

2. レーザレーダによる成層圏エアロゾルの観測

Observations of Stratospheric Aerosols

by Laser Radar

皆越 尚紀

Hisamitsu MINAKOSHI

上田 恭市

Kyoichi UEDA

五十嵐 隆

Takashi IGARASHI

電波研究所

Radio Research Labs.

1. はじめに

高度 20 km 付近の下部成層圏に、エアロゾル(大気分子以外の微粒子)層が世界的規模で存在することは数十年前から薄明薄暮時の太陽光の散乱強度観測やバルーン、飛行機、ロケットなどによる直接採集によって確かめられてきた。この成層圏エアロゾルの性質やふるまいは高層気象学や地球物理学的に興味をもたれてきたし、近年地球環境の汚染という立場からも注目されてきている。

レーザレーダによる上層大気エアロゾルの遠隔測定は、従来のバルーンや飛行機などによる直接採集などに比べて、経済的で、準定常的に長期間観測できるので、すでに世界各地で観測が行なわれており、将来はデータの世界的規模での蓄積と解析が可能になるだろう。

われわれは1970年に試作したQスイッチルビーレーザによるモノスタティック方式レーダで、1972年の秋から成層圏エアロゾルの分布と時間変化を対象に観測を続けている。ここでは本装置の概要、これまでの観測結果と考察、装置の性能と問題点について述べる。

2. レーザレーダ方程式

送信電力 P_T 、パルス幅 τ のレーザ光を垂直に打ち上げたとき、高度 h からの後方散乱による受信電力 P_R は次のレーダ方程式で与えられる。

$$P_R = P_T \cdot \beta \cdot C \cdot (\tau/2) \cdot (A_R / R^2) \cdot T_T \cdot T_R \cdot T_a^2 \quad (1)$$

ここで β : 後方散乱係数

$$\beta = N_a(h) \sigma_a + \sum_i N_i(h) \sigma_i$$

$N_a(h)$: 高度 h における大気分子数密度

σ_a : 大気分子の Rayleigh 後方散乱断面積

$N_i(h)$: 高度 h における i 粒子の数密度

σ_i : i 粒子の Mie 後方散乱断面積

C : 光速

A_R : 受信望遠鏡の有効開口面積

T_T, T_R : 送受信光学系の透過率

T_a : 大気の大気透過率

C, A_R, T_T, T_R は定数としてわかるので、 P_T (送信エネルギー)、 T_a, P_R を測定することにより、高度 h での β を求めることができる。 $N_a(h), \sigma_a$ とし

