

# 半導体レーザーを光源とする擬似ランダム変調 CWライダーの動作特性

Performance of Diode Laser Random-Modulation cw Lidar

竹内延夫、馬場浩司\*、上野敏行\*\*、桜井捷海\*、石河直樹\*\*\*

N. TAKEUCHI, H. BABA, T. UENO, K. SAKURAI, N. ISHIKAWA

国立公害研究所、東京大学\*、千葉大学\*\*、明星電気\*\*\*

Nat. Inst. for Env. Studies, Univ. Tokyuu, Chiba Univ., Meisei Electr. Comp.

[はじめに] 半導体レーザー (LD:Laser Diode) を光源とする擬似ランダム変調 CWライダー (RM-CWライダー) の設計・製作については前回 報告した。LD を使用することによって携帯可能で廉価で、しかも眼に対して安全な装置を実現することができる。LD は一般の大出力パルスレーザーに比べ、出力は 7~10 桁も小さいので、擬似ランダム変調法を用いてはじめてエアロゾルなどの空間分布をうるることが可能となる。

装置の仕様は表 1 の通りである。測定到達距離の目標を 1 km においている。前回と比べ、主な改良点は検出器に光電子増倍管 (PMT) を採用したこと、LD の最高出力が 3 倍となっていることである。

[装置の性能評価] RM-CWライダーでは、検出信号を変調信号と相関をとることによって応答関数 (A-スコープ)  $G_j$  が求まる。距離  $R = j \Delta R$  における相関値  $S_j$  は

$$S_j = (N - 1) P_o G_j / 2 + b + n_j \quad (1)$$

で与えられる (b は背景光雑音平均値、 $n_j$  はポアソン雑音  $E [n_j] = 0$ )。信号雑音比 (S/N) は

$$S/N = \frac{\sqrt{M} \sqrt{\xi} (N+1) P_o G_j / 2}{\sqrt{N} \sqrt{\mu ((N+1) P_o \bar{G} / 2 + b) + (\Delta p)^2 / 12}} \quad (2)$$

で与えられる (M は積算時間内に含まれる周期数、 $N = 2^n - 1$  は要素数、 $\xi = \eta_o \Delta t / h\nu$ 、 $\bar{G} = (1/N) \sum G_j$ 、 $\Delta p = \Delta q (e/\Delta t) R_L \cdot M_{PMT} M_{AMP}$ 、 $\Delta q$  は ADC の量子化単位)。RM-CW方式の特徴は距離によらず分母の雑音項が等しいことである。表 1 の仕様を spec-up した装置 (開口面積 2 倍、レーザー出力 30mW) に対して  $S/N = 10$  を得るのに必要な測定積算時間は図 1 のようになる。

[測定例] 表 1 の装置による測定例を図 2~図 5 に示す。図 2 は検出器に APD (原仕様) を使用した降雪、図 3 は 5 km さまの雲 (PMT 使用) の測定例、図 4 はエアロゾルからのエコー信号を距離自乗補正し対数表示したものである。図 4 データの傾きからスロープ法によって求めた視程と Transmissometer によって求めた視程との比較を図 5 にしめす。光学系の収差によって値が異なっているが、両者の時間変化は良く一致している (この事実は定量的測定には光学的精度が要求されることを示している)。これらのデータはいずれも夜間測定されたものである。昼間時に測定するためには、LD 発振波長を安定化し、背景光雑音を干渉フィルターによって除去する必要がある。そのために発振波長およびモードの温度依存性を測定し、温度変動

表 1 装置の仕様

レーザー	GaAlAs-DL (シャープ LT-024MD)
波長	778 nm (15°C)
出力	15 mW (max 30 mW)
変調電流	80 mA (bias 40mA+mod.40mA)
温度調整範囲	0 - 30 °C
波長可変範囲	7 nm
ビーム拡がり	0.1 mrad (コリメタ後)
疑似ランダム変調	(on-off 方式)
コード数	2 値 M 系列
要素数 N	4095
ゲート時間 $\Delta t$	60 ns
距離分解能 $\Delta R$	9 m
周期 T = ゲート時間 × 要素数	
受光光学系	カセグレン型反射式
望遠鏡口径	13.5 cm
合成焦点距離	40 cm
受光視野角	1 mrad
狭帯域干渉フィルター	バンド幅 1 nm
レーザー望遠鏡間隔	22 cm
検出器	量産型 R63G (原仕様 APD: 三菱 PD1005)
量子効率 $\eta_a$	0.1
暗電流	0.7 nA
過剰雑音 F	0.3 nA (V = 50V)
増倍率	~2
増利得	$M_D^{\wedge} (x=0.25)$
アンテナ処理部	$M_D = 100$ (typ.)
ADC	3 ビット (サンプリング 時間 20 ns)
積算	2 <sup>16</sup> まで
相関演算	専用ボード
制御・表示	パソコン (サンヨー MBC 225)

