

南極中層大気探査用レーザレーダのシステム構成

岩坂泰信*・平澤威男**・福西 浩**
藤井良一**・宮岡 宏**・伊藤昇司***
安田 升***・大谷博康***

The Laser Rader System for Measurement of the Middle Atmosphere at Syowa Station in Antarctica

Yasunobu IWASAKA*, Takeo HIRASAWA**, Hiroshi FUKUNISHI**,
Ryoichi FUJII**, Hiroshi MIYAOKA**, Syoji ITO***,
Noboru YASUDA*** and Hiroyasu OHTANI***

Abstract: Multiwavelength laser radar system was installed at Syowa Station in 1983 by the 24th Japanese Antarctic Research Expedition for measurement of the middle atmospheric phenomena in cooperation with International Middle Atmosphere Program (MAP). The laser radar can simultaneously shoot two kinds of laser pulses ($0.6943\ \mu\text{m}$: the fundamental wave, $0.3471\ \mu\text{m}$: the second harmonic wave) by means of ruby laser with regulated repetition frequencies (maximum: 1 Hz) and receive scattered light by a telescope with the $50\ \text{cm}\phi$ -lens in efficient diameter. The measurement can be done by using a photon counter for each wave and A-scope for the fundamental wave. The test observation had been successfully made in Japan and it showed the remarkable increases of the stratospheric aerosol due to the volcanic eruption of Mt. El Chichon. It was also inferred that the size distribution of the particles in the aerosol layer is inhomogeneous.

要旨:南極の中層大気総合観測が中層大気国際共同観測計画 (Middle Atmosphere Program, MAP と略称する) の一環として実施されており, 昭和基地にレーザレーダを設置し, 極域中層大気中のさまざまな大気現象を調べようとする計画が, 1983年から検討されてきた. この目的のために建設されたレーザレーダの特徴は, ルビーの基本波 $0.6943\ \mu\text{m}$ および第2高調波 $0.3471\ \mu\text{m}$ のパルスを最大 1 Hz のくりかえしで同時射出し, 有効径 50 cm の望遠鏡で散乱光を受信するものであり, それぞれの波長での光子計数法を用いた観測および基本波でのAスコープ方式の観測が行えるようになっている. 試験観測の結果は良好で, エルチチョン火山の噴火 (1982年) の影響を受けた成層圏エアロゾル層の様子がとらえられており, 2波長同時観測によって, エアロゾル層内の粒径分布が, 垂直方向について不均一であることなどが推定された.

* 名古屋大学水圏科学研究所. Water Research Institute, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464.

** 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

*** 日本電気株式会社. NEC Corporation, 10, Nisshincho 1-chome, Fuchu-shi, Tokyo 183.

1. はじめに

火山活動と気候変動との関係は、古くから気候学者、気象学者の関心をひいてきた研究テーマであった。近年成層圏エアロゾル層の消長を引き起こしている原因のひとつとして火山噴火が挙げられるようになった。またオゾン層に対する成層圏エアロゾルの影響が示唆され、成層圏エアロゾル層への関心が高まってきている。しかし、成層圏エアロゾル層に関する研究は、単にその分野にとどまらず、物理化学上の基本的な問題（**nucleation**, 原子や分子の **cluster formation**, 相変化, 表面反応など）や天体物理学上の問題（**cosmic dust** の振舞, **dust particle** の成長と星の誕生など）と深い関係があり、これらの分野へ有用な情報を提供し得ると考えられる。

成層圏エアロゾル層を観測する手法は、大きくわけて、気球や航空機を用いて直接サンプリングを行い種々の化学分析を行う方法と、光の散乱を利用する方法がある。後者の場合の代表的な観測器は、光散乱を利用した **particle counter**（気球に搭載される場合が多い）やレーザーレーダである。とりわけレーザーレーダは長期間の連続観測に向いていることから、多くの研究グループが成層圏エアロゾル層のモニター用として用いており、現在世界各地で約 30 基近くが設置されている。ただし、これらのレーザーレーダ基地の多くは、北半球の中緯度帯（アメリカ、ヨーロッパおよび日本）に設置されており、エアロゾル層を汎地球的規模でとらえることができない。エアロゾル層の維持、生成機構とエアロゾル粒子の輸送過程や、大気条件の差異が大きい極地方と中・低緯度のエアロゾル層の対比などの興味ある問題を調べるには、極地方での観測が必要になってくる（**IWASAKA et al., 1981**）。そのような状況をふまえて、1982 年より始まった中層大気国際共同観測計画（**Middle Atmosphere Program, MAP** と略称）の一環として、わが国では南極昭和基地でのレーザーレーダ観測が計画された。

ここで述べるのは、この観測に使用されるレーザーレーダのシステム概要およびその試験観測の結果である。

近年のレーザーレーダ技術の進歩は著しく、レーザ出力の高出力化、レーザ発振の安定化という面はもちろん、マイクロコンピュータによるシステムのモニターやコントロールが積極的にすすめられ、使用する光学部品も種々工夫されたものが見られる。本システムは、2 波長のレーザ出射を同時に行い、2 波長での散乱強度を観測することができるほか、偏光子散乱体の偏光特性をしらべることができることが特徴となっている。2 波長同時観測によって、エアロゾル粒子の粒径分布に関する情報が得られ、また受信散乱光からエアロゾル粒子がもとになっている散乱成分のみを分離することができる。これらはそれぞれエアロゾル粒子とそのまわりの種々の気体成分との相互作用や、太陽放射伝達過程に与える効果を議論する上できわめて有効な情報である。さらに散乱体の偏光特性を知ることにより、散乱体がどの程度球形に近いかが、定性的ではあるが判定できる。火山噴火で多量の火山灰が成層圏に

