

# ライダー、ゾンデ、GOSAT で観測された対流圏オゾンの比較

## Comparison of Tropospheric Ozone Observed by DIAL, Ozonesonde and GOSAT

内野修<sup>1), 2)</sup>, 酒井哲<sup>2)</sup>, 永井智広<sup>2)</sup>, 森野勇<sup>1)</sup>, 大山博史<sup>3)</sup>, 川上修司<sup>3)</sup>, 塩見慶<sup>3)</sup>, 川崎健<sup>4)</sup>, 赤穂大河<sup>4)</sup>, 奥村浩<sup>4)</sup>, 新井康平<sup>4)</sup>, 北和之<sup>5)</sup>, 松永恒雄<sup>1)</sup>, 横田達也<sup>1)</sup>

Osamu Uchino<sup>1), 2)</sup>, Tetsu Sakai<sup>2)</sup>, Tomohiro Nagai<sup>2)</sup>, Isamu Morino<sup>1)</sup>, Hirofumi Ohyama<sup>3)</sup>, Shuji Kawakami<sup>3)</sup>, Kei Shiomi<sup>3)</sup>, Taiga Akaho<sup>4)</sup>, Takeru Kawasaki<sup>4)</sup>, Hiroshi Okumura<sup>4)</sup>, Kohei Arai<sup>3)</sup>, Kazuyuki Kita<sup>5)</sup>, Tsuneo Matsunaga<sup>1)</sup>, Tatsuya Yokota<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>国立環境研究所 <sup>2)</sup>気象研究所 <sup>3)</sup>宇宙航空研究開発機構 <sup>4)</sup>佐賀大 <sup>5)</sup>茨城大

<sup>1)</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2)</sup>Meteorological Research Institute

<sup>3)</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>4)</sup>Saga University, <sup>5)</sup>Ibaraki University

### Abstract

We have been improving the ozone Differential Absorption Lidar (DIAL) developed in March 2010. Current DIAL consists of four Stimulated Raman Scattering (SRS) lines (276, 287, 299 and 312 nm) which are generated by the fourth harmonic (266 nm) of a Nd:YAG laser and a 2-m long Raman cell filled with 8-atm CO<sub>2</sub> gas, and 10-cm and 50-cm dia. receiving telescopes. With this DIAL, ozone profiles could be measured from ~ 300 m to 6 km~10 km altitude. If the output energy at 266 nm was larger than 90 mJ per pulse, we could measure ozone densities around 15~20 km altitude in the nighttime using the two wavelengths of 299 nm and 312 nm.

During the aircraft measurement campaign for the GOSAT product validation and calibration of ground-based Fourier transform spectrometers in January 2013, we conducted the comparison of DIAL and ECC ozonesondes over Saga. They were in good agreement within measurement errors. Lower tropospheric ozone columns between 1 km and 6 km retrieved from GOSAT TANSO-FTS TIR observations (9.6 μm band) in 2012 within ±1 degree longitude/latitude box centered at the DIAL site (33.24N, 130.29E) were compared with those of DIAL data which were applied with GOSAT TIR averaging kernels. Although GOSAT TIR data were lower than DIAL data by 10% with one standard deviation of 11%, they were in reasonable agreement with a correlation coefficient of 0.79.

### 1. はじめに

温室効果ガスの観測を主目的とした世界初めての衛星 GOSAT に搭載されたフーリエ変換分光計 (TANSO-FTS) により観測された短波長赤外スペクトルから導出された CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> のカラム量<sup>1)</sup>の検証と、GOSAT の検証に用いている地上設置高分解能 FTS の校正のための航空機観測を毎年実施しているが、2013 年は 1 月 8~15 日につくばと佐賀上空で行った。一方、GOSAT の熱赤外域スペクトル(TIR、具体的には 9.6 μm)からオゾン全量や対流圏のオゾンカラム量も導出できる<sup>2)</sup>。我々は佐賀大学に対流圏のオゾンを観測するための差分吸収法ライダー(DIAL)を設置し、主に GOSAT と同期した観測を行っている。この航空機観測期間中に DIAL の性能(測定誤差など)を明らかにするために 1 月 9 日と 15 日に ECC オゾンゾンデを飛揚した。本発表では DIAL とオゾンゾンデとの比較、GOSAT TANSO-FTS TIR から算出された高度 1~6 km のオゾンカラム量との比較結果について報告する。

