

# アイセーフ波長を用いた小型 H<sub>2</sub>O-DIAL に関する研究

Feasibility study on mobile H<sub>2</sub>O DIAL with eye safe wavelengths

首都大学東京 °竹田 瞬、柴田 泰邦、長澤 親生

Tokyo Metropolitan University, °Shun Takeda, Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa

Abstract: To measure the water vapor (H<sub>2</sub>O) in the atmosphere of low altitude (~2km) is expected to predict the occurrence of torrential rains and tornadoes. Differential absorption lidar (DIAL) is one of the progressive techniques for H<sub>2</sub>O concentration distribution measurement in the atmosphere. In this paper, H<sub>2</sub>O-DIAL with 1500nm wavelengths for eye safe is proposed. The simulation result shows that the measurement accuracy of this H<sub>2</sub>O-DIAL is within 3% from ground to 2km.

## 1. はじめに

近年、地球温暖化の影響で強力な竜巻や激しい集中豪雨の発生頻度の高まりが予想されている。これらの気象現象の発生予測には、特に低高度(~2km)領域の水蒸気(H<sub>2</sub>O)の濃度データが寄与するものと期待されている。

大気中の H<sub>2</sub>O 濃度分布測定の有効な手法として、差分吸収ライダー(DIAL; Differential Absorption Lidar)が提案されている。これまでに公表された H<sub>2</sub>O-DIAL では波長 810~820nm 帯のレーザーが使用されてきた。しかし、都市部や航空機搭載での地表付近の H<sub>2</sub>O-DIAL 測定では、レーザーのアイセーフ問題を考慮する必要がある。

そこで本研究では、人の目に対するレーザーの危険性を考慮し、1500nm 帯のアイセーフ波長を用いた小型 H<sub>2</sub>O-DIAL を提案し、その設計仕様を計算機シミュレーションにより検討した。

## 2. 差分吸収ライダーシステム

DIAL とは、気体分子の吸収のピークに対応する on 波長とそれを外した off 波長の 2 つの波長のレーザーを打ち、その受信信号強度の差から気体分子の空間密度分布を求めるものである。その on は波長、off 波長のレーザーによる吸収の大きさは吸収断面積という値で表される。

このライダーシステムで得られる受信信号は次に示すライダー方程式に従う。

$$S(R) = \frac{\left(\frac{E}{h\nu}\right) A \eta \beta(R) Q c \Delta t}{2R^2} \exp\left[-2 \int_0^R \alpha(r) dr\right] \quad (1)$$

ここで、S:受信信号、E:レーザーのエネルギー、 $\lambda$ :使用するレーザーの波長、h:プランク定数、c:光速、A:受信鏡の面積、M:積算回数、 $\eta$ :検出器の量子効率、 $\beta(R)$ :後方散乱係数、Q:全光透過率、 $\Delta t$ :ゲート時間、R:高度、 $\alpha(R)$ :消散係数である。

次式は距離 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>間の平均気体濃度 n を求める DIAL 方程式である。

$$n = \frac{1}{2\Delta\sigma(R_2 - R_1)} \ln \left[ \frac{S_{on}(R_1)S_{off}(R_2)}{S_{on}(R_2)S_{off}(R_1)} \right] \quad (2)$$

ここで S<sub>on</sub>、S<sub>off</sub>はそれぞれ on、off 波長の受信信号で  $\Delta\sigma$  は on 波長と off 波長の吸収断面積の差である。(2)式は 2 波長のレーザー線が十分に狭い( $\Delta\lambda \leq 0.1\text{nm}$ )と仮定し、後方散乱係数  $\beta(R)$  と大気の消散係数  $\alpha(R)$  の波長依存性は無視できるとする。

## 3. 波長選択

H<sub>2</sub>O の吸収帯域は、800nm 帯、900nm 帯、1100nm 帯、1400nm 帯に存在する。従来の H<sub>2</sub>O-DIAL での測定実験では、準備できる光源の故に、810nm~820nm 帯の波長が選択されてきた。しかし、本研究では H<sub>2</sub>O-DIAL の測定実験において、人の目にレーザーが入る可能性を考慮してアイセーフ波長の使用を検討する。

アイセーフ波長は波長 1500nm 以上の範囲にあたり、本研究では、アイセーフ波長である 1500nm 以上で光検出器の感度の高い波長 1500~1600nm に注目した。<sup>[4]</sup>

我々の研究室では、CO<sub>2</sub>-DIAL の開発において、この波長領域のレーザー光を OPA で発生させることに成功している。そこで本研究では、H<sub>2</sub>O-DIAL に 1500nm 帯のピーク波長の一つである on 波長(1501.7nm)を仮定した。

## 4. H<sub>2</sub>O 濃度誤差計算結果

受信信号のランダム誤差による気体濃度誤差  $\Delta n/n$  は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{2\Delta\sigma n(R_2 - R_1)} \left[ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[ \frac{(S_{ij} + B)F + D}{S_{ij}^2} \right] \right]^{1/2} \quad (3)$$

