

## マイクロパルスライダーによる大気鉛直構造の連続観測

Continuous monitoring of Atmospheric vertical structure by Micro Pulse Lidar

竹内延夫、櫻田安志、久世宏明、上園哲司、只石彰

N.Takeuchi, Y.Sakurada, H.Kuze, T.Uezono, A.Tadaishi

千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

Center for Environmental Remote Sensing(CEReS), Chiba University

## ABSTRACT

We demonstrate an eye-safe and compact solid state lidar for profiling atmospheric cloud and aerosol scattering. The Micro Pulse Lidar (MPL) employs a high repetition rate Nd:YLF laser which is pumped by GaAlAs diodes and operated at very low pulse energy, with a photon counting Geiger mode avalanche photo diode detector as a receiver. We have continuously observed atmospheric aerosol and cloud from January to April 1997, at the CEReS, Chiba University.

## 1. はじめに

ミー散乱ライダーは、レーザーとコンピューターの発達によって技術的には完成の域に達しているといっても過言ではない。比較的近距离である大気境界層内や、排煙の拡散現象などだけでなく、火山の爆発に伴う成層圏エアロゾルの観測や、広域的な雲分布の観測にも威力を発揮している。しかし、技術的な完成度にもかかわらず、ミー散乱ライダーは一部の大規模なシステムを除いて必ずしも実用化されているとは言い難い。これは、小型で効率がよく、信頼性の高いレーザー光源が、十分に実用化されていないことが大きな理由となっている。半導体レーザー(LD)励起の固体レーザーを用いたライダーシステムは、全体が固体素子から構成されており、信頼性が高く、フラッシュランプ等の消耗品の交換も必要ではないため、無人連続観測に適している。また、高繰り返しを実現することで、パルスエネルギーを極力抑えることが可能となり、このことは、アイセーフティを考える上でも重要となってくる。

本研究は、SESIで製作された小型可搬型の高繰り返しライダーシステムである Micro Pulse Lidar(MPL)を用いて、大気中のエアロゾルの分布やそれに伴う消散係数の分布、雲底高度や雲の出現率等を求め、大気鉛直構造を連続観測によって解明することを目的としている。

ここで、以前千葉大学で開発された高繰り返しライダーP-SOLALIS(Portable SOLid-state Atmospheric Lidar System)とMPLの比較を以下に示す。

Table 1. Comparison of Operational Parameters

	MPL	P-SOLALIS
レーザー	Nd:YLF	Nd:YAG
波長	523nm	1064nm
パルスエネルギー	5 $\mu$ J	70 $\mu$ J
繰り返し周波数	2500Hz (max 10kHz)	1000Hz (max 20kHz)
受光望遠鏡直径	20cm	20cm
空間分解能	30m(200ns)	30m(200ns)

## 2. MPL の特徴

MPL の最大の特徴の一つに、パルスエネルギーが非常に小さいということが挙げられる。ライダーシステムにおけるアイセーフティは、フィールドでの無人観測を行う場合に、非常に重要な要素となってくる。MPL は数  $\mu\text{J}$  レベルのパルスエネルギーで、しかも送光されるレーザービームを 20 cm 幅に広げているので、レーザーのエネルギー密度が非常に小さい。ANSI によると、523nm で 2500Hz のときに 0.2 m の口径に対して 1 パルスあたり、31.4  $\mu\text{J}$  以下がアイセーフエネルギーとなる。このことから、MPL はアイセーフティに対する制限をクリアしているといえる。

