

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340143

研究課題名(和文)赤道域対流圏界面領域オゾンのライダーによる高分解能観測

研究課題名(英文)High resolution lidar observation of tropopause ozone in the equatorial area

## 研究代表者

長澤 親生 (Nagasawa, Chikao)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：80145664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,100,000円、(間接経費) 4,830,000円

研究成果の概要(和文)：成層圏と対流圏間の物質輸送は、対流圏と同様に下部成層圏におけるオゾン収支が重要である。成層圏から対流圏へのオゾン輸送は中緯度でライダーにより観測されているが、赤道領域では対流圏から成層圏へのオゾンの輸送があると考えられているが、観測例はない。

我々は、赤道直下のインドネシア・コトタバンにオゾン濃度の高度分布を高精度で観測するDIAL(差分吸収ライダー)システムを設置し、観測に成功した。オゾン濃度をライダーで観測することは、オゾントレーサーとして赤道対流圏界面での物質の上下輸送の実態や気候変動の解明に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：Stratosphere-troposphere exchange is important for the budget of ozone in the lower stratosphere as well as in the troposphere. Upward transport occurs in the tropical region, but it was not observed directly. The exact mechanism controlling the transport is not clear. We have installed DIAL (differential absorption lidar) system for high-resolution measurements of vertical ozone profiles in the equatorial tropopause region over Kototabang, Indonesia and have observed ozone profiles in the tropopause region. We will contribute to the elucidation of the climate change by getting observational information about high-resolution ozone density profiles, and the wave-propagation and material transportation using ozone as a tracer from the troposphere to the lower stratosphere over the equator.

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：オゾン ライダー 赤道 対流圏界面

### 1. 研究開始当初の背景

成層圏オゾンのグローバル分布や子午面循環の概要は、衛星観測により明らかになりつつあるが、衛星観測により得られるものは時間的・空間的に平均されたものである。しかし、地球上でもっともオゾン生成量が多く、かつ子午面循環の起点であり、また対流圏からの積雲対流による物質輸送の大きい、赤道上空の対流圏界面付近の微細構造を捉えるには鉛直分解能と時間分解能が足りない。このため、オゾンゾンデによる観測がキャンペーン的に行われているが、その頻度は少ない。

成層圏オゾン濃度観測用のライダーは中緯度から高緯度にかけて複数設置されているが、低緯度では Reunion Island (22S) での定常観測と赤道上を通過する船舶からの短期間の観測があるのみである。

我々は平成 13-18 年度にかけて特定領域研究「赤道大気上下結合」の計画研究「大型高機能ライダーの開発と赤道大気鉛直構造の観測」により、赤道直下のインドネシア・コトタバンに高機能ライダーを設置し、対流圏から中間圏界面までの広い高度領域の観測を現在まで継続して行っている。対流圏界面高度領域のオゾン濃度分布をライダーで観測することは、既存の設備を最大限利用かのうであり、研究テーマの着想に至った。

ライダーによるオゾン濃度の測定には、オゾンの吸収を利用した、差分吸収法が用いられている。中緯度では対流圏界面を通り成層圏から対流圏へオゾンが輸送されている様子をとらえている。赤道域ではこれとは逆に対流圏から成層圏への輸送があると考えられているが、直接的な観測結果は未だ無い。

### 2. 研究の目的

本研究では、赤道直下インドネシア・コトタバンに既設の高機能ライダーをベースに、新たにオゾン濃度の高度分布が観測可能な差分吸収ライダー機能を付加することにより、対流圏界面高度付近のオゾン濃度の高度分布およびその時間変動の観測を行い、オゾントレーサーとして赤道対流圏界面での物質の上下輸送の実態解明に貢献する。

### 3. 研究の方法

(1)23 年度は、インドネシア・コトタバンに既設の高機能ライダーをベースに、新たに対流圏界面付近のオゾン濃度の高度分布が観測可能な差分吸収ライダー機能を付加するために、色素レーザーの紫外波長への拡張と並行して、全固体レーザーによる計測の可能性について検討する。また、紫外対応の受信系の増設を設計する。

(2)24 年度は、赤道でオゾン濃度分布を観測するための最適波長を、過去の雲・エアロゾルのライダー観測データをもとに選択する。また、全固体レーザーによる紫外線発生システムの開発を行うとともに、紫外線を透過す

