

DIALによる赤道圏界面オゾン観測のための全固体レーザー開発

大場 みさき, 柴田 泰邦

首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Development of all-solid laser for ozone DIAL in the equatorial tropopause region

Misaki OHBA and Yasukuni SHIBATA

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

Abstract: Ozone (O₃) molecules in the stratosphere absorb ultraviolet light from the sun, and O₃ molecules in the troposphere is one of the greenhouse gases. The equatorial O₃ profiles have not been fully understood yet because of the lack of the long-term observations in upper troposphere. Our lidar group has measured O₃ vertical profiles using an O₃-DIAL (Differential Absorption Lidar) with a dye laser in the upper troposphere over Kototabang, Indonesia. Because dyes used for the dye laser are rapidly damaged, O₃-DIAL operation is limited to manual. Therefore, we propose a network-controllable all solid Ce:LiCAF laser for the O₃ - DIAL light source. In this paper, optimal simulation results of two wavelengths with the Ce:LiCAF laser and experimental results of the Ce:LiCAF laser oscillation are reported.

Key Words: DIAL, O₃, Ce:LiCAF, equatorial tropopause

1. はじめに

大気中のオゾンは、成層圏に約 90% 存在し、濃度の濃い層をオゾン層と呼び、その濃度は減少傾向にある。対流圏オゾンは成層圏オゾンから輸送される他、窒素酸化物(NO_x)から光科学反応で生成される。また、オゾンは赤外線を吸収するため、二酸化炭素、メタンに次ぐ温室効果ガスとされ、観測体制の強化が課題である。成層圏と対流圏の物質の交換が特に赤道付近では顕著であり、赤道付近上空のオゾン濃度の鉛直分布を観測することによって対流圏界面でのオゾンの動機を明らかにすることができる^{1,2)}。

オゾン観測はオゾンゾンデや差分吸収ライダー(Differential Absorption Lidar)によって世界各地で行われているが、観測頻度は一定ではない。従来のオゾン DIAL の光源には色素レーザーやエキシマレーザーを使用しており、大型装置で管理が複雑なこと、危険であること、劣化が早く定期的な交換が必要とされる。また、我々はインドネシアのコタババン(0.2S, 100. E)にオゾン DIAL を設置しているが光源に色素レーザーを用いているため年 2 回程度の渡航時のみ観測を行っている³⁾。そこで、我々は色素レーザーに替えて固体レーザーを用いた DIAL に改良することは計画している。

2. 最適波長シミュレーション

赤道域の対流圏界面高度領域のオゾン鉛直分布を精度良く測定するための最適な波長の組み合わせを数値シミュレーションにより求めた。先行研究において対流圏オゾンの DIAL 観測におい

て、on 波長 282nm, off 波長 292nm 前後での最適な組み合わせが報告されている⁴⁾。よって、高度 18km 付近とより遠方になる赤道域の対流圏界面ではこれより吸収断面積の小さい波長、つまり 300nm 付近を用いることとする。

固体レーザー光源の候補として 300nm 付近で発振する Ce:LiCAF レーザがある。Ce:LiCAF 結晶は Fig.1 に示すように Nd:YAG レーザの第 4 高調波 266nm 付近に吸収帯を持ち、281~316nm に放出帯を持っている。Ce:LiCAF レーザを用いた航空機搭載オゾン DIAL が Fromzel 等によって報告されている⁵⁾。

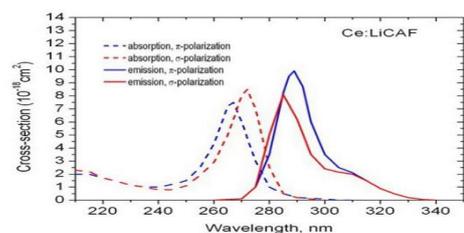


Fig.1 Ce:LiCAF cross section

以上の点を考慮の上、on 波長 284~298nm, off 波長 302~312nm の波長範囲における測定誤差シミュレーションを Table に示すシステムパラメータを用いて行った。夜間の観測を想定し、背景光は 0 とする。パルスエネルギーは Fig.2 の Ce:LiCAF の放射帯の強度を参考にピーク値を 40mJ として波長ごとに变化させた。高度 18km における測定誤差を Fig.3 に示す。on 波長 292nm, off 波長 311nm の組み合わせで測定誤差は最小値 2.5%となる。さらに、on 波長は 290~293nm, off 波長は 302~312nm の組み合わせで測定精度は 4%

以下となり、波長同調精度は高くないことが分かった。

次に 14~22km の範囲における測定誤差シミュレーションを Fig.4 に示す。Fig.4 から高度 14~22km の領域で最適な波長の組み合わせは on 波長が 292nm, off 波長が 311nm であることが分かった。また、Fig.3 の結果と同様に波長同調精度は±2nm 程度の範囲で十分である。

