

差分吸収ライダーによる CO₂ 濃度と大気境界層の観測

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)

Measurements of CO₂ mixing ratio profile and boundary layer by differential absorption lidar

Yasukuni SHIBATA, Chikao NAGASAWA and Makoto ABO
Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: We have developed a 1.6 μm CO₂ DIAL system for simultaneous measurements of the CO₂ concentration and temperature profiles in the lower-atmosphere. We can also obtain vertical profiles of aerosols by off-line measurements. Simultaneous measurements of vertical profiles of atmospheric temperature and aerosols are required for the interpretation of the dynamics of the boundary layer. In this paper, some experimental results of the simultaneous measurement of CO₂ mixing ratio, atmospheric temperature and aerosol profiles in the boundary layer are reported and these relationships are discussed.

Key Words: Polarization lidar, Precipitation particle, Rain, Snow

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^{1,2)}。さらに温度測定用の波長を追加した 3 波長 DIAL システムを開発し、首都大学東京日野キャンパス (東京都日野市) において、CO₂ 混合比、温度プロファイル並びにエアロゾル濃度分布の同時連続観測を行っている³⁾。大気境界層は晴天時の昼間は主に対流混合層の発達が発著であるが、夜間は残留層や安定境界層などが生成され、その構造は複雑となる。混合層高度を推定する方法として、ラジオゾンデ観測から温位を求める方法が用いられるが、ラジオゾンデの時間間隔が長いため、詳細に時間変化の把握には、ミーライダーにより観測されたエアロゾル濃度分布から混合層高度を推定する手法が提案されている。今回は、ライダーにより観測された温度分布から求めた温位分布及び距離 2 乗補正信号分布それぞれから境界層高度を推定しその比較を行った。さらに、CO₂ と境界層高度との関係についても議論する。

2. 境界層高度の推定法

DIAL の off 波長信号を利用して境界層高度の算出を行った。境界層高度の具体的な算出方法は幾つか提案されているが、今回は方法が比較的単純で信号ノイズから受ける影響が小さく、ラジオゾンデから算出した境界層高度との対応が良いと報告されている WCT (ウェーブレット共分散変換) 法を用いた^{4,5)}。

$$WCT(a, b) = \frac{1}{a} \int_0^{\infty} NRCS(z) H\left(\frac{z-b}{a}\right) dz \quad (1)$$

$$H\left(\frac{z-b}{a}\right) = \begin{cases} 1 & (b - a/2 < z < b) \\ -1 & (b < z < b + a/2) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、NRCS(z)は高度 1000m までの最大値で規格化された距離 2 乗補正信号、Hは Haar 関数で bは WCT 解析する高度、aは(2)式の -1~1 区間の距離で、ここでは CO₂ 観測の距離分解能と同じ 300 m とした。WCT の値は NRCS が高度とともに著しく減少する高度で大きくなることから、WCT の値が大きい高度が境界層上端の候補となる。

温位から推定する混合層高度は、CO₂ DIAL 観測で得られる温度分布から温位分布を求め、温位微分が 0.6K/50m を越える高度とした。

3. CO₂ 混合比・気温・エアロゾル同時観測結果

Fig.1-4 はそれぞれ 2019 年 4 月 20 日に観測された CO₂ 混合比、気温、温位、距離 2 乗補正(1573nm)の時間高度断面図を示す。Fig.5 は温位及び WCT 法で推定した境界層高度である。ここで、エアロゾルの波長依存性を調べるため、CO₂-DIAL (波長 1573nm) 及びマイクロパルスライダー (波長 830nm) のデータを用いた。観測は午前 3 時から開始し 6 時前後に高度 1.0~1.5km に雲が出ていた。また、19 時半以降低い雲が出たため観測は中止した(Fig.4)。

Fig.5 から、WCT 法で推定した高度 1.0km 以上の境界層高度は波長によって違いがないことが分かる。一方、高度 1.0km 以下では、温位から推定した

境界層高度と波長 1573nm の WCT 法で推定した混合層高度が良い一致を示し、波長 830nm の WCT 法では境界層が検出されなかった。また、15 時以降の境界層高度やその変動の様相は、3 つの推定法で異なることが分かる。

日中の境界層構造が 2 波長で異なる結果を示した理由として、大気分子によるレイリー散乱強度は波長の 4 乗に反比例し、エアロゾルによるミー散乱強度は波長の 1~2 乗に反比例するため、830 nm より長い波長の 1573nm における WCT 法は、大気分子による散乱の影響がエアロゾルによる散乱に対してより小さくなり、境界層が顕在化したものと推測される。

