

# 車載型 1.57 $\mu\text{m}$ CO<sub>2</sub>-DIAL による GOSAT 検証実験 (1)

## Validation experiment of GOSAT by mobile 1.57 $\mu\text{m}$ CO<sub>2</sub>-DIAL (1)

長澤親生<sup>1</sup>、柴田泰邦<sup>1</sup>、阿保 真<sup>1</sup>、内野 修<sup>2</sup>、森野 勇<sup>2</sup>、井上 誠<sup>2</sup>、町田敏暢<sup>2</sup>、澤 庸介<sup>3</sup>、  
坪井一寛<sup>3</sup>、松枝秀和<sup>3</sup>  
C. Nagasawa<sup>1</sup>, Y. Shibata<sup>1</sup>, M. Abo<sup>1</sup>, O. Uchino<sup>2</sup>, I. Morino<sup>2</sup>, M. Inoue<sup>2</sup>, T. Machida<sup>2</sup>, Y. Sawa<sup>3</sup>,  
K. Tsuboi<sup>3</sup>, H. Matsueda<sup>3</sup>

1: 首都大学東京、2: 国立環境研究所、3: 気象研究所

1: Tokyo Metropolitan University, 2: National Institute for Environmental Studies

3: Meteorological Research Institute

### ABSTRACT

We have developed a DIAL system to achieve high accurate measurements of vertical CO<sub>2</sub> profiles in the atmosphere. This DIAL system was installed in a mobile container for measurements of CO<sub>2</sub> concentration distributions and/or CO<sub>2</sub> vertical concentration profiles. The first opportunity to operate the system in a field deployment was in the daytime in January 2014 at the site of the National Institute for Environmental Studies (NIES) in Tsukuba. And, campaign observation of CO<sub>2</sub> concentration by DIAL, aircraft and GOSAT was conducted. We report the analysis result of the CO<sub>2</sub> vertical profile by the DIAL observation. Moreover, we have developed a compact light source for observing the CO<sub>2</sub> concentration distribution of short range. The compact DIAL using this light source is effective for observations of CO<sub>2</sub> flux and verification of CO<sub>2</sub> vertical profile of GOSAT FIT-TIR L2.

### 1. はじめに

大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は最も重要な温暖化気体である。地球温暖化の進行を推定し、その対策を考える上で時間的かつ空間的変動の実態を把握することが重要である。これを実現するためには大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の空間分布を高頻度・広域・高精度で測定する必要がある。現状の直接的な測定は地上観測がほとんどであり、高度分布の測定にいたってはキャンペーン的なゾンデ観測や、民間航空機に計測器を搭載して離着陸時に得られる高度分布に頼っており<sup>1</sup>、データが極めて不足している。

我々は波長 1.6  $\mu\text{m}$  の OPG/OPA (最大出力 20mJ, 500Hz) を用いた直接検波方式 DIAL を開発し、対流圏上部高度 8km までの CO<sub>2</sub> 鉛直分布測定に成功している<sup>2,4</sup>。CO<sub>2</sub> 空間分布の広域的観測の必要性から、CO<sub>2</sub>-DIAL システムを移動可能な専用トレーラに搭載した。本公演では、移動型 1.6  $\mu\text{m}$  CO<sub>2</sub>-DIAL の概要と、2014 年 1 月に国立環境研究所敷地内 (茨城県つくば市) にて得られた CO<sub>2</sub>-DIAL、航空機と GOSAT で観測された CO<sub>2</sub> 分布の比較結果について報告する。

一方、開発した CO<sub>2</sub>-DIAL は、工場や火力発電所などから発生する CO<sub>2</sub> の拡散分布や森林地帯における CO<sub>2</sub> フラックス<sup>5</sup> を観測するニーズがある、しかし、距離 1~2 km 内の分布を測定すればいいので、開発した OPG/OPA はオーバースペックである。実際、スキャン望遠鏡を用いた近距離観測では、ND フィルターを挿入して減光している。そこで、小型光源を新たに開発し、近距離の CO<sub>2</sub> 分布を得るニーズに対応するだけでなく、コンパクトかつ省電力化された CO<sub>2</sub>-DIAL を実現し、移動観測時の負担軽減を目指している。講演では開発した小型光源を用いた観測例についても報告する。

