

Observations of the Atmospheric Boundary Layer
by a Mie-Scattering Laser Radar

佐野泰弘・清水浩・竹内延夫・村野健太郎・奥田典夫

Y. Sasano, H. Shimizu, N. Takeuchi, K. Murano and M. Okuda

国立公害研究所

The National Institute for Environmental Studies

はじめに

従来 ミ-散乱利用レーザーレーダーは大気境界層内の諸現象に対して次のような分野での応用可能性が指摘されている。

(1)エアロゾル分布測定 (2)煙拡散問題 (3)視程 (4)雲 霧の生成・消滅 (5)ドップラー法 相関法等による風向・風速測定 (6)エアロゾルパターンによる対流, ポルムラの観測 ほか。

しかしながら, 大気境界層構造の研究において実質的にレーザーレーダーが使用された報告例は少ない。

1977年7月, 気象研究所を中心として7研究機関による大気境界層の共同観測が気象研究所筑波観測所および高層気象台構内(いずれも筑波研究学園都市内)において実施された。我々は国立公害研究所レーザーレーダー班として, 大気境界層内のエアロゾル分布の時間変化を知る目的で, この共同観測に参加した。特に, 気温逆転層の存在とエアロゾル滞留層の詳細な関係を知ること, および他の気象要素とエアロゾル分布との関係等を念頭において観測, 解析を行った。

本報告ではレーザーレーダーによる観測事実を中心に述べる。

観測期間, 方法等

共同観測は, 1977年7月26日から31日までの期間, 実施された。他機関による観測は, (1)200m 気象観測タワーによる気温, 湿度, 風向, 風速(平均量, 乱流量)およびエアロゾル分布, (2)カイトーン(係留気球)による気温, 湿度, 風向, 風速分布(〜500mまで), (3)パイロットバルーンによる風向, 風速分布, (4)日射量, 等である。

レーザーレーダー観測は予備実験のち, 7月30日15時から7月31日10時まで毎正時をほらむ前後20分間の測定を次の要領で行なった。

方向; 鉛直上方

パルス繰り返し周波数; 2 pps

パルス数; 2560 pulses (1280 sec)

サンプリングゲート幅; 10 msec

ワード数; 512 words

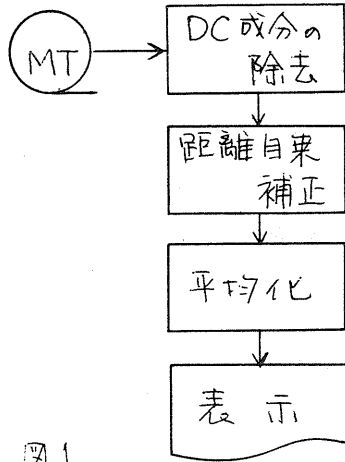
システムおよびデータ収録方法については, 本予稿「25, 国立公害研究所コンピュータ制御レーザーレーダーシステムについて(清水, 他)」を参照された。

データの処理

各測定について磁気テープに収録された 2560 × 512 words のデジタルデータは, 大型計算

機を用いて図1のような処理を施したのち、ラインプリンター上に数値表示または図形表示する。

レーザレーザ方程式から分かるように、距離自乗補正された値は後方散乱光強度に比例し、これは大気中に浮遊するエアロゾル濃度の指標となる。



結果

1977年7月30日晚から翌朝にかけての天気は概ね晴れて、夜中は絹雲(雲量5)が一時あり、明け方、低層に層雲あるいは層積雲が広がった。この間、ほぼ南寄りの風であった。

以下、エアロゾル濃度分布の時間変化を他の気象要素の分布と対応させて見ていく。

図1

[I] オプティカルパーティクルカウンター(OPC)で測定したエアロゾル濃度(粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以上の粒子総数)分布の時間変化と、レーザレーザデータと比較する(図2)。レーザレーザの受信望遠鏡視野とレーザビームの拡がり、幾何学的効率の問題を考慮して、いずれも高度毎に21時で規格化し、その後の相対的变化を示している。測定にかかるエアロゾルの粒径による測定値への寄与率が異なること、サンプリング時間(平均時間)が異なることから、厳密な比較は困難であるが、両者の相関は極めて高い。

大気低層(0~200m)で、7月31日未明から徐々にエアロゾル濃度は増加し、300m高度での増加率は著しい。これは目視によっても確認されたもので、後述の層積雲の発生に由来するものである。

レーザレーザデータと比較する(図2)。レーザレーザの受信望遠鏡視野とレーザビームの拡がり、幾何学的効率の問題を考慮して、いずれも高度毎に21時で規格化し、その後の相対的变化を示している。測定にかかるエアロゾルの粒径による測定値への寄与率が異なること、サンプリング時間(平均時間)が異なることから、厳密な比較は困難であるが、両者の相関は極めて高い。

