

昼夜連続 CO₂-DIAL 観測結果に対する境界層内 CO₂ 濃度の source と sink の考察

柴田 泰邦, 長澤 親生, 阿保 真

首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

A study of source and sink for CO₂ diurnal variation in boundary layer by CO₂-DIAL observation

Yasukuni SHIBATA, Chikao NAGASAWA, and Makoto ABO

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

Abstract: We have developed a ground based three-wavelength 1.6 μm differential absorption lidar (DIAL) to achieve simultaneously measurements of vertical CO₂ concentration and temperature profiles in the atmosphere. In the DIAL observation, because the absorption cross section is influenced by the temperature, CO₂ mixing ratio near the ground changes at 1.6 ppm/K. The CO₂-DIAL conducted a diurnal variation of CO₂ mixing ratio and temperature profile on 21-22 April 2018. CO₂ mixing ratio increased from 22:00 LT to 08:00 LT at altitude of 1.5 km or less. On the other hand, CO₂ mixing ratio decreases during daytime (especially in the afternoon). Diurnal variations are attributable primarily to the natural photosynthetic and respiration cycle of vegetation and soils and to anthropogenic sources in urban areas.

Key Words: CO₂, temperature, DIAL, diurnal variation

1. はじめに

我々は下部対流圏における鉛直 CO₂ 濃度分布を連続観測するため、波長 1.6 μm の差分吸収ライダー (DIAL: Differential absorption lidar) を開発した¹⁾。さらに温度測定用の波長を追加した 3 波長 1.6 μm DIAL システムを開発し、CO₂ 混合比と温度プロファイルを同時に測定することに成功した²⁾。今回は気温同時測定によってもたらされる CO₂ 混合比への効果について述べるとともに、境界層内 CO₂ 濃度の 24 時間連続観測結果に見られた夜間の CO₂ 増加と昼間の CO₂ 減少について考察と今後課題について述べる。

2. 気温同時測定の効果

CO₂ 吸収スペクトル分布は気温に依存する。2 波長 (吸収中心波長 λ_{on} と裾 λ_{off}) での DIAL 観測当時は、客観解析データによって得られる気温鉛直分布を用いて吸収スペクトル分布を算出していたが、測定精度をさらに上げるためには DIAL 観測点上空の気温分布の取得が必要となる。気温鉛直分布は逆転層などが頻繁に生じるため、気温減率だけでモデル化することができない。CO₂ 混合比の気温依存性は、地表付近で 1.6 ppm/°C と小さい。そこで、DIAL に温度観測用の波長 λ_T を追加し、 λ_{on} との受信強度を比較することで密度分布と同時に気温分布測定を行う。

Fig.1 に首都大学東京日野キャンパス (東京都日野市) に設置してある CO₂-DIAL により 2018 年 2 月 7 日に 3 波長 DIAL 観測で得られた CO₂ 混合比の時間高度断面図を示す。Fig.1(a)は DIAL 観測の温度を用いて求めた CO₂ 分布、Fig.1(b)は客観解析データ (NCEP FNL; <https://rda.ucar.edu/>) の 36N, 139E, 09LT の気温分布を用いて求めた CO₂ 分布、Fig.1(c)は(a)と(b)の CO₂ 混合比差を示す。高度 1.5 km 以上において、DIAL 観測から得られた気温分布と客観解析データの気温分布はよく一致していたが、それ以下の高度では、DIAL 観測で得られた気温分布の気温減率は、日出前において客観解析データの値より小さい (日出時間 6:37)。具体的には、DIAL 観測における 5 時頃の高度 1km 以下の気温減率は -4.9°C/km、8 時頃は -8.1°C/km であるのに対し、客観解析データの高度 1 km 以下の気温減率は -8.2°C/km と日の出前は 3°C/km 前後の差があった。この気温分布の違いが Fig.1(c)に示す CO₂ 混合比分布の差として表れている。特に気温差が大きい 7 時頃までの高度 700 m 以下において、CO₂ 混合比誤差は -5 ppm 前後となった。以上のことから、DIAL 観測点で気温分布を同時に測定することが CO₂ 混合比分布を正確に把握することに大きく貢献していることが実証された。

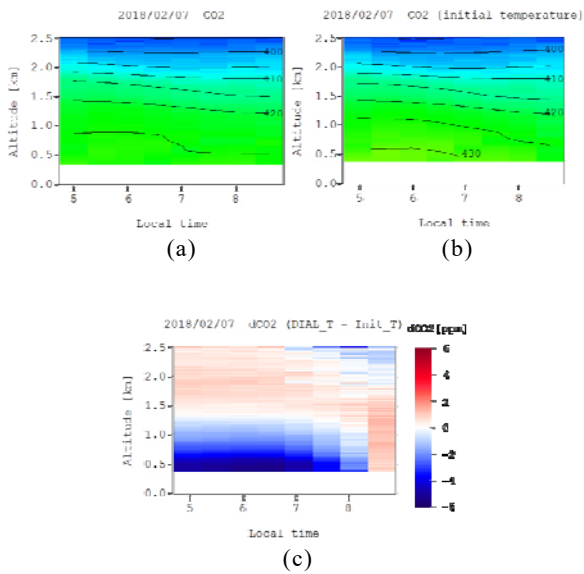


Fig.1 CO₂ mixing ratio profiles. (a) using DIAL temperature, (b) using NCEP FNL temperature, (c) the difference between Fig.1(a) and Fig.1(b).

