

スラントパス法を用いた成層圏大気の光学的厚さの計測

Lidar Measurements of Optical Thickness  
of the Stratosphere by the Slant Path Method

飯倉善和、林田佐智子、清水浩

Y. Ikura, S. Hayashida, and H. Shimizu

国立公害研究所

The National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

大気の状態が水平方向に一様な場合、レーザーの発射角度を変えて測定した信号を比較することにより大気的光学的厚さを後方散乱係数とは独立に求めることが可能である。この方法はスラントパス法として知られており、これまで対流圏や中間圏における光学的厚さの計測が試みられている。しかしスラントパス法による大気的光学的厚さの計測は誤差にたいして非常に敏感なため、測定やデータ解析上において高い精度が要求される。

本論では、スラントパス法で問題となる測定誤差の要因とその対策を検討するとともに実測データの統計的解析からえられた光学的厚さの計測結果を示す。

2. 測定誤差要因

スラントパス法における誤差要因として、以下の点に関する検討が必要となる。

1) レーザーレーダーの測定信号には、Fig. 1 に示すように背景光雑音や光電子増倍管で生ずる系統的雑音が含まれる。著者らは光電子増倍管の応答特性の実験データに基づいた系統的雑音の補正およびマッチング法の統計的観点からの改良を行った。その結果、Fig. 2 (b)に示したように高度30 km以上でレイリー散乱の計算値に良く一致した後方散乱比の鉛直プロファイルが得られた。

2) スラントパス法ではデータ解析で用いる高度として、地球の曲率とレーザー光の屈折を含んだ正確な高度の位置決めが必要となる。これに関して、筆者らは次の light ray equation に基づいた正確な位置決めの手続きを開発した。

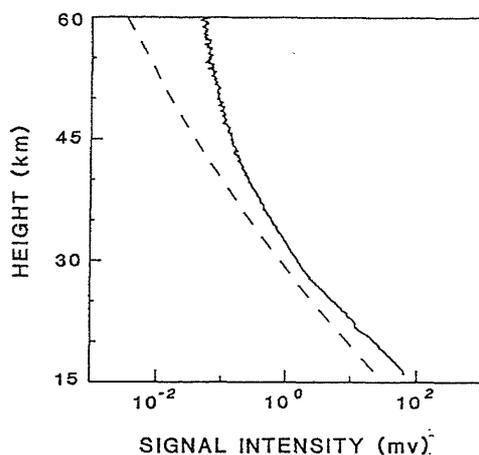


Fig.1 レーザーレーダーの受信信号の計算値と測定値

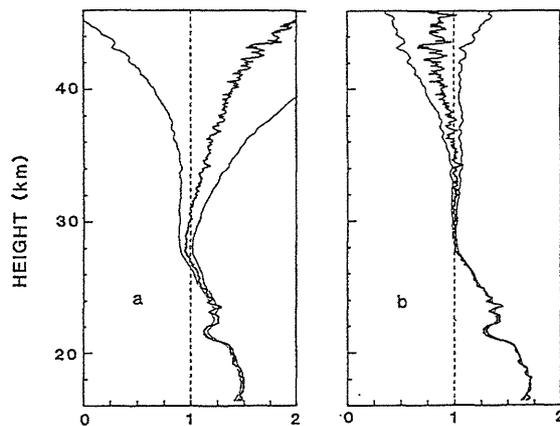


Fig.2 後方散乱比の鉛直プロファイル  
a. 従来の方法 b. 改良した方法

$$R n_o \sin \theta_o = (R + y) n_y \sin \theta_y$$

3) スラントパス法では大気水平方向の一様性が仮定されるが、成層圏において、この仮定がどの程度妥当であるかを成層圏の立体的観測により確認する必要がある。

### 3. 実測データの解析

#### (1) 測定データ

測定は1984年2月20日の夜間に、方位（東、南）と高度角（50°, 35°, 25°, 20°）を変えて行い、計8個の測定データを得た。また各測定では10000発のレーザーパルスを発射し、データとしてはその積算平均値を用いた。

測定データに対して、系統的雑音の補正と統計的マッチング法によるキャリブレーションを行い、次に示す光学的厚さの影響を含む大気の後方散乱係数の値を求めた。

$$\beta^*(h, \theta) = \beta(h) \exp(2\tau_h^*/\sin\theta)$$

但しマッチングは高度（ $h^*$ ）32 kmの近傍2 kmの範囲のデータについて行った。

Fig. 3 に、得られた $\beta^*$ と空気分子の後方散乱係数の比である後方散乱比の鉛直プロファイルを示した。このデータでは高度30 km付近までエアロゾルが存在しているが、これは約1年前のエルチチョンの噴火によるエアロゾルである。