注入された際の成層圏エアロゾルの変質過程を知るのに有効であろう。

昭和基地に設置するため、組み立てあるいは解体に便利のように、システム構成上、ブロック組みにしてある。さらに、昭和基地では電源の供給状態が必ずしも良好とは言えないことや、多数の計測器が集中して設置してあり、本レーザーレーダが他の測器に与える影響、その逆に他の測器類からレーザーレーダに与えられる影響が予想されることから、雑音対策や電源対策も十分に行った。

試験観測は順調に行われ、それらの結果は現在注目をあびているエルチチョン火山噴火(1982年4月, メキシコ)の影響をうけた成層圏エアロゾル層の様子をよく表している。

2. 南極中層大気探査用レーザーレーダシステム

レーザーレーダシステムは、大きくわけて、レーザー発振部(レーザーパルス光を作る)、送信光学部(レーザーパルス光を大気中へ射出する)、受信光学部(大気中で後方に散乱したレーザー光を受光し集光する)、光電変換部(集光した光を電気信号に変換する)、信号処理部(電気信号が指定された規格になるよう処理する)、データ処理部(信号からデータを取り出す)、およびそれら各部の状態をモニターし、それらの間の信号のやりとりをコントロールする制御部よりなっている(図1)。

レーザーレーダの主要諸元を表1に示す。レーザー発振部のレーザーは、JKレーザー社のルビーレーザーJK 2000を用いた。観測に使用する波長は $0.6943\ \mu\text{m}$ および $0.3471\ \mu\text{m}$ である。パルス幅は $40\ \text{ns}$ 、パルスくりかえしは最大 $60\ \text{ppm}$ ($1\ \text{Hz}$) であり、マニュアルで1パルス

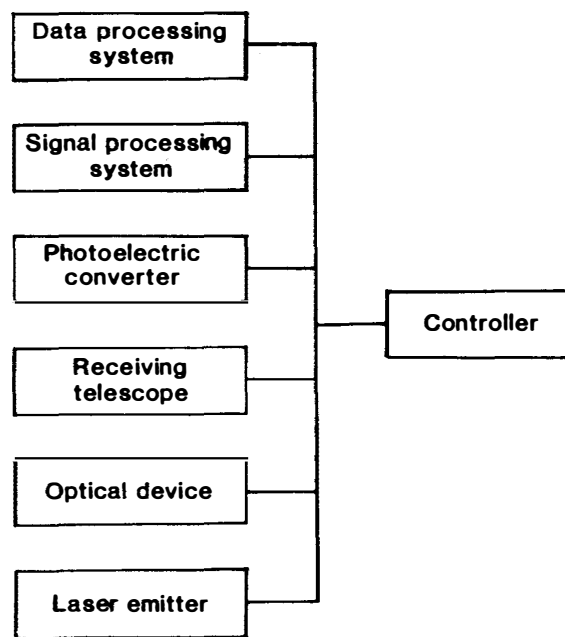


図1 レーザーレーダシステムのブロック図
Fig. 1. A blockdiagram of the laser radar system.

表 1 レーザレーダの主要諸元
Table 1. Main characteristics of laser rader system.

Transmitter	
Laser wavelength	0.6943 μm (Ruby, fundamental) 0.3471 μm (Ruby, second harmonic)
Laser power	1.0 J/pulse (Max., 0.6943 μm) 0.25 J/pulse (Max., 0.3471 μm)
Pulse repetition rate	1.0 Hz (Max.)
Pulse duration	40 ns
Receiver	
Telescope	50 cm ϕ (Cassegrain)
Photomultiplier	R 1333 (0.6943 μm , DC signal) 943-03 (0.6943 μm , photon counting) 943-02 (0.3471 μm , photon counting)
A/D converter	8 bit/word, 960 words
Photon counter	100 channels, 2 series
Data processor	Mini-computer (MELCOM 70/10)

ごとに発振させることもできる。ルビーロッドは長さ 4 インチ，半径 3/8 インチであり，フラッシュランプは直管形のを 4 本用いて共振器を構成している。第 2 高調波 (0.3471 μm) を発生させる SHG (second harmonics generator) には RDA 結晶を使用している。レーザを冷却するために水を用いているが，水が得にくいという現地事情から，また水の純度を良好に保つ必要性から，2 次水 (純水を 2 次水に用いる) を循環させるように設計されている。RDA 結晶は強い潮解性を持っているので，取り扱いには十分注意が必要である。レーザを

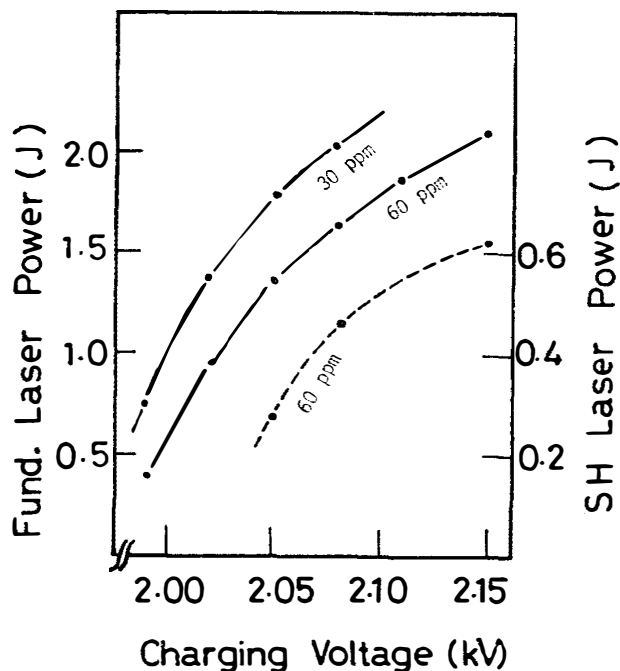


図 2 レーザ出力実験の結果。縦軸は基本波 0.6943 μm と第 2 高調波 0.3471 μm の出力強度を任意スケールで表し，横軸は放電電圧を kV で表す

Fig. 2. The relation of charging voltage (kV) to the laser radar power (J) for 0.6943 μm (solid lines) and 0.3471 μm (a dashed line).