(3)式のパラメータは D:ダークカウント、F:excess noise factor、B:背景放射、S:受信信号、 $i: i_1$ は R<sub>1</sub>、 $i_2$ は R<sub>2</sub>を表す。j:  $j_1$ は on 波長、 $j_2$ は off 波長、ダークカウントとは光電陰極における熱放

出によるノイズである。本研究ではダークカウント、excess noise factorは無視する。

表 1 に小型 H<sub>2</sub>O-DIAL に用いるシステムパラメータを表示する。

Table1.System parameters

Laser pulse energy	1(mJ)
Pulse rep.rate	100(Hz)(on and off)
Cumulated number	90000 回
Effective area (diameter)	30(cm)
Detector quantum efficiency(PMT)	0.1
Background light count rate	0.25(MHz)(nighttime) 2.5(MHz)(daytime)

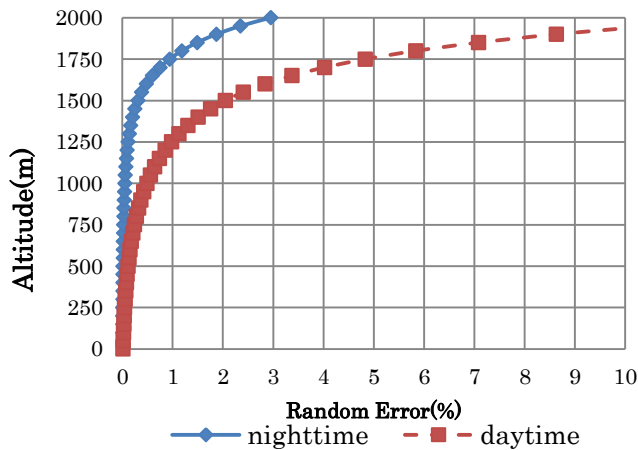


Fig2.Simulation result at resolution of 50m

表 1 のパラメータで設計したレーザでの誤差解析を行った結果が図 2 である。この結果は夜間観測と昼間観測を仮定した。距離分解能は 50m である。昼間観測は太陽光による背景放射のカウンtrate が 10 倍にもなるため、誤差が大きい。

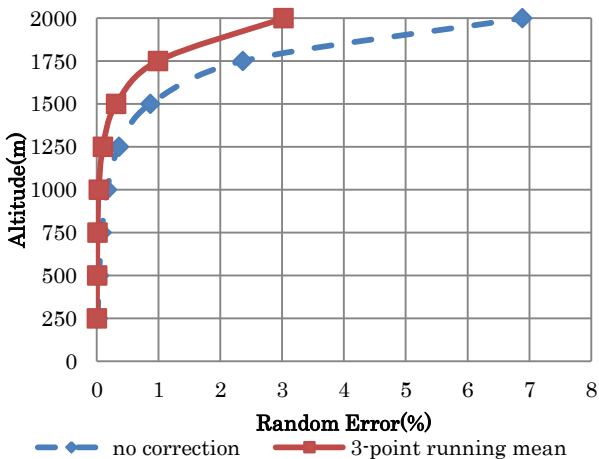


Fig3.Simulation result assuming daytime

昼間観測のノイズの影響を軽減するために図 3 に高度分解能を 250m にした場合とさらにそれを 3 点の移動平均した受信信号の誤差計算結果を比較した。

図中の点線は高度分解能を 250m に上げた場合、実線がさらに 3 点移動平均を行った結果である。結果として、高度分解能を 250m まで上げ 3 点による移動平均法を使うことで 3%以内での観測が可能なが分かった。

## 5. まとめ

本研究では、H<sub>2</sub>O-DIAL において、従来用いられてきた波長 810-820nm 帯ではなく、波長 1500nm 帯のアイセーフ波長の使用を提案した。アイセーフ波長のレーザを使用した理由としては、地表付近の水蒸気分布測定に H<sub>2</sub>O-DIAL を都市部や航空機搭載で用いる場合、人の眼に対する安全性を考慮したためである。地表からの測定を仮定した計算結果、アイセーフ波長を用いた小型 H<sub>2</sub>O-DIAL で高度 2km までを誤差 10%以内での測定が可能なが分かった。さらに、太陽光による背景放射を考慮した昼間観測でも高度分解能を 50m から 250m に変更し、3 点による移動平均を行うことで、高度 2km までを誤差 3%以内での測定が可能なが分かった。今後は昼間測定の場合の信号処理方法の新たな手法の検討を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] Ismail et al., "LASE measurements of aerosol and water vapor profiles during TARFOX", Journal OF Geophysical Research, vol.105, no.D8, pp.9903-9916 ,April.2000
- [2] Syed Ismail and Edward V. Browell, "Airborne and spaceborne lidar measurements of water vapor profiles: a sensitivity analysis", Applied Optics, vol.28, no.17.pp.3603-3014, Sep.1989
- [3] [http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-etc/pd002/pd395/H10330A-45/index\\_en.ht](http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-etc/pd002/pd395/H10330A-45/index_en.ht)