

7. 100pps G. P. YAGレーザ・レーダ車による気温の逆転層観測
OBSERVATIONS OF ATMOSPHERIC TEMPERATURE INVERSION
LAYERS USING A 100 PPS G. P. YAG LASER RADAR CAR

後藤 顕也・辻 尊文・樋口 義則・木村 博一
K. GOTO, T. TSUJI, Y. HIGUCHI, H. KIMURA

東京芝浦電気株式会社 総合研究所・計測事業部
TOSHIBA RESEARCH & DEVELOPMENT CENTER AND INSTRUMENT
& AUTOMATION DIV., TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO., LTD.

§ 1 はじめに

Collis⁽¹⁾等がルビー・レーザを用いて大気温の逆転層検出を行なってから各地でレーザの気象観測
ないし大気観測への応用研究が活発に行なわれてきている。

国内でも稲場教授らが早くからレーザ・レーダの大気観測への応用研究⁽²⁾に着手していろいろ成果を
あげている。⁽³⁾逆転層検出に関してはルビ・レーザにより森久らが⁽⁴⁾、YAGレーザにより我々が⁽⁵⁾⁽⁶⁾
や建造物の P P I⁽⁵⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾あるいは R H I 観測とともに行なってきた。しかし、これら赤外の連続パルスレー
ザで検出した散乱強度の不連続層(散乱強度が急激に減少する一連の層状大気)がはたして本当に大
気温度の逆転層であるかどうかを確かめるのはなかなか困難なことである。昭和46年にこれを確かめる
ために小形YAGレーザ・レーダを開発し、東京タワー前の機械振興会館に持ち込み約1ヶ月間観測
した結果、雨、曇、晴、雪の日のデータなどさまざまな観測ができ、風の日以外は必ず大気から散乱
強度の急激な減少を示す一連の層があることを知ったが、かんじんの温度との対応は①東京タワーに
設置されている温度計の高さ方向の間隔がトビトビであること、②温度計が毎時0分から10分まで
の10分間の平均温度であること、③各高度における温度計の設置位置が電波塔の東西南北ばらばら
であることなどのためと、季節風が強く逆転層の発生回数が少なかったために相関性を実証するこ
とができなかった(しかし、この実験ではレーザ・レーダで検出できる大気不連続層の発生と地上視
程との相関関係はほとんどないということがわかった⁽⁶⁾)。そこで今回は関東地方で唯一のラジオ・ゾ
ンデによる大気の垂直温度分布のルーチン観測所である気象庁館野高層気象台(茨城県筑波郡谷田部
町館野)へ移動実験できるよう小形高性能YAGレーザ・レーダ車を開発して、昭和47年11月後
半の2週間、高層気層台内の広い構内の原野でラジオ・ゾンデからの温度計測データとレーザ・レー
ダ車からの逆転層データとの比較野外観測実験を行なった。

§ 2 高くり返しGP YAGレーザ・レーダ車の概要

試作したレーザ・レーダ車は3人乗りトヨタ2トン積アルミバン(レーダ室内3m長×1.6m幅×
1.1m高、70馬力ディーゼルエンジン搭載の小形車)を改造したものである。小形で機能的にまと
め操作も容易なものとするためにいろいろ工夫をこらしている。その外観を図1に、内部配置の略図
を図2に示す。⁽¹⁰⁾

Mie 散乱100pps YAGレーザ・レーダ送受光部を仰角および方位角が自動走査可能なバランス
ヘッド上に設置し、さらにバランスヘッドは電動油圧式リフターにより屋根の上に出せる構造になっ
ている。図にも現われているように小形の標準筐体2個を組みつけてレーザの電源・コントロール板
・信号処理系(オッシロスコープ、サンプリングヘッド、X-Yレコーダ、アンプ等)を収めた。レ
ーザ冷却器はリフターと筐体との間に設置し、熱交換器の冷却フィン部はアルミバンの外部に(図1
参照)向けて設置した。

