

レーザーレーダーによる風向・風速の測定

— 大気境界層内エアロゾル分布をトレーサーとして —

Wind measurements through the aerosol distribution
in the atmospheric boundary layer observed
by a laser radar.

笹野 泰弘 清水 浩 竹内 延夫 奥田 典夫
Y. Sasano, H. Shimizu, N. Takeuchi, M. Okuda

国立公害研究所
National Institute for Environmental Studies

山崎 哲夫 *
T. Yamazaki

筑波大学
Tsukuba University

* 現在, 日本気象協会

Present address, Japan Meteor. Association

はじめに 大気境界層内の風分布を知ることの重要性については、人間生活への直接的な影響、気象学的には熱や水蒸気、運動量の輸送など、改めて述べるまでもないだろう。特に大気汚染問題に関連しては、汚染物質の輸送、拡散を支配する大気の流れの場、乱れの場を把握することから汚染の予測、防止の上で不可欠である。汚染物質の輸送、拡散に関連するものは、上層の風分布や、水平的な拡がりの中での風分布状況である。

従来なされた風分布の測定は、測器を測定しようとする地点に設置する（建屋、塔塔の利用）か、航空機、ゾンデ等の装置を利用して、直接、測定点へ運ぶものであった。そのため、測定領域を広くしたり、測定メッシュサイズを細かくするためには、非常に労力と経費を要するという問題があった。近年、リモートセンシング手法が、これらの問題に対処するものとして注目され、風測定に関して、各種の測器、技術が開発されてきている。これに使用される波は、光波、電波、音波などで、手法としてはドップラー法、相関法、シンチレーション法など各種提案されている。

レーザーレーダーを用いた測定法には (1) ドップラー法による方式、(2) 一定時間内に散乱体の移動する距離を測定する方式、(3) 一定距離を散乱体が移動するのにかかる時間を測定する方式などが考えられている。本報告では、特に、上記のうち (2) の方式のひとつとして、エアロゾルを散乱体として、その空間分布をトレーサーに、移動量から風速を求める試みについて述べる。既に基本的な測定原理と雲の分布をトレーサーとした実験については報告した。今回は、エアロゾル分布を対象に普遍的なものとするとともに、測定、解析の最適化などの検討を行なった。この方法は他の手法に比べて、一台の測器（スキャンニングレーザーレーダー）で、空間内の任意の点における風速の3方向成分が測定できるという点において優れている。

測定原理と方法 測定の基本となる原理はオ4回の本シンポジウムで報告した。普通の気象条件下では大気境界層内には、発生源は何か、エアロゾルが広く分布しており、しかも、それは空間的に濃度が不均質な状態にあり、2 いると考えられる。時刻 t_1 , t_2 におけるエアロゾルの空間分布が測定できれば、不均質な分布をトレーサーとして、エアロゾルの空間移動量ベクトル $\Delta \mathbf{r}$ が求めら

