

B10

半導体レーザを用いた擬似ランダム変調水蒸気 DIAL Study on a water vapor DIAL using diode lasers modulated with pseudo random codes

三木 健一、阿保 真、長澤 親生

Kenichi Miki, Makoto Abo and Chikao Nagasawa

東京都立大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

Abstract—We present the water vapor DIAL technique which is realized to use the diode lasers modulated by pseudo random codes with no correlation each other. In this paper, this technique is examined experimentally. The diode lasers consist of the AlGaAs laser diodes with the single longitudinal mode and are tuned to the water vapor absorption lines of near 820nm wavelength with precision less than 1.0pm using the photoacoustic cell. The transmitted beam is modulated with the pseudo random code using the AO-modulator. Preliminarily, the water vapor measurements are performed with this lidar technique.

1. はじめに

大気中の水蒸気分布を高精度に測定する装置として、差分吸収パルスライダーが開発されている¹⁾。しかし、高ピークパワーを持つパルスレーザは、レーザの寿命や、屋外で用いるときの人の目への危険性等の問題がある。さらに近年では、衛星搭載、飛翔体搭載用の小型で可搬性に富むライダーシステムの需要が高まっている。それに対し擬似ランダム変調ライダー²⁾は、擬似ランダムパルス系列を用いて変調された連続波レーザを利用するために、パルスレーザほどの高ピークパワーを持たなくとも、平均パワーが大きければ実質的な出力を高められる。このことより、半導体レーザのようなピークパワーの低いレーザを光源とするライダー装置を実現することができる。

我々は、M 系列を拡張した新しい系列でレーザ光を変調し、差分吸収法で水蒸気測定を行うライダーシステムの開発を行っている。測定精度等に関するシミュレーション結果についてはすでに報告した³⁾が、今回は試作した半導体レーザを用いたライダーシステム基礎実験結果について報告する。

2. 擬似ランダム変調ライダーの原理

擬似ランダム変調ライダー(RM-CW lidar)の変調符号には、従来それ自身とバイナリ系列との相関をとったときに δ 関数的になる M 系列が用いられているが、本研究では、M 系列を拡張して得られる 2 つの符号系列³⁾を変調符号として使用する。これらは、周期 N の M 系列 $a_i (i=0, 1, 2, \dots, N-1)$ のバイナリ系列を $a'_i (a'_i = 2a_i - 1)$ としたとき、この系列の符号を交互に反転、2 個毎に反転させることにより発生される 2 つ(A1 系列、A2 系列)のバイナリ符号系列である⁴⁾。ここで、A1 系列の長さは $2N$ 、A2 系列の長さは $4N$ となる。この 2 つの符号系列の相関関数は M 系列の場合ほど δ 関数的にはならないが、極めてそれに近い形となる。また、これらの符号系列は系列 1 周期内の 1 と 0 の個数が等しいこと、2 つの符号系列間に相関性が存在しないことから、同時 2 送信が可能となり差分吸収ライダー(DIAL)への適用も有効となる。

3. ライダーシステム

Fig.1 に水蒸気測定用ライダーシステム図を示す。光源には水蒸気の吸収線の存在する近赤外領域の高出力単一モード半導体レーザーを用い、温度及び電流をコントロールすることにより波長を制御する。変調符号は任意の擬似ランダム変調符号をコントロールコンピュータからコードメモリにセットする。CW で出力されたレーザー光は、擬似ランダム変調符号の 1, 0 に応じて光音響変調器 (AOM) により on, off で強度変調される。変調に電流による変調を行わず、外部変調器 (AOM) を用いたのは、半導体レーザーのスペクトル、波長の安定化をはかるためである。大気中に放射されたレーザー光は粒子による後方散乱を受け、望遠鏡で集められる。検出器には光電子増倍管を用い、フォトンカウンティング法でゲート時間毎にカウンターにカウントされる。カウントされたデータはデータメモリに積算され、相関演算を行うことにより応答関数を得ることができる。システム全体の制御はパソコンで行う。高精度での波長同調を必要とする on-line は、あらかじめ光音響分光セル (PAS セル) で水蒸気の吸収線を測定しておき、そのピーク値に波長計を用いて同調を行った。

PAS セルによる水蒸気吸収スペクトルの測定システム図を Fig.2 に示す。これにより得られた吸収スペクトルと HITRAN データベースから求めた理論値を Fig.3 に示す。ここで、レーザーの波長は 1pm 毎にスキャンし、background を引いた PAS 信号を 3 点平滑化行っている。測定値と理論値は測定誤差内で一致したが、まだ大きい。この水蒸気吸収スペクトル実験の誤差要因としては、バックグラウンドの音響・振動ノイズ、吸収断面積にして $2.06 \times 10^{-27} [\text{m}^2]$ という比較的弱い吸収線を使用したこと、レーザー出力が弱いことが考えられる。

Table1 Specifications of the experimental setup.

