

CO₂濃度・風・気温の鉛直分布同時測定ライダーの開発（2）

長澤親生、阿保 真、柴田泰邦（首都大学東京システムデザイン研究科）

永井智広、酒井 哲（気象研）、塚本 誠、誉田高行（英弘精機）

1. はじめに

全球大気中の CO₂ シンクおよびソースを推定する数値モデルとして使われているインバース法（逆解法）の拘束条件として、実際の CO₂ 濃度の高度分布情報が重要であることが知られている。これまで、実用化されている CO₂ 濃度の高度分布測定手段としては、商用航空機やバルーン搭載測定機器による観測があるが、これらの観測手法は、注目する高度における時間的連続観測が難しく、また観測地点が限られるため数値モデル計算の拘束条件としては不十分である。

我々は、2007年に波長 1.6 μm のレーザーを用いた CO₂-DIAL の開発に成功した(Sakaizawa et al. 2009)。この技術を更に高度化し、CO₂ の濃度測定精度 0.3% を目標として 2008 年度から次世代の CO₂-DIAL の開発に着手している。高精度の CO₂ 鉛直濃度分布測定を実現するためには、気温の鉛直分布の同時測定が不可欠である。更に、本研究はこれらの測定に風向・風速を加えた新たなライダー技術の開発を目指すものである。

2. 次世代システムの概要

次世代 CO₂-DIAL も、鉛直 CO₂ 濃度分布観測での優位性から、引き続き 1.6 μm 帯の波長を利用した差分吸収ライダー（DIAL）をベースにする。CO₂ 濃度の測定に使用する CO₂ 分子の吸収線スペクトル形状（吸収線中心の強度や線幅）は、気温・気圧によって変動するが、気圧による吸収強度の変化が小さい波長（気圧不動点）が存在するので、CO₂ 濃度の測定の際、吸収線の中心波長と裾（吸収の少ない波長）に加え、この気圧不動点の波長を追加し、他の波長と強度を比較することで気温の測定が可能である。

さらに、この CO₂ 濃度の観測では、使用する CO₂ の吸収線幅が非常に狭いことから、レーザーの波長同調の精度は高精度であることが要求される。この精度は、散乱体が大気の流れ、すなわち風とともに移動することから発生する散乱光のドップラーシフト量に比べて十分に良いことから、受信した波長のドップラーシフトを検出することで風速を測定することもできる。

本研究では、十分に安定したエッジフィルターを用い、エッジフィルターを通過させた受信光の強度が、波長の変化に従い増減することを利用して波長変化を検出するインコヒーレントドップラー方式を用いる。図 1 にシステムのブロック図を示す。

3. 送信部の開発

技術的な開発要素として、送信部においては、波長幅が非常に狭い CO₂ の吸収線にレーザーの発振波長を同調させる技術とその自動化、レーザーの高出力化等の開発を行う。上記のような送信レーザーの特徴を実現するために、これまで使われてきた OPO (Optical Parametric Oscillator) 方式から疑似位相整合結晶の特徴を十分考慮した OPG (Optical Parametric Generator) 方式およびこれに OPA を付加する方式に開発目標を変更した。この方式により極めて容易に波長の同調が可能になった。

更に、2007 年に開発した 1.6 μm DIAL でのレーザー出

表 1 OPG/OPA の諸特性

		OPG/OPA	Gole
1064nm	Energy	46 W 92 mJ	
1572nm	Energy	10.3 W 20.5 mJ	10 W 20 mJ
	Repetition rate	500Hz	500 Hz
	Wavelength switch speed (λ _{ON} , λ _{OFF})	2 ms (every 1shot)	2 ms (every 1 shot)

力は 10 mJ @ 200 Hz (2 W)であったのに対しその 5 倍である 20 mJ @ 500 Hz (10 W)の出力を得ることに成功した。開発したレーザーの諸元を表 1 に示す。

