

1.6 μm DIAL による対流圏中層の CO_2 観測

柴田 泰邦, 長澤 親生, 阿保 真

東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Measurement of CO_2 mixing ratio in the middle troposphere using 1.6 μm DIAL

Yasukuni SHIBATA, Chikao NAGASAWA, and Makoto ABO

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

Abstract: Vertical profile measurements of CO_2 mixing ratio up to an altitude of 2.5 km have been performed by our conventional 1.6 μm DIAL (Differential absorption lidar) at TMU in Hino. We take on the new measurement channel of the "high altitude mode" to our conventional DIAL system in order to measure the CO_2 background mixing ratio. This system update made it possible to measure CO_2 mixing ratio profiles up to an altitude of 5 km. This new DIAL system may cover the measurements of the back ground CO_2 mixing ratio at the top of the high mountain, which measure CO_2 mixing ratios routinely. We report the measurement results of CO_2 mixing ratio profiles with the high altitude mode, and discuss the comparison with the measurement results of the CO_2 mixing ratio at Mt. Fuji and Mauna Loa observatories.

Key Words: DIAL, CO_2 , troposphere, background

1. はじめに

波長 1.6 μm の差分吸収ライダー (DIAL: Differential absorption lidar) を用い、東京都立大学日野キャンパスにおいて、高度 2.5km までの CO_2 濃度の鉛直分布連続観測を継続的に行ってきた[1-3]。これまでの観測結果から、夜間は地上から高度 1.5~2.0 km 付近まで 400 数十 ppm、晴天時の昼間は植物の光合成による CO_2 の吸収で境界層内は 400 ppm 前後へと減少する日変化が観測されている。一方、高度 2 km 以上の対流圏中層になるとこのような顕著な日変化はあまり見られなくなる。そこで、 CO_2 混合比のバックグラウンドレベルの観測と同時に、 CO_2 混合比の変動主因として考えられる大陸都市部起源や火山起源の CO_2 流入の様子を観測する目的で新たな観測モードを追加し、高度 5 km までの対流圏下部から中層までの CO_2 混合比分布観測が可能になった。本講演では、改良した DIAL システム構成と、富士山 (標高 3776 m) やハワイ・マウナロア観測所 (標高 3397 m) で行われている CO_2 混合比の長期連続観測結果との関連性について報告する。

2. 対流圏中層観測モードの追加

送信部は従来と同じ Nd:YAG 励起の 3 波長 OPG (Optical Parametric Generator) システムで、 CO_2 吸収スペクトルの吸収ピーク波長 (λ_{on}) と裾の非吸収波長 (λ_{off}) で CO_2 密度を、吸収スペクトルのスロープ部 (λ_{T}) と λ_{on} で気温を測定する。得られた気温分布から大気密度分布を算出し、 CO_2 混合比分布を得る。

受信部は従来と同じ口径 25cm の望遠鏡を用い、Figure 1 に示すように 90% : 10% のビームスプリッターを新たに挿入した。90% 側の受信光を対流圏中層用の光電子増倍管 (PMT) に、10% 側の信号を対流圏低層用の PMT にそれぞれ入射させる。中層観測は信号が弱いので光子カウントモードで、低層観測は従来と同様に 16 bit AD コンバータを用いたアナログモードで観測を行う。光子カウント信号は、アナログモードとの重なり領域が高度 2.0~2.5km になるよう、ND フィルターで受信信号レベルを調節する。

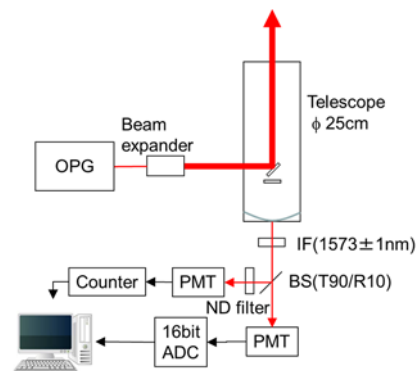


Figure 1 Block diagram of the 1.6 μm DIAL system for measurement of CO_2 mixing ratio profiles in the lower and middle troposphere. Measurements in the lower troposphere were performed by the analog mode with a 16-bit ADC and measurements in the middle troposphere were performed by the photon count mode.

3. 対流圏中層の CO₂ 混合比観測

Figure 2 に東京都立大学日野キャンパス（東京都日野市）で観測した 2020 年 1 月 14 日の CO₂ 混合比プロファイルを示す。時間分解能は 30 分、高度分解能は 300 m である。高度 2.0~2.5 km で低層モード中層モードが重なり、両モードをつないで高度 0.4 km から高度 5 km の対流圏中層までの CO₂ 混合比鉛直分布観測が可能になった。Figure 3 に高度ごとの CO₂ 混合比の時間変動を示す。高度 3.3 km 以上では、CO₂ 混合比は 405 ppm 前後を示した。

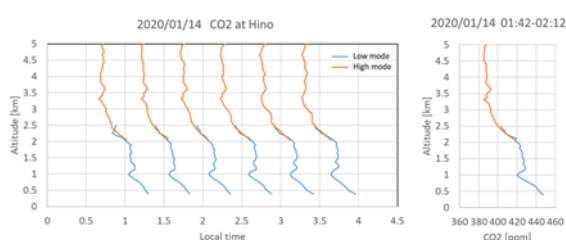


Figure 2 CO₂ mixing ratio profiles in the lower and middle troposphere. The low mode is obtained by the analog mode and the high mode is obtained by the photon count mode.