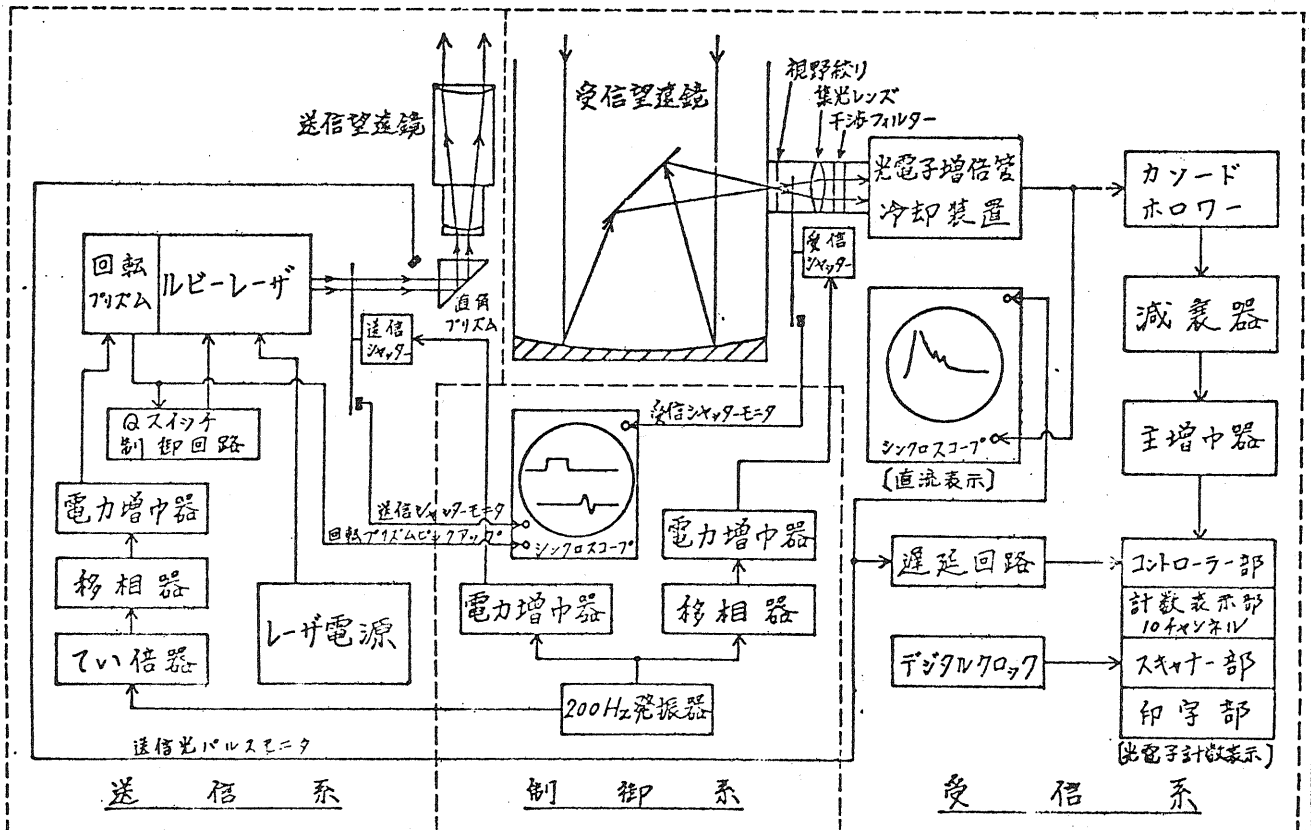
て、これまでの測定値または理論値を用いれば、 $\Sigma n_i(r) \pi r^2$ が求まり、さらにエアロゾル(心粒子)を一定の屈折率と特定の径分布で表わされる球形粒子群と仮定すればエアロゾルの粒子数も推定することができる。

3. レーザレーダ装置と動作特性

Qスイッチルビレーザレーダ装置の構成と動作特性を第1図と第1表に示す。雑音の原因となるレーザからの機光および近距離からの強い散乱光を遮光するために送信系および受信系に、周期2.5[msec]、ゲート時間200[msec]の回転シヤッタを設けている。下部成層圏までは直流表示で測定できるが、実際の観測(10Km-50Km)では光電子計数表示を用いた。低い高度からの強い散乱光を受信する場合は受信系に光減衰器を入れて光電子計数法の直線性の範囲で測定するようにした。増幅した光電子パルスは高度に対応させた10チャンネルの計数器で計数し、デジ

送信系	ルビレーザ	ルビ 波長 Qスイッチ	150mm×15mmφ 6943 Å 回転プリズム(倍角式) 回転数 400c/s
	送信望遠鏡	ケルソン放電管 入力エネルギー 出力エネルギー パルス幅 パルス繰返し	FX-45C-6×2 約2KJoules×2 最大5Joules 1 μsec以下 1回/10s
受信系	受信望遠鏡	口径 倍率 出力ビーム幅	ガリレオ式 200 mm 8 0.6 mrad.以下
	干渉フィルタ	帯域幅 透過率	ニュートン式 900 mm 視野絞り 0.5~10 mrad.
	光電子増倍管	冷却	EMI-9558QB S-20 量子効率3% 電子冷却-40°C(相対)
	増幅器	利得 帯域幅	60 dB 10KHz~180MHz
	計数器	入力結合方式 計数分解能 (正弦波入力)	DC結合 10 msec, 3Mc/s 10 c/s ~ 40 Mc/s