次に、日中の 0.7 km 付近の境界層は、温位とエアロゾルから推定推定した高度と一致することから、熱的対流によりエアロゾルが混合されたためと推測できる。また、高度 1.3 km 付近の境界層は、対流性のものではなく水平移流のエアロゾルによるものと推測できる。

さらに、CO₂ と境界層の関係に注目すると、3 時から 5 時における 1.5 km 付近の境界層高度の下降と、405 ppm の下降が良い一致を示している。日出 (05:03LT) 以降は、光合成による CO₂ 吸収のため、境界層との相関は見られない。

4. まとめ

2019 年 4 月 20 日に 3 波長 CO₂-DIAL(1573nm)およびマイクロパルスライダー(830nm)で観測された気温から得られた温位分布と、WCT 法で得られた境界層高度を推定し、それらの関係性について議論した。長波長のほうがエアロゾルに対する感度が高いので、830nm では検出されなかった境界層が 1573nm では検出される例があった。また、温位から推定した混合層高度と波長 1573nm の WCT 法で推定した混合層高度はよく一致した。一方、温位から推定した混合層高度より上層に、WCT 法で推定される境界層が検知され、熱的対流を要因としないエアロゾルの移流であると推測される。さらに、夜間において、WCT 法で推定した 1.5 km 付近の境界層と CO₂ 混合比 405 ppm のラインが下降する様相が良い一致を示した。今後、さらにデータを蓄積し、夜間における CO₂ と混合層の振る舞いについて議論を深める。

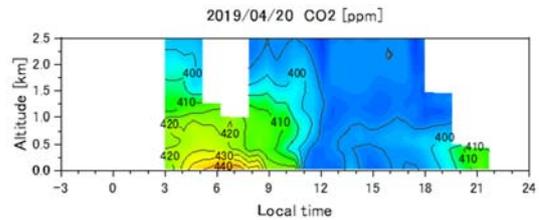


Fig. 1 Time-height cross section of the CO₂ mixing ratio on 20 April, 2019. (Sunrise 05:03LT, Sunset 18:19LT)

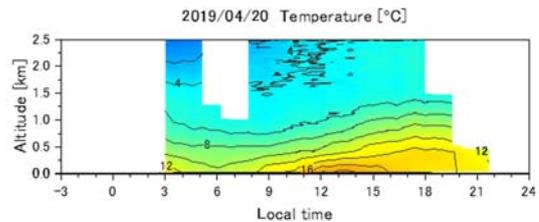


Fig. 2 Time-height cross section of the atmospheric temperature on 20 April, 2019.

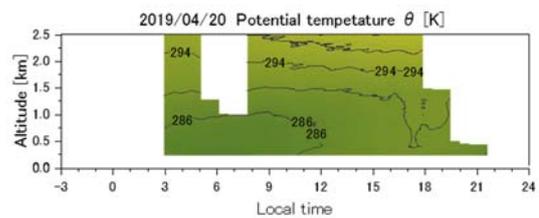


Fig. 3 Time-height cross section of the potential temperature θ on 20 April, 2019.

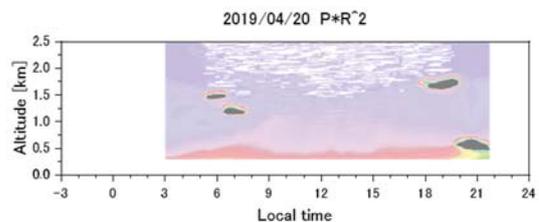


Fig. 4 Time-height cross section of the range corrected signal at 1573 nm on 20 April, 2019.

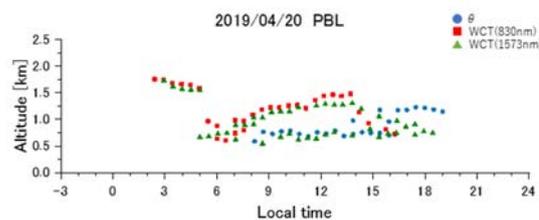


Fig. 5 Time series of boundary layer heights on 20 April, 2019 estimated by potential temperature θ and WCT methods (830 nm and 1573 nm).

参考文献

- 1) Y. Shibata, et al., Appl. Opt.,56 (2017) 1194.
- 2) Y. Shibata, et al., Sensors 18 (2018) 4064.
- 3) 阿保他, 気象学会 2018 年度秋季大会, B466, 2018.
- 4) V. Caicedo, et al., Atmos. Meas. Tech., 10 (2017) 1609.
- 5) 泉他, 天気, 66 (2019) 345.