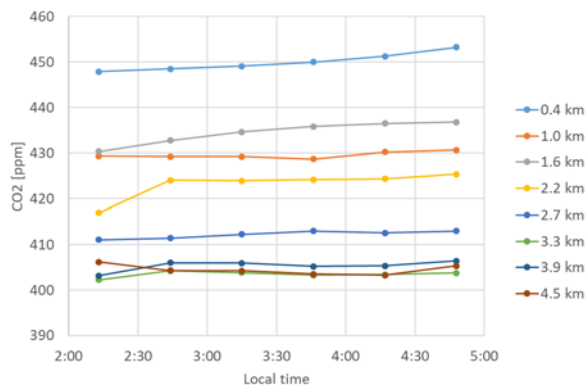


Figure 3 Temporal variations of CO₂ mixing ratio at various altitudes.

人為起源による CO₂ 排出の影響をできるだけ避け、CO₂ 混合比のバックグラウンドを計測するため、標高 3,000 m を超える高山に CO₂ 観測所が世界各国に設置されている。富士山測候所（標高 3,776 m）およびハワイ・マウナロア観測所（標高 3,397 m）における、CO₂ 混合比の長期連続観測結果（一日平均値）を Figure 4 に示す⁵⁾。植物が枯れる冬は植物の CO₂ 吸収量が低下するため、周期的に濃度が上下し、年間 2~3ppm ずつ増加している。富士山の日ごとのばらつきはマウナロアより大きい。日本上空では高気圧や低気圧の通過による気団の入れ替わりの頻度が高いことや、山裾を吹き上げる風による人為起源の CO₂ 流入が無視できない。樹木が生育できず森林

を形成できない高度を森林限界という。日本では主に夏の温度と積算温度に従い、富士山の森林限界高度は標高約 2.5~2.8 km である⁴⁾。Figure 3 の結果から森林限界より数百 m 上空まで人為起源による CO₂ の影響が及んでいるものと推察できる。

以上のことから、今回開発した対流圏中層まで観測可能な CO₂ DIAL による観測結果は、地形の影響を受けずに対流圏中層における CO₂ 混合比のバックグラウンド計測が可能であることを示した。

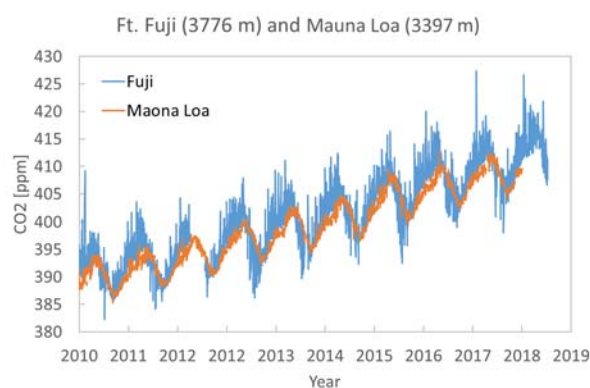


Figure 4 Daily mean CO₂ mixing ratio measured at Mt. Fuji observatory, Japan and Mauna Loa Observatory, Hawaii.

4. まとめ

都市や植生による CO₂ 吸収・排出の影響が少ないとされる高度 3 km 以上の CO₂ 変動、および、CO₂ 流入イベントを観測する目的で、対流圏中層領域までの CO₂ 混合比鉛直分布観測が可能で光子カウントモードを従来のアナログモード観測の DIAL に追加した。これにより、CO₂ 変動の小さいバックグラウンド領域と、地表からの影響を受ける CO₂ 増加領域を同時に測定することが可能となった。

2020 年 1 月 14 日に行った最初の観測では、高度 3.3 km 以上において、CO₂ 混合比 405 ppm が観測され、CO₂ 混合比のバックグラウンド観測が可能であることが推察される。さらに、森林限界より数百 m 上空まで人為起源による CO₂ が流入していることが示唆された。今後、観測例を増やし、CO₂ 濃度の季節変化や、イベントの有無について調査する。

参考文献

- 1) Y. Shibata, et al., *Appl. Opt.*, **56** (2017) 1194-1201.
- 2) Y. Shibata, et. al., *Sensors*, **18** (2018) 4064.
- 3) 柴田、長澤、阿保、第 37 回レーザーセンシングシンポジウム (2019) 1-2.
- 4) S. Oka, *J. Geograpy*, **100** (1991) 673-696.
- 5) The World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG), <https://gaw.kishou.go.jp/>