工場地帯や山野いずれでも随時実験ができるよう電力用ならびに計器用の2台のディーゼル発電機

を搭載している。レーザ・レーダ実験時には、この収納部が観測員3名のベンチとなる。発電機は騒音を避けるために乗員2名で収納部から脱着可能で、50mほど車両から離して設置できる。前述巨体の中のコントロール・ボックスにより一カ所で操作でき能率的な作業が可能である。

レーザ発振器は5φ×75mmのYAGロッド使用の場合波長1.06μで出力7MWのジャイアントパルスが発生する。⁽¹¹⁾ Qスイッチにはトラブルの少ない回転プリズムを採用。0.53μ光も発生可能である。小形な高速くり返し電力パルサーにより最高100ppsまで可能である(電源部寸法; 0.45×0.43×0.42m)。入力電力は最高3.0kVA(30J×100pps)である。

受光器は有効径450mm, 焦点距離1163mm, 筒外径, 筒長ともに0.5mの特殊カセグレン形望遠鏡, 視野絞り, シャッター, フィルター, 光電子増倍管で構成している。

本レーザ・レーダの信号系統図を図3に示す。受信信号はオッシロスコープによるA形表示と100ppsパルスの特性を生かしたX-Yレコーダ表示の2つの方法を用いた。前者はレーザ・レーダの方位角ならびに仰角も2現象オッシロスコープ上にアナログ表示できる点は便利であるが、その都度写真撮影しなければならないのは実験の手間や経済性からみて良くない。後者の方法は本レーダのようなくり返しパルスレーザであるからできるのであってデータの蒐集と整理, 分類上, 都合がよい。すなわち図3に示すように光電子増倍管の信号出力をSampling Hold回路, AC-DC変換器を経てX-YレコーダのY軸信号とし, Sampling HolderのSaw Tooth信号をX軸信号としてX-Yレコーダ上にレーダの散乱光強度のA形表示を描かせる。こうすることによりnsec~μsecの現象を数10sec程度の時間をかけてグラフ用紙上にプロットできることになる。⁽⁹⁾ レーダの方位角や仰角をパラメータとして同一用紙上にプロットできる。また, 受信信号に $1/r^2$ の補正なども容易にできる。今回の実験では搭載しなかったがTOSBAC-40Cミニコンも本レーザ・レーダ車に組込む予定なので信号処理はもっと楽になると思われる。

§3 逆転層とMie散乱レーザ・レーダ

煤煙や排気ガスの拡散やスモッグの生成には下層大気安定性とくに垂直方向の安定性が重要な要因となる。下層大気が安定していれば地上から放出される軽量の汚染物質は高層にまで拡散されることがないから地表付近の汚染濃度は増加し不安定なら拡散されるので濃度は減少する。安定層発生の原因は多種多様と考えられるが大気汚染に関係深い地表近く(0~数100m)の安定層は, 熱的な成因だけを考えれば何らかの原因で最下層の大気が冷やされ, 上層が暖められ, あるいはこれらが同時に起こることによって生成される。大気汚染に関係深い逆転層の成因別分類は地形性逆転, 前線性逆転,⁽¹²⁾ 沈降逆転それに晴夜放射逆転などである。逆転層の生成や消滅と大気汚染の間に大きな相関関係があるが局地的な気象条件に左右されるので結果はまちまちである。現状では都市部では逆転層の検出に気球を上げることが困難であるので全国18カ所にある高層気象台での気球による観測結果をデータとして用いている。

レーザ光は波長が1μm前後であって普通のマイクロ波レーダに比較すると非常に波長が短いため大気中に浮遊している微粒子や水滴(Mie散乱)あるいは大気成分(Rayleigh散乱)分子などからも強い散乱光が得られる。したがって, 大気に逆転層が生成された場合浮遊粉塵や水滴が温度差による浮力などの違いにより逆転層下に堆積するので, Mie散乱レーザ・レーダにより逆転層生成の初期の段階でいち早く検出できることが大きな特長である。また, 気球による温度観測では一定の固定時間と固定地点でのデータしか得られないという欠点があったが, 本レーザ・レーダ車では時間・空間を自由に選べるほかに立体観測ならびに連続観測ができる点が特にすぐれている。今回の実験で実証されるように筑波学園都市の中という非常に空気の清浄な場所でも浮遊粒子からの散乱光解析により

