

Observations of Atmospheric Ozone with a Tunable
Diode Laser Heterodyne Spectrometer

田口 真、岡野章一、福西 浩

M. Taguchi, S. Okano, H. Fukunishi

東北大学理学部附属超高層物理学研究施設

Upper Atmosphere and Space Research Laboratory, Tohoku University

Abstract Remote observations of atmospheric ozone have been continuously performed with the tunable diode laser heterodyne spectrometer of Tohoku University at Sendai since 1989. Vertical profiles of ozone mixing ratio and total column densities are retrieved from the observed spectra by an inversion method. The retrieved values of total column densities at Sendai are consistent with those obtained with the Dobson spectrophotometer at Sapporo and Tateno, and it is also verified by simultaneous observations with the laser heterodyne spectrometer and ozonesondes that the retrieved vertical profiles have no systematic error. Ozone variations associated with tropopause folding events have been detected.

1. はじめに

東北大学理学部では世界に先駆けて赤外半導体レーザーヘテロダイン分光計を開発し、それを大気オゾン観測に応用することに成功した [Okano *et al.*, 1989; Fukunishi *et al.*, 1990]。1989年1月から現在までルーチン的に大気オゾンの高度分布及び全量の観測を行ってきている。本講演では仙台におけるレーザーヘテロダイン分光計によるオゾン観測で現在までに得られている成果を報告する。

2. オゾン全量

レーザーヘテロダイン分光計によるオゾン観測は太陽を光源とするため快晴の日を選んで行われる。1回の観測に要する時間は最低で約15分である。観測された大気オゾンの吸収線スペクトルから反転法を用いてオゾン混合比高度分布が求まり、それを積分することによってオゾン全量が求められる [Taguchi *et al.*, 1990a]。レーザーヘテロダイン分光計観測によるオゾン全量値は現在までのところ1989, 1990年のほぼ2年分が得られている。1989年に64日、1990年に73日の観測を行った。Fig. 1にそのうちの1989年分の観測値を示す。Fig. 1には比較のために札幌及び館野におけるドブソン分光計による観測値も同時に示してある。

レーザーヘテロダイン分光計によるオゾン全量観測の絶対的精度は赤外吸収線パラメータの精度によって決まる。吸収線パラメータはHITRAN database 1986 [Rothman *et al.*, 1987]の値を使用している。HITRAN database 1986によると吸収線強度の誤差は10%以下であるが、仙台のオゾン全量値は札幌、館野の観測値と比較して系統的な誤差は認められない。レーザーヘテロダイン分光計によるオゾン全量観測は赤外域のオゾン吸収を利用するため大気中のエアロゾルの影響を受けない点で紫外域のオゾン吸収を利用する方法と比較して有利である。Fig. 1に示した3観測地点とも年間を通しては春に極大、秋に極小となる季節変動、また春にはプラネタリー波活動度の活発化にともなう大きな日々変動をとらえている。

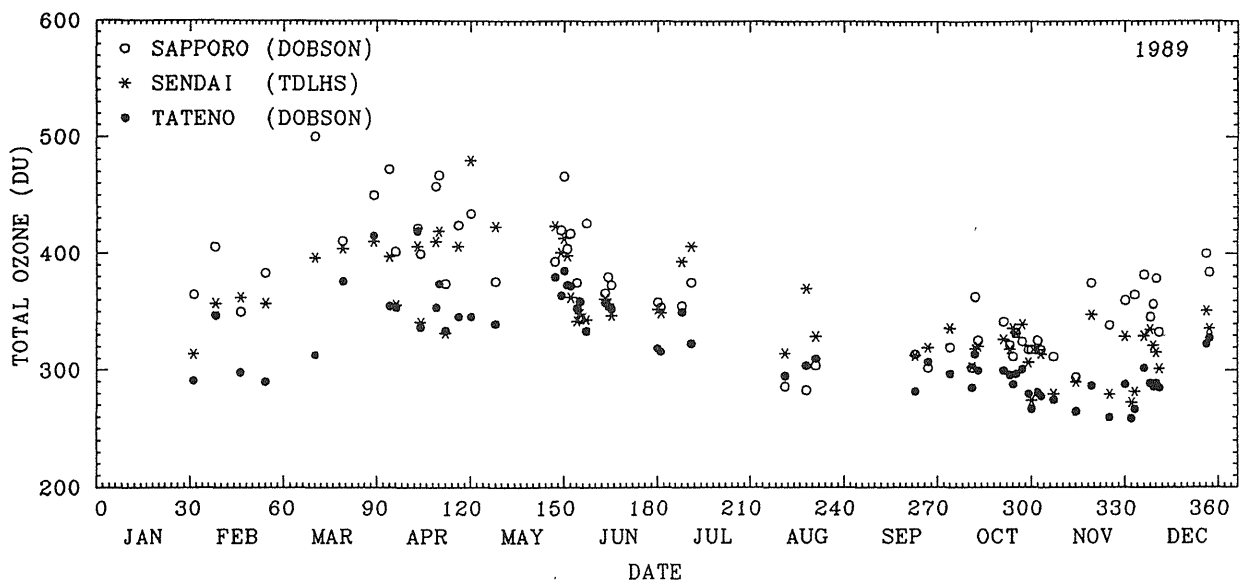


Figure 1. The total column densities of atmospheric ozone observed with the laser heterodyne spectrometer at Sendai in 1989. The total ozone observed with the Dobson spectrophotometers at Sapporo and Tateno is also plotted for comparison.