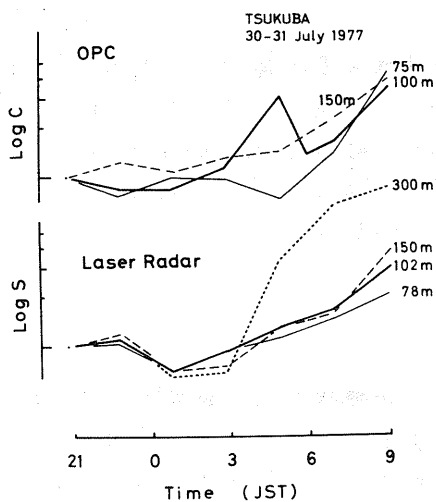


図2

[II] 20 pulses ずつ平均操作を施し、さらに距離方向に4 words ずつ平均したものを(10秒平均、距離分解能6m)を1データとし、各測定について時間軸128、距離軸128(128x128)のデータを作る。直観的にエアロゾル分布の時間変動をつかむために、後方散乱光強度の変化2dB毎に印字の濃度を変え(2桁、10レベル)で、ラインプリンターで打ち出し、THI図を作成した(図3, 4, 5)。

図3, 4, 5は7月31日5時, 7時, 9時の各45分頃からの観測結果を、ほぼ同時刻のカイザー観測で得た気温、湿度の鉛直分布とともに描いている。これらの図から、次のことが分る。

(P) 5:47~6:08 (図3)

3時頃まで、500m付近の気温逆転の下にエアロゾル濃度が高い、というような鉛直構造はあるものの全体としては比較的、濃度は低かった。しかし、6時前後から高度300mあたりで濃度の高い層が形成されはじめた。目視によれば低い層雲状のものであり、カイザーはこの高度を越えると次第に見えなくなりはじめた。

エアロゾル分布の等濃度線はビーフの上下両側で、周期1~2分、逆位相で振動している。この雲の出現が移流によるものであるか、ローカルな発生によるものであるかは今回のTHI観測のみから判断することはできない。

500m付近の気温の逆転、湿度の減少する層以下に、エアロゾルは相対的に多く分布している。

(4) 7:46~7:57 (図4)

7時前後になるとエアロゾル分布のピークは高度400m付近に上昇し、濃度も2倍ほどに増加している。接地逆転は解消し、全体に気温は減少、高度500m付近にあった気温逆転、湿度減少層は600m近くまで上昇している。

(5) 9:43~9:53 (図5)

10時前、エアロゾル分布のピーク、気温逆転、湿度減少層は1100mも上昇し、とくに気温は逆転層以下でほぼ乾燥断熱減率に近くなり、混合が盛んなことを示している。

エアロゾル分布の等濃度線はピークの上下で、周期3~4分、同位相の変化をなし、層全体としての上下運動を示唆している。日の出頃から時を追ってピークが位置が上昇していき、また、その上下運動の程度が増大していく事実から、地表面が日射で熱せられて地温が上昇し対流活動が盛んになった結果と推察される。気象観測タワー等で観測された熱フラックス、運動量フラックス、乱れの強さ等との関係を検討することにより明らかにされる。