### 2. DIAL、航空機、GOSAT との比較観測結果

2014 年 1 月 6 日及び 12 日に GOSAT のつくば上空通過時刻に合わせて航空機による CO<sub>2</sub> 鉛直分布のキャンペーン観測がつくばで行われた。このキャンペーンに参加するため、CO<sub>2</sub>-DIAL 搭載のトレーラを首都大学東京日野キャンパス (東京都日野市) から国立環境研究所 (茨城県つくば市) へ移動した。口径 60 cm の望遠鏡による高度 3 km 以上の高層モード観測と口径 25 cm のスキャン望遠鏡を仰角 52° で固定した低層モードでの観測を交互に行った。図 1 に 1 月 12 日のライダー観測結果 (高層モード: 高度分解能 600m、低層モード: 高度分解能 236m)、航空機観測結果、GOSAT の a priori データ、気象研究所敷地内で観測された地上 CO<sub>2</sub> 濃度の結果を示す。ライダー観測結果は航空機観測結果と比較して約 2 ppm 低い値となったが、傾向はよく一致している。この差はシステム誤差の可能性が高く、現在調査中である。また、GOSAT の XCO<sub>2</sub> は 397.6 ppm で高度 4 km 以上に GOSAT a priori data を用いた Lidar 観測の XCO<sub>2</sub> は 397.0 ppm とよい一致を示した。

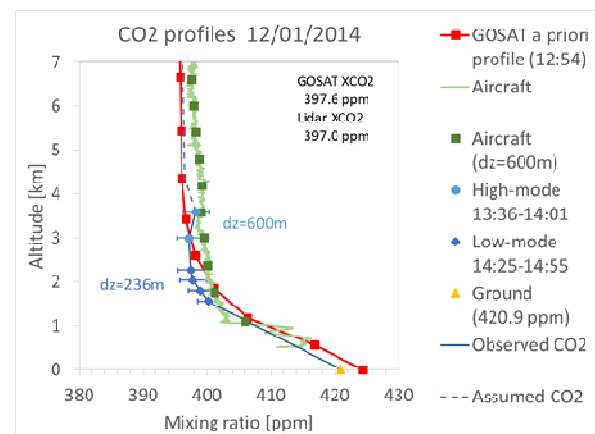


図 1 CO<sub>2</sub> 鉛直分布キャンペーン観測結果

### 3. 小型光源の開発

対流圏上部までの CO<sub>2</sub> 鉛直濃度分布だけでなく、火力発電所や工場から排出される CO<sub>2</sub> の拡散の様子や森林の CO<sub>2</sub> フラックスの測定には、距離 1~2 km 内の分布が分かればいいので、このような高出力の光源は必要ない。そこで、2 mJ/pulse 程度の小型光源を開発した。基本構成は上述の OPG と同じである。LD 励起 Nd:YAG レーザー (IB laser, DiNY pQ 10) の基本波出力 9.2 mJ/pulse, 400 Hz (3.7 W) を LD 励起 Nd:YAG レーザー (Cutting Edge Optronics, REA5006-3P5) で増幅することで最大 23.3 mJ/pulse, 400 Hz (9.3 W) を得た。この出力を OPG に励起することで最終的に 1.6 μm で 2.1 mJ/pulse の出力を得た。レーザーとチラーを含めた光源全体の容積は、高出力光源の 40% 程度となり、小型化が実現した。図 2 にこの小型光源で得られた CO<sub>2</sub> 水平分布のテスト観測結果を示す。口径 25 cm のスキャン望遠鏡を仰角 12° で固定している。この結果から 30 分の観測時間で距離 3 km 程度までの CO<sub>2</sub> 濃度分布を得ることが実証された。一方、1 km 以内は信号が飽和しているため、正しい値を得ることはできていない。至近距離からのデータ取得には、小型光源を用いた場合でもダイナミックレンジを考慮して適切な ND フィルターによる減光が必要であることが分かった。