3. 24 時間連続観測結果

2018年4月21-22日にCO₂混合比と温度プロファイルの24時間連続観測を行った。天候は一日を通してほぼ快晴であった。Fig.2にCO₂混合比の時間高度断面図を示す。これより夜間22時~8時に高度1.5 kmより下層でCO₂混合比の顕著な増加が見られる。一方昼間(特に午後)はCO₂混合比の減少が見られる。またCO₂混合比の増加や減少は上層より下層で早く起こっており、これらの増減の起源が地上付近にあることが推測される。日野キャンパス地上に設置したCO₂センサー(LI-830)で観測した晴天時における4月のCO₂混合比の日変化をFig.3に示す。夜間においてCO₂混合比は高く、日の出後(6:30前後)CO₂混合比は減少する。Fig.2における高度1.5 km以下のCO₂混合比の振る舞いは、Fig.3の振る舞いとよく似ており、概ね境界層高度内においてCO₂の変動は地上と同じ傾向にあるものと言える。特に昼は光合成によるsink効果が表れていると考えられる。

夜間のCO₂増加については、周辺の人為的起源の影響が考えられる。風向風速を考慮した拡散家庭の検証が今後の課題である。講演では、簡単な拡散シミュレーションによりこれらの影響を考察する。

4. まとめ

気温観測用ライダーとして、CO₂吸収スペクトル分布の温度依存性を利用した3波長CO₂-DIALを開発した。気温同時測定の効果を検証するため、

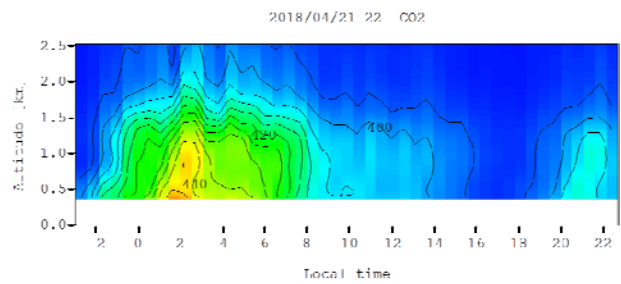


Fig.2 Time-height cross section of the CO₂ mixing ratio on 21-22 April 2018.

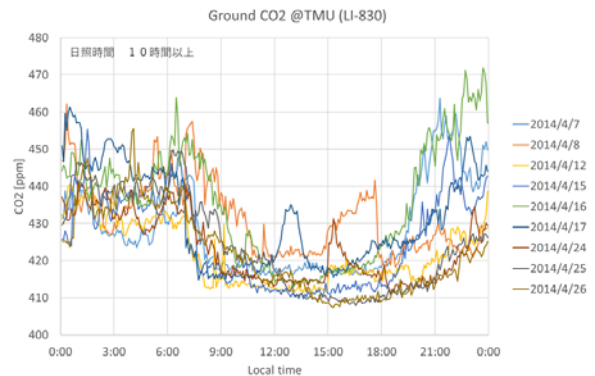


Fig.3 Diurnal variations of CO₂ mixing ratio on the ground at Tokyo Metropolitan Univ.

DIAL 気温データと客観解析の気温データをそれぞれ用いてCO₂混合比分布を求めた。日の出前において、高度700 m以下の気温減率が客観解析データの気温減率より小さくなり、DIAL 気温から求めたCO₂混合比と客観解析データから求めたCO₂混合比の差が5 ppm前後と大きくなった。このことから、気温を同時に測定することが、より精度の高いCO₂観測を可能にすることが実証された。

また、24時間連続観測を行った。高度1.5 kmにおいて、夜間はCO₂混合比の増加、日中はCO₂混合比の減少が見られた。この振る舞いは、地上での観測結果と同様の傾向を示しており、概ね境界層高度内においてCO₂の変動は地上と同じ傾向にあるものと言える。今後は拡散シミュレーションを導入し、sourceとsink起源の解明を行う。

参考文献

- 1) Y. Shibata, C. Nagasawa and M. Abo, Appl. Opt.,56, 1194-1201, 2017.
- 2) 柴田他、第35回レーザセンシングシンポジウム、D-4, 2017.