

赤道対流圏界面領域のオゾン鉛直分布測定

Observations of the vertical ozone concentration profile in the equatorial tropopause

柴田泰邦、長澤親生、阿保 真、竹田 瞬

Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa, Makoto Abo and Shun Takeda

首都大学東京

Tokyo Metropolitan University

ABSTRACT

We investigate ozone variations in the tropical tropopause using ozonesonde data set from the SHADOZ (Southern Hemisphere Additional Ozonesondes) archive. The ozone concentration gradually increases with increasing altitude around 15-16 km about 2-3 km below the tropopause at Kuala Lumpur, Marisa. But, sometimes the height average of ozone concentration increases around 13-14 km altitude and this increase indicates the downward propagation from lower stratosphere under the influence of a kelvin wave. We have observed this ozone enhancement in the upper troposphere at the equatorial lidar site located in the Sumatra island of Indonesia (0.2S, 100.3E).

1. はじめに

対流圏オゾンは、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次報告書で二酸化炭素、メタンに次ぐ重要な温室効果ガスであるとされ、更に対流圏上層部のオゾンの増加は強い温室効果を持ち、地表面気温の上昇に顕著な影響を及ぼすことが知られている。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。また、対流圏上部のオゾン起源は、オゾン濃度の高い成層圏からの流入と考えられるが、成層圏と対流圏の物質の交換が特に顕著である赤道上空での観測例が少ないのが現状である。SHADOZ (Southern Hemisphere Additional Ozonesondes)¹ は、世界各地のオゾンゾンデ観測データを提供しており、赤道域の観測点も複数含まれているが、観測頻度は一定ではない。一方、成層圏オゾン濃度観測用の差分吸収ライダー (DIAL) は中緯度から高緯度にかけて複数設置されており、高分解能・高精度の観測を行っているが、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のみである。

我々は2001-2006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 (0.2S, 100.3E) に高機能ライダーを設置した。現在も対流圏から中間圏界面までの広い高度領域の観測を継続して行っている。我々は、コトタバンにおいて中間圏界面 Na 層観測用の色素レーザーをベースに、オゾン DIAL を構築し、今年から試験観測を開始し、定常観測に移行する準備を行っている。本講演ではコトタバンのライダー観測から、オゾンの成層圏から対流圏への流入を捉えたので、その結果について報告する。

2. 赤道ケルビン波とオゾン濃度の関係

衛星データの解析から、熱帯域における下部成層

圏での温位面のゆらぎとオゾン変動との関係が示唆されているが、解明には高い鉛直分解能による観測が必要である²。また、対流圏界面付近の温度場・東西風についてみると、2週間程度の周期をもつ赤道ケルビン波と、1-2ヶ月の周期をもつ季節内振動がある。小石らは SHADOZ 観測点のナイロビにおける12年分のオゾンゾンデデータを用い、赤道ケルビン波とオゾン鉛直分布の変化と位相との関係性を解析した³。この結果、高度15~17kmでオゾン濃度はおよそ10~200 ppbv という広い変動幅を示し、ケルビン波の鉛直構造と関連した変動が見られることを明らかにした。

我々はコトタバンに近いマレーシア・クアラルンプール (2.7N, 101.7E) の SHADOZ データから、オゾン濃度と気温の鉛直分布の関連性に着目した。図1にクアラルンプールのオゾン濃度と気温の鉛直分布を示す。凡例の数値は年月日である。対流圏界面高度が明瞭な条件 (図1c) では、対流圏界面高度の2~3 km 下からオゾン濃度の明瞭な増加が見られる (図1a)。一方、下部成層圏から対流圏へ温度場が下層伝播している条件 (図1d) では、オゾン分布も温度場の変動を反映した変動を示していることが分かる (図1d)。赤道ケルビン波の鉛直成分の影響で成層圏下部の温位が周期的に下降してくるため、高層の高濃度のオゾンも周期的に鉛直流入していると考えられる。

SHADOZ 観測点におけるオゾンゾンデ観測は、月に1回から数回程度しか行われていないため、統計的な解析しか行われていない。連続的なオゾン変動を捉えることができるライダー観測は、赤道ケルビン波とオゾン変動の関連性をイベントごとに解明することが可能となり、赤道大気上下結合を解明する上で非常に重要な観測機器となる。

