

温室効果ガス計測のための差分吸収ライダーの開発④: 2010年2月に行われたGOSAT検証実験結果について

Development of Coherent Differential absorption lidar for greenhouse gas measurement IV

石井昌憲, 水谷耕平, 福岡大岳*, 石川隆祥**, Philippe Baron, 岩井宏徳,

小山瑞樹***, 青木哲郎, 板部敏和, 佐藤 篤****, 浅井和弘****

S. Ishii, K. Mizutani, H. Fukuoka*, T. Ishikawa**, P. Baron, H. Iwai,

M. Koyama***, T. Aoki, T. Itabe, A. Sato****, and K. Asai****

情報通信研究機構, *浜松フォトニクス, **日本アレフ, ***首都大学東京, ****東北工業大学

NICT, *Hamamatsu Photonics K.K., **Nippon Aleph Co., ***Tokyo Metropolitan University,

****Tohoku Institute of Technology

Abstract

National Institute of Information and Communications Technology (NICT) has developed a 2- μm coherent lidar (Co2DiaWiL) for CO₂ and wind measurements. We presented the outline of the Co2DiaWiL with the laser frequency offset locking using phase modulation technique to improve the detectable range of CO₂ measurement. We made experimental horizontal and vertical CO₂ measurements in the fall of 2009. In this paper, we will describe experimental results obtained by the experimental horizontal CO₂ measurements and by slant and vertical measurements during the airborne observations for the GOSAT data products validation conducted in February, 2010.

1. はじめに

情報通信研究機構（東京都小金井市）では、温室効果ガスの一つであるCO₂濃度を計測するために目に安全な2 μm レーザを用いたコヒーレント差分吸収・風ライダーの開発（以下、Co2DiaWiL）を行ってきた。前回のシンポジウムでは、CO₂濃度の測定範囲を延伸するために、CO₂が吸収するレーザ波長(λ_{on} 波長)を任意の波長に設定できるように、オフセットロック機能追加について報告した。その後、水平測定および鉛直測定の初期実験を行い、データ取得に成功している。本発表では、GOSAT プロダクト検証実験の期間中に行った斜め測定と鉛直測定から得られたCO₂濃度について報告をする。

2. 波長制御とオフセットロック

Co2DiaWiLの諸元とブロック図をTable1とFig.1に示す。レーザ光の波長は、CO₂が吸収しない波長 λ_{off} は2051.250 nm、CO₂が吸収する波長 λ_{on} は2051.034 nmを用いた。波長のオフセット量は4.8GHzに相当する。レーザの出力と繰り返し周波数は、80mJと30Hzである。 λ_{on} と λ_{off} を1ショット毎に切り換えてデータを取得した。信号用検出器はこれまで用いていたバランシ式InGaAsフォトレシーバーから浜松フォトニクス社製InGaAs PINフォトダイオードに変更した。ノイズレベルはショットノイズ限界にほぼ達している。

気柱中のCO₂濃度は、

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{\int_{R_1}^{R_2} n_{\text{CO}_2}(r) \cdot WF(r) dr}{\int_{R_1}^{R_2} WF(r) dr} = \frac{DOAD}{\int_{R_1}^{R_2} n_{\text{air}}(r) \cdot (\sigma_{\text{on}} - \sigma_{\text{off}}) dr},$$
$$DOAD = \frac{1}{2} \cdot \log \left(\frac{P_{\text{On}}(R_1) \cdot P_{\text{Off}}(R_2)}{P_{\text{Off}}(R_1) \cdot P_{\text{On}}(R_2)} \right).$$

と与えられる。

ここで、 r は距離、 $WF(r)$ は距離 r における重み関数、 n_{air} は乾燥大気数密度、 σ_{on} と σ_{off} は波長 λ_{on} と λ_{off} のCO₂吸収断面積(気温・気圧に依存)、DOAD(differential absorption optical depth)は距離 R_1 から R_2 まで

Table1 Specifications of Co2DiaWiL.

Transmitter	
Laser	: Tm:Ho:YLF
Wavelength	: 2051.034 nm (On)
	: 2051.250 nm (Off)
Pulse energy	: 80 mJ/pulse
Pulse width	: 140 nsec
Pulse Repetition	: 30 Hz
Receiver	
Clear diameter	: 10 cmφ
Detector	: InGaAs PIN Photo Diode
Data Processing	
Signal processing	: 8 Bit A/D
Sampling frequency	: 500 MHz
Sampling points	: 131072 (約40 km相当)
Scanner	
Clear diameter	: 10 cmφ
Elevation angle	: -20-200°
Azimuth angle	: -10-370°
Scanning speed	: 0°-60°/sec