Transmitter	
Laser	Diode laser
Output power	100mW (max.)
Wavelength	825-830nm
Beam divergence	< 1mrad
Receiver	
Telescope diameter	200mm
Field of view	1~5mrad
Filter bandwidth	2nm
Detector	PMT (R3896)
Signal processor	
Gate time	133ns
Range resolution	20m (min.)
Number of elements	1020

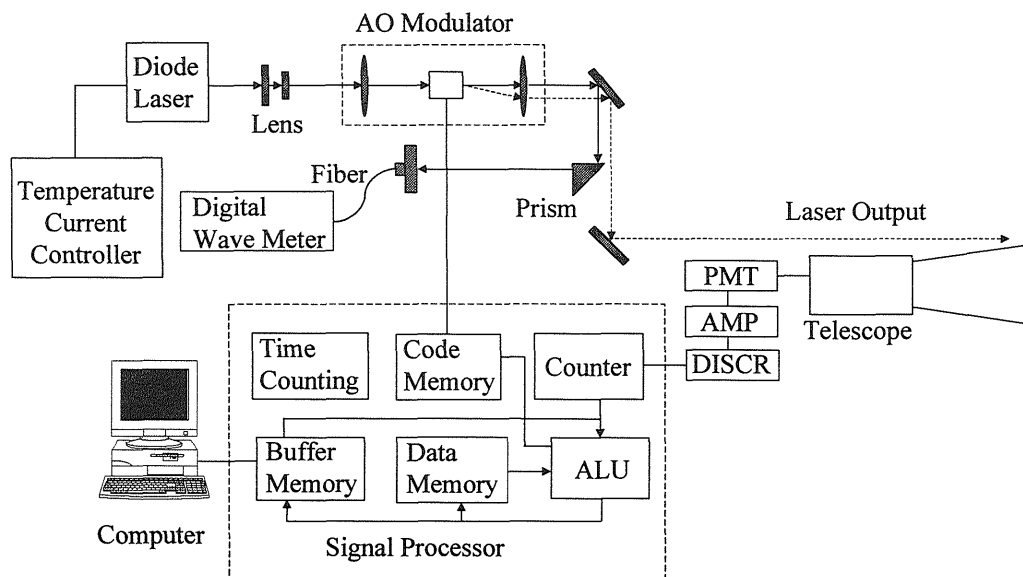


Fig.1 Experimental setup of the RM-CW lidar using the laser diode.

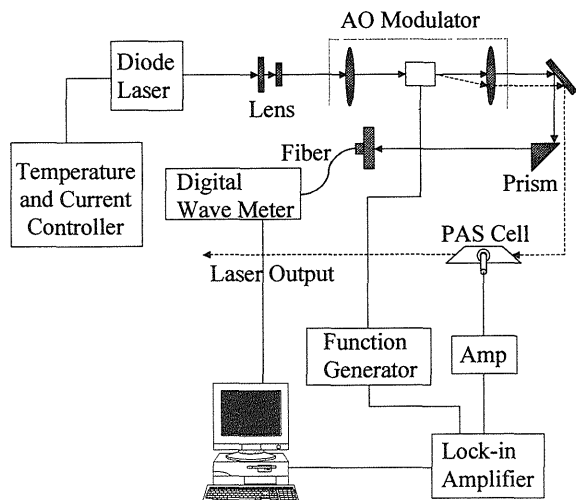


Fig.2 Experimental setup for the measurement of the PA signals

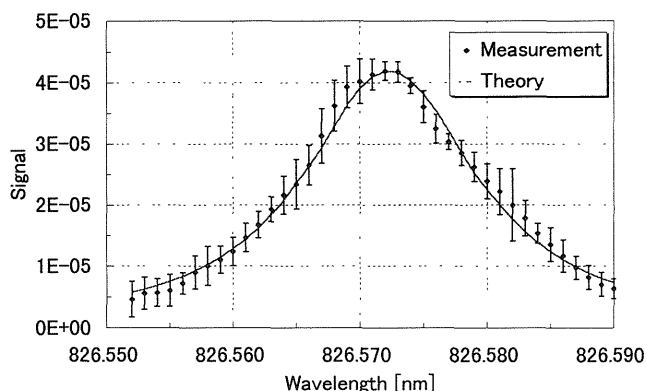


Fig.3 Photoacoustic spectrum of water vapor measured with a single cell and the theoretical spectrum of HITRAN database.

4. ライダーによる水蒸気測定実験

Fig.4 に、レーザ光の波長を水蒸気の吸収線のピーク(826.572nm)に同調させたときと、非吸収波長(826.424nm)に同調させたときの、それぞれのライダー信号を示す。on-line 信号が吸収により減衰しているのがわかる。ここで、実際に大気中に発射されるレーザ出力は 20mW、距離分解能 20m、測定時間は約 11 分×2 で、斜め 45 度の方向に測定している。

DIAL 測定における吸収物質の密度 $N(R)$ は、受信信号強度 P を用いて近似的に次式で表わされる。

$$N(R) = \frac{1}{2\Delta\sigma\Delta R} \ln \left(\frac{P(\lambda_{on}, R)P(\lambda_{off}, R + \Delta R)}{P(\lambda_{on}, R + \Delta R)P(\lambda_{off}, R)} \right)$$