1984 FEB.20 (EAST)

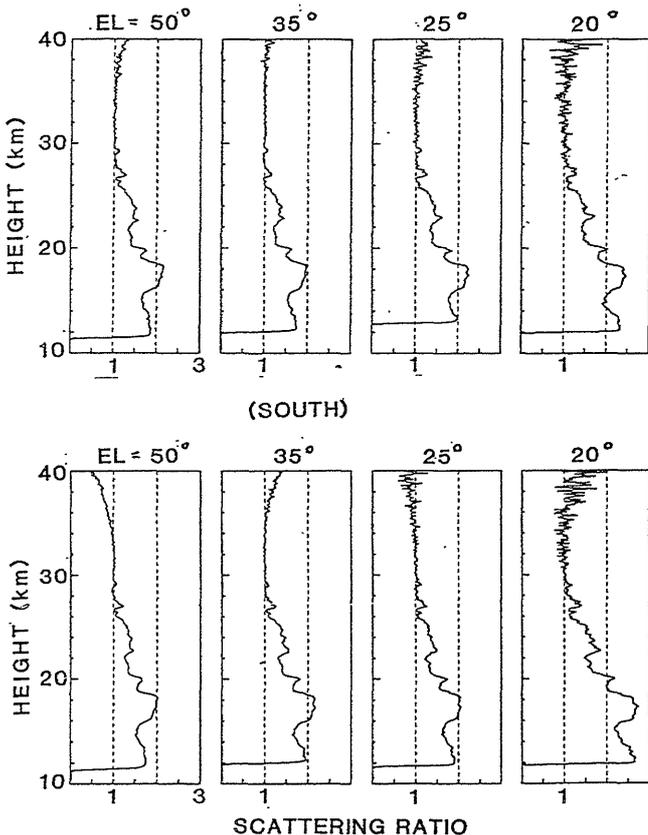


Fig. 3 スラントパス法に用いた測定データ

解析に用いた高度は地球の曲率とレーザー光の大気中の屈折の影響を補正したものであり、各測定データに表れたエアロゾル層のピークの高度の系統的な違いはみられない。ただし方位を東に取った測定では、高度20 kmと高度23 kmのピークに数100 mの変動がみられた。

#### (2) 光学的厚さの解析

Fig. 3 では、高度角が小さくなるにしたがい高度30 km以下の後方散乱比の値が増加している。これは $\beta^*$ にふくまれる光学的厚さが高度角により異なるためである。この対数をとって $\log \beta^*$ と $\operatorname{cosec} \theta$ をそれぞれ目的変数 $Y$ と説明変数 $X$ とすれば、光学的厚さ $\tau$ は次の回帰式の回帰係数となる。

$$Y = 2\tau X + \log(\beta(h))$$

最小自乗法を用いて、8個の測定データから光学的厚さを推定した結果をFig. 4に示した。但しデータの精度を高めるため各高度の近傍1 kmの測定データを指数関数を用いて内挿した結果を光学的厚さの計算に用いた。また光学的厚さは測定信号の変動の小さい高度21 kmから対象とする高度までの値として示した。さらに回帰分析における誤差の解析から、光学的厚さの標準誤差を求めた結果を図に示した。

Fig. 4 より、高度13 kmから21 kmまでの光学的厚さは0.055、高度21 kmから30 kmまでは0.023となる。またこの時の測定精度は各々8%と60%であった。

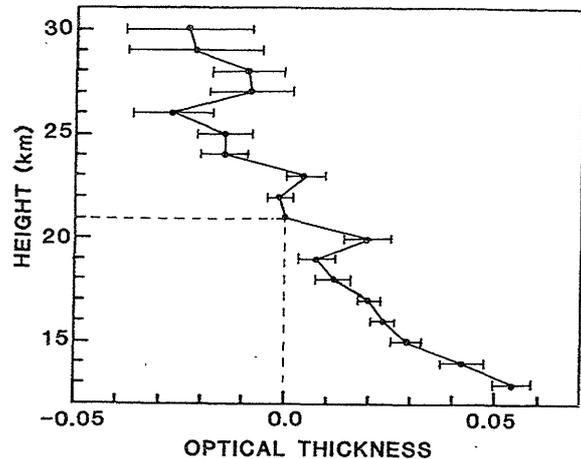


Fig. 4 光学的厚さの解析結果