Fig.1 に、MPL の構成図を示す。

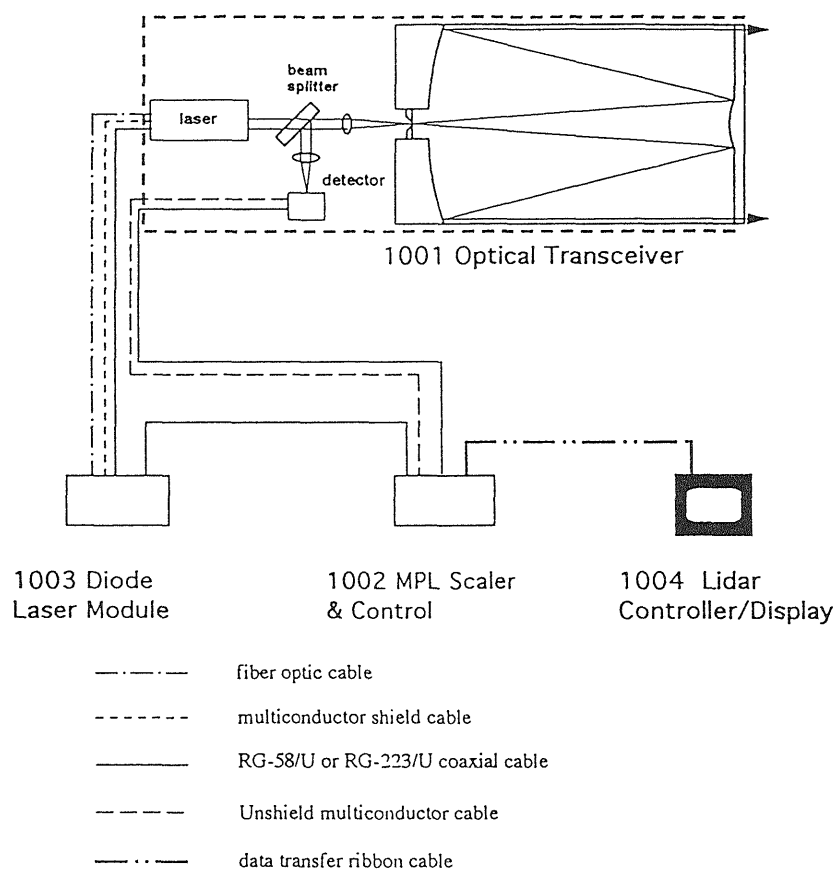


Fig. 1. Schematic description of the Micro Pulse Lidar system.

MPL のシステムは大きく分けて、送光部、レーザー部、検出部、制御部の 4 つから構成されている。送光部には、散乱光の受光に用いるのと同じシュミットカセグレン型の望遠鏡を用いている。受光部の視野角を決定する 200  $\mu\text{m}$  の孔が開いており、受光視野角は 100  $\mu\text{rad}$  である。レーザー部には、GaAlAs 半導体レーザーにより励起される Nd:YLF レーザーを使用している。検出部には冷却 APD を用いており、雑音を最小に抑えた光子計数方式を採用している。干渉光学フィルターとしては 0.2nm のスペクトル幅のものを使用し、昼間の背景雑音を最小に抑えている。制御部には、パーソナルコンピューター HP-Pavilion を用いている。

この MPL は、現在までの 2 年間オクラホマ州の ARM (Atmospheric Radiation Site) において、無故障で観測を続けている。千葉大学では、1997 年 1 月より 4 月まで、環境リモートセンシング研究センター屋上において観測をし、その後 6 月下旬よりタイの観測場所に設置し、今後無人連続観測を行っていく予定である。

### 3. 観測例とデータの処理結果

Fig.2 に 4 月 24 日一日分の千葉大学での連続観測例を示す。ここで、MPL は高度角を 45 度で設置しているため、実際の高度は 0.71 を乗じたものとなる。また、R2 乗補正後の信号である。Fig.3 には 4 月 24 日 14 時 25 分からの 10 分間を平均した受信信号と、R2 乗補正後の A-scope を示す。ここでは最大値を 1 に規格化しており、平滑化のために高度方向に 4 点平均している。

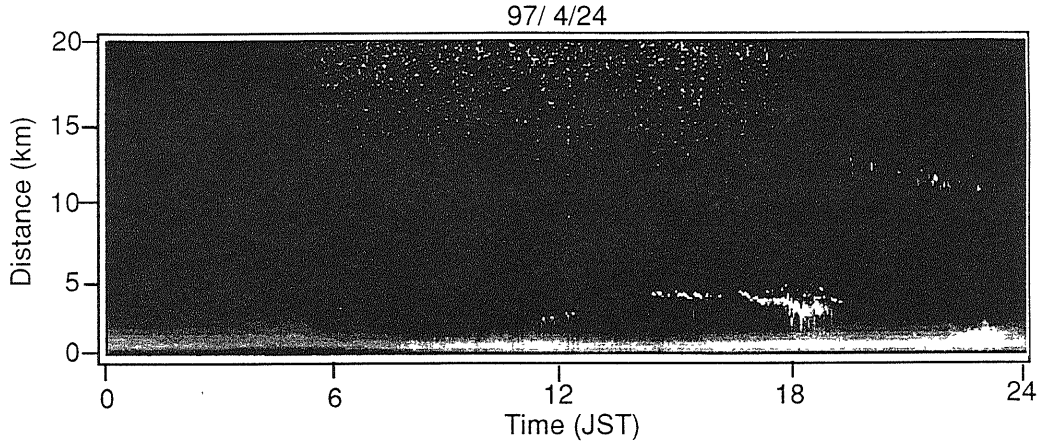


Fig.2 Continuous monitoring of upper atmospheric by the MPL. The elevation angle was 45 deg, and measurement was done in 20 s. step.

