

次世代大気モニタリングネットワーク用多波長高スペクトル分解ライダーの開発(3)

Development of a multi-wavelength high spectral resolution lidar for the next-generation atmospheric monitoring network (3)

○西澤智明、杉本伸夫、松井一郎

T. Nishizawa, N. Sugimoto, and I. Matsui

国立環境研究所

National Institute for Environmental Studies

Abstract

We have developed a multi-wavelength High-Spectral-Resolution Lidar (HSRL) system to realize more advanced aerosol classification and retrieval. This lidar provides $2\alpha + 3\beta + 2\delta$ data: extinction coefficients (α) at 355 and 532 nm, backscatter coefficients (β) at 355, 532, and 1064 nm, and depolarization ratios (δ) at 532 and 1064 nm. This system combines use of the previously developed HSRL techniques with an iodine absorption filter for 532nm and a Fabry-Perot etalon for 355nm. A system to automatically tune the laser wavelength to an iodine absorption line and tune the etalon transmission wavelength in this system has been developed to realize continuous measurements. The 532nm HSRL and 1064nm receiver systems of this lidar were developed. On the conference, we report the HSRL system including the laser and etalon transmission wavelength tuning system and the measurement results.

1. はじめに

国立環境研究所 (NIES) では 2 波長偏光ミュー散乱ライダーによるライダーネットワーク (NIES ライダーネットワーク) を東アジア広域に展開し、黄砂、大気汚染粒子、海塩といったエアロゾルの種類を判別しそれらの光学特性の抽出を進めてきた [1-3]。そこで次世代のライダーネットワーク観測を企図し、より多種のエアロゾルを分離評価しより詳細な微物理特性を評価することを主眼として、多波長高スペクトル分解ライダー (HSRL) の開発を進めてきた [例えば [4]。福井大学で開発されたファブリ・ペロ・エタロン干渉計 (以下、エタロン) による波長 355nm での HSRL 技術 [5]、そして NIES で開発されたヨウ素吸収フィルターによる波長 532nm での HSRL 技術 [6] を 1 台にライダーへ統合し、本多波長 HSRL を実現する。また、Nd:YAG レーザーの 3 波長 (355, 532, 1064nm) を有効活用し、波長 532nm および 1064nm での偏光測定も実施する。測定要素は 2 波長での消散係数 (355, 532nm)、3 波長での後方散乱係数 (355, 532, 1064) そして 2 波長での偏光解消度 (532, 1064nm) となる。ネットワーク観測に対応できるように、狭帯域フィルターとレーザーの波長を時間連続的に調節する技術開発 (以下、自動波長調整システム) も、本研究の重要な目標となる。

これまでのレーザーセンシングシンポジウムにおいて、主に上記システム (HSRL 及び自動波長調整システム) について報告した。本発表では上記システムを用いた観測結果 (主に波長 355nm での HSRL) について述べる。また、上記システムのうち波長 532nm の HSRL 技術を用いた、洋上観測の結果についても報告する。

2. 多波長 HSRL システムと 355nm HSRL の観測結果

開発した多波長 HSRL システムでは、市販のインジェクションシーダー付き Nd:YAG レーザーを用いる。送受信は同軸システムとした。望遠鏡で集光した散乱光はビームスプリッターで 3 波長 (1064, 532, 355nm) に分ける。355nm ではファイバースクランブラーにより受信光強度の角度依存性を低減した後、全成分 (Mie+Rayleigh) と Mie 成分 (エタロン透過光) を分けて PMT で測定する。532nm では、全成分と Rayleigh 成分 (ヨウ素吸収フィルター透過光) を分けて PMT で測定する。但し、全成分の測定では偏光子を用いて水平および垂直成分に分けて測定する (偏光測定)。1064nm 受信部では、APD によって偏光測定を行う。自動波長調整は、レーザー波長をヨウ素吸収線に固定し、固定したレーザーの波長にエタロンの透過波長を調整することで実現する。エタロンの透過波長はエタロン内の圧力 (窒素ガスを使用) を変化させて調整する (温度はヒーターにより固定)。

波長 355nm の HSRL の測定結果を図1に示す。推定された粒子消散係数とライダー比は雲(高度5km)に対して $0.4\text{--}2.0\text{km}^{-1}$ 、 $10\text{--}40\text{sr}$ であり、境界層内(高度1km以下)のエアロゾルに対して、 $0.1\text{--}0.4\text{km}^{-1}$ 、 $30\text{--}150\text{sr}$ であった。検証用として同ライダーシステムに 387nm での窒素ラマン信号を測定する機能を付加した。今後、双方の比較検討を行う。

3. 532nm HSRL による洋上観測

洋上でのエアロゾルおよび雲(特に巻雲)の光学特性や鉛直分布の把握、そして衛星観測や数値モデルの検証用データの取得を目的として、2011年9月~11月の約3ヶ月間、インド洋上にて波長 532nm HSRL による船舶観測(研究船みらい/JAMSTEC)を実施した。光学特性測定要素は、波長 532nm での Rayleigh 成分と全成分に対する水平・垂直の偏光成分、波長 1064nm での全成分、そして波長 660nm での水蒸気ラマン散乱光(532nm 励起)となる(全5チャンネル)。ライダーシステムは多波長 HSRL 技術を転用して構築した。上記システムとの主な相違は、1064nm と 532nm のみのレーザー送信である点とより大きな口径の望遠鏡を仕様した点(22cm→35cm)を使用した点である。