れ、これから風速ベクトル U として算出される(図1)。このとき、時間間隔 $t_2 - t_1$ の間に、分布形に大きな変形があらはれない。

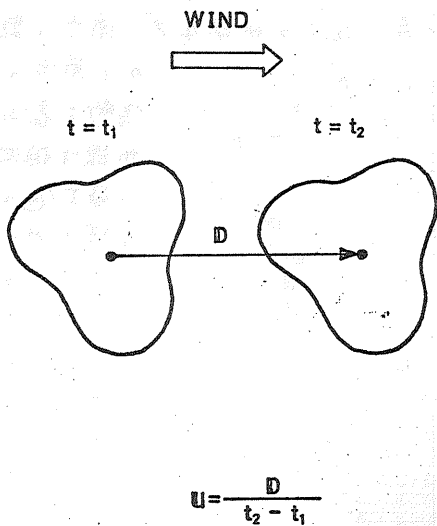


図1. 風速測定の方法

エアロゾルの空間分布は、スキャンニングレーザーレーダーで測定される。今、簡単化のため、主風向を含む特定の断面内で α 測定について考えていこう。

スキャンニングレーザーレーダーで測定された2組のエアロゾル分布について、2次元の相関計算を施し、相関が最大になるラグ L_x, L_y から空間移動量ベクトル D が求められる。しかし、レーザーレーダーのスキャン速度 V が有限であるため、風速 U とスキャン速度 V の相対的な関係によって、風速 U で移動する座標系上でスキャンされる領域は、絶対空間上で実際にはスキャンされる領域とは異なり歪んだ形となるので、この補正が必要となる。簡単な場合について図2に示す。ここで、 V はスキャン速度ベクトル、 U は風速ベクトルである。絶対空間上でスキャン領域は、 $W_0 W_1$ をレーサービームの方向として正方形とし、破線で示した。 U と V が異なる向きにあり、速度 U で移動する座標系上でスキャンされる領域は $W_0 W_2 W_3$ の平行

四辺形となり、 U が反対方向にある場合は $(W_0)(W_1)(W_2)(W_3)$ となる。繰り返してスキャンした時、同一のエアロゾル分布部分が移動座標系上でスキャンされるのは、たとえば $W_4 W_5 W_6 W_7, (W_0)(W_10)(W_6)(W_11)$ となる。

普通、レーザーレーダーは、軸を中心として回転させてスキャンするので、スキャン速度ベクトルはスキャン領域の各点において、異なる方向、速度になる。歪みの補正を容易にするため、できるだけスキャン速度ベクトルが領域の中で一様となるような領域設定が必要となる。

相関計算から移動距離を求める方法は、スキャン領域全体に相関計算を施して領域内全体の平均的な移動量を求めることに加え、領域を小単位に分割して、単位領域毎の移動量ベクトルを求めることも可能であり、風速の空間分布が測定できる。

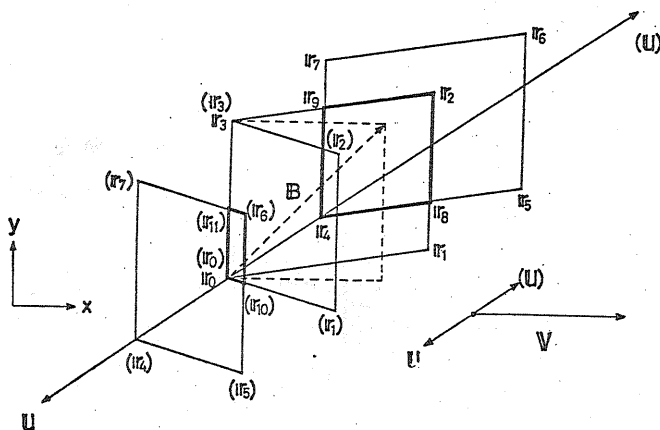
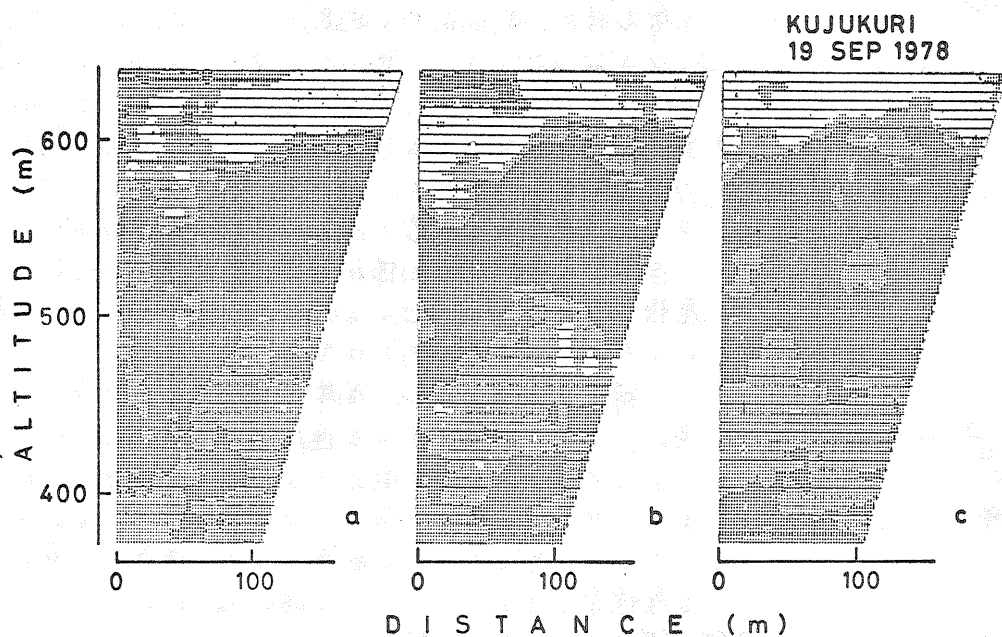


