

多波長ライダーデータによる対流圏エアロゾル特性の解析

Analysis of tropospheric aerosol properties by using multi-wavelength lidar data

○大嶋泰介¹、深川俊介¹、久世宏明¹、竹内延夫¹、林慎太郎¹、矢吹正教²

○Taisuke Oshima¹、Shunsuke Fukagawa¹、Hiroaki Kuze¹、Nobuo Takeuchi¹、

Shintaro Hayashi¹、Masanori Yabuki²

¹千葉大学環境リモートセンシングセンター、²国立極地研究所

¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, ²National Institute of Polar Research

Abstract: We propose an algorithm that determines the aerosol extinction profiles and the S_1 parameters in the troposphere from multi-wavelength (355, 532, 756, 1064nm) lidar data. In this method, the extinction coefficient and the S_1 parameter are determined for each wavelength by an iteration procedure in which the extinction profiles are calculated using the conventional Fernald method, and the resulting extinction at the ground level is compared with the concurrent calibration data obtained from a scatterometer based on an integrating sphere.

1. はじめに

多波長 Mie 散乱ライダーにより、大気エアロゾルの消滅係数プロファイルを導出できる。多くの場合、Fernald 法¹⁾を用いて解析が行われるが、その際、各波長に対して遠方の積分開始点での消滅係数と S_1 パラメータ（消滅係数と後方散乱係数の比）の値を与える必要がある。粒形分布と対流圏エアロゾルの複素屈折率を適宜仮定した Mie 散乱理論による計算から、対流圏エアロゾルの S_1 の値は 10 ~ 100 sr の範囲で変化すると予想される。この不定性は、得られる消滅係数プロファイルの不定性に直接結びつくため、 S_1 の決定法について実用的な手段を考案する必要がある²⁾。ラマンライダーや高スペクトル分解能ライダーの観測から S_1 を決められるが、一般によく S/N で観測を行うことが難しく、また、適用波長にも制限がある。

以前の研究³⁾で示したように、晴天の日中の観測データであればサンフォトメータを利用してライダーデータの較正ができる。すなわち、ライダーの消滅係数を積分して得られる光学的厚さがサンフォトメータによる値と一致する条件から、各波長での S_1 を定めることができる（ τ マッチング法）。本報告では、積分球を利用した地上での多波長散乱係数の測定システム⁴⁾による計測値を活用した、より一般的な較正法を提案する。

2. 地上消滅係数の導出

積分球システムでは、波長 $\lambda = 532\text{nm}$ および 633nm での散乱係数 $\alpha_{\text{scat}}(\lambda)$ が測定できる。ライダーデータの解析に必要な消滅係数を導出するには、これに 10% 程度の吸収係数の補正を行う必要がある。本実験では地上吸収係数測定にサンプリングフォトメータ (SP) を用いており、その波長は 570nm である。SP の吸収係数 $\alpha_{\text{abs}}(570)$ に対して Mie 散乱理論に基づく波長補正係数を適用して $\alpha_{\text{abs}}(\lambda)$ ($\lambda = 355, 532, 633, 755, 1064$) を求める。積分球システムでの二波長に対する消滅係数が、散乱と吸収の和として定まるので、

$$\alpha_{\text{ext}}^{(0)}(\lambda) = \alpha_{\text{ext}}(532) \left(\frac{532}{\lambda} \right)^{-b} \quad (1)$$

によりオングストロームパラメータ b を決め、これに基づいて他のライダー波長での地上消滅係数値を導出する。

3. 解析アルゴリズムと結果

単散乱を仮定した場合、Mie 散乱ライダーによって受光されるライダー信号は、次式によって与えられる。

$$P(z) = P_0 \frac{c \tau}{2} AK \frac{G(z)}{z^2} \beta(z) \exp \left[-2 \int_{z_0}^z \alpha(z') dz' \right] + P_b \quad (2)$$

ここで $\beta(z)$ は後方散乱係数であり、他は通常の記号である。実際の解析プロセスでは、A スコープとして受信光強

度 $P(z)$ を測定し、これにバイアス P_b および距離二乗の補正を行って、 $X(z) = (P - P_b)z^2 / G(z)$ を得る。

一方、エアロゾルと空気分子の参照プロファイルを準備し、次のようにして距離二乗参照信号 $X_{ref}(z)$ を得る。

$$X_{ref}(z) = C \left(\frac{\alpha_1(z)}{S_1(z)} + \frac{\alpha_2(z)}{S_2} \right) \exp \left[-2 \int_0^z \alpha_1(z) dz - 2 \int_0^z \alpha_2(z) dz \right] \quad (3)$$

