

地上サンプリングデータとの比較をめざしたラマンライダーの改善

恒吉智明, 末永義樹, Jamrud AMINUDDIN, 眞子直弘, 久世宏明
千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町 1-33)

Improvement of a Raman lidar system for comparison with ground-based aerosol sampling data
Tomoaki TSUNEYOSHI, Yoshiki SUENAGA, Jamrud AMINUDDIN, Naohiro MANAGO
and Hiroaki KUZE

Center for Environmental Remote Sensing(CEReS), Chiba Univ., 1-33, Yayoicho, Inage Ward, Chiba-shi, Chiba, 263-8522

Abstract: Lidar ratio, S_1 , refers to the ratio between the aerosol extinction and backscattering coefficients. Precise values of lidar ratio are indispensable for solving the lidar equation when analyzing multi-wavelength lidar data. In this work, we describe the improvement of a nitrogen Raman lidar system for obtaining S_1 in the lower troposphere for better comparison with the values predicted from the data concurrently measured with ground-based sampling instruments by applying Mie-scattering calculation.

Key Words: Raman LIDAR, ground sampling, aerosol, LIDAR ratio

1. はじめに

千葉大 CEReS ではこれまで大気データ収集ライダー(Atmospheric Data Collection Lidar, ADCL)を用いて、対流圏エアロゾルと雲の計測を行ってきた [1]. 多波長ライダーデータの解析においては、解析の際に消散係数と後方散乱係数の間に仮定するライダー比(S_1)を波長ごとに正しく与えることが不可欠である [2]. そのため、波長 355 nm のレーザー光を照射して得られる波長 387 nm の窒素ラマン信号からライダー比を導出し、地上サンプリングデータに対してミー散乱計算を行って得られた値との比較を行ってきた [3]. 本研究ではこの比較の精度向上のために、ラマンライダーについてはより地上付近の信号が得られるように同軸システムへの改善を行った. また地上サンプリングデータのフィッティングについてはより精度の高いミー散乱計算を行えるようにアルゴリズムを改善した. これらの改善によって得られるライダー比の比較について述べる.

2. 理 論

2.1 ラマンライダーによるライダー比の導出

ラマン散乱とは、分子の振動、回転状態を変化させることにより生じる散乱を指し、散乱光の波長が変化する(ラマンシフト)。観測では、ラマン散乱光と同時にミー散乱光、レイリー散乱光も測定し、大気分子の高度プロファイルを用いて大気分子によるレイリー散乱の寄与を取り除く。これによりラマン散乱信号からは式(1)に示すように消散係数が、ラマン散乱信号とミー散乱信号から式(2)に示すように後方散乱係数が求まり、これらによりライダー比を導出できる [4].

$$\alpha_{aer}(z) = \frac{\frac{d}{dz} \left\{ \ln \left[\frac{N_{ref}(z)}{P_{ref}(z) \cdot z^2} \right] \right\} - \alpha_{\lambda}^{mol}(z) - \alpha_{\lambda_{ref}}^{mol}(z)}{1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \right)^k} \quad (1)$$

$$\beta_{aer}(z) = [\beta_{aer}(z_0) + \beta_{mol}(z_0)] \times \frac{P_{\lambda_{ref}}(z_0) P_{\lambda}(z)}{P_{\lambda}(z_0) P_{\lambda_{ref}}(z)} \frac{N_{ref}(z)}{N_{ref}(z_0)} \times \frac{\exp \left\{ - \int_{z_0}^z \left[\alpha_{\lambda_{ref}}^{aer}(\xi) + \alpha_{\lambda_{ref}}^{mol}(\xi) \right] d\xi \right\}}{\exp \left\{ - \int_{z_0}^z \left[\alpha_{\lambda}^{aer}(\xi) + \alpha_{\lambda}^{mol}(\xi) \right] d\xi \right\}} - \beta_{mol}(z) \quad (2)$$

2.2 地上サンプリングによるライダー比の導出

ライダー比は消散係数、単一散乱アルベド、位相関数を用いて求めることができる。エアロゾルの形状として球状を仮定することで、通常のミー散乱の理論計算が適用でき、粒径分布、複素屈折率を与える形でのモデル化が可能である。本研究では、地上計測装置で計測した散乱係数、吸収係数、粒径分布を用いて、二峰性の粒径分布について 6 個 (規格化定数、モード半径、幅それぞれ 2 個ずつ)、複素屈折率について 6 個 (実部 2、虚部 4) の計 12 個のパラメータを仮定したエアロゾルモデルへのフィッティングを行うことでこれらを求め、ライダー比を導出した。

3. 計測装置

地上設置 ADCL ライダーシステムのミー散乱、ラマン散乱鉛直ライダー [3] を使用した。受信光はミー散乱チャンネル (355 nm) および窒素ラマン散乱チャンネル (387 nm) に分離し、PMT (浜松ホトニクス, H10304-20-NN) によりフォトンカウンティングを行った。動作波長は 355 nm (Continuum Surelite I-20, 100 mJ/pulse)、パルス繰り返しは 20 Hz、望遠鏡直径は 35 cm である。本研究ではこれ

