

はじめに

差分吸収レーザーレーダー (DIAL) 測定において、2波長切替の時間内におこるエアロゾル濃度の変動は無視できない測定誤差をもたらす。

本講演では、DIAL測定における波長切替の時間間隔と測定誤差の関係の実験的な考察について報告する。また、実際の測定の場合、測定と同時に測定データの積算処理を行なうことが多いが、演算のどの段階で積算を行なうかによって誤差の大きさが異なってくると考えられる。ここでは、現実的なデータ処理のいくつかの方法について誤差の評価を行なった。

DIAL測定における2波長切替の間隔と測定誤差

ここでは、Mie散乱レーザーレーダーのデータを用いて、測定誤差の見積りを行なった。測定は国立公害研究所大型レーザーレーダーを用い、水平方向で一発ごと (12.5 pps) に15000 発のデータを収集した。このデータのそれぞれをDIAL測定

の λ_{on} あるいは λ_{off} であるとみなしてDIALと同様の演算を行なった。この場合、一波長のデータを用いているので濃度は0になるが、誤差については評価が可能である。

距離Rに対応するレーザーレーダー受信信号を $P_i(R)$ とし関数 $f_i(R)$, $F(R)$ を次のように定義する。

$$f_i(R) = P_i(R+L) / P_i(R) \quad (i = on, off)$$

$$F(R) = f_{off}(R) / f_{on}(R)$$

ここにLは距離分解能である。DIALにおいて測定対象の濃度は吸収係数の差を σ_d とすると、

$$N(R) = (1/2 \sigma_d L) \ln [F(R)]$$

と表わされる。N(R)に対する誤差は、

$$\begin{aligned} (\Delta N(R)/N(R))^2 &= 1/M (1/2 \sigma_d L N(R))^2 (\Delta F(R)/F(R))^2 \\ &= \text{const} \{ (\Delta f_{on}/f_{on})^2 + (\Delta f_{off}/f_{off})^2 \\ &\quad + (\Delta f_{on}, \Delta f_{off} \text{ の相関項}) \} \end{aligned}$$

ここに

$$\begin{aligned} (\Delta f_i/f_i)^2 &= \{ (\Delta P_i(R)/P_i(R))^2 + (\Delta P_i(R+L)/P_i(R+L))^2 \\ &\quad + (\Delta P_i(R), \Delta P_i(R+L) \text{ の相関項}) \} \end{aligned}$$

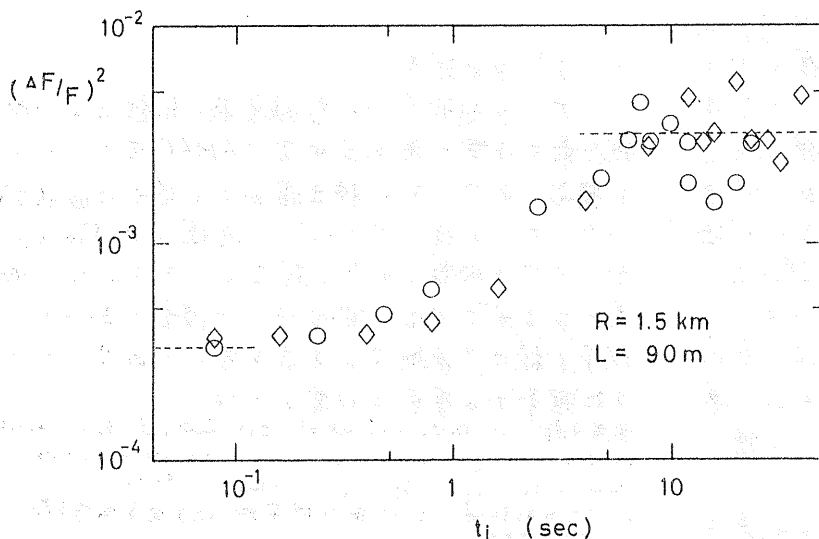


図1. 測定誤差 $(\Delta F/F)^2$ の、2波長切替の時間間隔 t_i に対する依存性。

$P_i(R)$ と $P_i(R+L)$ の間にはレーザーパワー変動の相関があり、 f_{on} と f_{off} の間にはエアロゾル変動の相関がある。従って、これらの相関項は負の値をもつ。