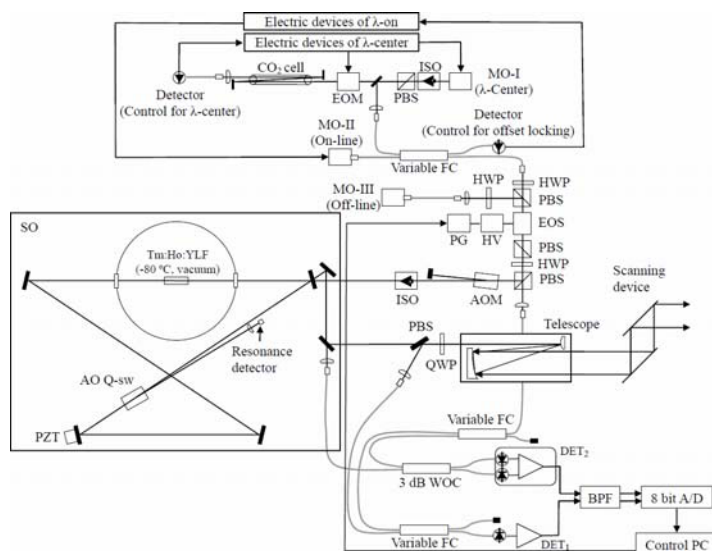


Fig. 1 Block diagram of Co2DiaWiL

の光学的厚さである。地上から高度 3km 付近までの DOAD を得るために、近距離の強い散乱光の影響を考慮し、斜めと鉛直の測定を行った。斜め測定は、レーザー光を仰角 16 度で射出した。仰角 16 度と 90 度のデータ積算時間は、それぞれ 5 分 (4500 ショット) と 20 分 (18000 ショット) である。気温、気圧そして湿度データは、地上設置の自動気象ステーション (WXT510) と GPS ラジオゾンデ (RS92-SGP) によって測定された。GPS ラジオゾンデは研究機構敷地内より飛揚した。また、地上の CO₂ 濃度も地上センサーを用いて計測した。

3. 実験結果

Fig2. は 2010 年 2 月 14 日 12:30 頃、 λ_{on} と λ_{off} それぞれの波長で得られた DOAD と SNR の高度分布である。光学的厚さは、高度 1km 付近までは仰角 16 度の斜め測定から得られたデータ、そして高度 1km

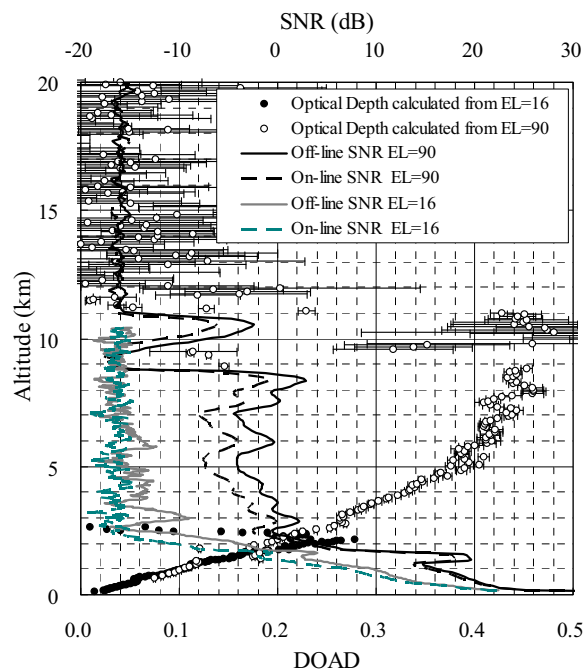


Fig. 2 Profiles of DOAD and SNR.

より上層は仰角 90 度の鉛直測定から得られたデータを用い、高度 1km 付近で等しくなるようにつないだ。光学的厚さの高度分布から求めた高度 500m から 1km と 2km までの気柱中の CO₂ 濃度は、それぞれ 388.1 と 396.62ppm となった。一方、JAXA 所有の航空機に搭載された in-situ センサー (NIES 所有) によって測定された CO₂ 濃度と GPS ラジオゾンデによって測定された気象データから計算された濃度は、それぞれ 405.8 と 401.36ppm となった。これらの差は光学的厚さでは約 0.002 の差に相当し、わずかな光学的な厚さの差で大きな違いを生じた。

4. まとめ

2010 年 2 月に GOSAT プロダクト検証実験に参加し、Co2DiaWiL を用いて斜めと鉛直測定から高度 500m から高度 2km までの気柱中の CO₂ 濃度を取得した。僅かな光学的差が CO₂ 濃度に非常に大きな誤差を与える事があらためて示され、データの質及びその取扱いには細心の配慮が必要である。今後、解析アルゴリズムの再検討を行いつつ Co2DiaWiL による地上実験を進め、GOSAT プロダクト検証に役立てられるようにデータの質を向上していく。