4. DIAL システム

図 1 に DIAL システムの概要と表 2 に試験観測に用いたシステムパラメーターを示す。送信レーザーの高出力化と高い量子効率の光電子増倍管(QE : 8 %)の使用によって、強い受信信号を得ることができるようになった。このため受信システムのダイナミックレンジを確保する必要から、受信システムを上層観測用と下層観測用の 2 系統に分割した。上層観測用には直径 50 cm の受信鏡、下層の観測のためには、直径が 20 cm の受信鏡を用いた。この結果、下層から上層までの観測が可能になった。その一例を、図 2 に示す。

5. まとめ

本研究では、地球温暖化の理解・予測のために必要とされている CO₂ 濃度の鉛直分布の観測について、高精度で連続観測が可能で実用的な DIAL を、開発することを目指している。今回は、新しい OPG 方式の送信レーザーと下層から上層までの CO₂ 濃度の鉛直分布観測が可能となったことを報告した。DIAL による観測は、鉛直分布を連続して観測することが可能という点で、航空機観測などでは得られないデータが得られ、地球温暖化に関する研究をより推進することになる。

謝辞

本研究は科学技術振興機構「先端計測分析技術・機器開発事業」により行われている。

参考文献

D. Sakaizawa, C. Nagasawa, T. Nagai, M. Abo, Y. Shibata, M. Nakazato, T. Sakai, “Development of a 1.6 μm differential absorption lidar with a quasi phase matching OPO and photon-counting detector for the vertical CO₂ profile”, Appl. Opt., 48 (4), 748, 2009.

表 2 CO₂-DIAL システムパラメーター

Location	Tokyo Metropolitan University at Hino, Tokyo, Japan	
Laser energy	6.5 mJ/pulse	
Pulse repetition frequency	500 Hz (250Hz pairs)	
Wavelength switching	250 Hz (every pulse)	
Telescope diameter	50 cm (High)	20 cm (Low)
PMT QE (Hamamatsu H10330-75)	8.0 %	2.0 %
FOV	1.0 mrad	1.0 mrad
Interference filter	0.5 nm FWHM	0.5 nm FWHM
Detection scheme	Photon counting mode	Photon counting mode / Analog mode
Photon counter	Licel Transient Recorder	

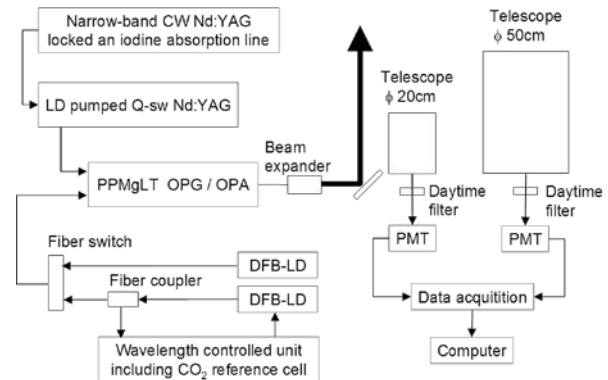


図 1 CO₂-DIAL システムのブロック図

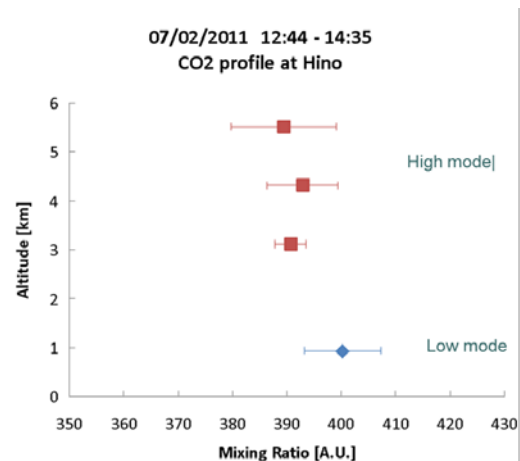


図 2 CO₂ 濃度観測例