

CO₂濃度・風・気温の鉛直分布同時測定ライダーの開発

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、中里真久、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濃度分布を推定する数値モデル（インバース法、逆解法）の拘束条件として実際のCO₂濃度の高度分布の情報が重要であるにもかかわらず、主に商用航空機や高地観測所で行われている観測結果が利用されているに過ぎない。商用航空機による観測は、下層の観測や注目する高度における連続観測が難しく、また高地観測は高度方向の観測が固定点に限られるため、モデルの拘束条件としては不十分である。

我々は、2007年に波長1.6μmのレーザーを用いたCO₂-DIALの開発に成功した(Sakaizawa et al. 2009)。この技術を更に高精度化し、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、気温と気圧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、2μm帯のコヒーレント方式ではなく、引き続き1.6μm帯の波長を利用した直接検波方式の差分吸収法ライダー（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λ_T）が存在するので、CO₂濃度の測定の際、吸収線の中心波長λ_pと裾（吸収の少ない波長λ_{off}）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。

（図1）

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求められる。この波長同調精度は、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

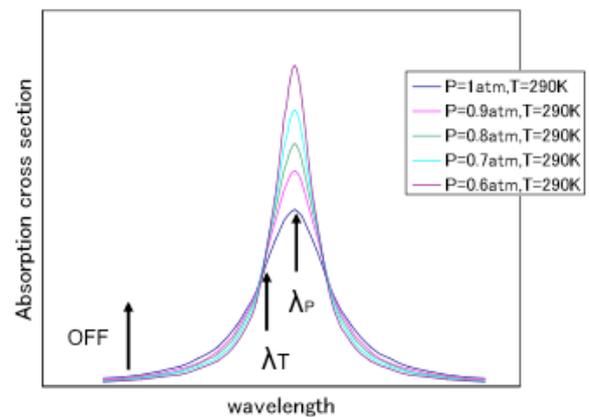


図1 各測定波長

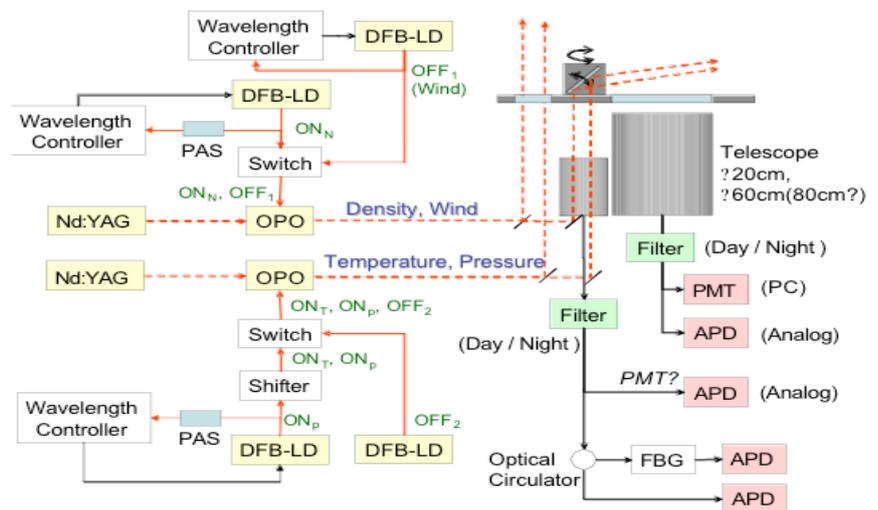


図2 CO₂濃度・風・気温の鉛直分布同時測定ライダーのブロック図

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2に全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同調の安定化、レーザーの高出力化等の技術開発がある。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。

2007年に開発した 1.6 μm DIAL でのレーザー出力は 10mJ@200Hz (2W)であったのに対しその5倍である 20mJ@500Hz (10W)の実現を目指す。目標とするレーザーの諸元を表1に示す。

表1 レーザーの諸元

	Primitive	Next generation
Laser wavelength	1.6μm	1.6μm
Laser energy	5 mJ /pulse	30 mJ /pulse
Pulse repetition rate	100 Hz	400x2 Hz
Frequency stability	+40MHz	+5MHz
Telescope aperture	35cm	60cm
Filter bandwidth	10nm	0.5nm
Quantum efficiency	2.5 %	8%

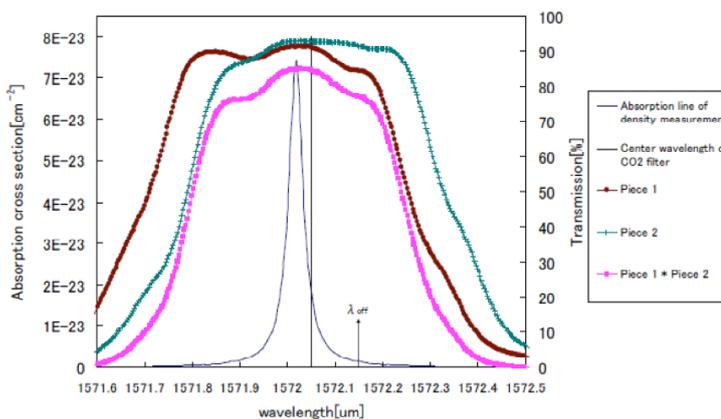


図3 昼間観測用狭帯域フィルターの透過曲線

4. 昼間観測

受信部においては、CO₂濃度と気温についての鉛直方向の観測では、昼夜を問わない観測を目指すため、昼間の背景光を軽減する目的で半値幅が0.5nmの狭帯域フィルターを用いた。図3に重ねて用いた2枚のフィルターの透過曲線を示す。

このフィルターを用いて、2010年2月23日の背景光強度が強い午後1時過ぎに昼間観測実験を行った。レーザーの出力は、0.6mJ、繰り返しは400Hz、受信鏡の直径は35cm、PMTの量子効率、2.5%のものを用いた。受信鏡の向きは垂直上方である。図4に受信した信号例を示す。積算時間は約5分、高度分解能は7.5mである。1.6 μm帯

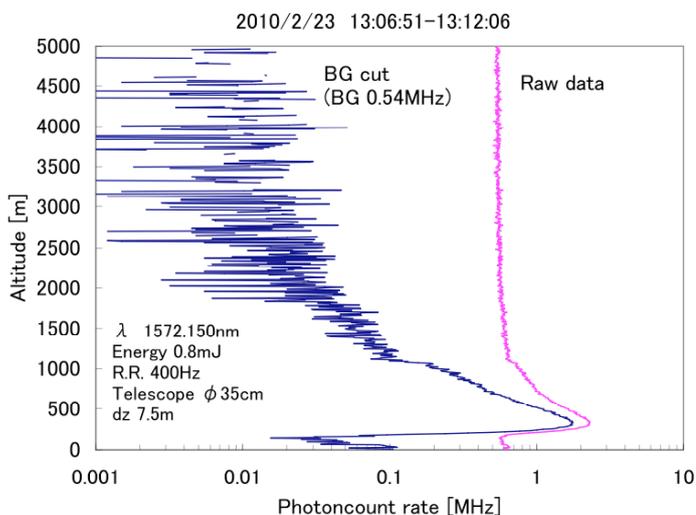


図4 昼間の受信信号例

可視領域に比べて、太陽光の背景光強度が大きく減少する上、この2枚重ねのフィルターを用いることにより、十分に光子計数モードでの観測が可能なが分かった。

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昼間観測の実現性を示す報告を行った。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 um differential absorption lidar with a quasi phase matching OPO and photon-counting detector for the vertical CO₂ profile, Applied Optics, 48(4), 748, 2009