発振させない時はシールを施し、かつまわりにシリカゲルをおいて乾燥した状態にしておく必要がある。レーザー出力は、波長 $0.6943 \mu\text{m}$ については、最大のパルスくりかえしで、この波長のみを発振させた場合には 2.0 J/pulse 以上を得る。くりかえしを少なくすれば、 2.5 J/pulse 程度の出力エネルギーを得ることも可能である。2 波長を同時に発振させた場合には、最大のパルスくりかえしで、波長 $0.6943 \mu\text{m}$ では約 2 J/pulse 、 $0.3471 \mu\text{m}$ では 0.6 J/pulse 程度である。SHG の変換効率は 25% 以上と考えられる。図 2 にはレーザー出力実験の結果の一例を示す。図からわかるように、 30 ppm (0.5 Hz) のパルスくりかえしでは、放電電圧 2.07 kV で 2.0 J/pulse の出力エネルギーを得ている。放電電圧 2.15 kV を設定した場合、レーザー出力は $0.6943 \mu\text{m}$ では 2.0 J/pulse 、 $0.3471 \mu\text{m}$ では 0.6 J/pulse をやや上回る値を示しており、この時の変換効率は 30% 以上と考えられる。なお、レーザー出力は、フラッシュランプの劣化や RDA 結晶の劣化によって大きく変化するが、これらの値はランプなどが比較的新しい時の値である。

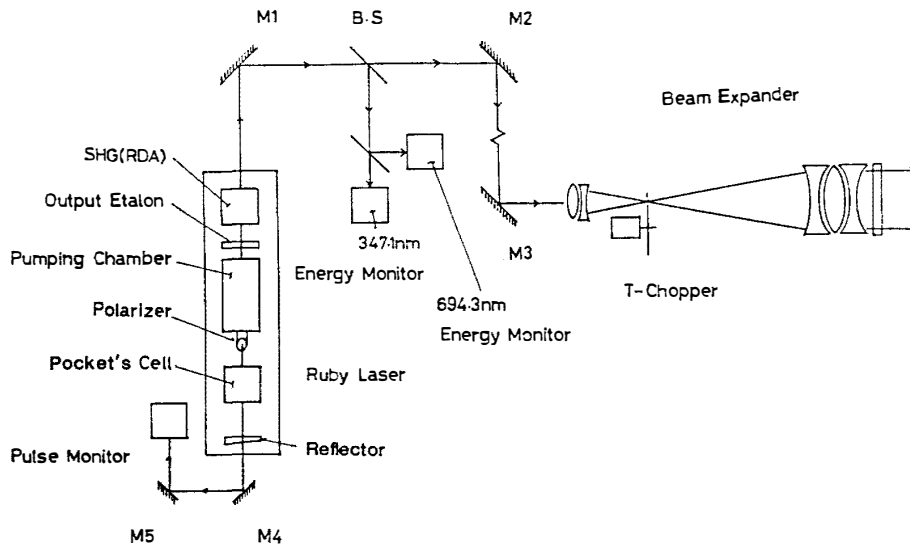


図 3 レーザ発振部および送信部光学系の構成

Fig. 3. A schematic picture of the laser emitter and the optical device.

送信光学系は、レーザー発振器から出た光を送信望遠鏡まで導くミラー群と、送信望遠鏡およびレーザー光の蛍光の射出をふせぐ回転シャッターより構成されている。ミラーは反射率 98% 以上の 2 波長全反射ミラーである。送信望遠鏡は 2 枚の入射レンズ、3 枚の射出レンズ、レンズ保護用の窓からなっており、レーザービームをビーム径 $30 \text{ mm}\phi$ 、ビームひろがり 0.5 mrad にして大気中に射出するようになっている。レーザー発振部および送信部の光学系のブロック図を図 3 に示す。

受信光学系は、大気中のエアロゾル粒子、空気分子、その他からの微弱な散乱光を集光するカセグレン型望遠鏡、および近距離からの強い散乱光をカットするための回転シャッターよりなる。望遠鏡は有効口径 $500 \text{ mm}\phi$ 、 $F/4$ の規格をもつ。

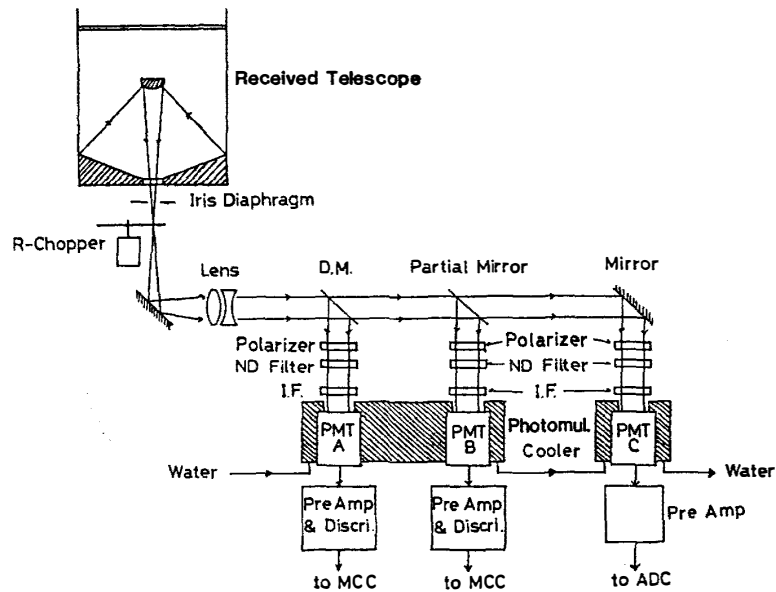


図 4 レーザレーダ受光部光学系および光電変換部の構成
 Fig. 4. A schematic picture of the receiving telescope and the photoelectric converter.

