

M R I マーク II ライダーによる成層圏オゾンの観測
 Observation of Stratospheric Ozone by the MRI mark II Lidar

藤本 敏文 内野 修 水野 芳成

T.Fujimoto, O.Uchino and Y.Mizuno

気象庁 気象研究所

Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

ABSTRACT: By Differential Absorption Lidar (DIAL) technique, ozone concentration is retrieved from backscatter signals from atmosphere. There are some algorithms to retrieve ozone concentration based on the DIAL method. The error caused by smoothing behaves differently on each method. Comparing with each technique and finding their character are useful for world wide campaigns such as the NDSC.

1. はじめに

ライダー信号からオゾン密度を求める手法として、現在我々気象研究所で用いているものの他に世界中で何種類かのアルゴリズムが作成され用いられている。これらの手法と比較検討を行うことにより、我々のアルゴリズムの再評価を行う。また、近年進められているNDSC等世界的なオゾン観測ネットワーク建設構想においても、ライダーはオゾン観測の主要な手段として位置づけられていることから最適な手法の検討も行う。

2. シミュレーションによるオゾン密度導出アルゴリズムの比較

シミュレーションをするにあたっては、オゾン密度及び大気密度の高度分布を仮定 (U.S. Standard model, 1976) し、エアロゾルの影響は無視して計算する。今回比較したアルゴリズムは、①気象研究所、②フランスグループ (Pelon et al, 1982)、③国立環境研究所 (Sasano et al.) の3つの方法をもとにしたものである。以下にその概略を述べるが、それぞれライダー方程式

$$n_i(z) = k n_0 L \beta_i(z) \exp \left[-2 \int_0^z \{ \alpha_i(r) + \sigma_i N(r) \} dr \right] / z^2 \quad (1)$$

から導出されている。ここで、 n は受信光電子数、 k はシステム定数、 n_0 はレーザーパルスに含まれる光子数、 L は検出器の距離分解能、 β_i は大気の後方散乱係数、 α_i は大気の消散係数、 σ_i はオゾンの吸収断面積、 N はオゾンの平均密度、 ΔZ は距離分解能を示し、添字 $i = 1$ がオゾンによる吸収が大きい波長のもの、 $i = 2$ が吸収が小さい波長をあらわしている。

①の方式

ライダー方程式より、高度 Z と $Z' = Z + \Delta Z$ 間のオゾンの平均密度は、波長 λ_1 と波長 λ_2 の受信光電子数から次のように求めることができる。T はレーリー散乱による減衰の補正項である。

$$\bar{N}(z) = \frac{1}{2(\sigma_1 - \sigma_2)\Delta Z} \left\{ \ln \left(\frac{n_1(z)n_2(z')}{n_1(z')n_2(z)} \right) \right\} + T \quad (2)$$

また、計算に際しては、100m 毎に取得した受信信号を 1 km 毎に積算したものを受信光電子数として用いる。

②の方式

ライダー方程式で $D_i(z)$ を

$$D_i(z) = \frac{d}{dz} \left(-\ln(z^2 n_i(z)) \right) \quad (3)$$

と定義する。この式中の微分項は、被微分項を最小2乗法で2次式に近似させて、1次の微係数を求めることによって得られる。次に、高度ZとZ' = Z + ΔZ間において、

$$\bar{D}_i(z) = \frac{1}{\Delta z} \int_z^{z'} D_i(r) dr \quad (4)$$

とおくと波長λ₁と波長λ₂の2つの受信光電子数から以下の式でオゾン密度が表わせる。

$$\bar{N}(z) = \frac{\bar{D}_1(z) - \bar{D}_2(z)}{2(\sigma_1 - \sigma_2)} + T \quad (5)$$

③の方式

ライダー方程式より、オゾン密度は次のように表わすことができる。

$$N(z) = \frac{1}{2(\sigma_1 - \sigma_2)} \frac{d}{dz} [\ln \{n_1(z)/n_2(z)\}] + T \quad (6)$$

ここで、(7)式の右辺の微分項は、被微分項を最小2乗法で2次式に近似させ、その1次微係数を求めることによって得る。この場合、距離分解能は最小2乗法で近似させる際に用いた幅と定義する。

3. 平滑化によって生じる誤差

実際の受信信号は大気の散乱吸収によりかなり弱くなる為に、高度が高くなるとばらつきが大きくなってしまふ。そこで、このばらつきを抑える為に平滑化を行う必要がある。具体的には、

①の方式：1 km毎に積算した信号の移動平均をとる幅（スムージング幅：SM）、距離分解能Δzを変える。

②の方式：2次式に近似させる際の幅（スムージング幅：SM'）及び距離分解能Δzを変える。

③の方式：2次式に近似させる際の幅（＝距離分解能Δz）を大きくする。

このような平滑化を行って各々の平滑化のパラメータによる各アルゴリズムにあらわれる誤差を計算してみる。オゾン密度としてU.S. standardのオゾン分布を仮定した場合、平滑化の結果はそれぞれFig. 1～3に示す通りで、3つの手法とも平滑化の幅を大きくすると高度が高くなると正のバイアスが大きくなっていく。それぞれ平滑化の定義が違うので単純には比較できないが、③、②、①の順で誤差は小さくなっている。これは、その平滑化の回数が多いと誤差も大きくなっていることを表わしている。したがって、①の方式では、SM = 1 Kmとして、30 Km以下ではDZ = 1 Km、30～40 Km間ではDZ = 3 Kmを用いると、バイアスとして1～1.5%以下に押さえることができる。

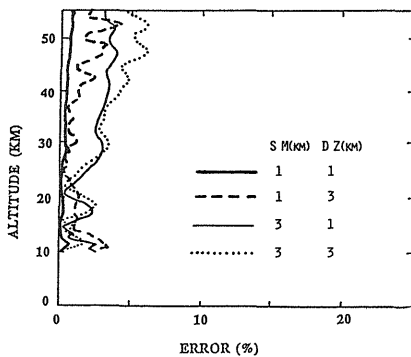


Fig. 1 Algorithm ①

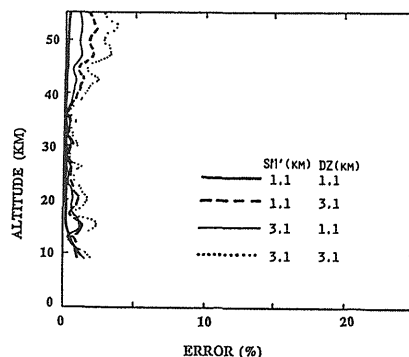


Fig. 2 Algorithm ②

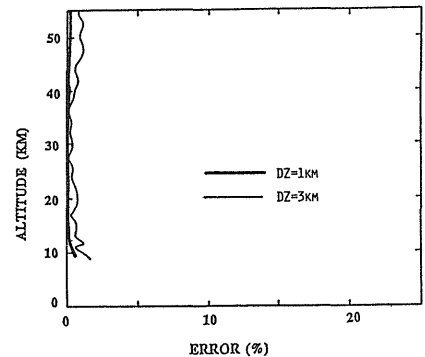


Fig. 3 Algorithm ③