までの2軸配置を改め、レーザー光と望遠鏡の視野軸が同一になるように光路を改修した。装置概要図を Fig. 1 に示す。

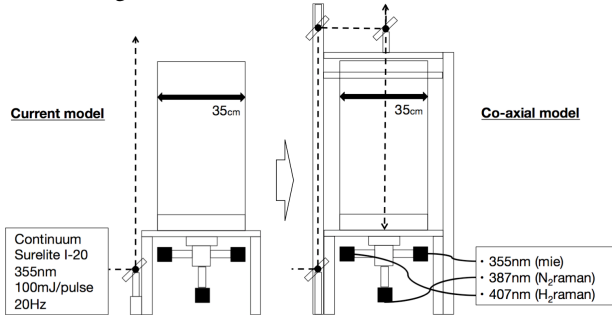


Fig. 1: Improvement of the lidar system

地上サンプリングには ADCL の地上校正値取得に使用している地上計測装置を用いた。地上計測装置はエアロメータ(Magee AE31), 積分型ネフロメータ (TSI 3563), パーティクルカウンタ (Rion KC-22B, Rion KC-01D) から成り、それぞれから吸収係数, 散乱係数, 粒径分布が得られる。

4. 観測結果

Fig.2 の左にミー散乱チャンネル, 窒素ラマンチャンネルで取得した距離二乗補正信号とラマン信号のフィッティング結果, 中央にミー散乱チャンネルから Fernald 法を用いて算出した消散係数とラマンチャンネルから算出した消散係数, 右に 355nm におけるライダー比を示す。データは 2016 年 7 月 28 日 21 時 52 分に, 両チャンネル共に積算時間 30 分で取得したものである。解析の際に必要な窒素分子の高度プロファイルには, 同日 21 時 00 分の館野(36.05° N, 140.12° E)におけるラジオゾンデデータを用いた。

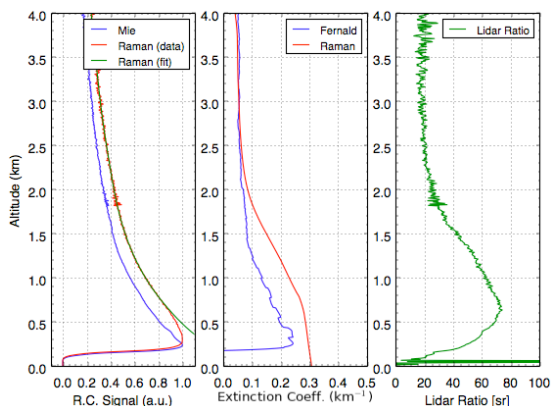


Fig. 2: Result of analysis of Raman LIDAR signal

最適化されたエアロゾルのパラメータのうち粒径分布について仮定したパラメータを Table 1 に, 複素屈折率について仮定したパラメータを Table 2 に示す。算出した消散係数, 単一散乱アルベド, 散乱係数, 後方散乱係数, 波長 370nm にお

けるライダー比を Table 3 に示す。

Table 1: Resulting values of particle size distribution

| Normalization constant | Mode radius (μm) | Width |
|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| $N_1=9.3\text{E}-1$ | $M_1=5.8\text{E}-1$ | $W_1=2.2\text{E}-1$ |
| $N_2=5.6\text{E}+3$ | $M_2=5.2\text{E}-2$ | $W_2=1.8\text{E}-1$ |

Table 2: Resulting values of complex refractive index

| Real part | Imaginary part (10^{-4}) |
|---------------------------|------------------------------|
| $n(450\text{ nm}) = 1.43$ | $k(370\text{ nm}) = 4.22$ |
| $n(700\text{ nm}) = 1.52$ | $k(520\text{ nm}) = 4.73$ |
| | $k(660\text{ nm}) = 5.48$ |
| | $k(950\text{ nm}) = 6.27$ |

Table 3: Result of fitting(370nm)

| | |
|---|-----------------|
| Extinction coefficient (km^{-1}) | 0.01 |
| Single scattering albedo | 0.69 |
| Scattering coefficient (km^{-1}) | 0.007 |
| Backscattering coefficient ($\text{km}^{-1}\text{sr}^{-1}$) | $1.3\text{E}-4$ |
| Lidar ratio (sr) | 77.5 |

5. まとめ

ラマンライダーの同軸化により S/N の高いライダー比の高度分布を得られた。地上付近については更にフィッティングの改善や適切な重なり関数の適用により改善が見込める。地上サンプリングデータのフィッティング結果は高めにでたが, サンプリングの際の吸引に伴う急激な乾燥による水溶性エアロゾルの粒形の変化が影響している可能性が高い[5]。今後, 適切な湿度補正を加えれば比較の有効性が高まることが期待される。

参考文献

- 1) Y. Mabuchi *et al.*: *Multi-wavelength lidar system for the characterization of tropospheric aerosols and clouds* (IGARSS, 2012 IEEE International, 2012) pp.2505-2508
- 2) Y. Mabuchi *et al.*: *Measurement of urban aerosols in Chiba using Atmospheric Data Collection Lidar System* (31LSS 予稿集, 2013) pp.116-117
- 3) K.H. Lee and Y.M. Noh: *Multi-wavelength Raman LIDAR for Use in Determining the Microphysical, Optical, and Radiative Properties of Mixed Aerosols* (AJAE, 2015) p. 91-99
- 4) T. Tsuneyoshi *et al.*: *Comparison of lidar ratio derived from Raman lidar and ground-based aerosol sampling* (33LSS 予稿集, 2015)p.30-31
- 5) N. Lagrosas, T. Tsuneyoshi, N. Manago, H. Kuze, *Study of hygroscopic properties of tropospheric aerosols for calibrating remote sensing observations*, ISRS 2016 (Jeju, Korea), April, 2016