光電変換部は、受信集光した光をコリメートし、3組のミラー（ダイクロイックミラー、パーシャルミラーおよび全反射ミラー）を用いて光を3つのチャンネルに分割し、それぞれの光の強度を光電子増倍管を用いて電気信号に変換する部分である。観測項目の多様化に備え、2波長同時計測法の有効性を十分に発揮させるため、光電変換部には種々の工夫がされている。図4にこの部分の光学系を示す。3つのミラーによって、それぞれ $0.3471 \mu\text{m}$ のみの光、 $0.6943 \mu\text{m}$ の光のうちの10%、および $0.6943 \mu\text{m}$ の光の90%に分割される。前2者は光子計数法による計測に、残りはアナログ法による計測に用いられるものである。各光電増倍管の前部には、背景光を除去するための干渉フィルターがもうけられている。各フィルターの透過率と半値幅は、

Aチャンネル用フィルター	21%	25 Å
Bチャンネル用フィルター	61%	10 Å
Cチャンネル用フィルター	61%	10 Å

である。各チャンネルの光電子増倍管は、

Aチャンネル用光電子増倍管	R 943-02 (浜松ホトニクス)
Bチャンネル用光電子増倍管	R 943-02 (浜松ホトニクス)
Cチャンネル用光電子増倍管	R 1333 (浜松ホトニクス)

を用いている。

各チャンネルにはそれぞれ独立にNDフィルターがとりつけられるようになっており、フィルターの組み合わせにより、広いダイナミックレンジがカバーできる。さらに受信散乱光の偏光特性を測定できるよう、垂直および水平の2種類のポライザーがセットできる。

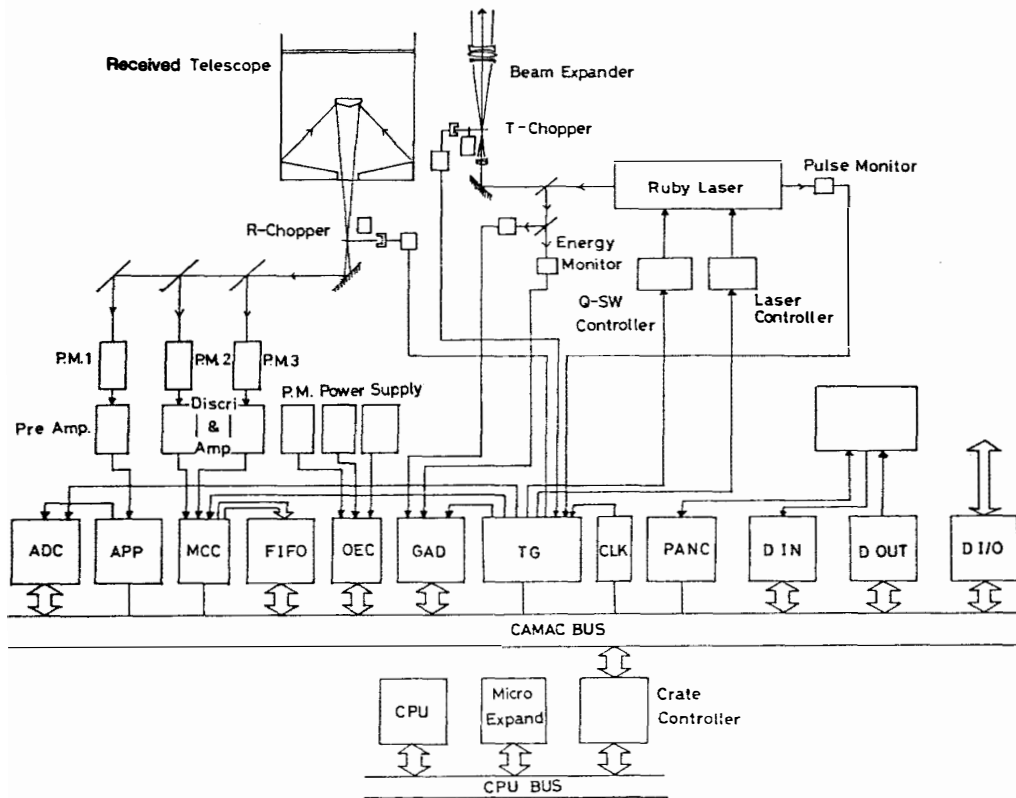


図 5 レーザレーダ信号処理部の構成. 規格は CAMAC で統一されており, コントロールはマイクロコンピュータ 8085-2 で行われる

Fig. 5. A schematic picture of signal processing system which is composed of CAMAC and microcomputer 8085-2.

信号処理部は CAMAC 規格で統一した設計がなされている。受信信号やシステムの状況を示す種々の信号 (たとえば A/D コンバータのサンプリング時間, 光電子増倍管用の高圧電源の電圧, ND フィルターの番号など) のとり込みや転送は, マイクロコンピュータ (8085-2) を介して, CAMAC function として行っている。信号処理部を構成する各ユニットとシステム各部との関係を図 5 に示す。図の中で DIN, DOUT, および PANC ユニットの操作パネルの設定モードの入力, パネルへの出力, そして各種電源およびランプ類の on/off を行っている。CLK, TG ユニットのレーザー発振に必要なフラッシュランプのトリガー, Q スイッチのトリガーの発生や, 他の各ユニットのストップトリガーを発生させるユニットである。GAD ユニットの出力 11 ビットのゲート積分方式の A/D コンバータで, レーザパルス出力エネルギーの大きさを計測している。OEC ユニットの 8 ビットの A/D コンバータで, 3 本の光電子増倍管の電源電圧をモニターしている。MCC と FIFO ユニットの光子数の計数を行うユニットで, 100 チャンネルの計数を行う 6 台のカウンターを交互に切り換え, 24 ビットのバッファメモリを用いて, 距離分解能は 0.1 km から 10 km まで, 0.1 km きざみで設定できる。ADC ユニットのアナログ計数を行うユニットで, 8 ビットの A/D コンバータである。サンプリング時間間隔は最小 50 ns (距離分解能にして 7.5 m) である。