レーザーレーダーデータを n 発おきに $\lambda_{on}, \lambda_{off}$ とみなして $(\Delta F/F)^2$ を評価した結果を図1に示す。2波長切替の時間間隔 (t_i) が大きくなるに従って $(\Delta F/F)^2$ は増加している。時間間隔が大きい極限では f_{on} と f_{off} の相関がなくなるため $(\Delta F/F)^2$ は $2(\Delta f_i/f_i)^2$ に近づいていく。 t_i が小さい極限では $(\Delta F/F)^2$ は検出器の雑音で決まる値に収束する。誤差の t_i への依存性は観測時の気象状態などによって異なる(図1の○と◇は測定日が異なる)。図1を見るかぎりでは0.1秒以内に波長を切替ればエアロゾル変動の影響をほとんど受けないと思われる。

ところで実際の測定では、一発ごとの信号を記録するとデータが膨大になるため、ある時間の間データを積算することが一般的である。次に、データ処理方法と誤差の関係について考察する。

データ処理方式と測定誤差

ここでは次に示す3つのデータ処理方式を考えた
1. $\lambda_{on}, \lambda_{off}$ を交互(あるいは同時)に測定し1ペアごとに直ちに F を計算し、 F について M 回の

平均を行なう。

2. $\lambda_{on}, \lambda_{off}$ を交互(あるいは同時)に測定し、それぞれ受信信号のまま M 回積算する。得られた P_{on}, P_{off} を用いて F を計算する。

3. λ_{on} を M 回続けて測定し、受信信号を積算し、次に λ_{off} を M 回測定して積算する。得られた P_{on}, P_{off} を用いて F を計算する。

$\lambda_{on}, \lambda_{off}$ の測定間隔が十分短い場合、1の方式ではパワー変動、エアロゾル変動のいずれも完全に打消される。しかしながら、各ペアごとに多量の演算が必要であり、データ処理装置に工夫が必要である。2の方式は、レーザーパワーの変動、が全く無いとすれば、1の方式と同様にエアロゾル変動が打消される。しかし、レーザーパワーが変動することを考えると打消し方は完全ではなくなるので1よりも誤差は大きいと考えられる。2の方式ではデータ処理装置は簡単で済む。3の方式では、 M を大きく取るに従ってエアロゾル変動の影響が重大になると予想される。

図2に上の3つの方式について、 M 回積算した時の F に対する誤差 $(\Delta F/F)^2$ を M の関数として示した。図2において1の方式と2の方式の間に差は認められないことがわかる。従って、2のデータ処理方式が適切であると結論できる。

謝辞：計算を手伝ってくれた信州大学工学部の南波浩一氏に感謝します。

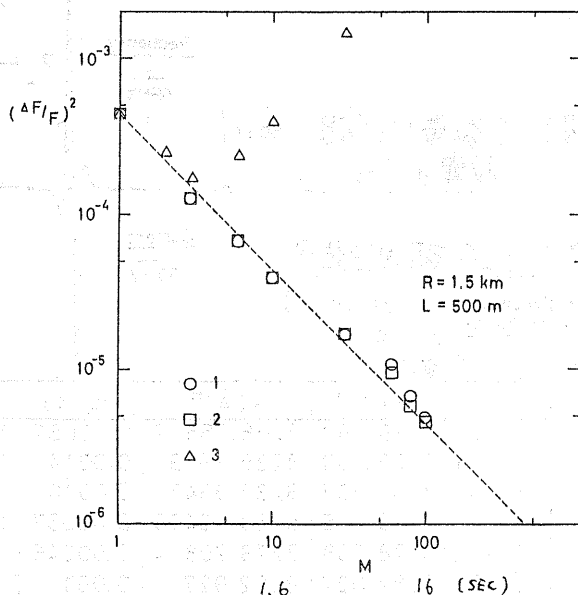


図2. 3種類のデータ処理方式について、 M 回積算した場合の誤差 $(\Delta F/F)^2$ の比較。