図2. スキャン速度と風速の相対関係で決まるスキャン領域の歪み。

測定実験 前節で述べた方法は、その原理から、3次元的なエアロゾル分布について同様に適用できるが、ここでは基礎実験として、主風向を含む鉛直面内のエアロゾル分布を測定して、水平方向の風速の鉛直分布を求めた。すなわち、測定されたエアロゾルの鉛直面内の分布について、高度毎に水平方向の相関計算から移動量を求め、水平風速に換算した。

実験は、国立公害研究所計測単位搭載型レーザーレーダーを用いて、1978年9月19日、千葉県九十九里町で行った。スキャン領域は天頂付近の狭い範囲に限り、スキャン速度ベクトルの方向はほぼ水平

に近いようにした。スキャン速度は高度毎に異なるが、水平風速を求める本実験では問題はない。図3に、測定されたエアロゾル空間分布を示す。濃度レベルを適当に分割して表示した。図のa, b, cの順に約7秒間隔で測定したもので、分布の形が右から左へ移動していることが、図から判断できる。a, bの2つの分布図について、高度毎に相関を計算したものが図4で、図中の数字は



0.1単位、相関係数を表わし、曲線は相関係数の極大値の位置を結んでいる。ここで、主としてラグの小さい方の極大が風速に対応している。

図3. 連続スキャンで得られたエアロゾル空間分布。

a) 5h18m56s b) 5h19m3s c) 5h19m11s