逆転層検出が可能であり、またそれがゾンデ観測よりもすぐれていることがわかれば今後の気象観測に多いにプラスになるものと思われる。

§ 4 観測地とラジオゾンデによる測定

館野高層気象台は筑波山の南約20km、筑波研究学園都市の中にあつて周囲には数kmの間隔を置いて研究所等の建物が点在し大部分は松林と原野と畑が広がっている平地にある。晴れた日には昼夜の気温の差が大きく内陸性気候を呈する。レーザ・レーダ車を構内中央の草原に移動させて、ラジオゾンデ飛揚時間(午前8時半と午後8時半の1日2回)に合わせ、前後2~3時間に亘つて約2週間、Mie散乱強度を観測した。

ラジオゾンデは高層大気の気圧、気温、湿度をそれぞれ空ごう、バイメタル、毛髪により測定し、ゴム気球で毎分400mの速さで上昇し約10mb(30km)までの気温と約350mb(9km)までの湿度分布を観測する。ゾンデからのデータは周囲温度や日射による諸補正が加えられ気圧(P)、気温(T)および湿度(H)の値をP-Tチャートにプロットする。高層気象台の御好意によりわれわれは毎回の実験中、あるいは実験直後にP-Tチャートのデータ提供を受けた。図4にその例を示す。図5はこれを高度と温度との関係に書き換えたもので、レーザ・レーダのデータによる逆転層の高さ(図9)との比較の際の便をはかった。

11月22日夜や11月30日夜には地上200m程度に10°Cもの大きな逆転が観測された。また、30日午前には1700~1900mの高さに2°C程度の逆転がみられたが、これは前線の通過によるものと考えられる。湿度の高度分布は日によって変化する。ある高さで急激に湿度が高くなるのは雲の中をゾンデが通過したためと考えられる。(29日夜の2000mの位置)このような位置では、たとえ肉眼で雲が認められない場合でもレーザ・レーダではエコー信号が得られた。

§ 5 レーザ・レーダ車による測定

今回の実験では仰角は10°~50°の間で自動走査し(5°/sec)水平角度は手動の半固定方式で行なつた。11月22日午後8時50分頃には図6にみられるように地上高50~60m付近と130~140m付近にレーザ光散乱強度に段状の急激な減少を示す変化がみられる。このときの湿度分布は250m付近から地表に向つて急激に増加している。これは接地性逆転により地表の温度が露点近くまで下つたためと考えられる。図7は11月30日午前8時~10時の間の連続観測の際の典型的なA形表示例である。図8は大気不連続層の時間変化の様子、図9はレーザ・レーダによる逆転層の高さを示す(ゾンデデータの図5に対応)。

§ 6 結果の検討と考察

接地性逆転の現われた日は2週間を通じて4日間程度であつたが、図5および図9からもわかるようにレーザ・レーダによる散乱光強度の急激な減少の観測データと逆転層形成とは強い相関があることがわかつた。ただ、ラジオゾンデからの温度データが、かなり粗であることが残念である。それは飛揚速度がかなり速いのに加えて気圧、気温、湿度のデータを交互に送信しているので、温度の鉛直分布を連続的に観測していないからである。レーザ・レーダ車の実用性について論じるために年間を通じてルーチン観測が必要であり、また係留気球(同気象台で今夏完成)による連続計測が望まれるが、少なくともわれわれメーカーの立場における実験目的は達成されたと思われる。

30日午前8時~10時の連続観測による微粒物質の拡散の様子の観測は興味深い。この実験をそのまま京浜地区で行なえば大気汚染物質の拡散の様子をとらえられるものと思われる。30~40分毎に風が強く(地上10mの自記記録計では2~3m/secの微風)吹く毎に濃度の濃い層から薄い層への遷移領域が乱れ、厚くなる。風が止むとこの層の厚さが薄くなり逆転層の段階がはっきり現われる

