, Shoken ISHII⁴, Yoshitaka JIN¹

¹ National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305-0053

² Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka-ken, 816-8580

³ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-0882

⁴ Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minamioosawa, Hachioji, Tokyo, 192-0397

Abstract: We propose a synergy space-borne observation mission using 94GHz Doppler cloud radar and high spectral resolution lidar (HSRL) with doppler, multi-field-of-view, and depolarization measurement functions 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. Lidar wavelengths are 532nm and 1064nm. HSRL function is considered for 532nm. Polarization capability is implemented at least for 532nm. Direct detection method is used to estimate Doppler velocity at 532nm, 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. The proposed multichannel lidar enables to identify more aerosol types and to evaluate more microphysical properties of aerosols simultaneously than the past. Retrieval of cloud-, aerosol-, and precipitation microphysics are much improved.

Key Words: HSRL, Aerosol, Cloud, Doppler, Precipitation

1. はじめに

気候変動予測モデルによる雲の再現性は、今なおモデル間で大きなばらつきがある。また、その不確か性の多くは、大気放射の評価の不確かさに起因している。CloudSat 衛星搭載の雲レーダーと CALIPSO 衛星搭載ライダーによる全球観測は、雲・エアロゾルの3次元分布を詳らかにすると共に、降水量や放射収支の評価の顕著な改善へと繋がった。一方、これら衛星観測データを用いた推定値にも顕著なばらつきがあり、雲・エアロゾル層の識別、ライダー信号の多重散乱の取り扱い、雲の相識別の手法の違いが主な要因に挙げられている[1]。また、雲・エアロゾルの微物理量の推定値にも不確かさがある。

気候変動予測モデルとこれら能動型センサ搭載衛星の解析結果が整合せず、モデルにおける雲再現性や雲・降水の変換プロセスの改善が指摘されている。これらの改善のためにも、雲・エアロゾル・降

水・放射・対流プロセスを包括的に評価する観測システムが必要となる。2022年に打ち上げ予定の日欧共同衛星ミッション EarthCARE では、94GHz のドップラー雲レーダー、波長 355nm の高スペクトル分解ライダー (HSRL)、多波長イメージャー、広帯域放射計が極軌道衛星に搭載される[2]。雲レーダーのドップラー計測機能の追加による雲・降水微物理特性と対流性雲の内部の鉛直速度の推定やフラックス抽出の改善、HSRL 技術によるエアロゾル・雲の消散係数の直接測定といった新技術の投入が新しい知見の創出を促すと大きな期待が寄せられている。

一方、EarthCARE ミッション後の能動型センサーを用いた雲・エアロゾル衛星観測ミッションは白紙となっている。そこで本研究では、EarthCARE 衛星の次を見据えた能動型センサーを主体とした雲・エアロゾル・対流観測ミッションについて検討を進めている[3]。本シンポジウムではその進捗状況について

報告する。

2. 雲・エアロゾル・対流観測ミッション

本ミッションでは、雲・エアロゾル、更に降雨・降雪の微物理・放射特性、そして雲・降水粒子の落下速度、雲内鉛直流、および雲頂上方を含めた晴天域での鉛直流の全球抽出を目標としている。この実現のために、以下の特性を持つ雲レーダーとライダーの曲軌道衛星へ搭載し全球観測を行う。

○ 雲レーダー

ドップラー計測機能を有した 94GHz 雲レーダーとする。レーダ反射因子、ドップラー速度、ドップラー速度幅を計測する。鉛直下での計測を最小構成とするが、3方向計測による水平風抽出も視野にいたした検討を進める。

○ ライダー

2波長（532nm, 1064nm）での鉛直下計測ライダーとする。波長 532nm では、HSRL 技術を導入することで大気粒子の消散係数と後方散乱係数の独立測定を行う。合わせて2波長での偏光測定も行う。直接検波方式のドップラー計測機能を併設し、風速の同時計測を実現する。更に狭視野角と広視野角の多視野角計測を行い、光学的に厚い雲の内部の計測を目指す。本ライダーの高機能化として、波長 355nm での HSRL 機能の追加、ドップラー計測の3方向化があり、合わせて技術検討を進める。

3. 要素技術の開発・検討

本稿では主にライダーに関わる要素技術の開発・検討について述べる。科研費助成の下、走査型マイケルソン干渉計を用いた波長 355nm での HSRL システムを開発し、地上での連続観測を実施している[4]。本システムは波長 532nm での HSRL への転用が可能であると共に、2波長(355, 532nm)での同時計測の実現可能性も有しており、2波長同時計測 HSRL の開発も進めている。上記システムを応用した衛星搭載 HSRL の検討として、上記システムの受信系の諸元(干渉計透過率等)を元に、現行の衛星搭載ライダーで用いられているレーザー出力(50mJ@532nm, 50Hz)や望遠鏡(直径 0.6m)の諸元を用いて期待される測定信号のシミュレーションを進めている(図1)。また、そこから期待される消散係数や後方散乱係数の推定誤差解析も進めている。

センサーの検討と共に測定データを用いた

雲・エアロゾル等の巨視的および微物理的な特性の推定も必要であり、データ解析手法についての開発・検討も進めている。CALIPSO ライダーおよび CloudSat レーダーを用いた雲の検出・タイプ識別・微物理特性[例えば 5]や、HSRL やラマンライダーを用いたエアロゾル微物理特性[6]の推定手法の開発と実用を行ってきた。これらの解析手法を応用し、EarthCARE 衛星搭載ライダー・雲レーダーを用いた雲・エアロゾル解析手法の開発を JAXA 助成の下で進めている[7, 8]。また、解析手法の高度化として、ライダーの多重散乱信号を含めた高速フォワード計算手法の開発も進めている[9]。これらの手法を応用し本ミッションで用いる解析手法を開発する。これにより、CALIPSO/CloudSat, EarthCARE、そして本研究で提案する次世代衛星ミッション間のセンサの違いを包含したシームレスな3次元雲・エアロゾル・降水の長期プロダクトを創生する。

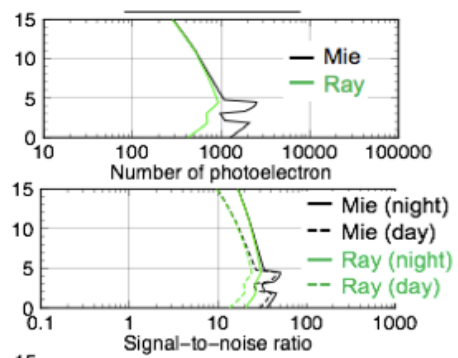


Fig. 1 Mie and Rayleigh signal simulation during day or night for the space-borne 532nm HSRL proposed in this study. Aerosols with extinction of 0.15km^{-1} are placed at an altitude of 5km or less.

謝辞

本研究は、科研費基盤研究 S (JP17H06139) および JAXA 受託研究 (EarthCARE RA) の支援を受けた。

参考文献

- [1]Cesana, JGR, 121 (2016).
- [2]Illingworth et al., BAMS, 96 (2015).
- [3]岡本他、LSS37,B3 (2019).
- [4]Jin et al., Opt. Express, 28 (2020).
- [5]Okamoto et al., JGR, 115 (2010).
- [6]Nishizawa et al., JQSRT, 188 (2017).
- [7]岡本他、JRSSJ, 39 (2019).
- [8]西澤他、JRSSJ, 39 (2019).
- [9] Sato et al., Opt. Express, 27 (2019).