

可搬型 CO₂-DIAL スキャン観測による大規模排出源のフラックス推定

阿保 真, 柴田泰邦, 長澤親生

東京都立大学システムデザイン学部 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Flux Estimation of Large-Scale Emission Sources by Scanning Observation using the Mobile CO₂-DIAL

Makoto ABO, Yasukuni SHIBATA, and Chikao NAGASAWA

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: To achieve carbon neutrality, efforts are underway to reduce greenhouse gas emissions and evaluate the effectiveness of reduction measures. The largest target for evaluation is CO₂ emissions from large factories and urban areas. However, it is necessary to improve the accuracy of evaluation to eliminate the uncertainty of these estimates. For this purpose, a CO₂ emission estimation system using satellite observations as input has been developed. On the other hand, the gas concentration distribution images obtained from satellite observations need to be verified due to the large spatial variation in the measurement error. Therefore, we have started to develop a mobile CO₂-DIAL capable of performing 3D scanning observations in the vicinity of large emission sources. In this presentation, we present an overview of the mobile CO₂-DIAL and simulation results of scanning observations.

Key Words: CO₂, scanning DIAL, emission estimate

1. はじめに

カーボンニュートラル実現に向け、温室効果ガス排出量の削減とその削減施策の有効性を評価するための取り組みが進められている。その最大の評価対象は大規模排出源や都市部からの CO₂ の排出量であるが、その統計値や推計値には不確実性があり高精度化が求められている。そのため高い精度で CO₂ 排出量を定量的に評価するために、衛星観測データを入力とした CO₂ 排出量推定システムの開発が進められている。一方、OCO-2/3 や GOSAT-GW などの温室効果ガス衛星観測により得られるガス濃度分布画像は、測定誤差の空間変動が大きいと検証が必要とされているものの、広範囲の面的なデータを検証する手法は未だ整備されていない。そこで我々は地表面反射率の特性などに依存した CO₂ 衛星画像の測定精度の空間分布などを評価するため、大規模排出源近くで 3 次元スキャン観測が可能な可搬型 CO₂ ライダーの開発に着手している。本発表ではスキャン観測可能な可搬型 CO₂-DIAL の概要とスキャン観測シミュレーション結果について報告する。

2. 可搬型スキャン型 CO₂-DIAL

我々は、CO₂ 濃度の鉛直プロファイルを測定するために、直接検波型 1.6 μm 差分吸収ライダー(DIAL)を開発した¹⁾。当初はトレーラ搭載の可搬型で口径 60cm の望遠鏡を用いて高度 9km までの CO₂ 高度プロファイル観測²⁾、つくばまで移動して航空機との同時観測を行った³⁾。2015 年からは装置をトレーラから東京都立大学の屋上観測室に移設し、ターゲットを対流圏下部に絞り高度 0.45km から 2.5km までの CO₂ 濃度鉛直プロファイルを、高度分解能 300m、積分時間 1 時間で晴天時を中心に昼夜間観測を行ってきた。さらに 2016 年 10 月からは 3 波長 DIAL による気温の同時観測を行い、混合比の測定精度を高めている。

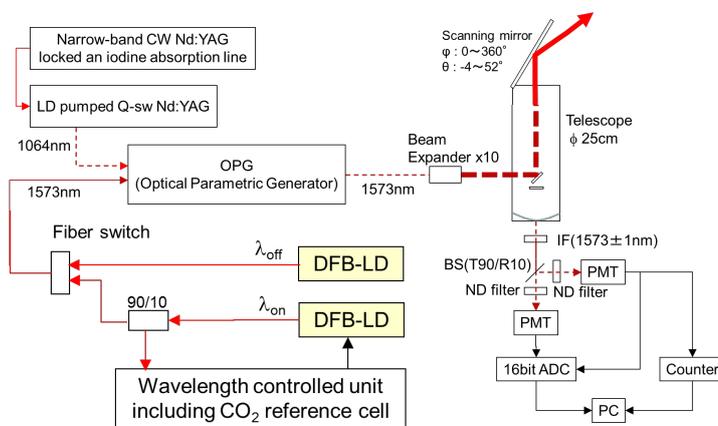


Fig. 1 Schematic diagram of the scanning CO₂-DIAL system.