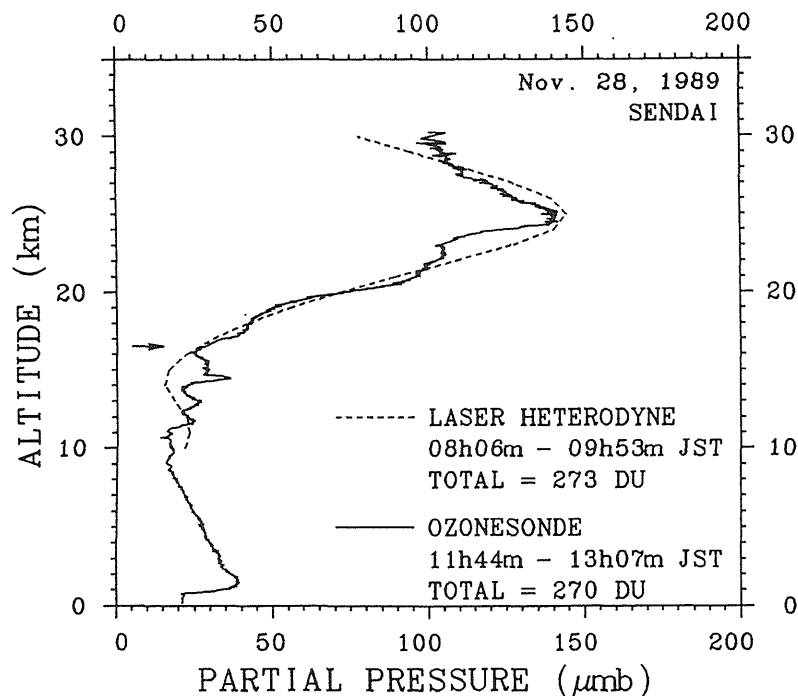


Figure 2. The vertical profiles of ozone partial pressure obtained by the laser heterodyne spectrometer (broken line) and the ozonesonde (solid line) on November 28, 1989. The tropopause altitude is indicated by an arrow.

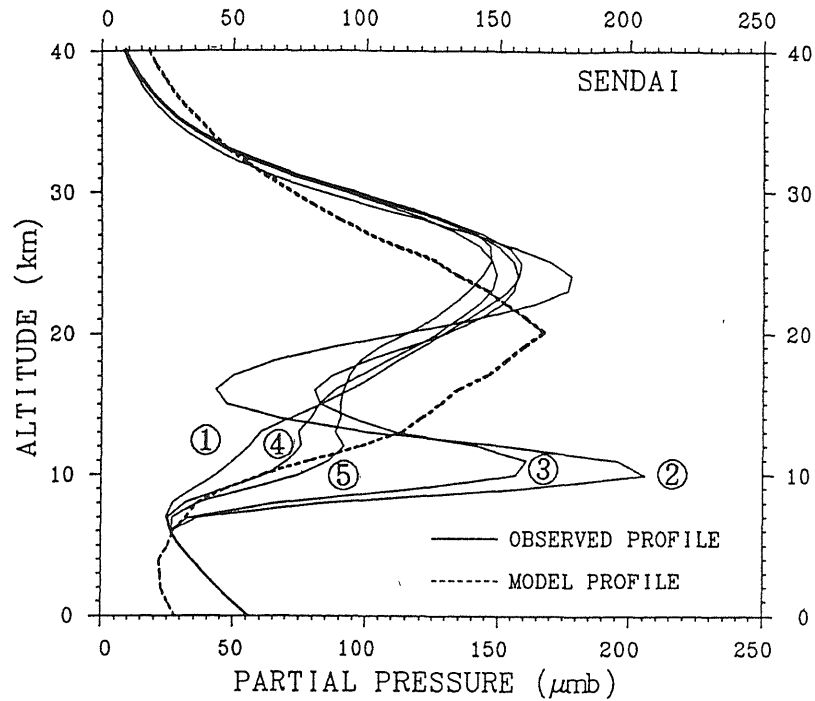


Figure 3. The vertical profiles of ozone partial pressure obtained by the laser heterodyne spectrometer at Sendai. The profiles (1), (2), (3), (4) and (5) were observed on April 9, 10, 11 am, 11 pm and 12, 1990, respectively.