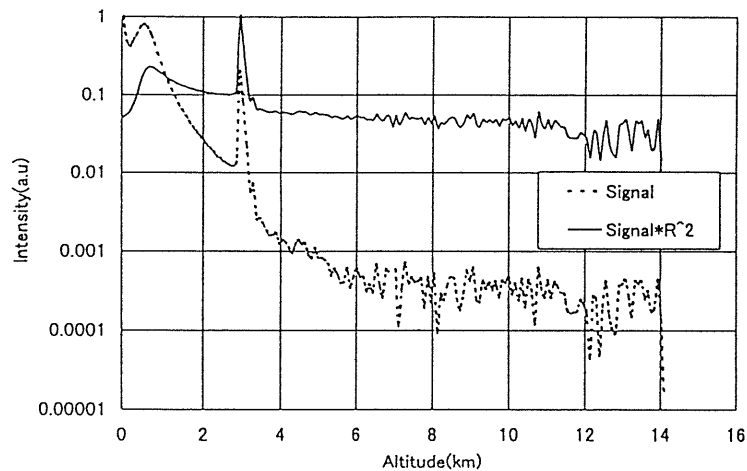


Fig.3 An atmospheric signal received using the MPL. The profile is a 10 min average acquired from 14:25 to 14:35 on April 24,1997.

Fig.2 において、10km 以遠の所に見られる多数のスペckルは、背景光による雑音である。14 時頃から 19 時頃にかけて高度にして 2km~3km 付近に、19 時頃から 23 時頃にかけては高度にして 8km~9km 付近にほぼ連続的に雲があることが確認できる。また、Fig.3 によると、3km 付近に雲らしき受信信号が確認できる。

次に、Fig.3 をもとに Fernald の方法を用いて、消散係数を算出した結果を Fig.4 に示す。また、同じく千葉大学に設置してある、3 波長の大型ライダーで得られた信号をもとに計算した、同日 14 時 26 分の消散係数の高度分布を Fig.5 に示す。

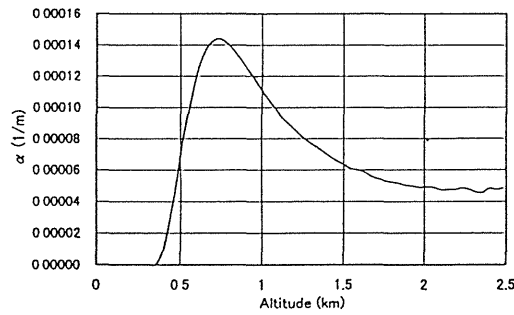


Fig.4 Extinction coefficient for MPL data.

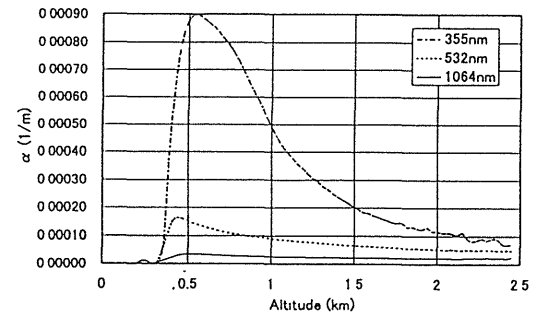


Fig.5 Extinction coefficient for Three wavelength Lidar data.

なお、S1 パラメータは 30 とし、初期値は LOWTRAN モデルを用いた。Fig.4 の MPL の消散係数と、Fig.5 の 3 波長ライダーにおける MPL の波長に一番近い 532nm の消散係数を比べると、ほぼ同じであるという結果になった。

#### 4. 今後の方針

先にも述べたように、現在 MPL はタイに設置されている。これは、GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) プロジェクトの一環で、エアロゾルの鉛直プロファイル、雲底高度、巻雲の構造などを、熱帯地方で連続無人観測をするためである。今後の方針としては、以下のようなものが挙げられる。

- 1月から4月までに千葉大学で蓄積されたデータと多波長ライダーとの相関性などを比較検討し、大気補正に適用する。
- 得られたライダー信号より雲底高度、雲頂高度、雲の厚さ、雲の多重構造等を算出するアルゴリズムを開発する。
- 熱帯地方における、大気鉛直構造を解析する。

#### 5. 参考文献

- [1] J.D.Spinhirne : Micro Pulse Lidar, IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. 31 (1993) p48.
- [2] H.SangLee,他 3 名 : Micro Pulse Lidar for Aerosol and Cloud Measurement, Advanced in Atmospheric Remote Sensing with Lidar. (1997) p7.
- [3] N.Takeuchi,他 3 名 : A Portable Lidar Using a Diode-Pumped YAG Laser, Sixteenth International Laser Radar Conference (1992) p695.
- [4] 奥村浩、竹内延夫、他 4 名 : LD 励起 YAG レーザーを光源とする可搬型ライダーシステムの試作、レーザー研究 vol21 (1993) p641.
- [5] 竹内延夫、他 3 名 : GAME におけるエアロゾルと雲低高度のライダー連続観測、日本リモートセンシング学会論文集 (1997) p19.