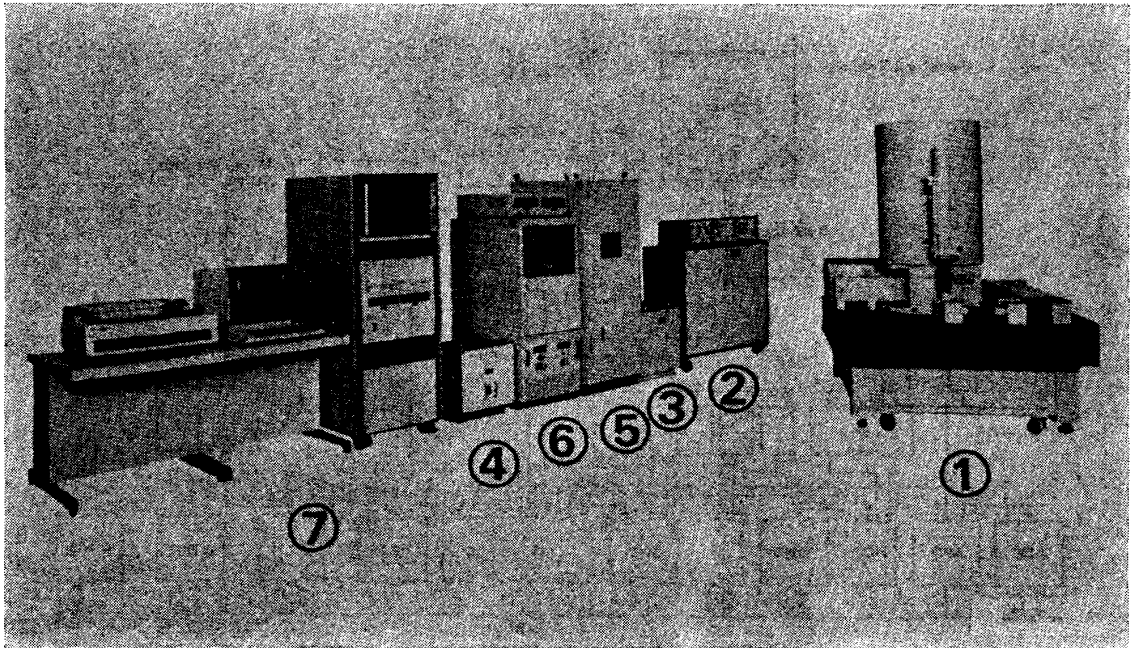


図 6 レーザレーダシステム全体の外観写真
Fig. 6. A photograph of the laser radar system.

制御部は信号処理部と直接結ばれており、コントロールパネルによってシステムの状態を指定してやると、それらの信号は CPU を介して各ユニットおよびシステム各部をつなぎ、システム全体としてオペレーション可能か否かを操作者に知らせてくる。

データ処理部は、マイクロコンピュータ MELCOM 70/10 を中心にもち、信号処理部より DI/O ユニットの介して、観測データおよび観測条件を表すパラメーター (MCC のゲート時間、積算パルス数など) を読み込み、磁気テープに記録する。また、CRT 上に一次処理したデータをリアルタイムで表示し、それをハードコピーとして残すことができる。

システムに供給する電源の中で、データ処理部および信号処理部に使用するものは、安定化電源装置を使用して、電圧および周波数の安定したものにしてある。

システムのデータ取り込みを作動させるために必要な、種々のパルスが発生させるためのトリガーパルスは、レーザ発振器の後面ミラーからもれてくるレーザパルス光を用いている。この信号を外部からの雑音から保護するために、オプティカルファイバーを用いて、レーザ発振器後部と信号処理部の TG ユニットとをむすんでいる。また、信号処理部とデータ処理部の間は、レーザ発振時に生ずるノイズから、データ処理部を保護するために、フォトカップラを介して結ばれている。

図 6 はシステム全体の外観写真である。写真の①はレーザ発振部の中のレーザ発振器、送信部、受信部および光電変換部で、架台の上にセットされている。②はレーザ発振部の中のレーザ電源ユニット、Q スイッチユニット、および SHG 温度コントロールユニットである。③、④ はそれぞれ逆 V トランスおよび安定化電源である。⑤は冷却器で、レーザ発振

部のレーザーの冷却および光電子増倍管の電子冷却用の冷却水を供給する。信号処理部および制御部は一体化されており、⑥に示されるようにひとつのラックに組み込まれている。⑦はデータ処理部である。

3. 試験観測の結果と討論

レーザーレーダシステムの総合的な試験運転は、1982年7月より10月までの約3カ月にわたって、名古屋大学水圏科学研究所において行われた。その間システムの総合的な調整と同時に、南極での観測にそなえて予備観測を行った。

レーザーレーダ方程式は通常次のように与えられる。

$$P_r(z, \lambda) = K(\lambda) \cdot \frac{P_0(\lambda) T^2(z, \lambda) \beta(z, \lambda)}{z^2} \quad (1)$$

ここで、

z : 高度

λ : 波長

$P_r(z, \lambda)$: 受信光強度

$T(z, \lambda)$: 透過関数

$\beta(z, \lambda)$: 後方散乱係数

$P_0(\lambda)$: レーザパルス出力

$K(\lambda)$: システム定数

本システムでは、波長 λ は $0.6943 \mu\text{m}$ および $0.3471 \mu\text{m}$ の2波長が使用されることはすでに述べた。この波長域では、大気透過関数は成層圏高度では一定とみなし得る。それ故、後方散乱係数は、

$$\beta(z, \lambda) = P_r(z, \lambda) z^2 / (K(\lambda) P_0(\lambda) T^2(z, \lambda)) \propto P_r(z, \lambda) z^2 \quad (2)$$