3. 赤道域オゾン DIAL による観測事例

赤道域の対流圏界面高度は16 km 前後と中緯度と比べて高いため、0n 波長は中緯度でよく使われる波長より長い (吸収断面積の小さい) 314 nm を用いる。

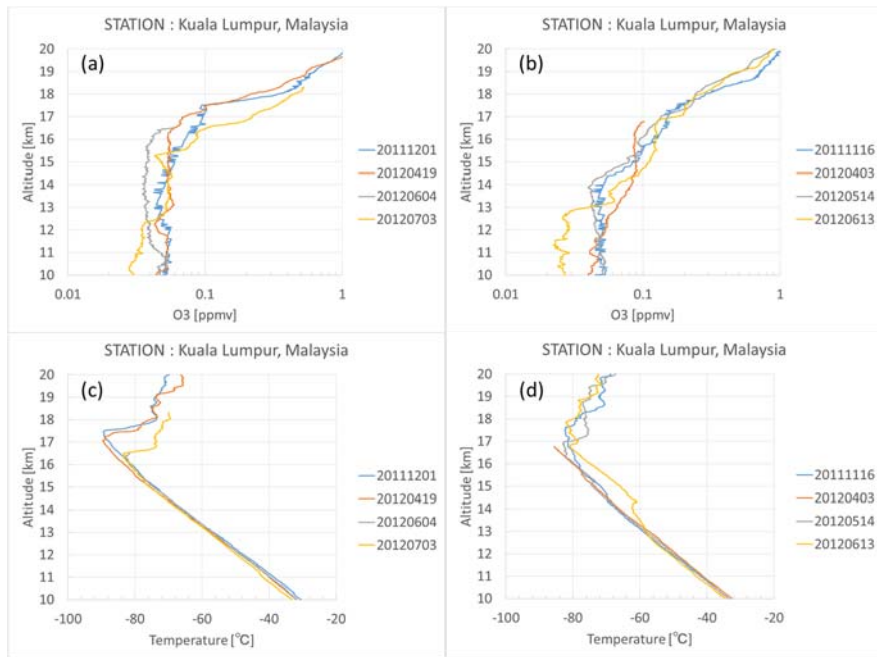


図1 クアラルンプール (2.7N, 101.7E) におけるオゾンと気温の鉛直プロファイル

フラッシュランプ励起 Nd:YAG レーザーの第2高調波を励起源とした色素レーザー(媒質:DCM, 628 nm)の第2高調波から314 nmを得る。Off波長には別のフラッシュランプ励起 Nd:YAG レーザーの第3高調波である波長355 nmを利用した。出力は4 mJ, 10Hz @314 nm, 35 mJ, 10Hz@355 nmである。直径40 cmの受信望遠鏡で集光された信号は、ダイクロイックミラーで314 nmと355 nmに分離され光電子増倍管(PMT)で受光している。355nm側のPMTの前に1/10のNDフィルターを挿入し、2波長の出力差を補正している。また、僅かだが近距離からの314 nmの信号が355 nm用のPMTで受光されるので、314 nmと355 nmは1 ms ずらして送信させている。

図2に本DIALを用いて2014年6月16~17日および19~20日に観測されたオゾン鉛直分布、NOAA/ESRLのラジオゾンデデータベースより引用したパダン(0.9S, 100.4E)において2014年6月20

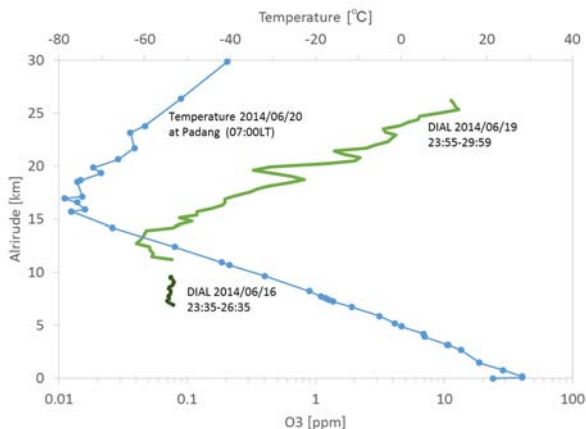


図2 DIAL 観測結果とラジオゾンデの気温分布

日7:00LTに観測された気温分布を示す。DIALは約5時間の積算で、距離分解能は900 mである。気温分布から図1(d)と同様に温位の下層伝播が見られ、高度14 km付近までオゾンの対流圏への流入がライダー観測で初めて確認された。

8月下旬にコトタバンでのオゾン観測を予定しており、多くのデータを集めてオゾンの対流圏への流入過程について解析を進める。

4. まとめ

SHADOZの12年分のナイロビにおける温度およびオゾンの鉛直プロファイルから、温位の下層伝播により成層圏下部の高濃度オゾンが対流圏へ流入する様子が示されている。我々の赤道ライダー観測拠点に近いマレーシア・クアラルンプールのSHADOZデータ解析結果も同様に、オゾンの対流圏への流入が確認された。また、コトタバンに設置したオゾンDIALによって、赤道域オゾンの対流圏への流入をライダー観測として初めて捉えることに成功した。ライダーによる連続観測は、長期間の統計的な解析ではなく、イベントごとの解析が期待できる。

謝辞: 本研究はJSPS 科研費233401043および、京都大学生存圏研究所MUレーダー/赤道大気レーダー全国国際共同利用のサポートにより行われた。

参考文献

1. Thompson, A.M., et. al., J. Geophys. Res., 112, D03304, doi:10.1029/2005JD007042, 2007.
2. M. Shalby, et. al., J. Geophys. Res., 95(D12), 20491-20505, 1990.
3. 小石他、第25回大気圏シンポジウム、2011.