### 2. オゾン DIAL

我々は 2010 年 3 月に開発した DIAL<sup>3)</sup>に対して、高高度までのオゾンを観測するために近距離からの強い散乱信号に因る光電子増倍管の Signal Induced Bias を小さくする改良を行ってきた。現状の DIAL は Fig. 1 に示すように、高出力 Nd:YAG レーザーの第 4 高調波で励起された CO<sub>2</sub> ラマンセル(長さ 2 m)からの 4 波長 (276, 287, 299, 312 nm) の誘導ラマン散乱光(SRS)と口径 50 cm と 10 cm の二つの望遠

鏡からなる送受信部、PMT を用いた検出部、トランジェントレコーダーを利用した信号処理部、データ処理部、制御部から構成されている。Table 1 にその諸元をまとめた。なお、312 nm のレーザーの出力は測定していないが、312 nm の受信信号が最大になるように CO<sub>2</sub> の圧力を 8 気圧に調整した。266 nm の出力が 90 mJ 以上の場合（通常は 70~85 mJ 程度）、299 nm と 312 nm の 2 波長の組み合わせにより夜間における圏界面高度付近(15~20 km)のオゾン観測が可能である。

### 3. オゾンゾンデとの比較

これまでの室内実験や野外観測から決められた操作手順に従って飛揚した ECC (Electrochemical Concentration Cell) 型オゾンゾンデのばらつきとバイアスは、それぞれ 3~5%と 5~10%とされている<sup>4)</sup>。今回使用したオゾンゾンデは ECC オゾンセンサ (ENSCI-Z ; カタログによると 1000~200 hPa の気圧範囲では、ばらつきは 4~12%、バイアスは 5~12%である) と明星電気製 GPS ゾンデとを組み合わせたもので、1 月 9 日 (ゾンデ観測時間 12:41~13:53) と 15 日 (12:31~14:04) に DIAL から約 360 m 南方の佐賀大学のグラウンドから飛揚した。

1 月 9 日と 15 日に実施したオゾンゾンデの測定結果を DIAL で測定したオゾン高度分布と共に Fig. 2 に示す。15 日の DIAL の結果は 11:43~12:56 と 14:00~17:04 の二つの時間帯に分けて解析し、図を分けて示した。これは前の時間帯には高度 1.5 km 付近に雲が出現していたため、雲の出現の殆どなかった後の時間帯の DIAL オゾン分布とも比較するためである。9 日の 1.5 km 以下を除いて DIAL とオゾンゾンデは誤差範囲内ではほぼ一致していることがわかる。なお、観測の高度分解能はオゾンゾンデで約 300 m、ライダーは下層で 110 m、上層で 830 m 程度である。上層ではライダーの受信信号がオゾンの吸収により弱くなるため高度分解能を大きくとった。

### 4. GOSAT の熱赤外スペクトルから導出した下部対流圏オゾンカラム量との比較

GOSAT TANSO-FTS TIR バンドの 9.6 μm 付近の地表面および大気からの赤外放射の観測からオゾン全量や対流圏オゾンカラム量を導出することができる<sup>2)</sup>。本研究では DIAL で観測した高度 1~6 km のオゾンカラム量との比較を行った。その際、GOSAT TIR のアプリオリとアベレージングカーネル (AK) を DIAL の高度分布に適用して比較を行った。GOSAT TIR データは、DIAL の観測日に DIAL サイトを中心に緯度経度±1 度以内で取得されたものを用いた。

Fig. 3 に DIAL と GOSAT TIR で観測された高度 1~6 km のオゾンカラム量を示す。また、DIAL の高度分布に TIR のアプリオリと AK を適応して求めた高度 1~6 km のオゾンカラム量も図示している。DIAL によるオゾンカラム量は、1 月から 3 月初めまではほぼ一定の濃度であるが、その後増加し始め 4 月の下旬から 7 月初めにかけて高濃度になっていること、その後 8 月にかけて大きく変動しながら減少していることが分かる。これらの変動の要因はオゾン濃度の高い大陸性気団とオゾン濃度の低い海洋性気団の入れ替わりによるものである。一方 AK を適用したオゾンカラム量は小さくなるが、特に 4 月の下旬から 7 月初めにかけて高濃度の期間のカラム量が小さくなっていることが分かる。GOSAT TIR は AK を適応した DIAL データに比べて全体的に値は少し小さいが、季節変化や夏場の変動を良くとらえている。

Fig. 4 には AK を適応した DIAL と GOSAT TIR の高度 1~6 km のオゾンカラム量の散布図を示す。両者は良い相関を示し、相関係数は 0.79 である。GOSAT TIR は DIAL に対してバイアスが-10%、バラツキは 11%程度である。

TIR は下部対流圏オゾンカラム量の高濃度帯を特定できる。DIAL はその高濃度帯のどの高度でオゾン濃度が高いか検出することができる。TIR と DIAL データを用いることにより大陸からの高濃度オゾンの日本への輸送過程などを明らかにする可能性を有している。

謝辞 ライダーデータの解析には福岡管区気象台のゾンデデータを使用した。

#### 参考文献

- 1) Yoshida et al., Atmos. Meas. Tech., 6, 1533-1547, 2013.
- 2) Ohya et al., IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 50, 1770-1784, 2012.
- 3) 内野他, 日本リモセン学会誌, 31, 435-445, 2011.
- 4) Thomson et al., Atmos. Environ., 45, 2145-2163, 2011.

