

高スペクトル分解ライダー及びドップラー風ライダーの広視野化の検討

神 慶孝¹、杉本 伸夫¹、西澤 智明¹、石井 昌憲²、青木 誠²、岡本 創³

¹国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

²情報通信研究機構 (〒)

³九州大学応用力学研究所 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

Feasibility study on widening of field-of-view for high-spectral-resolution and Doppler wind lidars

Yoshitaka JIN¹, Tomoaki NISHIZAWA¹, Nobuo SUGIMOTO¹, and Hajime OKAMOTO²

¹ National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

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

Abstract: Space-borne lidars have large foot prints, resulting in lidar signals strongly influenced by multiple-scattering. To study space-borne lidar signals with ground-based lidars, the receiver field-of-view (FOV) should be widened to 10 mrad, 25 mrad, and 90 mrad for the footprints of ADM-Aeolus, EarthCARE, and CALIPSO lidars, respectively. To widen the FOV for high-spectral-resolution lidar (HSRL) and direct-detection Doppler wind lidar (DWL), we consider a method using an additional lens over the telescope. Measurement efficiency decreases by three-, four-, five-orders of magnitude at 10 mrad, 25 mrad, and 90 mrad. The current narrow FOV system uses a neutral density (ND) filter to avoid signal saturation for low-level clouds. By removing the ND filter, lidar signals increase and the system can compensate the low measurement efficiency for the widened FOV at 20 mrad.

Key Words: High-spectral-resolution lidar, Doppler wind lidar, Aerosol, Cloud

1. はじめに

現在、複数の衛星ライダーミッションが進行中である。衛星 CALIPSO に搭載されたライダーは、2006 年から現在まで長期に渡って運用されている。今年 8 月 21 日にはドップラー風ライダー (DWL) を搭載する衛星 ADM-Aeolus が、2019 年度には高スペクトル分解ライダー (HSRL) を搭載する衛星 EarthCARE がそれぞれ打ち上げられる計画である。衛星ライダーの地上検証は、観測プロダクトの確からしさを評価するために重要である。

平成 29 年度の科学研究費助成事業基盤研究 (S) 課題の一つとして「次世代アクティブセンサ搭載衛星の複合解析による雲微物理特性・鉛直流解析研究 (研究代表者: 九大・岡本)」が採択された。この研究課題では、EarthCARE 衛星と ADM-Aeolus 衛星の観測条件を模擬する次世代型地上観測システムを構築し、衛星解析アルゴリズムの検証と開発を行う。

衛星ライダーはフットプリントが大きいため、多重散乱の影響を強く受ける。衛星ライダーのフットプリントと、それに相当する地上ライダーの視野角 (FOV) をまとめた模式図を図 1 に示す。ADM-Aeolus、EarthCARE、CALIPSO の観測条件を地上で模擬するためには、それぞれ 10 mrad、25 mrad、90 mrad という非常に広い視野角にする必要がある (高度 1 km をターゲットにする場合)。

355 nm の HSRL と DWL は、受信部に干渉計を用いる。干渉計の特性上、入射するビームの広がり角を数 mrad 程度に絞る必要があるため、受信望遠鏡の視野角は狭くなる。この点が HSRL と DWL を広視野化する時の課題となる。本研究では、受信望遠鏡の手前にレンズを設置する方法を検討した。これによって、分光するビームの広がり

角を変えずに視野を広くできる。本研究では、広視野化した場合の観測精度を推定し、広視野の HSRL と DWL の実現可能性について調査した。

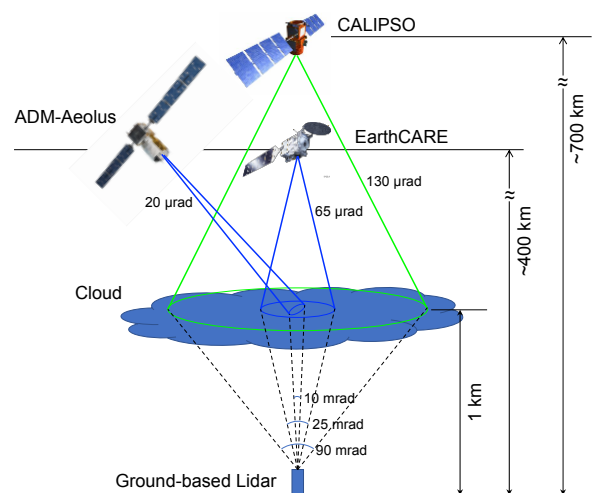


Fig. 1 Schematic diagram of space-borne lidar footprints and ground-based lidar fields-of-view (FOV).

2. 広視野化による観測精度への影響

2.1 測定効率の見積り

望遠鏡の手前に追加レンズを設置する方法について、図 2 に概念図を示す。レンズの設置後 (図 2(b))、受信光学系は望遠鏡とレンズによる合成焦点を持つ。一方、絞りの位置はレンズ設置前に無限遠に焦点を合わせている。そのため、レンズ設置後はピン트가外れた状態で散乱光を受信することになる。より広い角度からの散乱光を受信できるが、ピンボケしているために測定効率は悪く