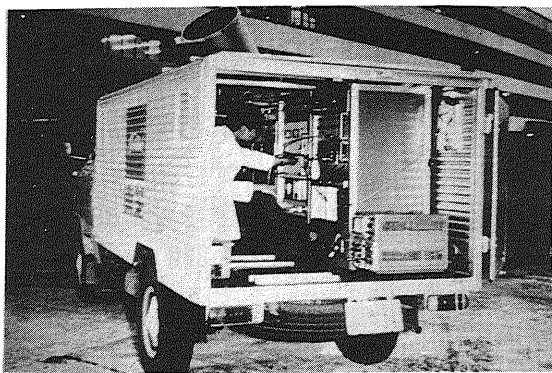
(図8)。8時15分頃50~60mの高さにあった境界層は次第に高いところへ移動し、10時には130mになった。10時過ぎには風速が強まり10m/secで高濃度層は消えてしまった。これはスモッグの消滅過程を捕えたデータとして他の方法では得られないものと思われる。上空500m付近にも遷移領域が観測できたが、これは数10mの広い幅をもち、上層との大気の流れも大きいと考えられる。

§ 7 謝 辞

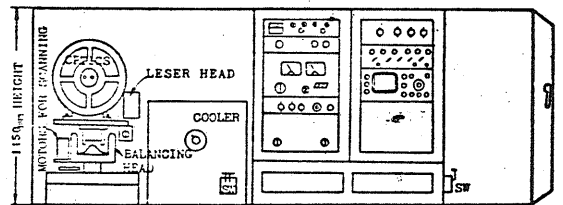
実験に協力して下さった気象庁館野高層気象台の山崎台長、竹内観測才二課長、福田技官、森総務課長および鯛沼観測才一課長の方々に深く感謝いたします。

§ 8 参考文献

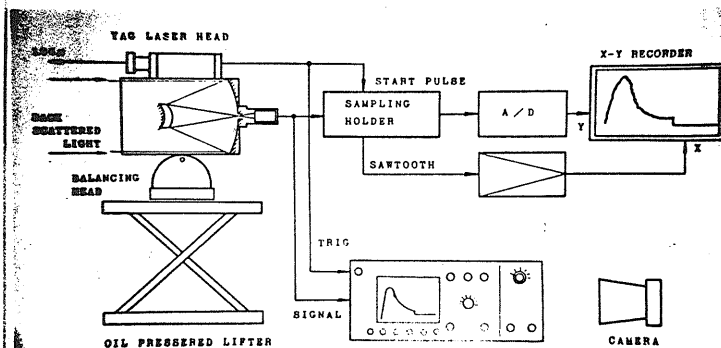
- (1) R. T. H. Collis et al : Nature, 203, 1274 (Sept. 1964)
- (2) 稲場他 : 電子通信学会論文誌 51-B, 417&425 (昭43年9月)
- (3) H. Inaba, T. Kobayashi : Nature, 224, 170 (Oct. 1969)
- (4) 森久, 中村 : 昭46年電通学会全国大会講演予稿集 4, 844 (昭46年4月)
- (5) 後藤, 樋口 : 昭45年電気四学会連大会講演予稿集 IV, 1874 (昭45年4月)
- (6) 後藤, 樋口 : 才1回レーザ・レーダ国内シンポジウム(仙台)No. 6 (昭47年7月)
- (7) T. Takahashi, K. Goto : IEEE J. of Quantum Elect. QE-5, 328 (June 1969)
- (8) 後藤, 樋口 : 昭44年電気四学会連大会講演予稿集 N, 2028 (昭44年5月)
- (9) 後藤, 樋口 : 昭47年電通学会全国大会講演予稿集 4, 1000 (昭47年4月)
- (10) 木村, 坂本他 : 昭48年電通学会全国大会講演予稿集 4, 954 (昭48年4月)
- (11) 樋口, 後藤 : 昭48年電通学会全国大会講演予稿集 4, 873 (昭48年4月)
- (12) 大気汚染研究全国協議会編 : 大気汚染ハンドブックⅢ (気象編), コロナ社 (昭37年9月)



