

E 4

3 波長 DIAL 信号解析の新しい方法

A new method for three-wavelength DIAL measurements

笹野泰弘、中根英昭

(Yasuhiro Sasano, Hideaki Nakane)

国立公害研究所

(The National Institute for Environmental Studies)

SYNOPSIS: The present paper describes a new method to analyze the signals for the three-wavelength DIAL measurements. The method described here can eliminate the aerosol terms in the DIAL equations. By assuming the functional form of the wavelength dependence in aerosol extinction and backscatter coefficients and the homogeneity in the wavelength-dependence parameters along the laser path, the two pairs of DIAL signals are solved simultaneously to give the parameters of wavelength dependence which generate identical ozone profiles.

DIAL 測定データの解析におけるシステマティックな誤差として、空気分子による消散と散乱に起因する誤差と、エアロゾルによる消散と散乱に起因する誤差があることはよく知られているところである。このうち、空気分子による部分は空気分子密度の鉛直分布が知られていれば容易に補正することが出来る。これに対してエアロゾルによる部分は、エアロゾルの混合比が一定でなく、また消散係数の波長依存性が未知であるために通常の二波長を用いた DIAL 測定では補正をすることは容易ではない。Browellらは、off-line 信号についてレーザーレーダー方程式を解いてエアロゾル分布を求め、エアロゾル項の補正を行った。以下ではこれを一般化した解法を示し、さらに3波長に拡張することでエアロゾルの光学的な性質の波長依存性のパラメータまで決定出来ることを示す。今、波長 λ に対するレーザーレーダー方程式は次のように書ける。

$$X(R) = P(R)R^2 \\ = K[\beta_1(R) + \beta_2(R)] \exp[-2 \int_0^R \{\alpha_1(r) + \alpha_2(r) + \sigma N(r)\} dr] \quad (1)$$

ここで記号は慣用に従った。ただし、 σ は吸収気体の吸収断面積、 N は気体の数密度を表わす。また、添字の 1、2 はエアロゾル、空気分子に関係する量を意味する。消散係数と後方散乱係数の間に比例関係を仮定すると散乱パラメータを S_1 、 S_2 として次の式が成立する。

$$\alpha_1 = S_1 \beta_1 \\ \alpha_2 = S_2 \beta_2$$

次の式で定義する全後方散乱係数 $y(R)$ を用いると

$$y(R) = \beta_1(R) + \beta_2(R), \quad (2)$$

(1) 式は次のように変換される。

$$X(R) = Ky(R) \exp[-2 \int_0^R \{S_1 y(r) - (S_1 - S_2) \beta_2(r) + \sigma N(r)\} dr] \quad (3)$$

さらに、両者の対数を取り、 R で微分すると次の微分方程式を得る。

$$\frac{d \ln y(R)}{dR} - 2S_1 y(R) - 2\sigma N(R) = \frac{d \ln X(R)}{dR} - 2(S_1 - S_2) \beta_2(R) \quad (4)$$

ここで、左辺はいずれも未知量であるのに対し、右辺は測定量および既知の量である。

まったく同様の式が別の波長 λ^* について成立する。

$$\frac{d \ln y^*(R)}{dR} - 2S_1^* y^*(R) - 2\sigma^* N(R) = \frac{d \ln X^*(R)}{dR} - 2(S_1^* - S_2) \beta_2^*(R) \quad (5)$$

気体の数密度を表わす N と空気分子の散乱パラメータ S_2 の他はすべて * をつけて区別した。

2 波長の消散係数、後方散乱係数の間に次の関係式を仮定し、波長依存性のパラメータ γ 、 δ を導入する。

$$\begin{aligned} \alpha_1^* &= \alpha_1 (\lambda^* / \lambda)^{-\gamma}, & \beta_1^* &= \beta_1 (\lambda^* / \lambda)^{-\delta} \\ S_1^* &= S_1 (\lambda^* / \lambda)^{-(\gamma - \delta)}, & \beta_2^* &= \beta_2 (\lambda^* / \lambda)^{-4} \end{aligned} \quad (6)$$

今、 γ 、 δ に適当な値を与えれば、適当な定数 A 、 B 、 C を用いて上の式は書き直されてさらに $y^*(R)$ と $y(R)$ はつぎのように結び付けられる。

$$y^*(R) = Ay(R) + (B-A) \beta_2(R) \quad (7).$$

したがって、式(4)、(5)、(7)を連立して解いて $y(R)$ 、 $y^*(R)$ 、 $N(R)$ を求めることが出来る。具体的な解法として例えば Runge-Kutta の方法を用いて数値的に解く方法がある。

ここでさらに重要なことは、上では γ 、 δ に適当な値を与えたが、第三の波長 λ^{**} による測定を行えば γ 、 δ を同時に推定できるという点にある。前と同じように λ 、 λ^{**} の組合せに対して適当な $\underline{\gamma}$ 、 $\underline{\delta}$ を与えれば $\underline{y}(R)$ 、 $\underline{y}^{**}(R)$ 、 $\underline{N}(R)$ が計算される。しかし、元来、 $y(R)$ と $\underline{y}(R)$ 、 $N(R)$ と $\underline{N}(R)$ は一致すべきものであるから、これらが互いに一致するような γ 、 δ をみつけることが可能である。ここで必要な仮定は波長 λ 、 λ^{**} の間でも式(6)が同じ γ 、 δ に対し成立することである。

以上に述べた方法について数値シミュレーションプログラムを開発したので、シミュレーション結果と合わせて報告する。