

1.6  $\mu$  m DIAL による CO<sub>2</sub> 鉛直濃度分布の観測実験Measurement of the Vertical CO<sub>2</sub> Density Profile Using 1.6  $\mu$  m DIAL

長澤親生<sup>1</sup>、阿保 真<sup>1</sup>、柴田泰邦<sup>1</sup>、永井智広<sup>2</sup>、中里真久<sup>2</sup>、酒井 哲<sup>2</sup>、境澤大亮<sup>3</sup>  
 Chikao Nagasawa<sup>1</sup>, Makoto Abo<sup>1</sup>, Yasukuni Shibata<sup>1</sup>, Tomohiro Nagai<sup>2</sup>, Masahisa Nakazato<sup>2</sup>,  
 Tetsu Sakai<sup>2</sup> and Daisuke Sakaizawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>首都大学東京システムデザイン研究科

<sup>2</sup>気象研究所、<sup>3</sup>宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup>Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

<sup>2</sup>Meteorological Research Institute, <sup>3</sup>Japan Aerospace Exploration Agency

**Abstract**

We have developed a 1.6  $\mu$  m differential absorption lidar (DIAL) approach to gain high accurate measurements of vertical carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) profiles. High-accurate vertical CO<sub>2</sub> profiles are highly desirable in the inverse method to improve quantification and understanding of the global sink and source of CO<sub>2</sub>, and also global climate change. The DIAL operating wavelengths and other system parameters are decided by the numerical simulation of DIAL performance. The DIAL system is constructed from the OPO transmitter that is described in the other article of this conference and the receiving optics that included a near-infrared photomultiplier tube operating at photon counting mode. According to the measurement results, the DIAL can be achieved the vertical CO<sub>2</sub> profile up to 7 km altitude with an error less than 2 % by integration time of 5 hours and vertical resolution of 500m.

**1. はじめに**

近赤外の 1.6  $\mu$  m 帯の CO<sub>2</sub> 吸収線は、2  $\mu$  m 帯の CO<sub>2</sub> 吸収線に比べて水蒸気などの吸収線による影響が少なく、直接検波が可能なることから、CO<sub>2</sub> DIAL にとっては有用な帯域であるが、高出力のパルスレーザーがないことから、1.6  $\mu$  m CO<sub>2</sub>DIAL の開発が遅れていた。

我々は、CW 単一モード半導体レーザーで波長制御した高繰り返し光パラメトリック発振器 (OPO) パルスレーザーを用いた 1.6  $\mu$  m CO<sub>2</sub>DIAL を開発した。今回は、開発した CO<sub>2</sub>DIAL を用いて 7km までの CO<sub>2</sub> 垂直分布の連続観測に成功したのでこの結果と、測定精度に関する議論を行う。

**2. CO<sub>2</sub>DIAL 観測**

開発した CO<sub>2</sub>DIAL システムの諸元を Table 1 に、システム図を Fig.1 に示す。DIAL 送信部には擬似位相整合 MgO:LiTaO<sub>3</sub> 結晶で構成した光パラメトリック発振器(OPO)を採用した。CO<sub>2</sub> の吸収線に同調した DFB レーザの出力を OPO 共振器に注入し約 100Hz で動作するパルスレーザーの波長制御を行った。受信系には光子計数モードの PMT で直径 35cm の望遠鏡で集光される散乱光を検出した。

高々度の観測にターゲットを絞った観測の結果、観測時間 5 時間、鉛直分解能 500 m で相対誤差が高度 2 km で 1 %、高度 7 km で 2 %で CO<sub>2</sub> 密度プロファイルが得られた。また同じデータを用いて時間分解能 55 分、鉛直分解能 315 m で示した図を Fig.2 に示す。これより、高度 5km までの CO<sub>2</sub> 密度の時間変化が見られる。

Table 1. CO<sub>2</sub> DIAL parameters

Laser Energy	4 mJ /pulse
Pulse Repetition Freq.	110 Hz/110 Hz(On/Off)
Beam Divergence	< 2 mrad
Telescope Aperture	350 mm
Field Of View	3.5 mrad
Detector	Infrared PMT H10330-75 (HAMAMATSU)
Quantum Efficiency	2.5 %
Wavelength Switch	0.2 Hz

### 3. 観測誤差の考察

DIAL では吸収断面積を仮定することにより、吸収分子の密度が求まる。求まった濃度の誤差は受信信号の信号対雑音比に起因する統計誤差が大きいが、そのほかに吸収断面積が気圧と気温により変化するため、気圧と気温を直接測定しない場合には、これらの推定値と実際の値との差に起因する誤差がある。さらにシステム誤差として DIAL 送信レーザーの発振波長安定性に起因する誤差が考えられる。気圧、気温の推定に起因する誤差はそれぞれ 0.2%、0.15%、レーザーの安定性に起因する誤差は下部対流圏においてはおよそ 0.1%と見積もられる。

