

B 3

同時2波長長光路差分吸収方式レーザレーダによる

NO₂ 観測 I I - 観測データの評価 -

NO₂ Measurement by a Simultaneous Two-wavelength Differential Absorption Laser Radar II - Evaluation of Experimental Data-

斉藤保典、 田中祥夫、 野村彰夫、 鹿野哲生

Y.SAITO, Y.TANAKA, A.NOMURA and T.KANO

信州大学 工学部

Faculty of Engineering, Shinshu University

1 はじめに 前回、排煙内のNO₂濃度測定結果について報告し、散乱体が高密度で時間的にも激しく変動するような場合には、測定値に多くの誤差が含まれる可能性があること、誤差軽減のためには同時2波長の使用が望ましいこと、積算回数と測定時間との兼ね合いが重要であることを述べた¹⁾。今回は観測データの評価を行うことを目的として、主に大気変動が誤差に与える影響について、実験値に基づき理論的に検討した。

2 理論的検討 測定濃度Nに含まれる誤差をΔNとし、精度を分散の形で表すと(1)式が得られる。ここで、N=ΔNの場合を最小検出濃度N_{min}とする。

$$\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2 = \frac{1}{(2\sigma_d R N)^2} \cdot \frac{1}{A} \sum_{\substack{i=m,r \\ j=on,off}} (\frac{\Delta P_{i,j}}{P_{i,j}})^2 \quad (1)$$

Pは光電子増倍管への入射光パワー、ΔPはその誤差である。添え字iはパワーモニタ信号(m)、受信信号(r)を、またjは吸収極大波長(on)、吸収極小波長(off)を表す。σ_dは吸収断面積の差、Rは距離である。Aは積算平均の効果を表す因子で、誤差の種類により異なる値をとる。誤差要因については、光電子増倍管のショットノイズによるもの(ΔP/P)_S、システム動作時の電気ノイズ(ΔP/P)_Eによるものを考える。電気ノイズとしては、電磁輻射ノイズ(電圧値V_R)、増幅器ノイズ(V_A)、A/D変換による量子化ノイズ(V_{A/D})について考え、電圧値を入射光量に換算した値で評価するものとする。(1)式右辺の誤差の項は、積算平均(回数M)の効果と考え、(2)式のように書き直される。

$$\frac{1}{A} \left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 = \frac{2eB}{MSP} + \frac{1}{(SGZP)^2} \times \left(V_R^2 + \frac{1}{M} V_A^2 + \frac{1}{12} V_{A/D}^2 \right) \quad (2)$$