となり、受信信号強度に距離補正を行った散乱係数に比例することになる。

散乱係数 $\beta(z)$ は、大気中のエアロゾルなどによるミー散乱成分と、大気分子などによるレーリー散乱成分に分けて考えることができる。すなわち、

$$\beta(z, \lambda) = \beta_M(z, \lambda) + \beta_R(z, \lambda) \quad (3)$$

ここで、 $\beta_M(z, \lambda)$ および $\beta_R(z, \lambda)$ は、それぞれミー散乱 (Mie scattering) による成分、レーリー散乱 (Rayleigh scattering) による成分を示す。

通常解析法では、レーリー散乱成分は大気モデルやゾンデ観測などによって、大気分子密度の高度分布を推定しておき、レーザーレーダ観測によって得られた全散乱係数 $\beta(z, \lambda)$ から、 $\beta_R(z, \lambda)$ を差し引いた残りを $\beta_M(z, \lambda)$ としている。とくに、エアロゾルが存在しない領域を仮定し、その高度 z_0 で、

$$\beta(z_0, \lambda) = \beta_R(z_0, \lambda) \quad (4)$$

とすると、式 (3) および (2) の関係式によって比例定数を定めることができる。この方法は、**matching method** の名のもとに広く使われてきた方法である。しかし、ここに用いられている2つの仮定について、妥当性を持つものか否かについては、十分な検討が必要である。種々の大気モデルで表現されている大気分子密度の高度プロファイルは、多くの観測値と理論モデルを総合して作られたものではあるが、逆に観測値の少ない極域では、モデルの適用に

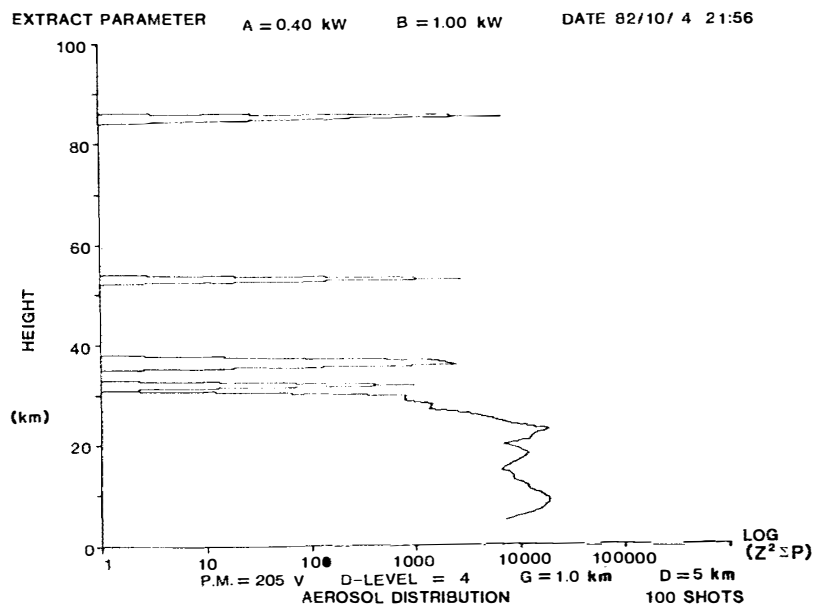


図 7 0.6943 μm についての距離補正したレーザーレーダの受信電力値 (相対スケール) の高度分布

Fig. 7. An altitude profile of the receiving power corrected by optical distance for 0.6943 μm in arbitrary scale.

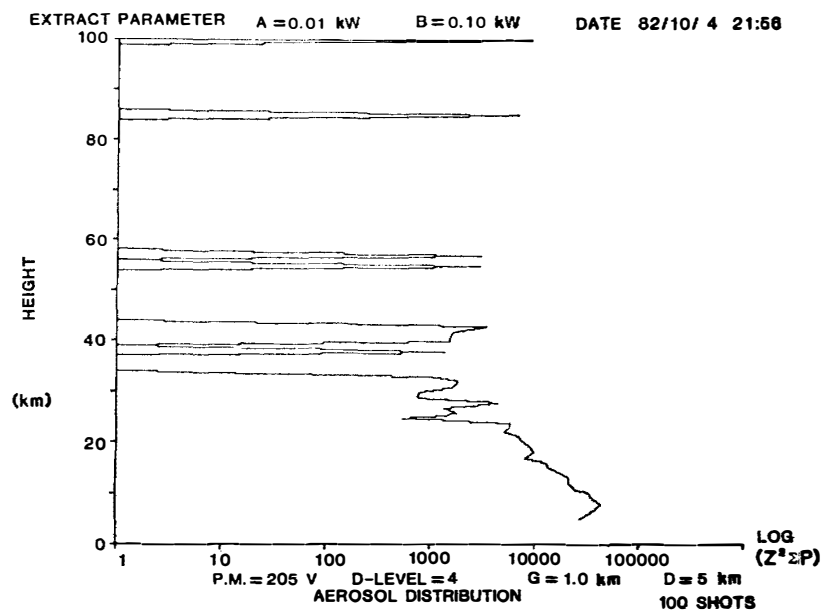


図 8 0.3471 μm についての距離補正したレーザーレーダの受信電力値の高度分布
Fig. 8. An altitude profile of the receiving power corrected by optical distance for 0.3471 μm in arbitrary scale.