また、サンプラーなどを用いた他の測器との比較を行う際には濃度を混合比に変換する必要があるが、混合比の分母になる大気密度は気温と気圧から求めることになる。気温と気圧は地上での測定値を元に推定した値を用いるか、ゾンデによる測定値を用いる。しかしこれらの誤差は高度が高くなるほど無視できない大きさであることがシミュレーションから明らかとなった。

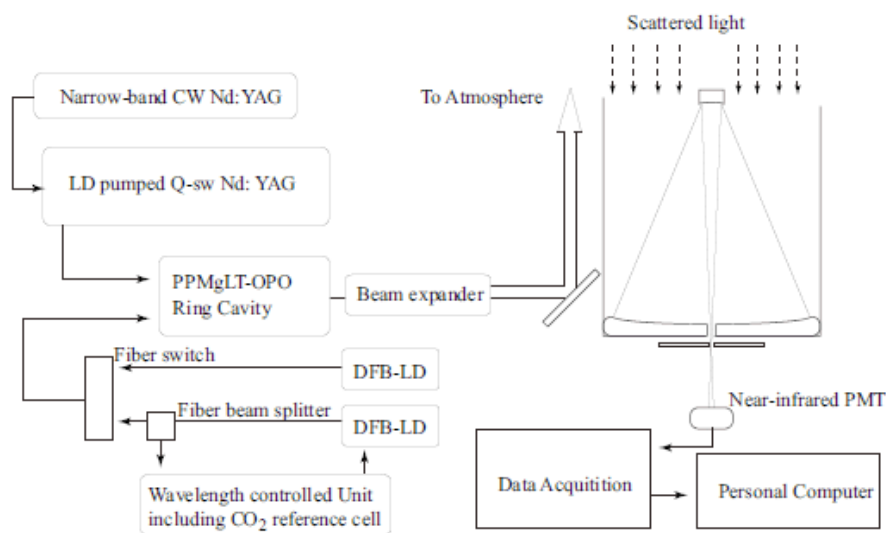


Fig. 1 Experimental setup of the 1.6  $\mu$  m CO<sub>2</sub> DIAL.

### 4. まとめ

1.6  $\mu$  m CO<sub>2</sub>DIAL を開発し、5 時間にわたる連続観測並びに高度 7km までの観測に成功した。今後、測器の精度検証のための実験を観測タワー並びに民間航空機観測データとの比較により行う予定である。

<謝辞>本研究は文部科学省「地球観測システム構築推進プラン」及び科学研究費（基盤 B）により行われた。

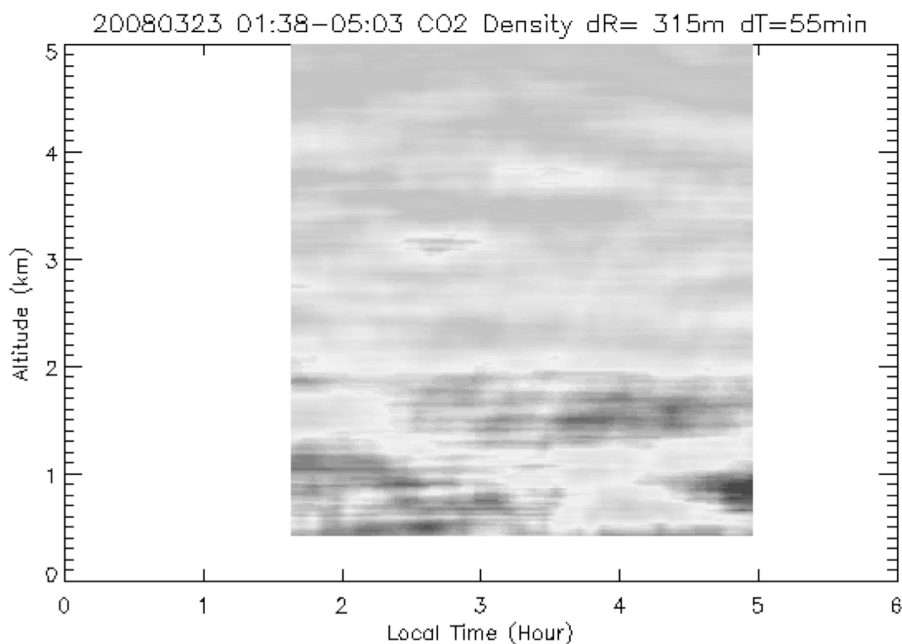


Fig.2 Time-height cross section of th CO<sub>2</sub> density (2008/3/23 01:38-05:03 : Hino, Tokyo).