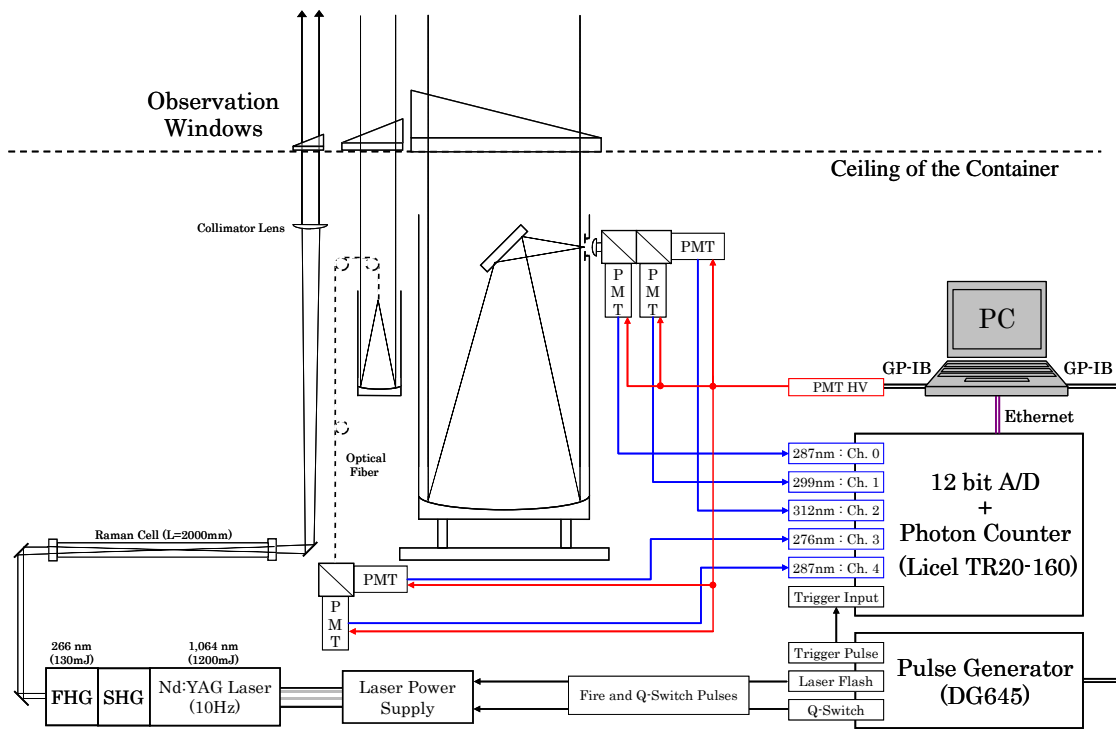


Fig. 1 Blockdiagram of ozone DIAL for tropospheric ozone measurements.

Table 1 Characteristics of ozone DIAL.

Transmitter	
Pump Laser	Nd:YAG
Pump Wavelength	266 nm (FHG)
Pulse Energy	107 mJ
Pulse Repetition	10 Hz
Wavelength Shifter	Raman Cell (CO <sub>2</sub> filled)
Shifted Wavelength	287 nm   299 nm   312 nm   276 nm   287 nm
Pulse Energy	8.8 mJ   10.0 mJ   No mea.   6.6 mJ   8.8 mJ
Beam Divergence	0.1 mrad
Receiver	
Telescope Type	Newtonian   Prime focus (fiber coupled)
Telescope Diameter	49 cm   10 cm
Field of View (full angle)	1.0 mrad   3.0 mrad
Wavelength	287 nm   299 nm   312 nm   276 nm   287 nm
Band Width (FWHM)	1.02 nm   1.15 nm   0.82 nm   1.07 nm   1.05 nm
Transmission	0.18   0.32   0.36   0.17   0.21
Detector	PMT (Hamamatsu R3235-01)
Signal Processing	12bit A/D + Photon Counting
Time Resolution	10 seconds (max), 5 minutes (nominal)
Altitude Resolution	7.5 m