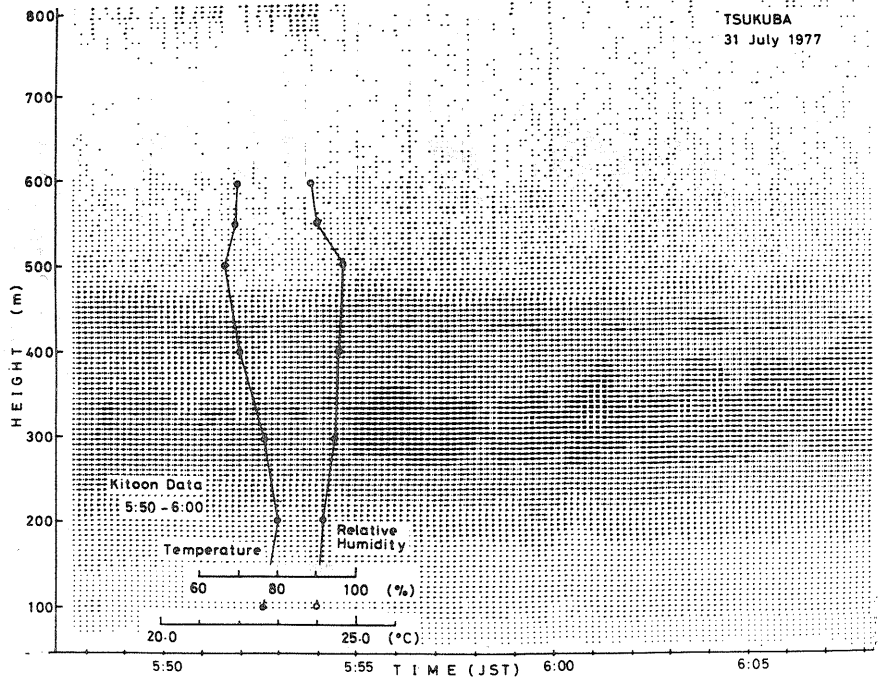


図3

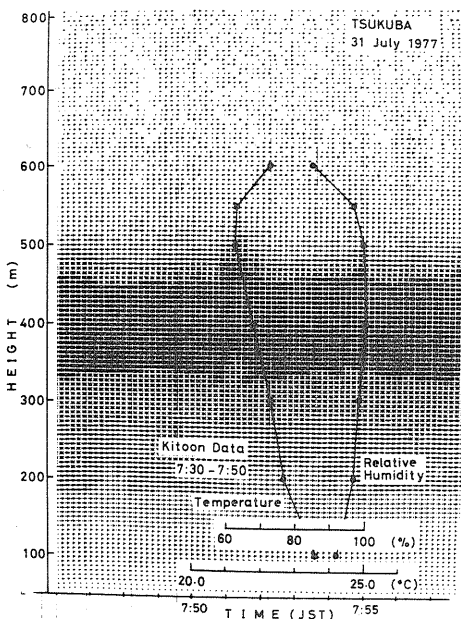


図4

〔Ⅲ〕 毎時の各測定について、2560 pulses のオバテの平均をとリ、濃度-高度関係を時間の経過に従って座標原点をずらして描いた(図6)。濃度は log スケールで目盛っており、相対濃度を表わしている。

濃度変化、ピークが位置の上昇など、〔Ⅱ〕で述べたことかさらに明瞭に理解できる。

図の破線は、カイザーン観測で得た湿度の等濃度線で、この内側は湿度90%以上を示している。

まとめ

たとえば、今回のようなレーザーレーダー観測で得られる大気境界層内の興味ある事項を拾い出してみると、以下の事項が挙げられる。

- (1) 気温鉛直分布とエアロゾル分布の関係
- (2) 安定成層における内部波動等
- (3) 対流混合による混合層成長への影響
- (4) 雲、霧等の発生・成長・消滅
- (5) 乱れのスケールの問題。

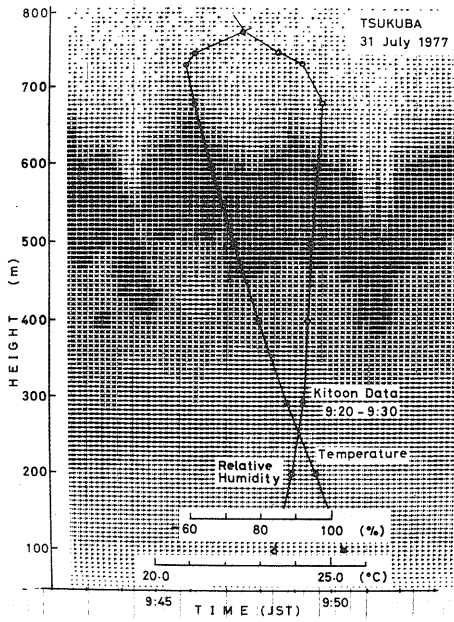


図5

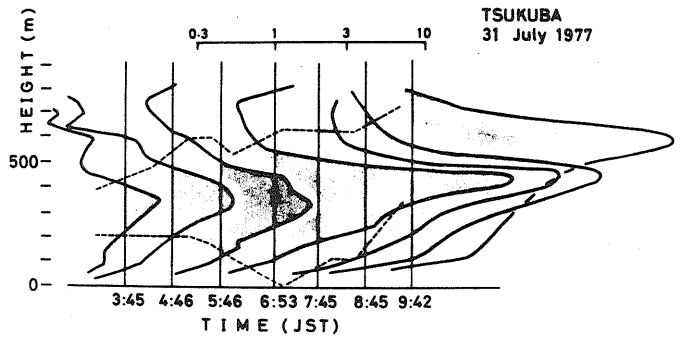


図6

以上、 α 問題に関して、レーザーレーダーは
 適当な気象観測と組み合わせることによって、 α 問題
 解明において事実理解の大きな助けとなる。