

反復処理による消散係数対後方散乱係数比の最適化

Iterative optimization of extinction / backscatter ratio

伊藤 嘉則 五百旗頭 健吾 豊田 啓孝 和田 修己 古賀 隆治

Yoshinori Itoh, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota, Osami Wada, Ryuji Koga
岡山大学工学部通信ネットワーク工学科

Dpt. of Communication Network Eng., Okayama University

Error in extinction / backscatter ratio leads to error in extinction coefficient with Fernald's method. We propose an iterative method that optimizes the extinction / backscatter ratio of an aerosol layer. This method uses both backward and forward integrations. One of the features of this method is that only one atmosphere profile measured with the Mie LIDAR suffices the calculation process.

1 概要

Fernald 法によりミー散乱ライダーで取得した距離補正後方散乱光強度(以下、ライダー信号)から消散係数を求めることができる[1-2]。この際、境界値と消散係数対後方散乱係数比(以下、ライダー比)の設定誤差が消散係数の計算結果に大きな影響を及ぼす。これまでに、境界値の設定誤差は、エアロゾルによる散乱を無視できる高度を境界高度に設定することで小さくできることが知られている。そして、ライダー比の設定誤差は、ミー散乱ライダー以外の装置で取得したデータを用いて低減する方法が提案されている。しかし、後者については効果的な方法は見つかっていない[3-4]。

そこで、Fernald 法の backward 法と forward 法を用いて消散係数を算出し、その結果を元に反復処理することでエアロゾル層のライダー比を最適化する方法を提案する。この方法はミー散乱ライダー以外の測定結果を必要としないという大きな特長を持つ。この方法を用いると、適切な境界値を与えれば高い精度でライダー比を求めることができる。

2 ライダー比の最適化方法

ライダー信号 $X(z)$ 、消散係数 $\sigma_1(z)$ 、ライダー比 $S_1(z)$ のモデル大気を考える。このモデル大気は Fig.1 のように高度 $z_{aerosol}$ に消散係数 $\sigma_1(z_{aerosol})$ 、ライダー比 $S_1(z_{aerosol})$ のエアロゾル層を持つ。以下では、Fernald 法で設定するエアロゾル層のライダー比 $S'_1(z_{aerosol})$ の最適化方法について説明する。(Fernald 法で設定または算出したパラメータには「 \prime 」をつけて表記する。)

Fig.1 のようにエアロゾル層の上下に境界高度 $z_c = z_f, z_c = z_b$ を設定し、forward 法と backward 法により消散係数 $\sigma_1(z) = \sigma'_{1f}(z)$ 、 $\sigma_1(z) = \sigma'_{1b}(z)$ を算出する。すると、 $\sigma_1(z)$ の算出結果は境界高度 z_c と $S'_1(z_{aerosol})$ の与え方により異なる。ここで、境界

値 $\sigma_1(z_c)$ が適切で、 $S'_1(z_{aerosol}) < S_1(z_{aerosol})$ の場合、forward 法で求めたエアロゾル層の消散係数 $\sigma'_{1f}(z_{aerosol})$ は、backward 法で求めたエアロゾル層の消散係数 $\sigma'_{1b}(z_{aerosol})$ より経験的に必ず小さくなる。この性質を利用して、Fig.2 に示す手順で $S'_1(z_{aerosol})$ を最適化する。

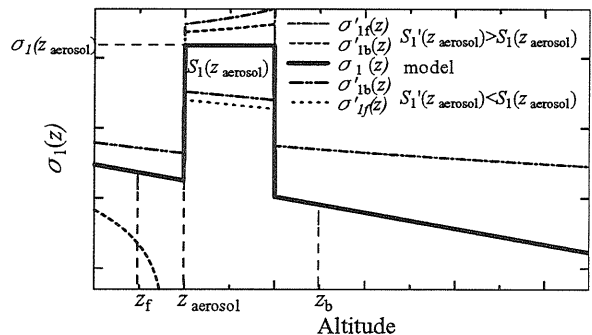


Fig. 1 Modeled and figured out profiles of extinction coefficient.

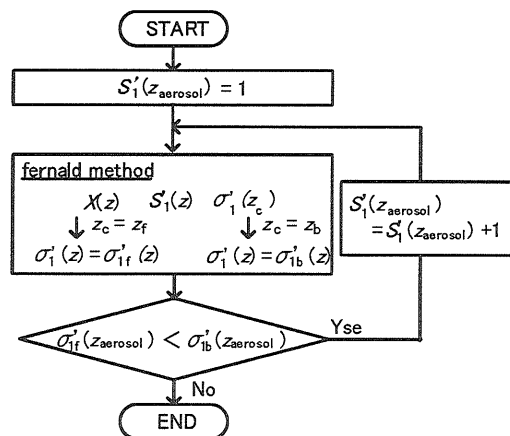


Fig. 2 Iterative optimization of $S'_1(z_{aerosol})$.