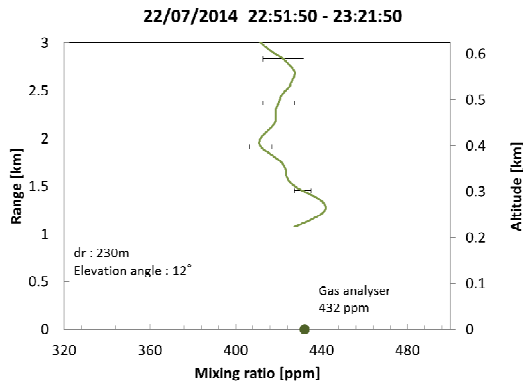


図 2 小型光源による CO<sub>2</sub> 濃度分布観測例

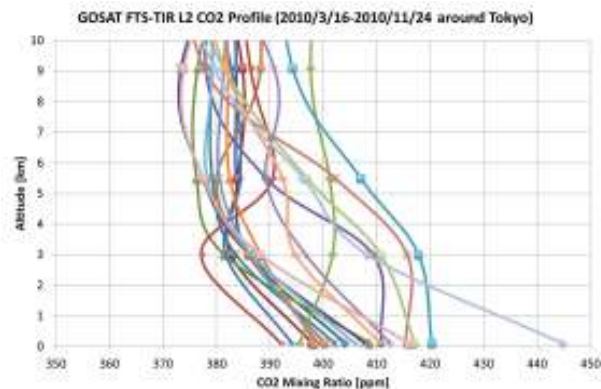


図 3 GOSAT FIT-TIR L2 の CO<sub>2</sub> 鉛直分布

GOSAT から提供されているプロダクトのひとつに、TANSO-FTS のバンド 4 のスペクトルを利用して求めた L2 CO<sub>2</sub> 濃度鉛直プロファイル(TIR)がある<sup>5</sup>。一例を図 3 に示すが、十分な精度、分解能を得られていないのが現状である。CO<sub>2</sub> 濃度変化の大きい対流圏下部の検証用にこの小型光源を用いた DIAL 観測の活用も期待できる。

### 4. まとめ

CO<sub>2</sub> 濃度分布の広域的な動態を解明するため、CO<sub>2</sub>-DIAL システムを移動可能な専用トレーラに搭載した。2014 年 1 月に初めて DIAL システムを移動し、つくばの国立環境研究所内において GISAT と航空機との CO<sub>2</sub> 濃度比較観測を行った。航空機データとの鉛直分布との比較では傾向は一致したものの、DIAL の観測値は約 2 ppm 低い値であった。この差については今後の検討課題である。GOSAT で得られた XCO<sub>2</sub> と DIAL で得られた XCO<sub>2</sub> はよい一致を示した。

また、近距離を対象とした観測に対応するため、出力 2 mJ/pulse の小型光源を新たに開発した。試験観測の結果、距離 3 km 以内の CO<sub>2</sub> 濃度分布の観測が可能であることが実証された。この小型光源を用いた DIAL は、森林の CO<sub>2</sub> フラックスや火力発電所周辺の CO<sub>2</sub> 濃度分布、GOSAT TIR L2 の検証用としての利用が期待される。

**謝辞:** 本研究は科学技術振興機構「先端計測分析技術・機器開発プログラム」等により実施された。また、本研究の一部は GOSAT 研究公募として実施された。

### 参考文献

1. Y. Niwa, et al., J. Geophys. Res., 117 (D11303), doi:10.1029/2012JD017, 2012.
2. 長澤他、計測と制御、Vol.50, No. 8, 883, 2011.
3. 長澤、光学、Vol.41, No.1, pp.9-14,2012
4. Y. Shibata, et. al., Proc. SPIE. 8894, doi: 10.1117/12.2029359, 2013.
5. C. A. Pickett-Heaps, et al., J. Geophys. Res., 116, D12305, 2011.
6. H. Watanabe, et. al., al., Proc. SPIE 8176, doi: 10.1117/12.898391, 2011.