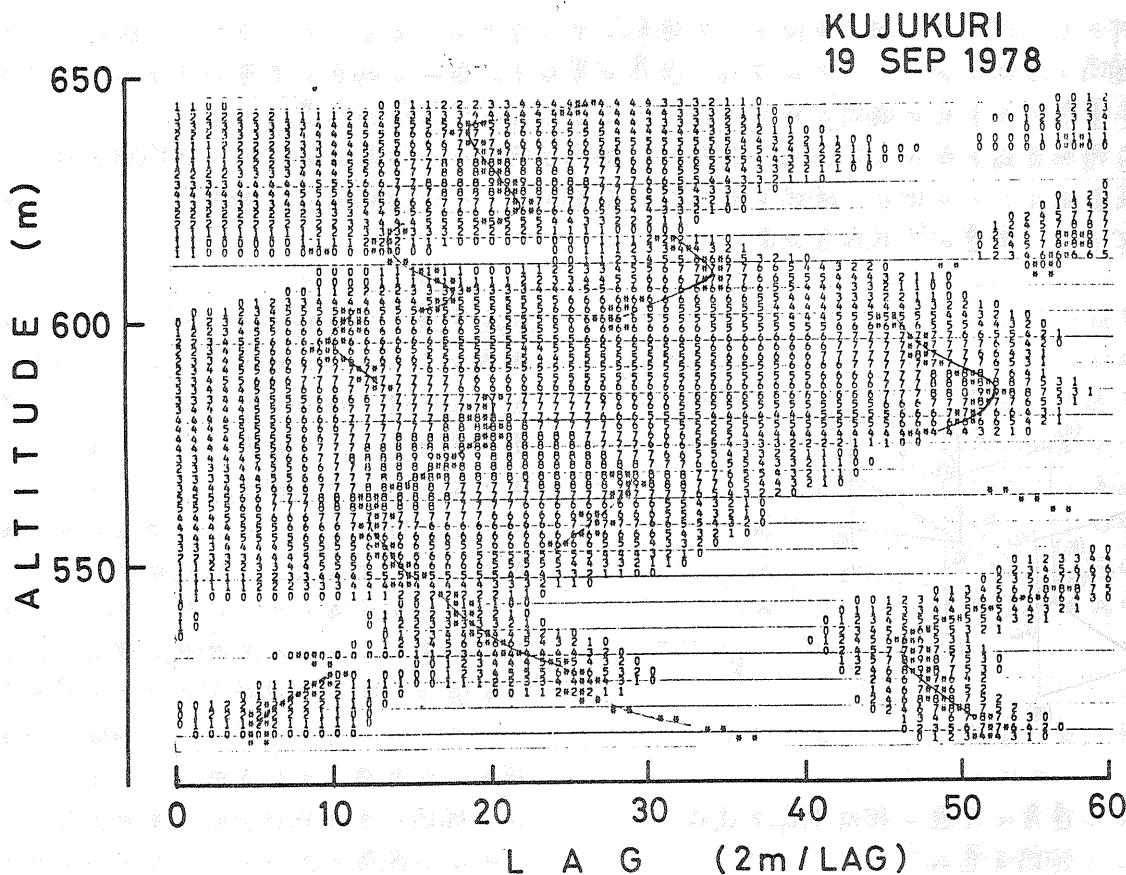


図4. 高度毎の水平方向相関係数分布。

図5には、相関計算で求めた移動量から風速に換算して鉛直分布として表わした。5回 α 連続したスキャン、すなわち4つの相関計算から求めた風速の平均と標準偏差 α 大きさを $\text{---} \bigcirc \text{---}$ で示し、同時に行な、パイロットバルーン α 測定結果を破線で示した。レーザレーダー α 測定結果は、ばらつきは大きいから、平均的にはパイロットバルーンの結果と極めて良好一致を示している。

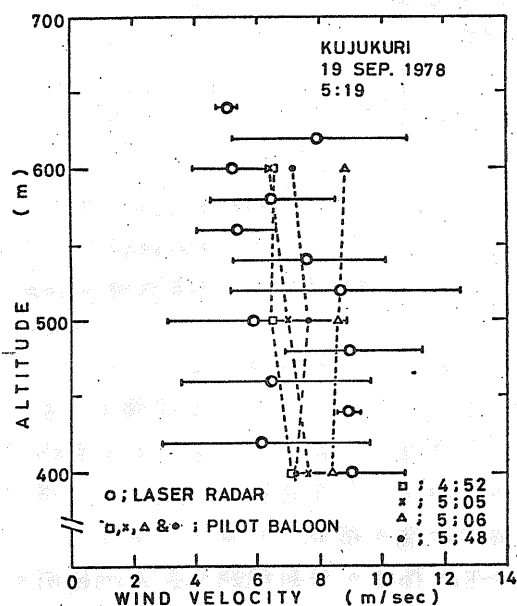


図5. 測定された風速 α 鉛直分布.

図3で示したエアロゾル α 分布を出すにあたって、分布の不均衡のスケールが30~200mのものを残すような数値フィルターを通した。エアロゾル分布の不均衡性に関する実測データをもとに、測定領域の大きさに応じた、スキャンの時間間隔、サンプリング周波数 α 大きさの選択やフィルタリングの方法などを検討することか今後 α 問題として残されている。

本報告で述べた風測定の方法は、大型 α スキャンニングレーザレーダーによる広域空間の風場構造の把握、大気境界層内 α 詳細な風分布の測定など、従来レーザレーダーでなされてきた汚染物質分布 α 測定と組み合わせることにより、一層有効な情報が提供できると期待される。