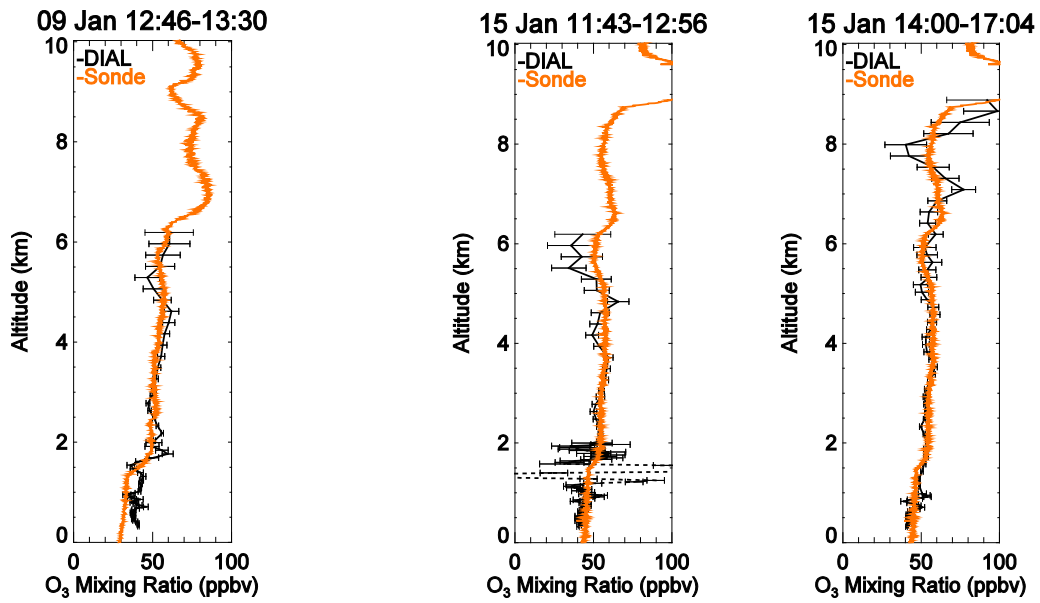


Fig. 2 Comparisons of ozone DIAL measurements and ECC ozonesondes launched on 9 and 15 January 2013. The same ozonesonde data are shown for two profiles on 15 January 2013.

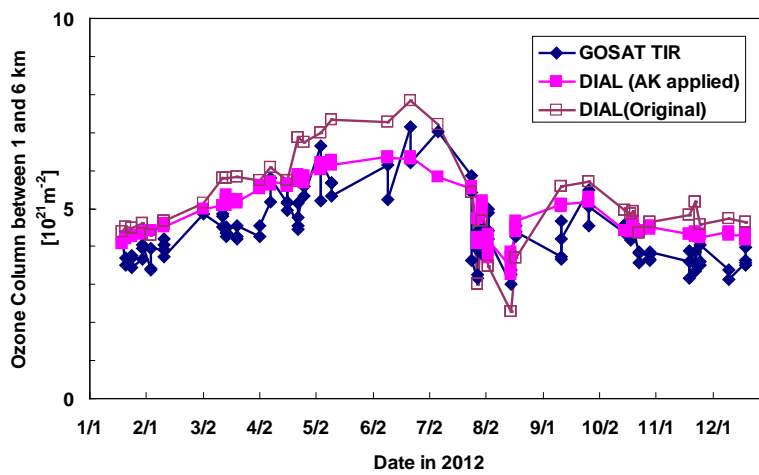


Fig. 3 Time variation of ozone columns between 1 km and 6 km obtained by DIAL (original), averaging kernel (AK) applied DIAL and GOSAT TIR over Saga in 2012.

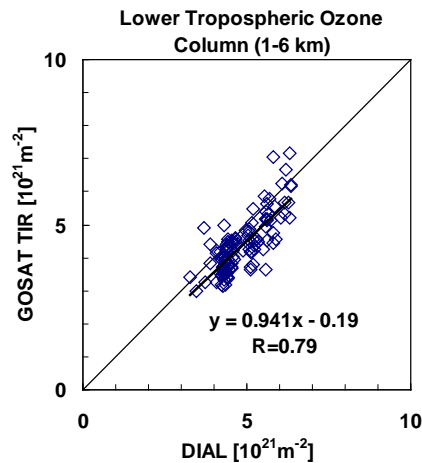


Fig. 4 Scatter diagram of ozone columns (1~6 km) obtained by AK applied DIAL and GOSAT TIR.