M	cumulative number	36,000
Φ	diameter of telescope[m]	0.4
η	quantum efficiency	0.3
q	optical efficiency	0.2
Δz	range resolution[m]	1,000

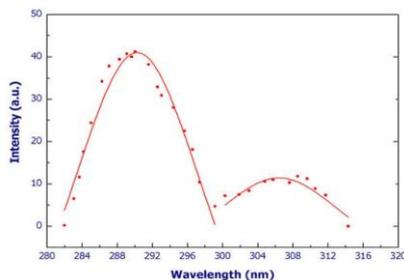


Fig.2 Gain characteristic curve of Ce:LiCAF

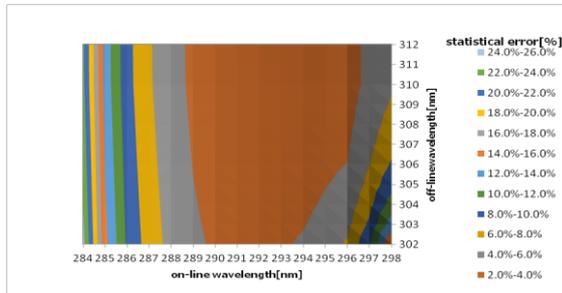


Fig.3 Statistical error as a function of on- and off-wavelengths at 18 km altitude.

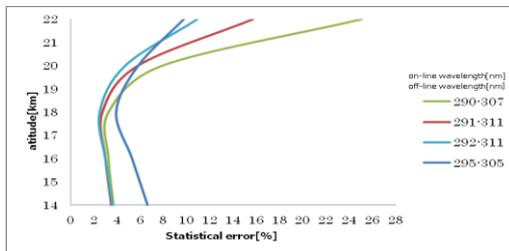


Fig.4 Statistical error of various wavelengths.

3. Ce:LiCAF レーザ設計

2章で示した最適波長 (on 波長 292nm, off 波長 311nm) を得るための Nd:YAG 第 4 高調波励起 Ce:LiCAF レーザの開発を行っている。まず、Ce:LiCAF 結晶から Fig.1 に示す発振スペクトルが得られるか確認するため、波長選択のための分散

素子を挿入しないファブリ・ペロー型共振器を構成した。得られたスペクトルの出力結果を Fig.5 に示す。266nm に Nd:YAG レーザ第 4 高調波の励起光, 286~290nm に Ce:LiCAF レーザの出力を得た。約 288nm がピーク値となり、Fig.1 のスペクトルピーク波長と一致した。しかし O3-DIAL 観測に必要な 292nm,311nm での出力が確認できていない。今後、Ce:LiCAF 結晶温度制御、励起パワー密度の増加などを行うことで、Ce:LiCAF レーザの出力増加を図るとともに、波長選択のためのプリズムを共振器に挿入する。

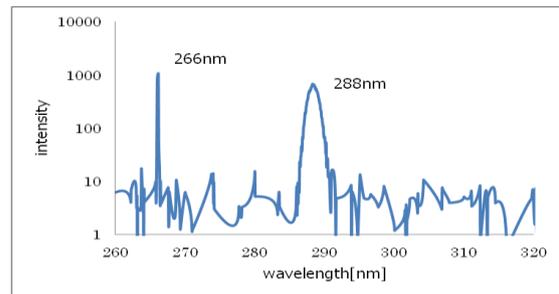


Fig.5 Spectrum of the Nd:YAG FGH (266 nm) pumped Ce:LiCAF laser

4. まとめ

本研究では赤道域の対流圏界面領域のオゾン分布を観測する現行の取り扱い上問題のある色素レーザーに替わり、遠隔制御が可能となる固体結晶の Ce:LiCAF レーザを光源とするオゾン DIAL を新たに提案した。対流圏界面高度約 18km をカバーする高度 14~22km の範囲を測定するために最適波長な組み合わせの検討を行った結果、on 波長 292nm, off 波長 311nm の組合せを用いると高度 18km では 2.5%, 高度 22km では 10%以内で測定が可能であることを示した。

Ce:LiCAF 結晶を用いたレーザー開発において、構成等の見直しにより、赤道圏界面高度の O3 観測に必要な波長での出力増加を試みる。また、最適波長の選択のため、今後プリズムによる分光によって調整を行う。

参考文献

- 1) Thompson, Anne M., et al., J. Geophys. Res. Atmos., 112, D3, 2007.
- 2) Newchurch, Michael J., et al., EPJ Web of Conferences, Vol. 119, 20001, 2016.
- 3) Yasukuni, Shibata, et al., EPJ Web of Conferences, Vol. 119, 05016, 2016.
- 4) 内田行紀, 阿保真, 柴田泰邦, 第 33 回レーザーセンシングシンポジウム, No. P-22, 2015.
- 5) Fromzel, Viktor A., et al., Advances in Optical and Photonic Devices, Intech, 101-106, 2010.