る天窓を配したオゾンライダー専用の観測棟を設計し、現地へ設置する。

(3)25 年度は、日本において試験観測を行い、その結果をもとに色素レーザーをベースとした差分吸収ライダーを現地に設置し、オゾン観測を行なう。

### 4. 研究成果

(1)赤道対流圏界面領域のオゾン濃度観測に適した波長選択

図 1 に示すインドネシア・コトタバンにおける雲・エアロゾルのライダー観測結果から、赤道域の対流圏界面高度はシーラス(巻雲)の発生頻度が昼夜を問わず高いことが判明した。当初、2 波長(On:289nm, Off:355nm)でのオゾン用差分吸収ライダーを考えていたが、2 波長の波長差が大きいと、ミー散乱の後方散乱係数や消散係数の波長依存性による測定精度への影響が顕著になることが数値シミュレーションにより判明した。そこで、シーラス高度をターゲットとした波長差の小さい組み合わせ(On:289nm, Off:317nm)とシーラス高度以下をターゲットとした従来の組み合わせ(On:289nm, Off:355nm)の 3 波長方式にすることとした(図 2)。

平成 23 年度に購入した Nd:YAG レーザーを励起源とする上記 3 波長を発生させる固体結晶による紫外波長発生装置を新たに構築した。主な構成を図 3 に、紫外線の発振スペクトルの例を図 4 に示す。Nd:YAG 基本波(1064nm)から光パラメトリック発生器により 1572nm を生成し、1064nm と 1572nm の和周波で得られる 634nm の第 2 高調波を取ることによって 317nm を生成した。また、355nm は Nd:YAG レーザーの第 3 高調波を取ることによって容易に得られ、1572nm と 355nm の和周波から 289nm を生成した。317nm の出力は約 3mJ、289nm の出力は約 2mJ であった。

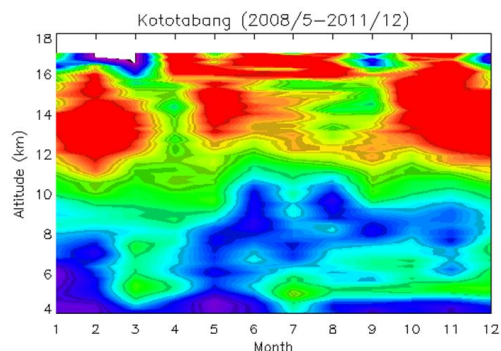


図 1 インドネシア・コトタバンにおける各高度の雲発生頻度の季節特性

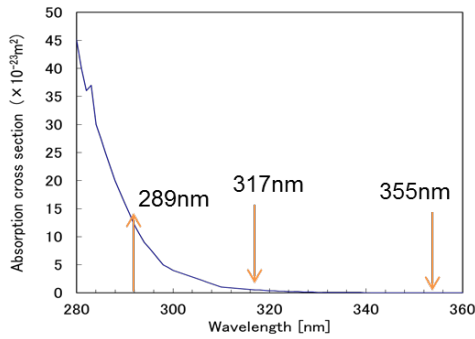


図 2 オゾンの吸収断面積とライダー観測に使用する 3 波長

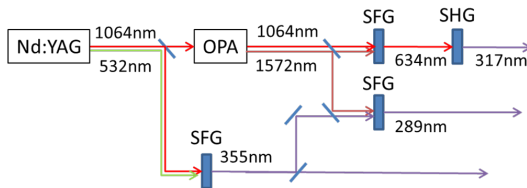


図 3 全固体オゾンライダー用光源の概略

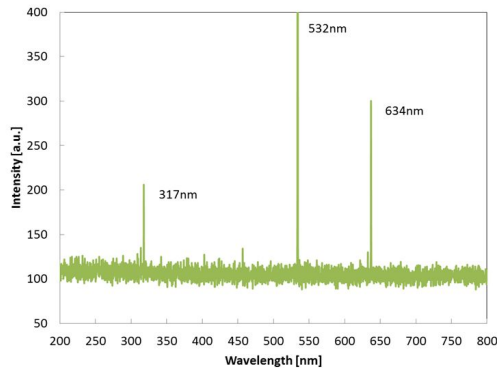


図 4 全固体オゾンライダー用光源の発振スペクトル例

### (2) オゾン観測棟

対流圏界面高度を精度よく観測するために、専用の観測棟を設置した。図 5 に前掲と内部の様子を示す。観測棟にはレーザー出射用と受光用の天窓が 2.7m の間隔で配置されている。これは、レーザー出射近傍からの強い散乱光を排除し、光検出器（光電子増倍管）の破損を防ぐためである。また、天窓の材質は紫外線を透過する石英ガラスで、表面に紫外線の AR コーティングが施されている。観測棟はパネル構造となっており、日本からパネル材を輸送し、現地で組み立てた。



