

15. レーザ・レータによる風向、風速の3次元測定法の開発

竹内 達夫 清水 浩 安岡 善文 植田 洋匡 奥田 典夫

国立公害研究所

1. はじめに

光化学スモッグや大気のもくれなどの大気汚染が重要な日常問題となっており、それとともに、上空の風向、風速の測定が、重要な測定対象となる。

上空の風向、風速の測定は従来、鉄塔やバルーンなどによって行われてきた。しかし、これらの測定では極く限られた場所と時間におけるデータのみしか得ることが出来なかった。レーザ・レータはこれに比べ、遠隔測定として、離れた處から非接触的に実時間で全領域をカバーする方法として、大気汚染の測定に用いられようとしてつある。最近の高速繰返し Nd:YAG レーザの進歩や データ処理の技術の進歩によって3次元空間の分布を短時間で測定することが可能になってきた。

ここではその一つの実用として、大気中のエアロソルや雲の動きから、コンピュータによるデータ処理によって、風向、風速や局所的渦、拡散などを測定することが可能であることを報告する。この方法は、従来、レーザ・レータや粒子の伝達速度測定に用いられてきた。相対法に比べ、直接的で、あいまいさが少なく、また写真測定法に比べ、雲やエアロソルなどの試料までの距離や3次元の分布が正確に求まるので、極めて正確に測定出来るという長所がある。

2. 測定原理

第1図のよ3は雲またはエアロソルの塊を考える。 $t=t_1$ の時刻に存在するエアロソルの塊は t_2 の時刻に移動し、多少の變形をすれば、全体として回転する。この2つの図形から重心の運動速度、回転

渦度、各部分の形状から拡散量を求めるのか。この測定法の目的である。

測定は、測定時間中に生成、消滅しない。雲またはエアロソルを雲は、10秒程度でレーザレーザを掃引する。この掃引は繰返し行なう。レーザレーザによる信号はトランジエント・レコーダでデジタル化され、ミニコンピユータで制御されたマイクロプロセッサ・テープ (MT) に一平面掃引毎に、1データブロックとして記録する。MTのデータは大型コンピユータに移され、次の i) ~ iii) の前処理を経て、iv) 以下の解析を行なう。

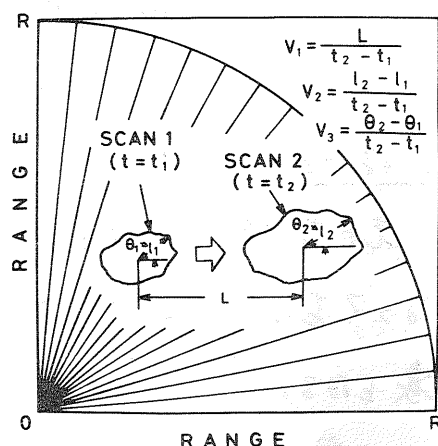


Fig 1 風向、風速測定装置の原理図

- i) 各レーザレーザ反射信号毎に距離補正を行なう。
- ii) 極座標から直角座標に変換する。
- iii) 直角座標のメッシュ・ポイントを一様にするために、テープが密の部分では平均をとり、テープの疏の部分では隣接のデータで内挿する。
- iv) フィルタリングを行って、速い変動成分を削除。
- v) エッジ・シャープニングの方法によって雲の境界をはっきりさせ、その周囲をゼロとする。
- vi) 各平面掃引毎の重心の座標を求める。重心の座標の移動から各時間間隔毎の雲の (アングラー) 平均速度を求める。
- vii) 各平面掃引の表示で、雲の重心も含めて雲の面を回転させて相図をとり、その最大値から回転角を定める。これによって雲の渦度が求まる。
- viii) 回転角を求めた後、雲に固有の座標に沿って雲を等分割して

す: NO_2 が一様に分布している場合、1kmの距離において、 NO_2 の密度に対して各条件で必要なレーザ・パルス数も Fig. 6 に示す。同図において距離分解能120m、精度10%の場合、1ppmの濃度では10発程度、0.1ppmでは200発程度のレーザ・パルスで測定が可能である。精度50%では10ppbを測定するのに500パルス程度のレーザ・パルスで測定が可能になる。

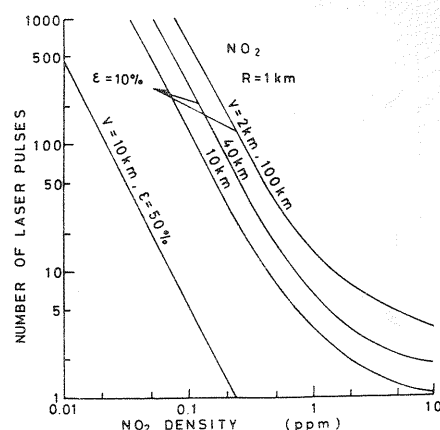


Fig. 6 NO_2 密度に対する測定に必要なレーザ・パルス数 ($R=1\text{km}$)