3 $S'_1(z_{aerosol})$ 最適化方法の検討

パラメータ $\sigma_1(z)$ 、 $S_1(z)$ のモデル大気を与え、この2つからライダー方程式によりライダー信号

$X(z)$ を作成し解析する。このモデル大気は $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ 、 $S_1(z_{\text{aerosol}})$ が一定で厚さ 1km のエアロゾル層を持つ。以下では、このモデル大気で最適化した $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ の誤差と $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ 最適化後の $\sigma_1'(z_{\text{aerosol}})$ の誤差を示し、提案した $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ 最適化方法について検討する。

(i) 境界値 $\sigma_1(z_0)$ を正しく与えている場合

モデル大気では $\sigma_1(z)$ を与えているので、モデルの解析では正しい境界値 $\sigma_1(z_0)$ を与えて計算できる。ここで、正しい境界値 $\sigma_1(z_0)$ を与えて最適化したときの誤差を Fig.3 に示す。

Fig.3 のように $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ が小さいときは $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ を完全に一致させることができる。しかし、 $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ が大きくなると誤差が大きくなる。これは、forward 法では $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ が大きくなると解が不安定となり $\sigma_1'(z)$ が発散してしまうためである。

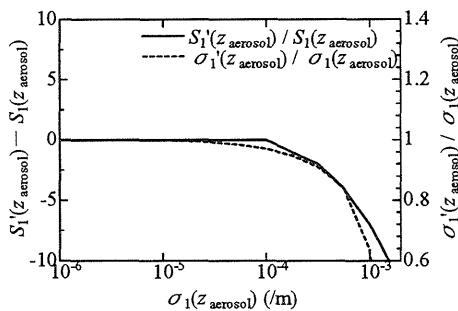


Fig.3 Errors as a function of the $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ when boundary value is correctly given. ($S_1(z_{\text{aerosol}})=30$, $\sigma_1(z_0)=1.7 \times 10^{-7}(/m)$).

(ii)境界値 $\sigma_1(z_0)$ を 0 と置いた場合

ミー散乱ライダーで観測により取得したライダー信号を元に消散係数を算出する場合、エアロゾルによる散乱を無視できる高度を境界高度とするならば境界値 $\sigma_1(z_0)$ を 0 と置いて差し支えない。しかし、実際の大气ではエアロゾルによる散乱を完全に無視することはできない。そこで、観測により取得したライダー信号を用いて $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ を最適化することを想定し、境界値 $\sigma_1(z_0)$ を 0 と置き最適化したときの誤差を求めた。これを Fig.4 に示す。

Fig.4 から境界値 $\sigma_1(z_0)$ を 0 と置いた場合は $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ が小さいときも誤差を生じることが分かる。これは $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ が小さくなるにつれ、Fernald 法で消散係数を算出する際、 $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ に対して境界値 $\sigma_1(z_0)$ の影響を無視できなくなるためである。

次に、境界値 $\sigma_1(z_0)$ を 0 と置くことの誤差が提案した $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ 最適化方法に与える影響について考える。ここで、境界値 $\sigma_1(z_0)$ を変えて最適化したときの誤差を Fig.5 に示す。

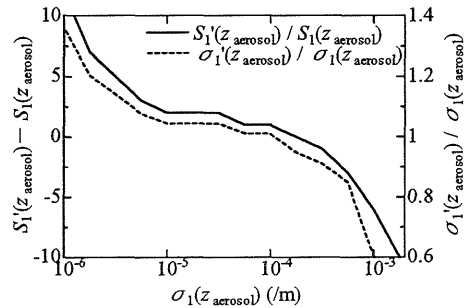


Fig.4 Errors as a function of the $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})$ when wrong boundary value is given. ($S_1(z_{\text{aerosol}})=30$, $\sigma_1(z_0)=1.7 \times 10^{-7}(/m)$).

Fig.5 より、 $S_1(z_{\text{aerosol}})=30$ 、 $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})=1.0 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-4}(/m)$ 、境界値 $\sigma_1(z_0)=1.0 \times 10^{-6}(/m)$ 以下のとき、 $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ の誤差は 3~8 で $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ 最適化後の $\sigma_1'(z_{\text{aerosol}})$ の誤差は 1~2 割程度となることがわかる。大気が澄んでいれば消散係数は $1.0 \times 10^{-6}(/m)$ 以下となるので、観測により取得したライダー信号を用いた $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ 最適化も期待できる。

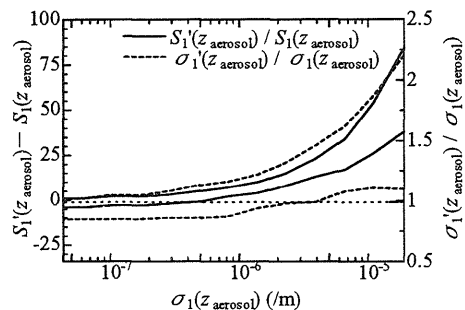


Fig. 5 Errors as a function of the $\sigma_1(z_0)$ when wrong boundary value is given. ($S_1(z_{\text{aerosol}})=30$, $\sigma_1(z_{\text{aerosol}})=1.0 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-4}(/m)$).

4 まとめ

今回提案した方法で、エアロゾル層のライダー比を最適化できることがわかった。この方法は境界値を 0 と置いた場合でも、境界値が十分小さければ効果を発揮する。今後はミー散乱ライダーで観測により取得したライダー信号を元に $S_1'(z_{\text{aerosol}})$ の最適化を試みる。また、この手法をより広い条件で使用できる方法を考える。

5 参考文献

[1] Sasano, V. Browell, and Syed Ismail, *Appl. Opt.* vol.24, pp.3929-3932 (1985).
 [2] D. Klett, *Appl. Opt.* vol.24, pp.1638-1643 (1985).
 [3] A. Young, *Appl. Opt.* vol.34, pp.7019-7031(1995).
 [4] Kinjo, *et al., Appli. Phys.* vol.40, pp434- 440.