図 5 オゾンライダー観測棟

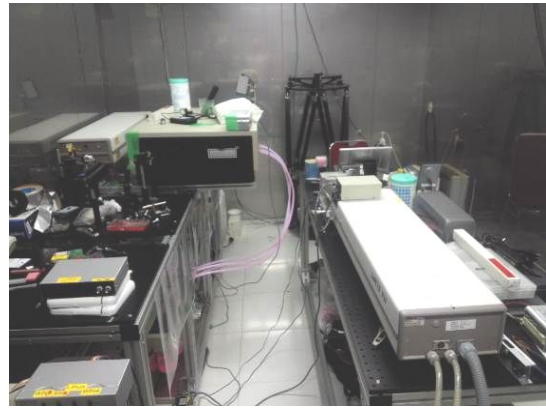


図 6 観測棟内部

### (3) オゾン観測

(1) で開発した全固体光源の出力では対流圏界面領域のオゾン連続観測が困難であることが数値計算により予測されたため、観測拠点に既存の色素レーザーをオゾンライダー用光源に用いる検討を行った。317nm と 289nm を同時に出すことができないため、非吸収波長には同じく観測所に既存の Nd:YAG レーザーの第 3 高調波の 355nm を用い、吸収波長には対流圏界面領域用に 317nm を、対流圏用に 290nm を用いた。290nm を発生させるためのシステムは、最終年（25 年度）後半に増設した。散乱光の受光には、設備品で購入した口径 40cm の紫外線用望遠鏡を用いている。出力は 290nm, 317nm とともに 7mJ で、数値計算により 1 時間程度の積算で対流圏界面領域の観測が可能である結果を得た。

対流圏界面高度領域について、現地で 4 回（4 夜）の観測機会があり、いずれもオゾン濃度分布の観測に成功した。しかし、天候の影響で一番長いもので 1 時間程度の連続観測にとどまったため、オゾントレーサーとする物質輸送や波動伝播に関する議論を行うまでには至らなかった。観測されたオゾン濃度分布と過去のオゾンゾンデ観測 (Anne M. Thompson, et al., 2012) の結果を図 7 に、ライダー観測とほぼ同時刻に得られたパダン空港におけるラジオゾンデ観測の気温分布を図 8 に示す。パダン空港はコタバンから約 100km 離れている。図 8 から圏界面高度は約 16km で、Thompson 等の結果と比較すると、圏界面下部でのオゾン濃度が高い。

以上の結果から、開発したオゾンライダーによる赤道対流圏界面高度領域のオゾン濃度観測が成功し、国内の観測結果からもオゾン分布の時間変動を捉えることが可能であることが示された。今後、さらなるデータの蓄積により、オゾントレーサーとする物質輸送や波動伝播に関する観測情報を取得し、気候変動の解明に寄与していきたい。

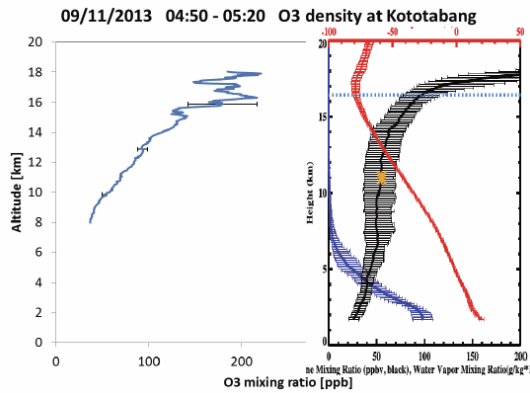


図7 インドネシア・コトタバングにおけるオゾン濃度観測例(左)とオゾンゾンデ観測プロファイル(右)