以上の計算に用いた1ppmの濃度は環境基準を上回る値であるが、排出源近くの数100mの範囲においては通常観測される値であり、この範囲の濃度の分布を遠隔的に測定することには大きな意義がある。

一般の環境条件で観測される NO_2 濃度は高い所で0.2ppm程度であるが、Fig. 6の結果から精度10% 距離分解能120mで約100発程度で1km程度の測定が可能である。さらに自然界に汚染と関係なく存在する濃度は0.02ppm程度であるが、測定精度と距離分解能の多少幾程度にすれば実用的に十分測定可能である。

4. まとめ 本文ではPAS方式による NO_2 の遠隔的測定法について理論的に考慮を行った。

その結果、PAS方式は排出源付近での濃度分布の測定には十分実用的に使用が可能であると判断される。さらに環境規制濃度付近でも測定時間を長くとり測定可能であることが判明した。これよりPAS方式は十分実用的な使用が可能であることが結論された。従って今後、レーザ・探行の道歩とともにこの方式が、各方面で使われるであろう。

仮定した。

$$V = (5/3.91) (550/\lambda_r) 0.58 V_3 \quad (5)$$

$$\beta = 5/100 \quad (6)$$

Table 1 レーザ・レーダー・システムの性能

レーザ (フラッシュ型励起色素レーザ)

最大出力 50 mJ / パルス

最大繰返し 0.5 PPS

望遠鏡 口径 30 cm カセケレン式

信号処理方式 高速 A/D 変換方式

計算は Fig. 2 に示すような 2 状態について行った。すなわち、Case 1 は 1 ppm の NO₂ が空間的に等濃度で存在する場合であり、Case 2 は 0.1 ppm の等濃度で存在し、距離 R の所に L の層を付け 1 ppm の濃度で存在する場合である。

CASE I (uniform distribution) CASE II (patched distr.)

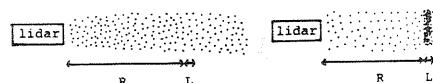


Fig. 2 汚染物質分布状態の模式図

Case 1 および Case 2 について、条件を距離分解 120 m、誤差 10% とし到達距離 R に対して必要なレーザ・パルス数 N を求めたのが、それぞれ Fig. 3 および Fig. 4 である。

両図においてハウメータは視程によってあるが

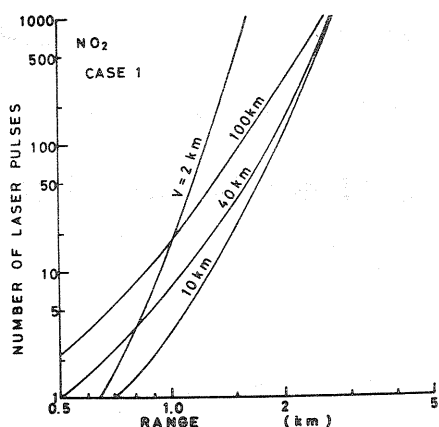


Fig. 3 Case 1 状態での測定感度

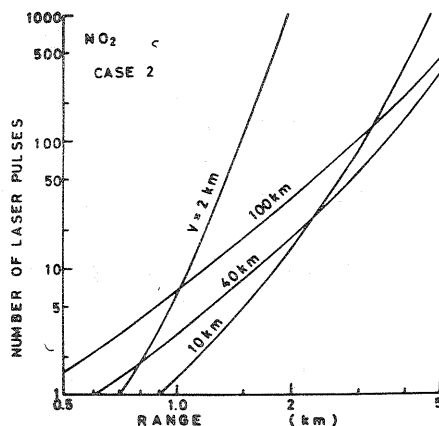


Fig. 4 Case 2 状態での測定感度

極端に視程の悪い条件でなければ、10 発程度のレーザ・パルスで、約 1 km までの測定の可能であることが認められる。到達距離は視程に大きく依存する。この依存性を見るために Case 1 について 120 m の距離分解能力

および 10% の測定誤差の条件で視程に対する最大到達距離を計算したのが Fig. 5 である。

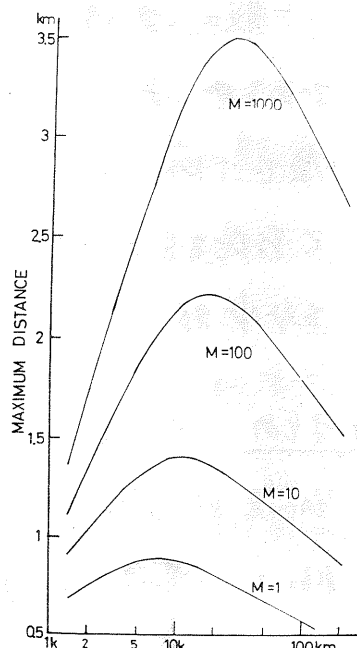


Fig. 5 Case 1 における視程に対する最大到達距離