当初開発した可搬型 CO₂-DIAL は、大型望遠鏡と高出力レーザを搭載していたため、トレーラが大きく移動観測は容易ではなかった。今回は低高度の高濃度領域の測定にターゲットを絞り、可搬性向上のため装置仕様を最小スペックにする。Fig. 1 に新たに開発する可搬スキャン型 CO₂-DIAL のブロック図を示す。気温測定を省略することにより 3 波長から 2 波長 DIAL に戻し、励起レーザも小型化する、スキャンは既存の送受信同軸で 1 枚の大型ミラーを用いることにより、水平方向 360 度、仰角方向最大 52 度のスキャン観測が可能である。レーザ出力は 6mJ、望遠鏡口径は 25cm、16bit-AD と光子カウント併用とする。システムは送受信部を分割して運搬・設置できるようにし、現地での観測は車載またはコンテナで行うことを想定している。

Fig. 2 にトレーラ搭載型 DIAL での試験観測事例を示す。観測は東京都立大学日野キャンパスから南方向を仰角 15 度、方位角方向を 5 度ステップで 5 方向の計測を行っている。1 方向の計測時間は 3 波長で 15 分である。観測領域に大きな排出源は無いが、河川の上空で CO₂ 濃度が低く、住宅街の上空で CO₂ 濃度が若干高くなっている様子が確認出来る。

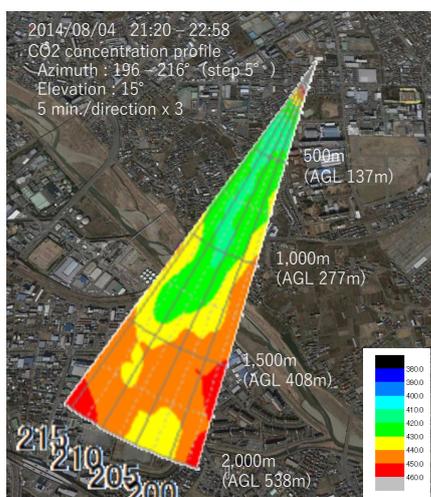


Fig. 2 An example of PPI scan CO₂-DIAL measurement at TMU.

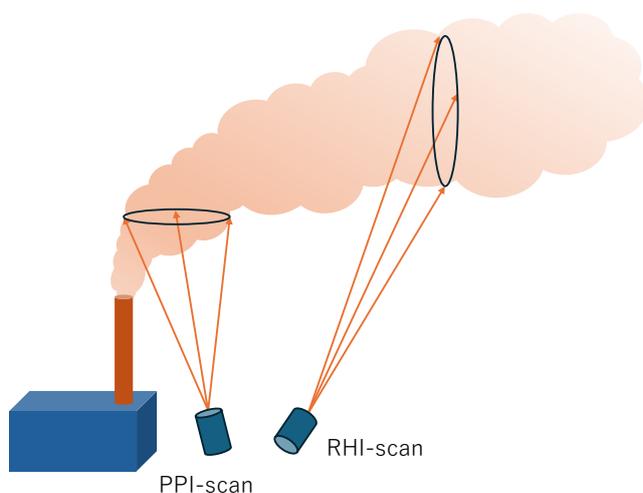


Fig. 3 Schematic diagram of scanning observations with different scan modes near a large factory. (PPI: Plan-Position Indicator, RHI: Range-Height Indicator)

3. スキャン観測シミュレーション

実際の測定場所は確定していないが、京浜工業地帯の火力発電所を大規模排出源と想定して CO₂ スキャン観測のシミュレーションを行った。スキャン観測は Fig. 3 に示す 2 種類のスキャンモードを用いる。PPI スキャンでは仰角を煙突の上方に固定し、方位角を変えながら横方向にスキャンする。RHI スキャンでは方位角を上空の風に流された CO₂ プルーム方向に固定し、仰角を変えながら縦方向にスキャンする。

まずスキャン観測の設定条件を検討するために、想定される 3 次元 CO₂ 濃度分布モデルデータを作成した。Fig. 4 に想定した火力発電所を中心とした 22km 四方の高度 300m における CO₂ 濃度の水平分布図を示す。CO₂ 濃度は大規模排出源の公表データを用いた移流拡散シミュレーション⁴⁾により求めた。風により北東方向に CO₂ プルームが流されながら拡散している様子が確認できる。なおバックグラウンド濃度は 400ppm としている。

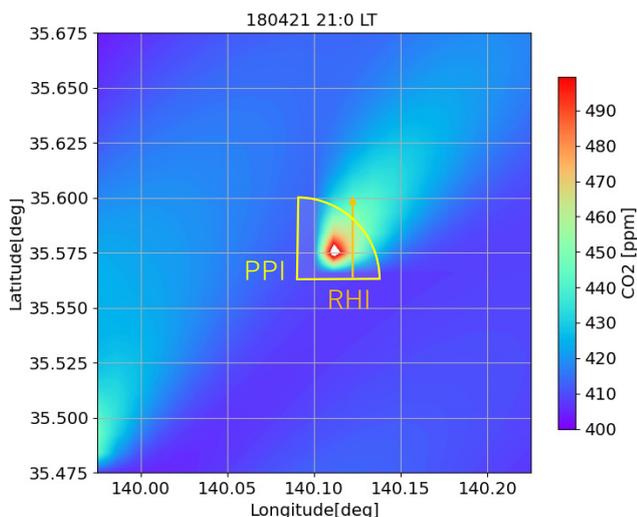


Fig. 4 Horizontal distribution of CO₂ mixing ratio at 300m altitude calculated by the advection-diffusion simulation.