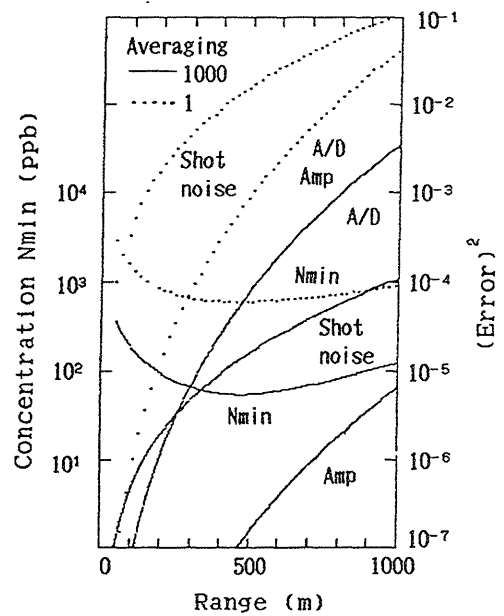


図1 最小検出濃度の距離依存性

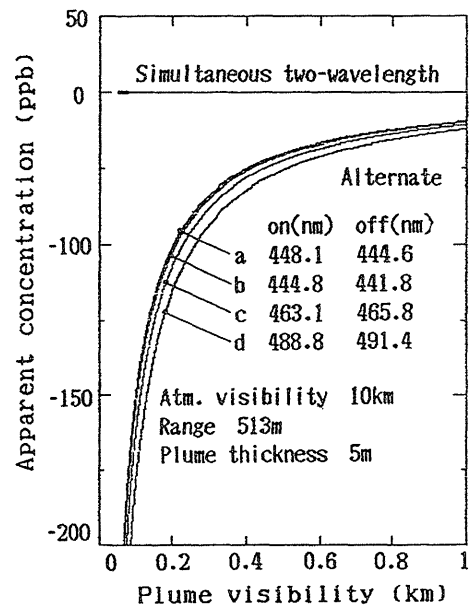


図2 同時、交互2波長の比較

e は電子の電荷、B は測定系の帯域幅、S および G はそれぞれ、光電子増倍管の陰極放射感度と電流増倍率、Z は光電子増倍管の負荷抵抗である。

3 計算結果 計算には実測値を使用した。図1は、最小検出濃度の距離依存性を示したものである。積算平均を行わない場合には、ショットノイズによる誤差成分が最も大きい。積算平均1000回においては、約250m以上の距離になると、量子化誤差が支配的になる。実際の観測距離513mにおけるN_{min}は、約43ppbである。次に、特に排煙内の測定であることを考慮して、排煙内煤塵の変動の影響について考える。実際の濃度が0ppbであっても、測定毎に排煙内状況が変動するため（排煙内視程の変化）、消散係数の変化を、濃度変化としてみてもしまう可能性がある。この疑似的濃度変化について、同時2波長と交互2波長の比較を行ったものが、図2である。同時2波長の場合には、疑似的濃度変化の影響は、無視してかまわないほど小さくなる（厳密には、異なる2波長を使用するため、消散係数の違いにより、わずかな疑似的濃度変動が現れる）。交互2波長の場合には、2波長の時間間隔が問題であり、極端に大きな疑似的濃度変動を与える可能性がある。以下、同時2波長についてのみ考えることにする。次に、標準偏差という意味での誤差について検討する。受信信号の大きさは、消散係数の変動に従って変動するため、同時2波長であっても、各ショット毎に誤差の大きさは異なるものと考えられる。図3は、排煙の厚さを5mと仮定し、各ショット毎に排煙内の視程を変化させたときの、各ショット毎の誤差の増減を調べたものである。αは、(2)式にて与えられる分散の、基準値（排煙無しの場合）からの増減量（%）を表し、βはN_{min}に換算した値の増減量（%）を表す。

$$\alpha = \frac{(\text{排煙時の分散}) - (\text{排煙無しの分散})}{(\text{排煙無しの分散})} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{(\text{排煙時の } N_{\min}) - (\text{排煙無しの } N_{\min})}{(\text{排煙無しの } N_{\min})} \quad (4)$$

図4は、排煙の厚さを変化させた場合である。排煙のような高密度の煤塵が、絶えず変動するような場合においては、排煙内視程や排煙厚さの瞬間的な変動は、間接的ではあるが、各ショット毎の測定値に対して、無視しえない量の誤差変動を与えることが解る。このことは、差分吸収方式レーザーレーダにとって、本質的に重要な問題である。

参考文献 1) 齊藤、藤本、野村、鹿野：第10回レーザーレーダシンポ、C3 (1985)。

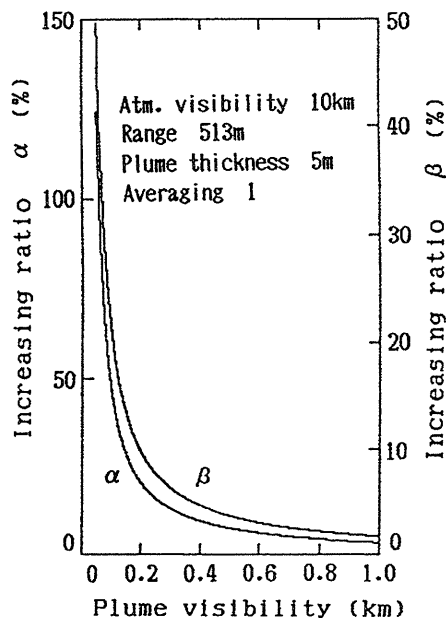


図3 排煙内視程変動の影響

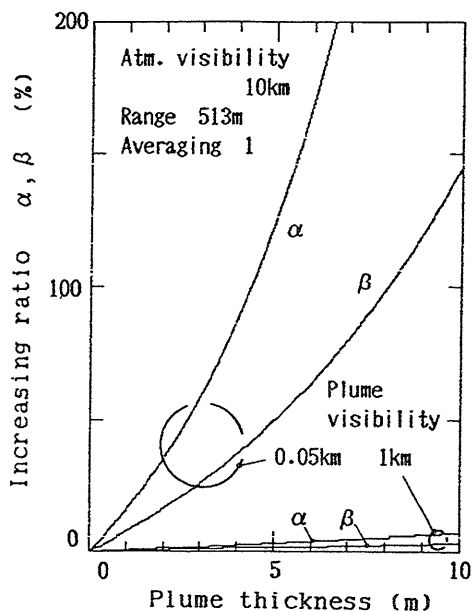


図4 排煙厚さ変動の影響