ここで、 C は重なり関数を含む装置定数、 S_2 は空気分子の消散係数と後方散乱係数の比 (α_2 / β_2) である。空気分子については米国標準大気モデルを用い、エアロゾルについては筑波で4年間観測されたエアロゾル消散係数プロファイルのモデル⁵⁾ (Sasano Model) を利用する。実測の信号 $P(z)$ にバイアス補正・距離二乗補正を行うに当たっては、 $X(z)$ が参照プロファイル $X_{ref}(z)$ に遠方でフィットするようにバイアスを設定する (Fig. 1) : すなわち、次式

$$err = \sum_{z=z_s}^{z_e} (X - X_{ref})^2 \quad (4)$$

で定義される誤差が最小になるようにする (z_s および z_e は、このフィッティングを行う高度範囲を表す)。

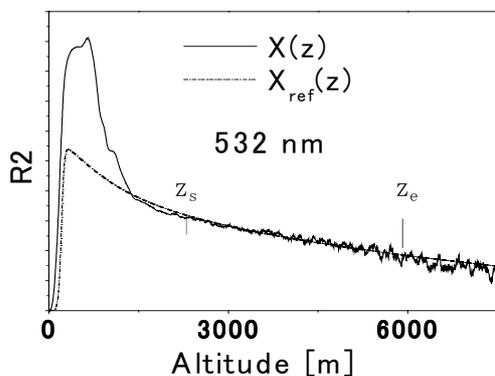


Fig. 1 $X(z)$ and $X_{ref}(z)$ (2004/8/4)

こうして得られた補正信号に対して Fernald 法を適用し、消散係数 $\alpha_1(z)$ が得られる。なお、遠方の参照高度については、上記のフィッティングから消散係数値は既知としてよい。得られた消散係数を高度 $z=0$ km 付近に外挿した値が、前節で述べた地上での消散係数に一致するように反復計算を行い、 S_1 パラメータの値を定める。

このようにして得られた結果の一例を Fig. 2 に示す。こ

の例では、波長 355, 532, 1064nm に対して S_1 は 41.5, 40.9, 17.3sr になった。

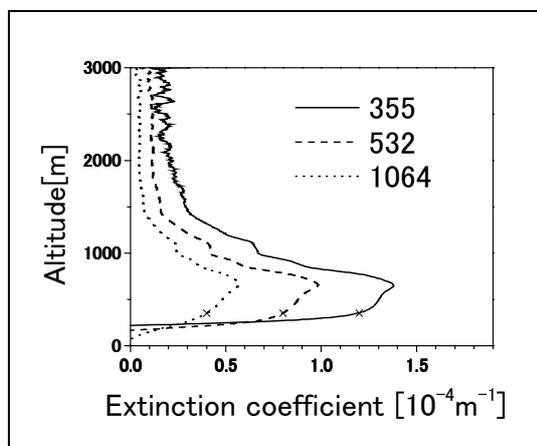


Fig. 2 Aerosol extinction profile (2004/8/4)

今後、本方式による結果と、 τ マッチング法³⁾、高度ごとにエアロゾルの粒径分布が定まる LUT 法²⁾ との比較を行っていききたい。

参考文献

- 1) F.G.Fernald (1984) Analysis of atmospheric lidar observations: some comments Appl. Opt. Vol. 23, No. 5, pp. 652-653.
- 2) M. Yabuki, H. Kuze, H. Kinjo, N. Takeuchi (2003) Determination of vertical distributions of aerosol optical parameters by use of multi-wavelength lidar data, Jpn. J. Appl. Phys., 42(1) pp. 686-694.
- 3) H. Kinjo, H. Kuze, T. Takamura, N. Takeuchi (2001) Determination of aerosol extinction-to-backscattering ratio from multiwavelength lidar observation, Jpn. J. Appl. Phys., 40(1) pp. 434-440.
- 4) S. Fukagawa, H. Kuze, N. Lagrosas, N. Takeuchi (2004) Development of an aerosol scatterometer using an integrating sphere for lidar data calibration, 22nd ILRC (Matera), pp. 283-286.
- 5) Y. Sasano (1996) Tropospheric aerosol extinction coefficient profiles derived from scanning lidar measurements over Tsukuba, Japan, from 1990 to 1993, Appl. Opt. 35(24), p. 4941-4952.