なる。なお、絞りの大きさは変わらないため、広視野にしても背景ノイズの大きさは変わらない。

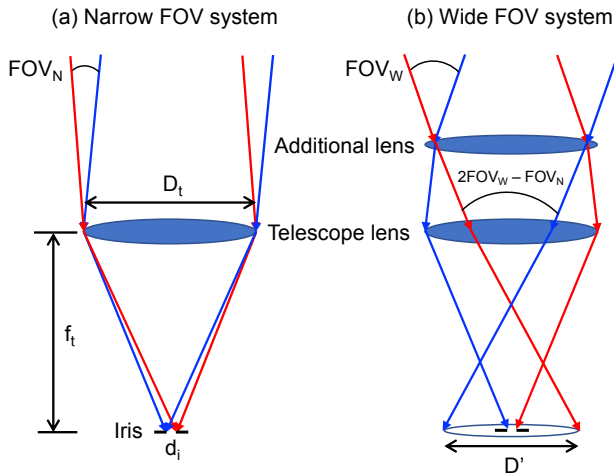


Fig. 2 Schematic diagram of (a) narrow FOV system and (b) wide FOV system using an additional lens over the telescope. D_t , f_t , and d_i denote telescope diameter, telescope focal length, and iris diameter, respectively. D' denotes beam diameter at the telescope focal plane.

レンズを追加する前と後の信号強度比は、広視野化する際の測定効率と同義である。これは、焦点面でのビーム(D')が絞り(d_i)を通過する割合であり、以下の式で表される。

$$\frac{P_W}{P_N} = \left(\frac{FOV_N}{2FOV_W - FOV_N} \right)^2 \quad \dots(1)$$

ここで、 P は信号強度で、下付き文字のWとNはそれぞれ広視野と狭視野を表す。図3に、 FOV_W を0.5 mradから100 mradまで変えて測定効率を計算した結果を示す。 FOV_W が大きくなると急激に測定効率が下がり、10 mradになるまで3桁も下がる。25 mradでは4桁、90 mradでは5桁下がる。

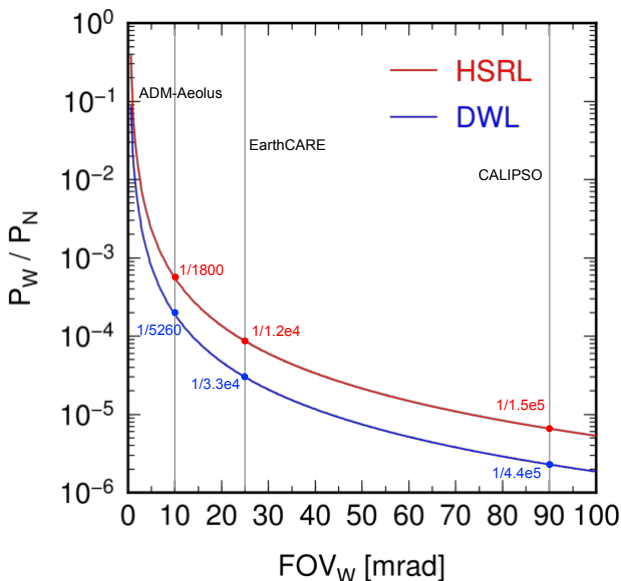


Fig. 3 Measurement efficiency versus widened

field-of-view (FOV_W) for HSRL and DWL. Vertical lines at 10 mrad, 25 mrad, and 90 mrad correspond to the space-borne lidar footprints at an altitude of 1 km.

2.2 広視野化したHSRLとDWLの観測精度

観測精度を調査するため、実際の観測データをもとに、広視野化で想定されるSN比を見積もった。使用したレーザーのパルスエネルギーは70 mJ、繰り返し率は10 Hzである。望遠鏡の口径は50 mmである。雲の信号が飽和するのを防ぐため、0.3%の透過率を持つNDフィルターを設置している。なお、HSRLとDWLで使用する望遠鏡は、それぞれ210 mmと355.6 mmである。受光面積と透過率を考慮すると、HSRL、DWLと比べた時にそれぞれ 1.7×10^{-4} 、 5.9×10^{-5} の倍率だけ信号強度が下がる。これは、HSRLとDWLを20 mradに広視野化した時の効率に相当する。

観測されたデータのSN比は、雲の下が500以上、雲は1000以上だった(時間分解能と距離分解能はそれぞれ10秒(100ショット)と30 m)。例えば雲信号のSN比を1000として、HSRLで消散係数をリトリバルするときのランダム誤差は ~ 0.6 /kmになる(雲の消散係数を1/kmとした場合)。また、DWLによる風観測の誤差は、McGill and Spinhirne¹⁾の式(13)より計算され、 ~ 2 m/sと見積もられた。この信号は20 mradに広視野化した時の誤差に相当する。25 mradと90 mradにする場合の誤差は、それぞれ約2倍と約25倍悪くなる。

3. 結論と今後の課題

HSRLとDWLの広視野化は、ADM-AeolusとEarthCAREのフットプリントのレベルでは実現可能である。広視野化によって効率が下がっても、20 mrad以下の場合、狭い視野と信号強度は変わらない。広視野化する場合、NDフィルターを取り外すため、背景ノイズが増加し、日中のSN比は悪くなる。狭い視野での背景ノイズを測定し、SN比にどれだけ影響するのかを調査する必要がある。

広視野化によって、重なり関数の形状が変わる。狭視野の大きな望遠鏡については、高度1kmでは重なり関数が1よりも小さい。よって、広視野化した時に、現在の見積りよりも効率が向上すると考えられる。また、広視野化によって下層の信号が飽和する可能性もある。その場合、送受信系の配置の最適化やNDフィルターによる減光が必要である。今後、重なり関数も含めた測定効率の計算を行う。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究(S) JP17H06139の助成を受けたものです。

参考文献

1) M. McGill and J. Spinhirne: "Comparison of two direct-detection Doppler lidar techniques", *Opt. Eng.*, **37**(10), 2675-2686, 1998.