観測結果の例を図2に示す。この日は、高度13km付近に巻雲が見られ、高度2km以下に境界層が形成されていた。推定された巻雲と境界層内エアロゾルのライダー比は、各々10~30sr、10~50sr であり、他の先行研究と整合する。また、導出された粒子偏光解消度と後方散乱強度の波長比(1064nm/532nm)は、巻雲に対して各々30~50%と1.2~2.0、境界層内エアロゾルに対して各々5%以下と1.0以下であった。

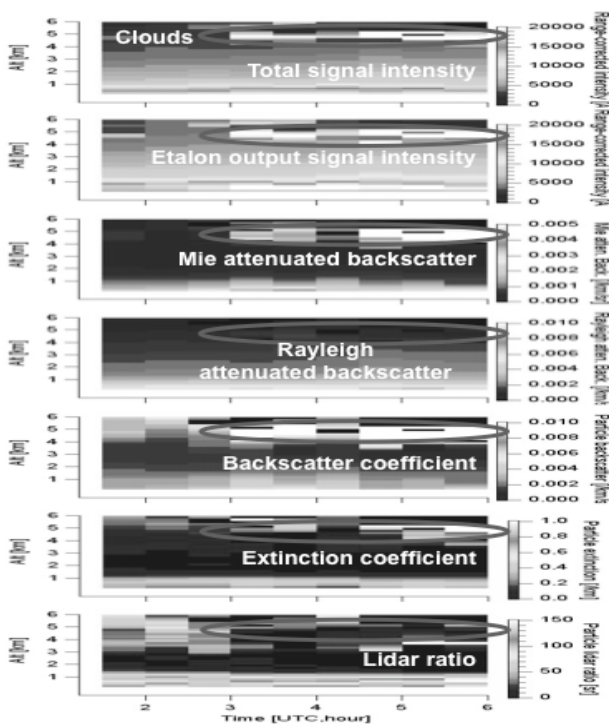


Fig.1. Results for daytime 355nm HSRL measurements. (10~15JST, July 1, 2010, at NIES, Tsukuba, Japan)

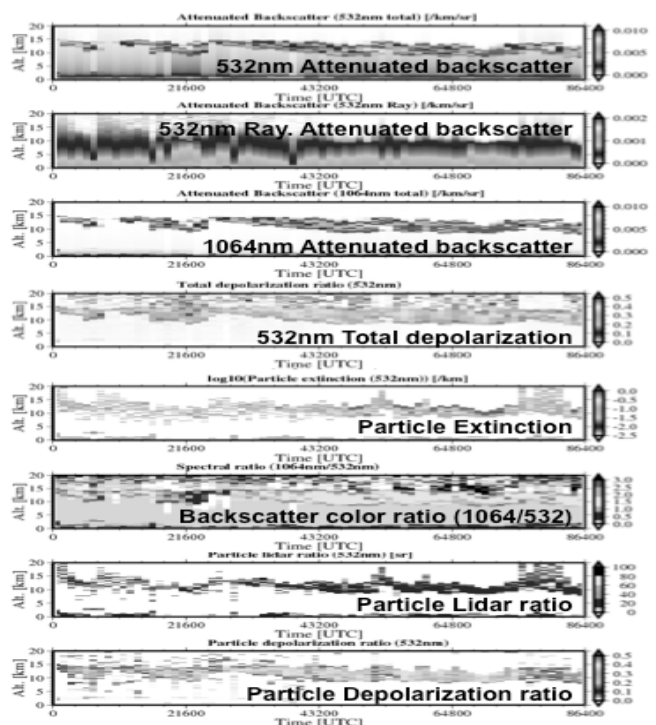


Fig. 2. Results for one-day shipborne 532nm HSRL measurements. (Nov 1, 2011, over Indian ocean (8S, 80E))

謝辞

みらい船舶観測において、千葉大鷹野教授に、本ライダー搭載用のスペース(千葉大所有の雲ライダーコンテナ)を提供して頂いた。本研究は H20-22 環境省環境研究総合推進費(旧環境研究・技術開発推進費)(課題番:B-0803)の助成のもと実施された。

参考文献

- [1] Sugimoto et al., 2003, *Geophys. Res. Lett.* 30, 1640. [2] Shimizu et al., 2004, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2002JD003253. [3] Nishizawa et al. 2011, *J. Quant. Spectro. Radiat. Trans.*, 112, 254-267. [4] Nishizawa et al., 2010, *Proc. of SPIE Vol. 7860, 78600D*. [5] Imaki et al. 2005, *Jpn. J. App. Phys.*, 44, 3063-3067. [6] Liu et al., 1999, *Optical Engineering*, 38, 1661-1670.