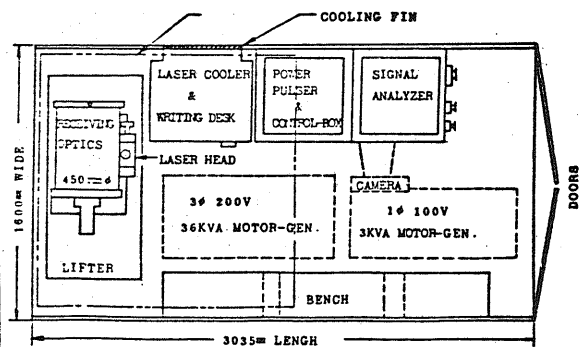
(図1) 試作レーザ・レーダ車



A SIDE VIEW OF THE OPERATION ROOM OF THE CAR

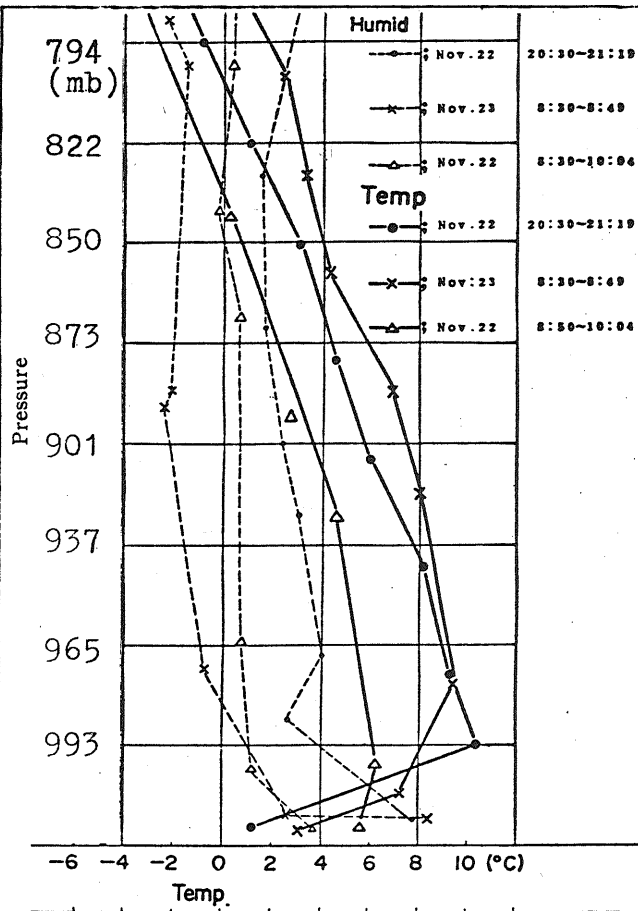


(図3) 本レーザ・レーダ車の信号系統図

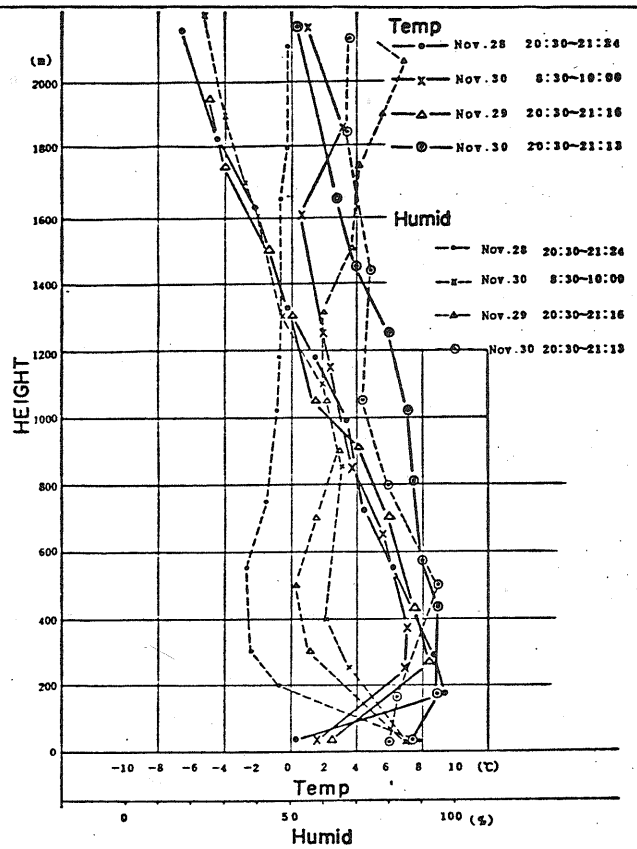


A PLANE FIGURE OF THE OPERATION ROOM

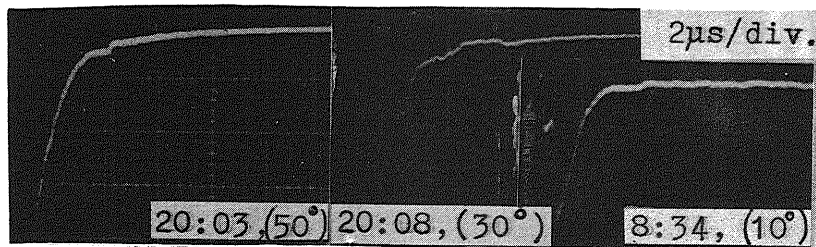
(図2) レーザ・レーダ車の内部配置