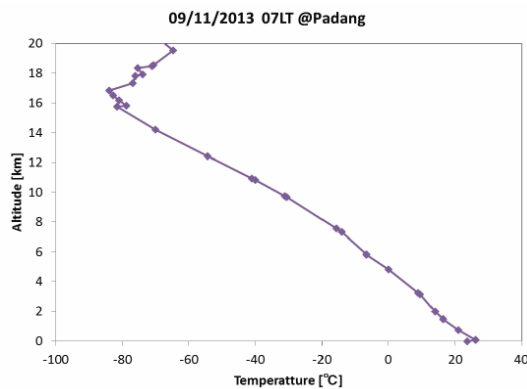


図8 パダン空港(インドネシア)におけるラジオゾンデ観測の気温分布

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. M. Abo, C. Nagasawa, Y. Shibata, High-Resolution Lidar Measurements of Ozone Profiles in the Equatorial Tropopause Region, Reviewed and revised papers presented at the 26<sup>th</sup> International Laser Radar Conference, 査読有, No. 1, 2012, 247-248.

〔学会発表〕(計 13 件)

1. M. Abo, C. Nagasawa and Y. Shibata, Lidar observation for study of coupling processed over the equatorial region, Japan Geoscience Union meeting, April 2014, Pacifico YOKOHAMA.

2. 阿保真、柴田泰邦、長澤親生, インドネシア赤道ライダーによる雲とオゾン観測, 第18回大気ライダー研究会, 2014年2月, 首都大学東京秋葉原キャンパス

3. 阿保真、長澤親生、柴田泰邦, 赤道ライダーによる雲の長期観測および対流圏界面領

域オゾン観測, 第7回MUライダー・赤道大気ライダーシンポジウム, 2013年9月, 京都大学宇治キャンパス

4. 柴田泰邦、熊澤陽介、田中慎、長澤親生、阿保真, 赤道域対流圏界面オゾン観測 DIAL用全固体レーザーの開発, 第60回応用物理学関係連合講演会, 2013年3月, 神奈川工科大学

5. 長澤親生、阿保真、柴田泰邦, 赤道域対流圏界面領域オゾン観測のためのライダー開発, 第132回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2012年10月, 札幌コンベンションセンター

6. 長澤親生、阿保真、柴田泰邦、熊澤陽介、田中慎, 赤道域対流圏界面領域オゾンの高分解能観測用ライダーの開発(2), 第6回MUライダー・赤道大気ライダーシンポジウム, 2012年8月, 京都大学宇治キャンパス

7. 熊澤陽介、柴田泰邦、長澤親生, オゾン観測用ライダーに用いる紫外レーザーの開発, 第30回レーザセンシングシンポジウム, 2012年9月, オリンピア小豆島

8. 橋本英介、長澤親生、柴田泰邦, 差分吸収ライダーにおける微小気体濃度導出の最適データ処理に関する研究, 第30回レーザセンシングシンポジウム, 2012年9月, オリンピア小豆島

9. 長澤親生、阿保真、柴田泰邦, 赤道大気観測ライダー, 日本地球惑星科学連合 2012年大会, 2012年5月, 幕張メッセ国際会議場

10. 山本真之、阿保真、柴田泰邦、橋口浩之、山本衛、深尾昌一郎, 赤道域対流圏界面領域オゾンのライダーによる高分解能観測, 日本地球惑星科学連合 2012年大会, 2012年5月, 幕張メッセ国際会議場

11. 田中 慎、長澤親生、柴田泰邦, DIALによる赤道対流圏界面のオゾン層測定のための波長評価, 第37回リモートセンシングシンポジウム, 2011年10月, 首都大学東京

12. 長澤親生、柴田泰邦、阿保真, 赤道域対流圏界面領域オゾンの高分解能観測用ライダーの開発, 第5回赤道大気ライダーシンポジウム, 2011年9月, 京都大学宇治キャンパス

13. 熊澤陽介、柴田泰邦、長澤親生, オゾン観測用ライダーに用いる全固体紫外レーザーの開発, 第29回レーザセンシングシンポジウム, 2011年9月, ホテル海望(石川県)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.comp.tmu.ac.jp/lidar/labo/>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

長澤 親生 (Nagasawa Chikao)  
首都大学東京 システムデザイン研究科  
教授  
研究者番号 : 80145664

(2)研究分担者

柴田 泰邦 (Shibata Yasukuni)  
首都大学東京 システムデザイン研究科  
准教授  
研究者番号 : 10305419

(3)連携研究者

阿保 真 (Abo Makoto)  
首都大学東京 システムデザイン研究科  
教授  
研究者番号 : 20167951