第1表 レーザレーダ装置の動作特性

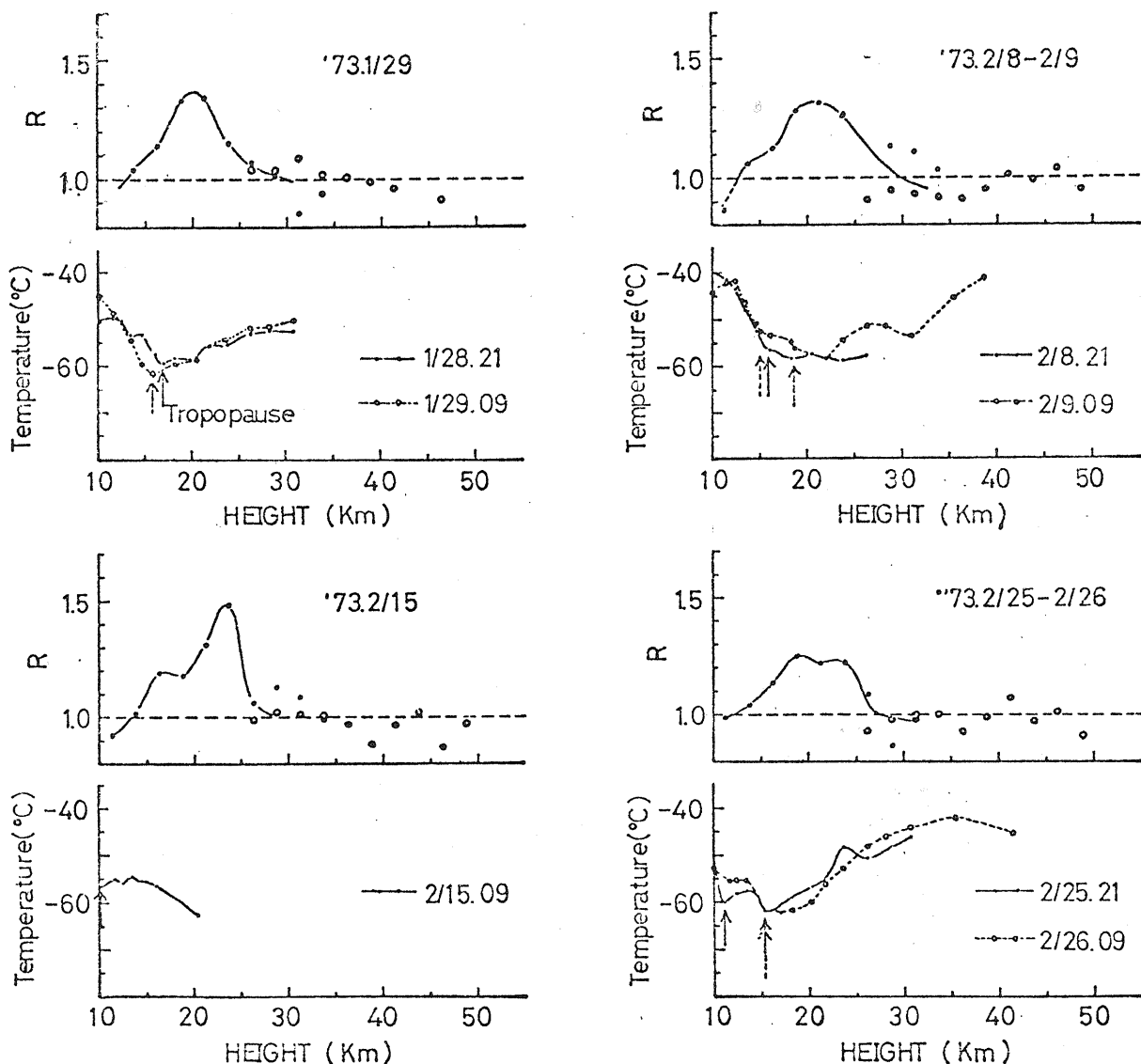


第1図 レーザレーダ装置の構成図

タレレコーダで印字する。各チャンネルの計数時間は1000/60、1000/30、1000/15(μsec)の3つにセットでき、距離分解能はそれぞれ2.5、5、10(Km)である。

4. 観測結果と考察

今回発表する観測結果は1972年11月22日-1973年3月3日の間に、18晩行なったものである。送信エネルギーは約0.27(J)で、送信光パルス繰返しは2(PPM)で、高度分解能は2.5(Km)に設定した。光電子計数法の直線性が成り立つ範囲で、測定精度を上げるために観測高度を10-35(Km)と25-50(Km)の二段に分け、前段の観測では受信系に光減衰フィルタを挿入した。エアロゾルの有無はこれまでしばしばなされてきたように、30-40(Km)付近にはレーザーレーダで検出できる程のエアロゾルは無いとして、この高度での測定データと標準大気(CIRA 1961年)のプロファイルを一致させ、その他の高度において標準大気分子から期待されるよりも強いエコーが返ってきたかどうかで判定した。今観測期間において、少なくとも11晩は15-25(Km)の高度において大気分子によるよりも強いエコーが観測された。これはいわゆる下部成層圏のエアロゾルからのものと考えれば間違いない。第3図に、代表的な観測結果について、観測された後方散乱係数と標準大気分子による後方散乱係数の比