も限度がある。また、ゾンデ観測値を用いるにしても、ルーチン観測で用いられているものを利用する場合には、時間的な制約がある。レーザーレーダサイトの近くでゾンデ観測を実施するにしても、レーザーレーダによって探査する方向（鉛直上方）とゾンデの飛翔方向は、一致しないのが普通であり、時には局地性の強い現象に影響され、両者の観測値をくらべることがデータ解析上好ましくない場合も生じてくる。現時点で考えられる最良の方法は、同一のレーザーレーダによって $\beta_R(z, \lambda)$ を独立に測ることである。後で述べるように、ラマン散乱を利用して、大気分子密度の高度プロファイルを推定することができるが、ここでは現システムが、紫外線領域の $0.3471 \mu\text{m}$ のレーザー光を発射することが可能であることを利用して、完全ではないが、かなり精度良く $\beta_R(z, \lambda)$ を推定することができる。レーリー散乱係数は波長 λ に対して、

$$\beta_R(z, \lambda) \propto \lambda^{-4} \quad (5)$$

の関係を持っており、一方ミー散乱係数の波長依存性は、ほぼ

$$\beta_M(z, \lambda) \propto \lambda^{-1} \quad (6)$$

で表される。それゆえ、レーリー散乱係数 $\beta_R(z, \lambda)$ に対するミー散乱係数 $\beta_M(z, \lambda)$ の比は、 $\lambda=0.6943 \mu\text{m}$ の場合と、 $\lambda=0.3471 \mu\text{m}$ の場合で比べてみると、

$$\left[\frac{\beta_M(z, 0.3471 \mu\text{m})}{\beta_R(z, 0.3471 \mu\text{m})} \right] \bigg/ \left[\frac{\beta_M(z, 0.6943 \mu\text{m})}{\beta_R(z, 0.6943 \mu\text{m})} \right] = \frac{1}{8} \quad (7)$$

となり、 $\lambda=0.3471 \mu\text{m}$ での全散乱に対するミー散乱の寄与がかなり小さいことがわかる。逆に言えば、 $\lambda=0.3471 \mu\text{m}$ では散乱成分が卓越しており、大気分子密度分布が推定しやすくなっている。このことから、2つの異なる波長の $\beta(z, \lambda)$ を比べることによって、 β_R と β_M の分離作業がたやすく、かつ誤差少なく行うことができる。図7と図8にそれぞれ距離補正したレーザーレーダの受信電力値(相対スケール)、 $P_r(z, 0.6943 \mu\text{m}) z^2$ および $P_r(z, 0.3471 \mu\text{m}) z^2$ を示す。両者ともレーザーパルスを2秒間隔で垂直上方に射出し、100ショットのパルスを積算して得られたものである。高度7-8 kmまでは散乱光強度が強すぎて、センサーに用いている光電子増倍管の動作特性がMPEモードになっているため、見かけ上受信散乱光が下方で減っているように見える(NDフィルターを選ぶことによりこの点は解決できる)。高度36 km以上に見られるピークは、フォトンカウント数に直すと1-2個であり、ノイズと思われる。正確には100ショットのパルスの積算ではなく、半日程度のデータを平均して、ノイズであるか否かを判断しなければならない。

両者を比べてみると、 $\lambda=0.3471 \mu\text{m}$ で測定した結果は、8 km から 25 km までほぼ対数的に減少しており、大気分子の密度分布にきわめて近い。この傾きによって見られる小さなピークはエアロゾルによるものであろう。一方 $\lambda=0.6943 \mu\text{m}$ での測定結果は、エアロゾルによる散乱成分を多くふくんでおり、高度18 km と 24 km に大きなピークをもつ。このピークは、レーリー散乱成分の上に成層圏エアロゾルに起因するミー散乱成分が重なってできた

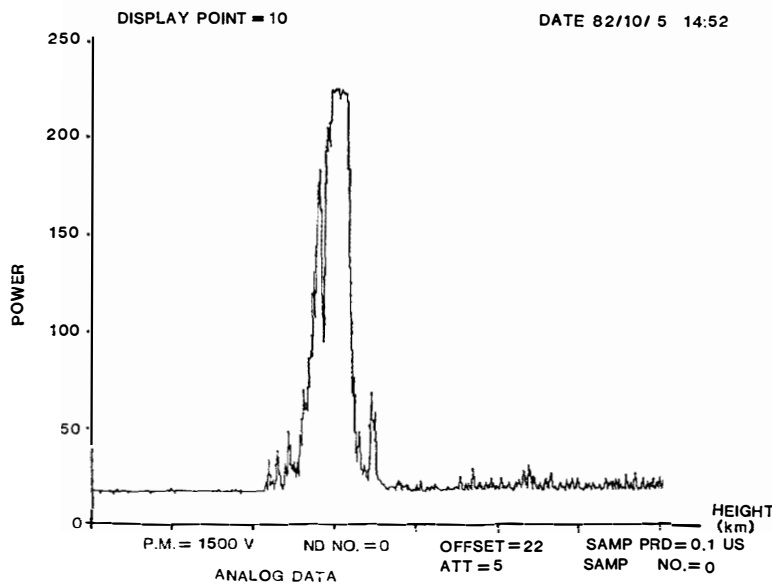


図 9 雲から散乱された全受信電力値の高度分布. 1 目盛りは 3.84 km

Fig. 9. An example of an altitude profile (3.84 km/div.) of the total receiving power scattered from clouds.

