

9. DAS方式による NO_2 濃度の検出感度

竹内建夫 清水 浩 奥田典夫

国立公害研究所

1. はじめに. 現在、大気汚染研究において、最も緊急かつ重要な情報の一つは汚染物質の立体濃度分布が挙げられる。とくに NO_2 については公害源からの排出量が燃料に含まれる汚染物質の量から直接に求められていないために、その総排出量や分布などの情報は現在まで皆無と言える。従って、レーザーを用いた遠隔的測定方法でこの立体分布がつかめれば、非常に有効なデータが得られる。

現在、レーザー方式による NO_2 の測定法として7種が考案されているが DAS (差分吸収散乱) 方式は最も感度が良い。ここでは現在開発中のレザレーを使用する場合の検出感度について計算を行ない、良好な結果を得たので報告する。

2. 測定原理と測定誤差の理論的導出 DAS方式は測定対象分子の吸収線と一致する波長を λ_L と吸収線からはずれた波長 λ_W の2本の100% レザレービームを送出して、各波長について大気中のエアロゾル分子による散乱光を距離分解して検出し、その強度差を求めることにより測定対象の密度を知る方法である。DAS方式において、レザレー光強度は次式で与えられる。

$$P_i = P_{0i} \cdot L \cdot K(\lambda_i) \beta_i(R) A_r Y(R) \exp \left\{ -2 \int_0^R (\sigma_{mi} + N\sigma_i) dr \right\} / R^2 \quad (1)$$

ここで、 i は波長の種類を示し、 σ は減衰係数、 m はミ-散乱を示す。他の記号は一般に使用されるものと同じである。

1) 式より、測定対象の分子密度は次式で与えられる。

$$N(R) = \frac{1}{2\sigma_d L} \left[\ln \frac{P_L(R)}{P_L(R+L)} - \ln \frac{P_W(R)}{P_W(R+L)} + B + T \right] \quad (2)$$

$$\text{ここで } \sigma_d = \sigma_L - \sigma_W, \quad T = -2[\sigma_{mL} - \sigma_{mW}]L$$

$B = \ln \{ \beta_L(R+L) / \beta_L(R) \} - \ln \{ \beta_W(R+L) / \beta_W(R) \}$, L は距離分解能である。(2)式より $N(R)$ の誤差を決める要因には測定値

$P_i(R)$ の誤差の他に σ_d, T, B によるものも存在するが、これらは一般に無視出来る。したがって、 $P_L(R) \ll P_W(R)$ とすると $N(R)$ の誤差は次のように書きあらわされる。

$$\left(\frac{\Delta N(R)}{N(R)} \right)^2 \simeq \frac{1}{M} \frac{1}{4(\sigma_d N L)^2} \times \frac{\Delta P_L^2(R)}{P_L^2(R)} \quad (3)$$

ここで M はレーザの発数を示す。(3)式より明らかのように、DAS方式はランダム散乱方式とは異なり、信号光強度の測定値の誤差が、そのうち求めるべき分子密度の誤差とはならず、 $2\sigma_d N L$ だけ変化する。これは測定値 $P_i(R)$ と求めるべき N の値が指数関数的に結びついているためである。

$P_L(R)$ の測定誤差がショット・ノイズで制限される場合、 $\Delta P_L(R)/P_L(R)$ は $\sqrt{P_L(R)}$ に反比例するため、(3)式は次式のように書き換えられる。

$$\left(\frac{\Delta N(R)}{N(R)} \right) = \frac{\exp \{ (\sigma_m + N\sigma_L) R \}}{2\sigma_d N L^{1/2} (M E_0; K \beta A r^2 r)}^{1/2} \quad (4)$$

(4)式から測定精度が最良となる条件が $N\sigma_L R \simeq 1$ と求められる。この条件から測定対象分子の密度や測定距離により、減衰係数の最適値を与える波長を選ぶことが可能であることが示される。