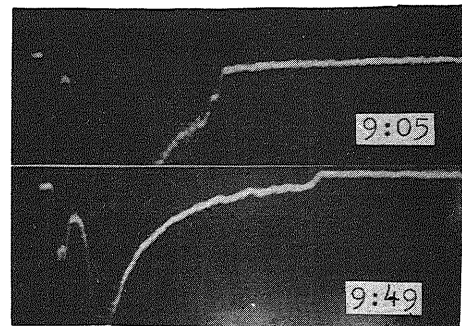
(図4) ラジオ・ゾンデ測定によるP-T線図



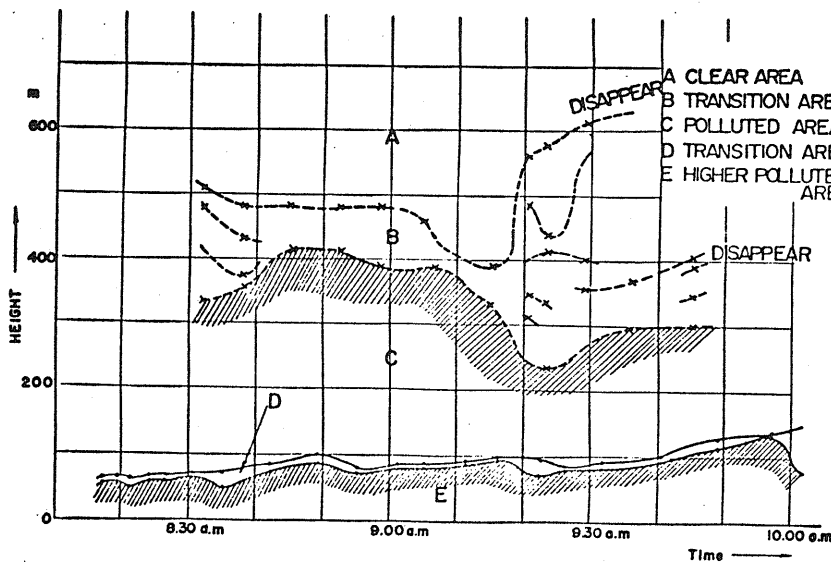
(図5) 高度-温度チャート



(図6) レーザ・レーダA形表示による逆転層

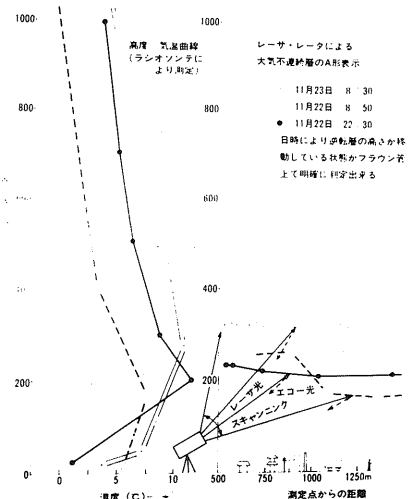


(図7) レーザ・レーダA形表示例



(図8) 大気不連続層の時間変化の様子

1μs/div. (Nov.30)
elev. angl.; 20 degr.



(図9) レーザ・レーダによる逆転層の高さ