次に3次元CO₂濃度分布モデルデータから各DIALスキャン観測における視線方向の濃度分布を求めた。Fig. 5に発電所の約1.5km南西に設置したDIALによる仰角8度、スキャンステップ5度でのPPIスキャン観測、Fig. 6に発電所の約1km南南東に設置したDIALによるスキャンステップ1度のRHIスキャンの各DIAL視線方向のCO₂の濃度分布図を示す。DIALの設置場所とスキャン範囲はFig.4に示している。なお各丸点は視線距離100m毎にプロットしており、色がFig.4のカラーバーの濃度に対応している。

火力発電所や工場の煙突から排出されるフラックスを推定するためにはプルームの濃度分布を参考に適切な区間を設定することにより高精度の測定が可能となる。一方上空のCO₂プルームは風の変化により濃度分布が変化するため1スキャンの時間も誤差要因となる。スキャン時間はスキャンステップにも依存するため、適切なスキャン範囲とスキャンステップを設定することが重要である。

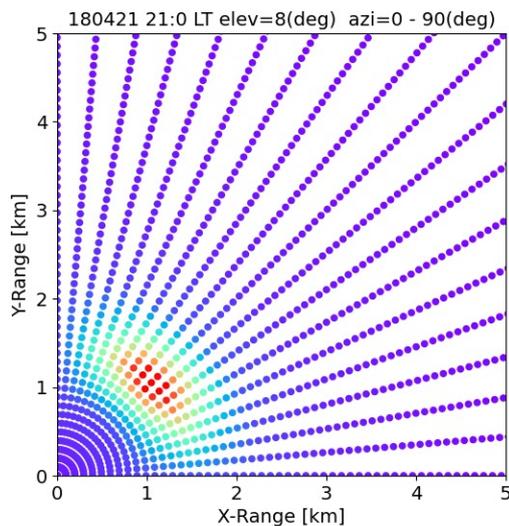


Fig. 5 Simulated CO₂ mixing ratio in DIAL line-of-sight directions for PPI scan.

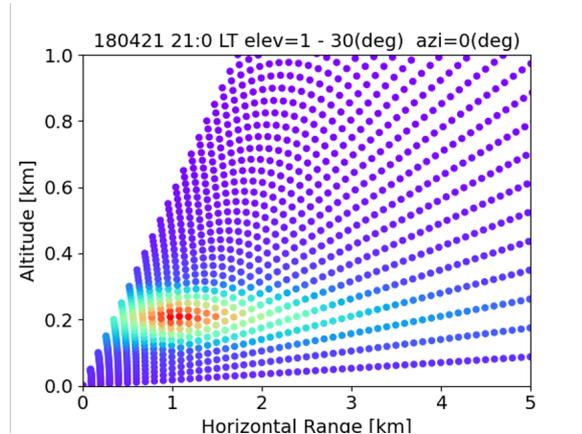


Fig. 6 Simulated CO₂ mixing ratio in DIAL line-of-sight directions for RHI scan.

4. まとめ

温室効果ガス衛星観測により得られるガス濃度分布画像の測定精度評価を目的とした、大規模排出源近くでスキャン観測可能な可搬型CO₂-DIALの概要と、移流拡散シミュレーション結果を用いたスキャン観測シミュレーションの初期結果を示した。今後は、既存のCO₂-DIALをベースにしたスキャン観測可能な可搬型CO₂-DIALの製作を進めるとともに、スキャン時間も考慮した最適スキャン方法、DIALの設置場所などのシミュレーションを行う予定である。最終的にはCO₂-DIALとGOSAT-GW等衛星との同時観測を実施し、衛星データ測定精度の空間分布評価を行い、最終的には大規模排出源に対して行う排出量推定の精度評価を目指す計画である。

謝 辞

本研究は、環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20242003)により実施している。

参考文献

- 1) Y. Shibata et al.: Appl. Opt. **56** (2017) 1194.
- 2) 長澤親生他: LSS30 (2012) C-10.
- 3) Y. Shibata et al.: Sensors **18** (2018) 4064.
- 4) 阿保真他: LSS42 (2024)