第3図 下部成層圏エアロゾルのScattering ratioと気温分布

R (Scattering ratio) のプロファイルと館野高層気象台(茨城県)で観測された気温分布を示す。これから見るとエアロゾルのピークはほぼ20-25(Km)にあり、一週間もたてばその分布は変わってしまうことがわかる。また気温分布との対応について見ればTropopauseやその他の微細な分布の対応は観測値の精度の悪さや観測場所、時間のずれのためよくわからないがエアロゾルのピークが常に気温の大きな極小点よりも数(Km)高い所にあるように思える。第4図は1晩観測したデータを時間的に分解したプロファイルである。これによると時間のオーダーでもエアロゾルの分布は変化しているように見える。これまでの報告には1晩位の期間ではそのプロファイルに変化が見られなかったという観測結果が多い。エアロゾルを大気運動のトレーサとして見る場合、その時間的な変化は重要な意味をもつので、この変化が意味のあるものかどうか、測定精度について検討しながら今後詳しく観測を続けたい。

エアロゾルについてBartusekら¹⁾が用いた仮定に従って、 $h = 22$ [Km], $R = 1.35$ としてピークの粒子数密度を計算すると 5×10^5 [m^{-3}]となる。これはJungeら²⁾による直接採集の測定値 10^5 [m^{-3}] (0.1~1.0 μ の粒子に対して20(km)付近で最大)にほぼ近い値である。

5. おすび

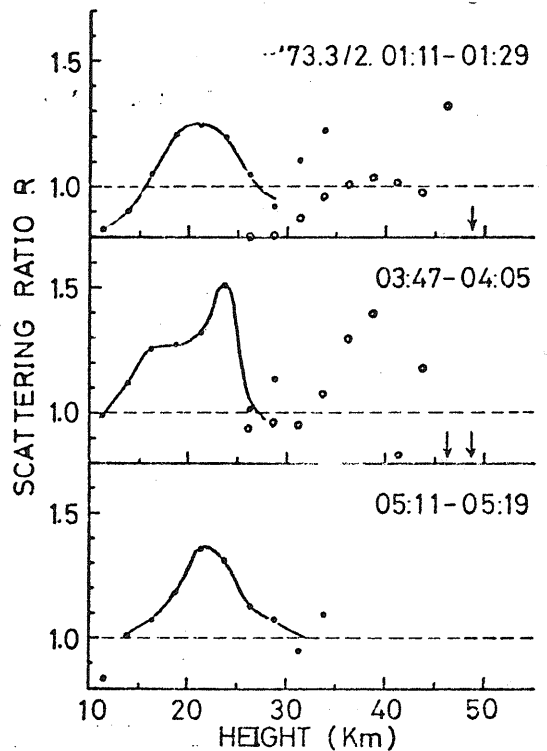
上層大気観測用のスウィッチルビレーザレーザ装置の概要、成層圏エアロゾル層の観測結果、装置の性能および問題点について述べた。10-50(Km)の大気粒子からの散乱エコーを観測した結果、20-25(Km)にピークをもつ、いわゆる下部成層圏エアロゾルを検知することができた。Bartusekら¹⁾が用いた仮定に従い、ピークの粒子数密度を見積ると、 5×10^5 [m^{-3}]となり、これはJungeら²⁾が直接採用して得た結果に近い値である。エアロゾル層のプロファイルはかなり変動しているようだが、測定精度が不十分で、測定回数も少ないので、まだ確定的なことは言えない。

多波長光源を上層大気観測に利用すれば、エアロゾル層の検知をより確実にし、さらに径分布に関する新しい情報を得ることができると考えられる。将来、色素レーザによる多波長レーザによる観測を試みる予定である。

おわりに、高層気象データを心よくお見せ下さいました館野高層気象台第二課長竹内氏に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) K. Bartusek, D. J. Gambling and W. G. Elford, J. Atmosph. Terr. Phys. Vol. 32, No. 9, 1535-1544 (Sep. 1970)
- 2) C. E. Junge, C. W. Chagnon and J. E. Manson, J. Met. Vol. 18, 81-108 (Feb. 1961)



第4図 下部成層圏エアロゾルのScattering ratioの時間変化