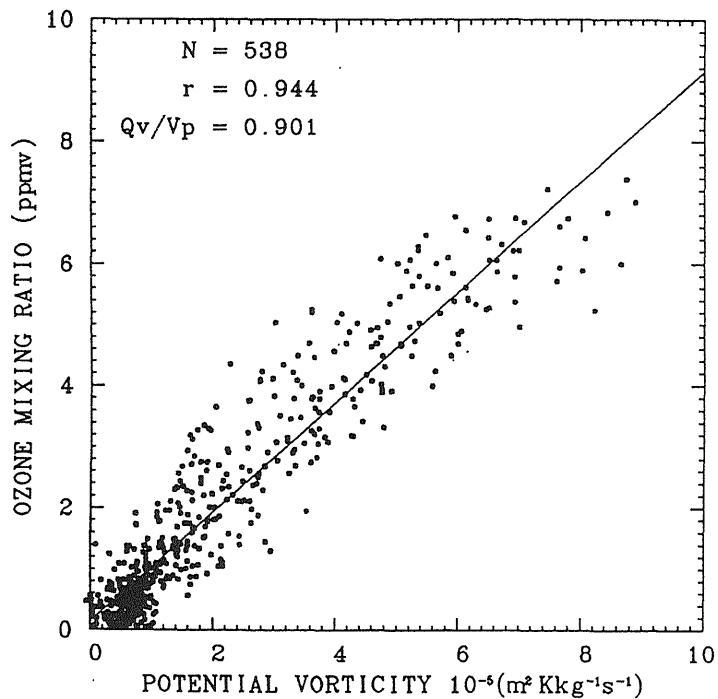


Figure 4. Correlation between the ozone volume mixing ratio and potential vorticity in the altitude range of 10 – 25 km at Sendai. The correlation coefficient is 0.944 and the ratio of the two quantities is $0.90 \text{ ppmv} / 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ K kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

3. オゾン高度分布

レーザーヘテロダイン分光計で観測されたオゾン高度分布の信頼性を検証するために、国立環境研究所の協力によりオゾンゾンデとの同時観測を1989年暮れに4回実施した [Taguchi *et al.*, 1990b]。そのうちの1例を Fig. 2 に示す。レーザーヘテロダイン分光計で観測されたオゾン高度分布は、分解不可能な微細構造を除いてオゾンゾンデの観測値とよく一致している。

1990年の観測から、装置の改良により観測スペクトルの S/N が向上し、観測可能な高度範囲が10–30km から7–30km に広がった。その結果、対流圏界面付近のオゾン濃度の変動を観測することが可能となった。Fig. 3 は1990年4月9日から12日までの4日間に連続して観測された対流圏界面付近のオゾン変動の一例である。10日午前から11日午前にかけて高度10km 付近にオゾン分圧のピークが現われている。この例のようなオゾン変動は対流圏界面ギャップから成層圏大気が対流圏に流入する過程に生じると考えられる。

成層圏大気のトレーサーとしてオゾン混合比とならんでポテンシャル渦度がよく用いられる。ポテンシャル渦度は気温と風速のデータから算出できるので便利である。そこで東経140° に沿った7気象観測点の気象ゾンデ観測データを用いて、東経140° の子午面上のポテンシャル渦度を計算した。ポテンシャル渦度の子午面断面図を見ると仙台上空で4月9日から11日午前にかけて対流圏界面のフォールディングにともなってポテンシャル渦度が増加していた。1990年1月から4月までにレーザーヘテロダイン分光計で観測されたオゾン混合比と仙台上空高度10–25km のポテンシャル渦度との相関を求めた結果が Fig. 4 に示される。両者の相関係数は0.944 という高い値を示し、両者の比は $0.90\text{ppmv}/10^{-5}\text{m}^2\text{Kkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ となった。

ドブソン分光計オゾン全量データ及び気象観測データは気象庁より提供された。

参考文献

- Fukunishi, H., S. Okano, M. Taguchi, and T. Ohnuma, Laser heterodyne spectrometer using a liquid nitrogen cooled tunable diode laser for remote measurements of atmospheric O₃ and N₂O, *Appl. Opt.*, 29, 2722–2728, 1990.
- Okano, S., M. Taguchi, and H. Fukunishi, Stratospheric ozone measurements with a tunable diode laser heterodyne spectrometer, *Geophys. Res. Lett.*, 16, 551–554, 1989.
- Rothman, L. S., R. R. Gamache, A. Goldman, L. R. Brown, R. A. Toth, H. M. Pickett, R. L. Poynter, J.-M. Flaud, C. Camy-Peyret, A. Barbe, N. Husson, C. P. Rinsland, and M. A. H. Smith, The HITRAN database: 1986 edition, *Appl. Opt.*, 26, 4058–4097, 1987.
- Taguchi, M., S. Okano, and H. Fukunishi, Remote sounding of vertical profiles of atmospheric ozone and nitrous oxide with a tunable diode laser heterodyne spectrometer, *J. Meteor. Soc. Japan*, 68, 79–93, 1990a.
- Taguchi, M., S. Okano, H. Fukunishi, and Y. Sasano, Comparison of ozone profiles from ground-based laser heterodyne spectrometer and ozonesonde measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 2349–2352, 1990b.