3 NO_2 分子の測定に用いる波長の計算

NO_2 分子は可視領域全体に亘って

吸収スロクトレを持つが、吸収が最も強い領域でのスロクトレは Fig. 1 に示す通りである。これらの吸収線を使う場合の測定密度を種々の条件について計算した。まず、使用するレーザレーザの特性は Table 1 のように仮定する。この特性は筆者らが現在開発中の装置に基づくものである。また、視程とミズ散乱による減衰係数 σ_m の関係および、 σ_m と評価係数散乱係数 β の関係は次のように

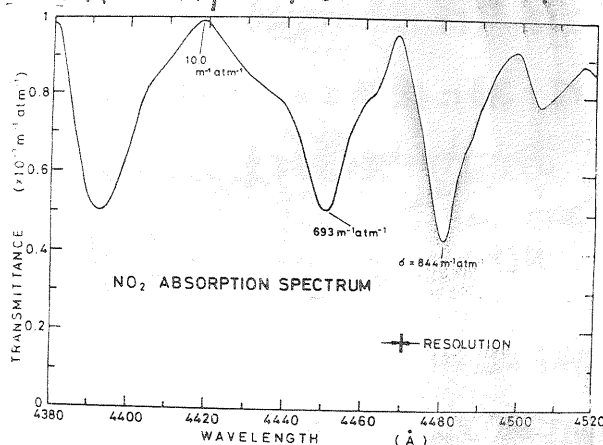


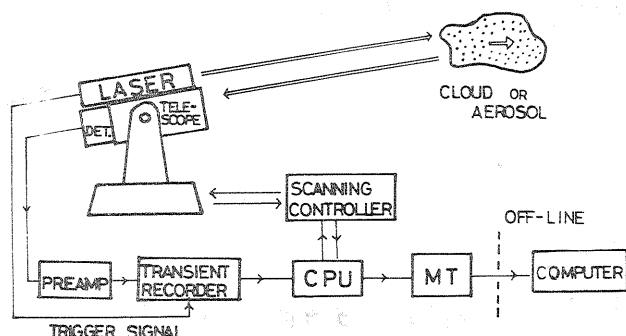
Fig. 1 NO_2 の吸収スロクトレ

各対象点の位置の変化を求めて、うがーニシ流の速度を求め、それから拡散係数を計算する。

以上の操作によって、平均速度、渦度、乱流成分、拡散係数が求められる。

3 測定装置

測定装置のブロック図を第2図に示す。レーザーは Nd:YAG レーザで、繰返しは 50pps, 出力は 0.6mJ/パルス (1.064 μm) で望遠鏡本体に取り付けられている。装置は大型ハースに搭載可能とできるように設計されており、各部分の仕様は第1表の通りである。



第2図 風向 風速測定用レーザーレーダのブロック図

レーザーレーダ掃引開始後、CPUからの信号によりレーザはトリカされ、一定数のレーザ発射が終了後、レーザーレーダの掃引は終了し、CPUからの信号によって、望遠鏡の角度は出発位置に戻される。レーザー姿勢角度は、ポテンシオメータの読取値がデジタル化され、各データ毎にMTの頭にはレベルを書き込まれる。

この装置を用いて、上空約2Km

第1表. レーザレーダシステムの諸元

レーザー (Nd:YAG レーザ)		
波長	1.064	μm
出力	0.6	mJ / パルス
繰返し	50	pps MAX.
望遠鏡		
有効径	30	cm ϕ
型式	カセグレン式	
トランジエントレコーダ (岩通 DM 901)		
ゲート幅	10	ns 最小
ビット数	8	ビット

の雲を測定し、MTに書き込まれた平面掃引のデータを前節(i)~(iv)の処理を行い速度を求めた。

4 まとめ

上空の風向・風速の測定法として、エアロソルや雲からのミ-散乱をレーザレーザでハートンとして捉えてその時間的変化から測定する方法について述べた。ここでは、まず最初に雲を扱い、2次元的な水平面での運動を考えたが、20~30秒程度で1回空間的掃引が出来るが、3次元でのデータを得ることも可能である。また、エアロソルを対象とすれば、地上付近でも容易に測定が可能である。

すなわちの雲やエアロソルについて、各部分の特徴を捉えて、風向・風速を求める手法を完成するのか今後の課題である。