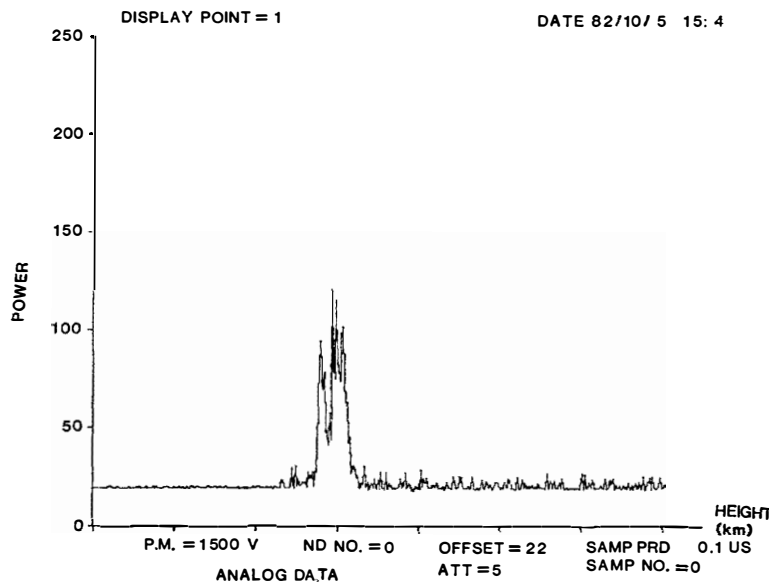


図 10 雲から散乱された射出光に対し平行な偏光面をもつ散乱光の受信電力値の高度分布. 1 目盛りは 3.84 km

Fig. 10. An altitude profile (3.84 km/div.) of the receiving power of the scattered light from clouds whose polarization plane is parallel to the path of shot light.

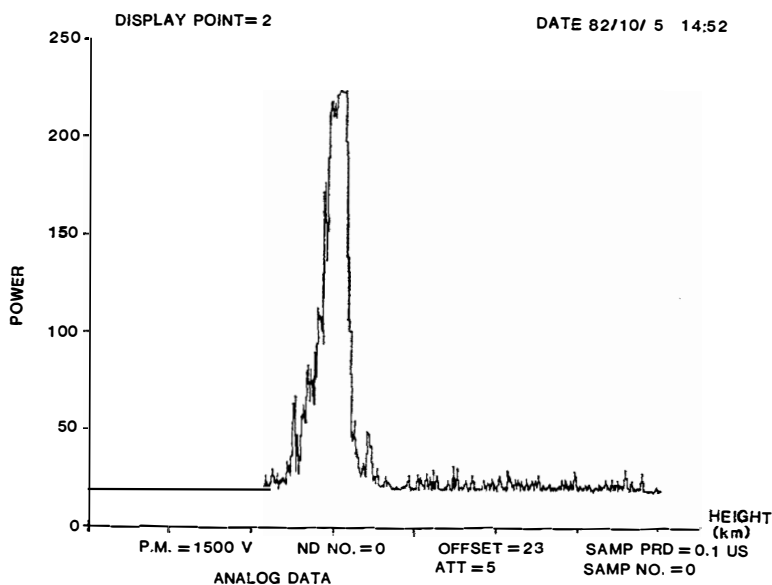


図 11 雲から散乱された射出光に対し垂直な偏光面をもつ散乱光の受信電力値の高度分布. 1 目盛りは 3.84 km

Fig. 11. An altitude profile (3.84 km/div.) of the receiving power of the scattered light from clouds whose polarization plane is perpendicular to the path of shot light.

ものであるが、通常の成層圏エアロゾル層のレーザーレーダ観測結果と比べるとときわめて大きいピークである。そこで、このピークは 1982 年 4 月に大噴火を起こしたメキシコのエルチジョン火山 (Mt. El Chichon) によるものと考えられる。

ふたつの異なる波長で測定された散乱光強度の高度プロファイルの比較から、いくつかの興味深い事実に気づく。高度 18–19 km では両者ともに小さなピークがみられ、さらに 23 km 付近で、 $\lambda=0.6943 \mu\text{m}$ では大きなピークがみられるが、 $\lambda=0.3471 \mu\text{m}$ では対応するピークは顕著でなく、それよりやや高い所に小さなピークがみられる。この結果に対する解釈の 1 つとして、エアロゾル粒径分布の高度による違いが考えられる。エアロゾル粒子の粒径を支配している因子のうちで主要なものは、condensation と coagulation である。また、極めて多量の硫酸蒸気が成層圏に生成した場合には（火山噴火などによって成層圏が大いに乱された時など）、いわゆる homogeneous nucleation によって、極めて粒径の小さいエアロゾルの生成も考えられる。これらのプロセスのうちで、どの機構がどのような条件または状況下で卓越するかを知ることは、1) エアロゾル層の生成機構、2) エアロゾル層の太陽放射場を与える効果、を知る上で有用な情報を与えてくれる。

このレーザーレーダシステムを用いた研究では、散乱粒子の偏光特性を調べることも大きな目標の 1 つになっている。成層圏エアロゾルの大多数は通常硫酸液滴（大気中では球形）であろうと言われているが、これらの粒子がアンモニアと中和して硫酸アンモニウム粒子（大気中では結晶となり非球形を示す）となり得るのか、また、火山噴火の時に火山灰のような非球形粒子がどの程度成層圏に注入されるのかを調べるのに、散乱粒子の偏光特性を観測できるなら極めて有効な情報になろう。対流圏の雲物理学的な研究にももちろん有用な手法である。雲を見た場合の結果を図 9, 10, 11 に示す。図中、縦軸が受信電力値を、横軸が距離（1 目盛りは 3.84 km）を表す。近距離からの散乱光はカットしてあるので、約 4 km 以下からのシグナルはない。図 9 は全受信電力値、図 10 は射出光に平行な偏光面をもつ散乱光の受信電力値、そして図 11 には垂直成分の受信電力値を示す。これらの図の比較から、かなりの雲粒が結晶性のものであることが推定される。同様な観測が成層圏エアロゾル層についても可能であることは言うまでもない。

4. ま と め

MAP 期間中昭和基地に設置予定のレーザーレーダシステムの概要を示した。このシステムを用い、どの程度のことが観測できるかをこの小論で紹介したが、このシステムを用いた南極での研究を種々提案していただければ筆者らの大きなよろこびである。

文 献

IWASAKA, Y., FUJIWARA, M., HIRASAWA, T. and FUKUNISHI, H. (1981): Laser radar monitoring of the polar middle atmosphere. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 19, 178–187.

(1983 年 7 月 29 日受理; 1983 年 9 月 12 日改訂稿受理)