ここで、 ΔR は距離分解能、 $\Delta\sigma$ は 2 波長における吸収断面積の差である。この式より、水蒸気密度を求め、100m 毎に平滑化した結果を Fig.5 に示す。これより、水蒸気密度分布が時間とともに変化している様子が見られる。なお、ここではまだ 2 波長同時の測定を行っていないため、on 波長と off 波長の測定時間の違いによるエアロゾル分布の変化に起因する測定誤差が含まれていると考えられる。

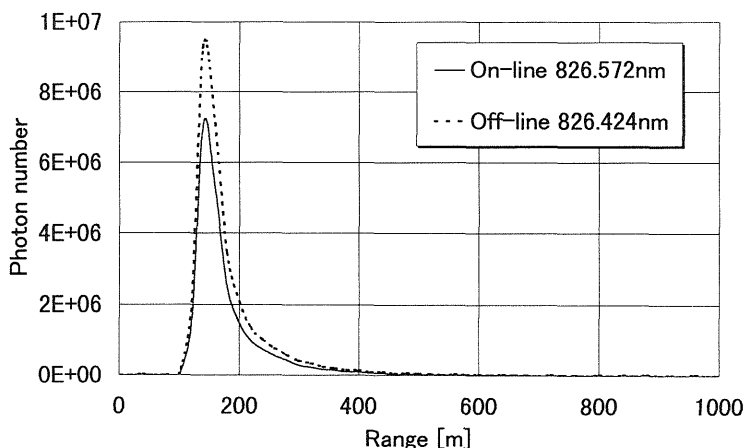


Fig.4 Atmospheric backscattered signals from the on- and off-line of the lidar.

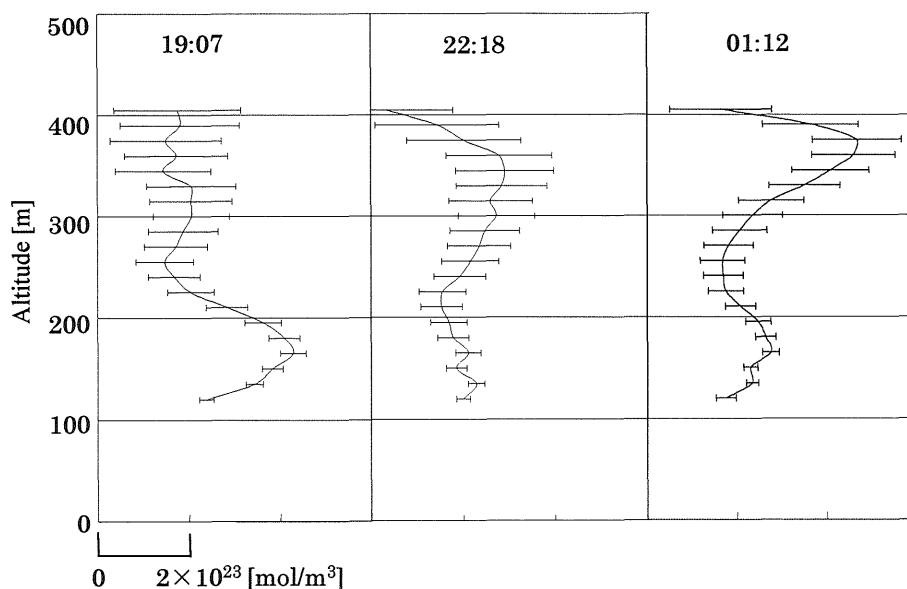


Fig.5 Water vapor density profiles measured by the RM-CW DIAL.

5. まとめ

水蒸気分布を測定するライダーとして、半導体レーザを光源とする小型で可搬性に富むライダーシステムの試作を行い、基礎実験を行った。今回の実験では、あらかじめ PAS セルによって測定しておいた水蒸気の吸収線と、非吸収線への同調を片方ずつ切り替えて行い、擬似ランダム変調方式で測定を行った。その結果、半導体レーザのような出力の弱いものでも、高分解能での水蒸気分布の測定ができることを確認した。今後、先に述べた 2 つの符号系列を用い、同時 2 送信で水蒸気の DIAL 測定を行う予定である。

<参考文献>

1. 長澤親生, 阿保 真, 君山健二, 内野 修, “PAS セルを用いた準同時 2 波長水蒸気差分吸収ライダー”, レーザー研究, Vol.22, pp.1000-1006 (1994)
2. N. Takeuchi, N. Sugimoto, H. Baba, and K. Sakurai, “Random modulation cw lidar”, *Applied Optics*, Vol.22, pp.1382-1386(1983)
3. 三木健一, 阿保 真, 長澤親生, “擬似ランダム変調法を用いた半導体レーザによる水蒸気 DIAL”, 第 18 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, pp.61-64 (1997)
4. Nagasawa, M. Abo, H. Yamamoto, and O. Uchino, “Random modulation cw lidar using new random sequence”, *Applied Optics*, Vol.29, pp.1466-1470(1990)