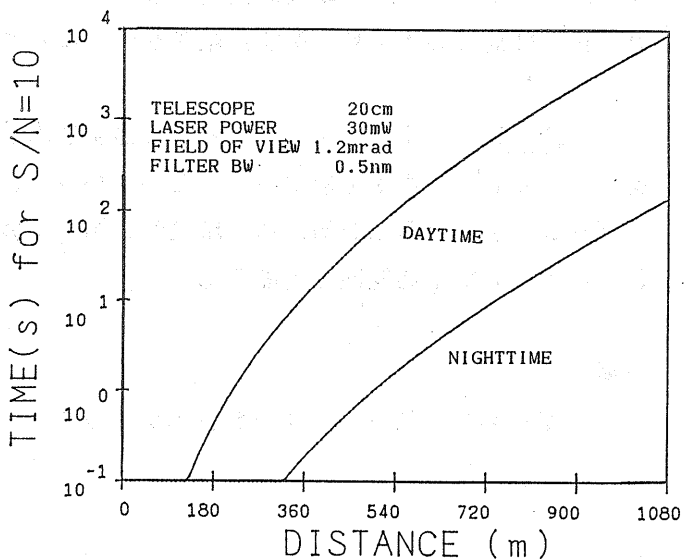


図 1 表 1 の仕様を spec-up したときの測定時間 (理論値)。

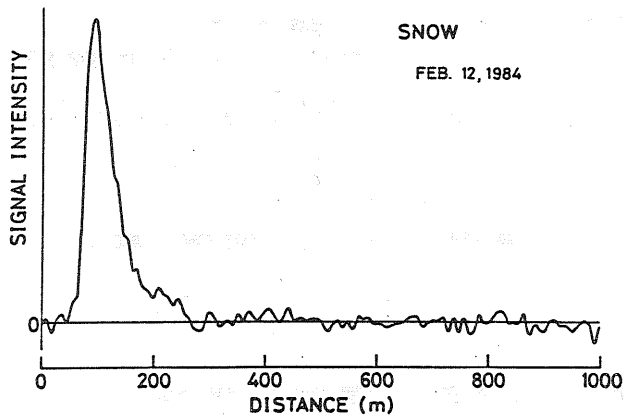


図2 降雪からのエコー波形（検出器にAPDを使用、測定時間、約20秒）。

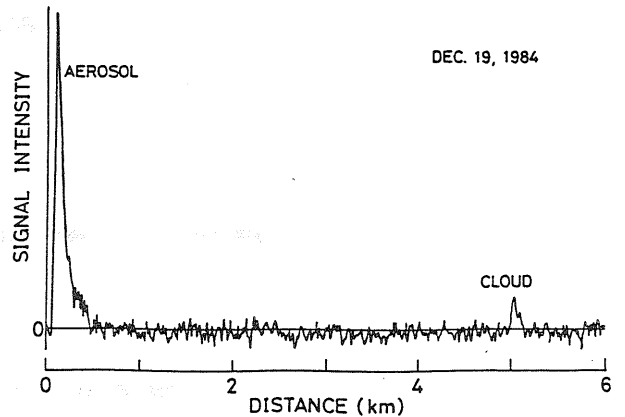


図3 雲からのエコー波形（検出器はPMT、測定時間、約20秒）。

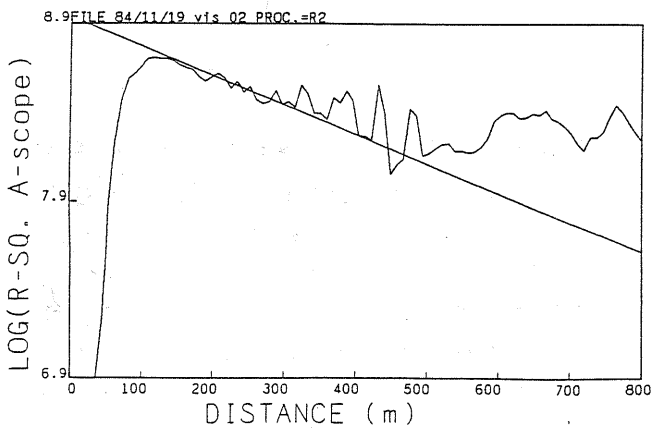


図4 エアロゾルからのエコー信号を距離自乗補正し対数表示したもの。（直線は200mから300mまでの間の傾き、測定時間約20秒）。

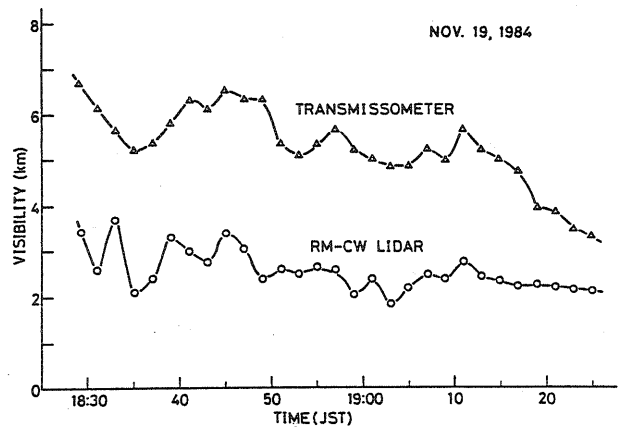


図5 スロープ法により求めた（斜め）視程の時間変化（TRANSMISSOMETER との比較）。

の許容範囲を検討した。

【結論および今後の展望】 半導体レーザーを光源とする擬似ランダム変調CWライダーを用いて数百mまでの夜間エアロゾルが測定できた。現時点では観測時のS/Nは理論値に比べて約1/10である。

これは本装置が第1号機であるために、

- 1) 光学系の収差、
- 2) 回路への雑音混入、
- 3) ADCの動作不良、

などに問題点があることによる。これらを改良することにより、理論から期待できる性能を実現できるものと思われる。また、背景光雑音を除去するためには、単一モードで発振し、温度特性が優れたLD素子が望ましい。

さらに、高出力・高性能のLDを採用し、LD発振波長を安定化して背景光を除去することにより、十分昼間時エアロゾル測定が可能な携帯型の装置を実現できる見通しが得られた。