

可搬型レーザーヘテロダイン分光計を用いた
南極オゾンホール of 赤外分光観測

Infrared Spectroscopic Observations of The
Antarctic Ozone Hole With a
Tunable Diode Laser Heterodyne Spectrometer.

小出理史¹、田口 真¹、福西 浩¹、阿部利弘¹、岡野章一²

M. Koide¹, M. Taguchi¹, H. Fukunishi¹, T. Abe¹ and S. Okano²

¹東北大・理 ²国立極地研究所

¹ Faculty of Science, Tohoku University.

² National Institute of Polar Research

Using a newly developed laser heterodyne spectrometer, we observed infrared absorption spectra of atmospheric O₃, CH₄, N₂O and HNO₃ at Syowa station (69.0° S, 39.6° E) in the austral spring and summer season of 1994. This spectrometer has an extremely high spectral resolution of 0.0013 cm⁻¹ and a signal-to-noise ratio of ~ 500 for 10-min scan time. The selected wavenumber regions are around 1104 cm⁻¹, 1181 cm⁻¹, 904 cm⁻¹ and 1223 cm⁻¹ for O₃, N₂O, HNO₃ and CH₄, respectively. From the ozone absorption spectra obtained in early spring, the height profiles of ozone were retrieved at intervals of every ten minutes. These profiles showed extremely low ozone concentration in the altitude range of 15–20 km and rapid variations above 22 km.

1. はじめに

第35次南極地域観測隊では、新たに開発したレーザーヘテロダイン赤外分光計（以下TDLHS-3と書く）を昭和基地に持ち込み、オゾン、一酸化二窒素、硝酸、メタンの赤外分光観測を行った。これらの気体は、オゾンホール現象および温室効果に重要な役割を果たしていると考えられている。観測の結果、各気体とも良好なスペクトルデータが得られた。このうちオゾンの吸収スペクトルからは、高度10 kmから30 kmまでの高度分布が10分ごとに導出され、成層圏オゾン濃度が刻々と変化する様子がとらえられた。本報告では、この解析結果の詳細と観測の経過について述べる。

2. TDLHS-3の概要

レーザーヘテロダイン分光計とは、信号光に局発のレーザー光を重ねて両者のビートをとることによって赤外領域の信号光を電波領域の中間周波数に変換し、RFレシーバーを用いてその相対強度を計る分光計であり、量子限界の低ノイズと、RFレシーバーの検波帯域幅で決定されるメガヘルツオーダーの高分解能を特徴とする。今回新たに南極用に開発したTDLHS-3では、局発として4個の半導体レーザーを内蔵し、これらを切り替えて使用することにより、レーザーヘテロダイン分光計としては広い波数領域にわたって観測が可能となった。Table 1に、TDLHS-3の諸元を示す。

4. 観測経過

昭和基地での分光計設置作業は1994年2月に開始した。光学系の調整作業は順調に進んだが、電気系のノイズ対策には苦勞した。1994年3月上旬に設置・調整作業を終了し、オゾンのスペクトルを初めて得た。しかし3月の天候が不順であったため、本格的な観測は、冬明け後、太陽高度が 10° 程度以上となる8月以降となった。8月末から10月後半までは、オゾンホール発達の様子を調べるためにオゾンの観測を最優先に行い、一酸化二窒素、硝酸の観測も適宜行った。11月にオゾン用のレーザーが不調となった後（後述）はメタンの観測を重点的に行い、一酸化二窒素と硝酸の観測も継続した。これらの観測は1995年1月の分光計撤収まで継続した。観測日数は、オゾンが13日、一酸化二窒素が9日、硝酸が13日、メタンが6日であった。

5. 観測上の問題点とその対策

昭和基地での運用に際して、最大の問題は電気ノイズであった。これは観測棟内に多数の計測器やケーブルが存在することに加えて、加湿器を使用しても常時30%以下という湿度も影響した。昭和基地が岩盤の上に立地しているため、十分な接地が取れなかったことも要因にあげられる。今回開発したレーザーヘテロダイン分光計は、南極に持ち込む前に国内でも試験を行っており、その際電気ノイズはほとんど問題にはならなかった。このように通常的环境下では十分な耐電気ノイズ特性を持つが、昭和基地においては当初スペクトルの確認にも支障をきたすほどであった。しかし最終的には、接地を信号系と電源系に分けてそれぞれ一点接地にするなどの、現地での調整で十分なレベルまで改善できた。それでもまだ、RFレシーバーの内部配線やシールド等には改善の余地があると考えている。

観測対象吸収線のスペクトルは、レーザーの発振波数をスキャンさせることによって得られる。具体的には、レーザーの置かれたデュワーの温度を液体窒素温度付近で一定に保ち、その上でレーザーに流す電流を変化させることにより、発振波数（＝観測波数）を連続的に変える。通常、レーザーに流す電流と発振波数の関係はほぼリニアであるが、今回の観測ではこの関係が崩れることがあった。この現象は観測開始直後には見られず、1～2時間ほどレーザーに電流を流した後に起きた。これは10月以降になって特に問題となり、11月にはオゾン観測用のレーザーがこの現象のために使用不能となった。原因は半導体レーザーの寿命とも考えられるが、温度コントロールの方法を考慮すればまだ使用できた可能性もある。半導体レーザーの温度コントロールは、液体窒素で冷却されたデュワー内部に温度センサーを設置して、検知された温度をヒーターにフィードバックする方式である。実際の配置では4個のレーザーに対してセンサーは1組（2個）、ヒーターは1個という方式をとったため、ヒーターはレーザーから10cm程度離れたデュワー中心部に、センサーはレーザーとヒーターの中間付近に設置し、これらを銅のブロックで結合した。この方式では、レーザーの発熱量が想定以上に大きい場合に、ヒーターのパワーを落とすことによりセンサー付近での温度を一定化させるようにフィードバックが働き、結果としてレーザーの温度が上昇することが考えられる。この対策を考える場合、1つのデュワーに4個のレーザーを搭載できるメリットは大きいため、デュワー内部の配置を根本から変えることは難しい。しかし、現在の配置では1つのブロックに2つのレーザーが固定されているので、温度センサーも2組にし、それぞれのレーザーブロックに設置すれば、使用するレーザーに応じてごく近い温度センサーを選択できるので、より高精度に温度を安定化させることが可能になると考える。これについては今後検討する。また、音響光学素子を用いたレーザーヘテロダイン分光計の開発が東北大学の惑星大気グループによって現在進められており、これが実用化されれば、レーザーのスキャンが不要となり、発振波数の安定化が容易になる。

6. 結果

Fig. 2に、得られた分光データの例を示す。このデータは1994年9月30日に観測されたオゾンによる吸収スペクトルを表している。Fig. 3には、1994年9月26日に観測されたデータから導出されたオゾンの高度分布を示す。この図を見ると、高度15 kmから20 kmの領域でオゾン量が極端に少なくなっており、昭和基地上空でオゾンホールが形成されていることがわかる。さらに、高度22 kmから30 kmの領域では、1時間以下の時間スケールでオゾン量が激しく変動している現象が見られる。これについては今後他の日のスペクトルの解析を進め、データが蓄積された段階でさらに詳しく検討する。

Fig. 2. -An example of ozone absorption spectrum observed with TDLHS-3.

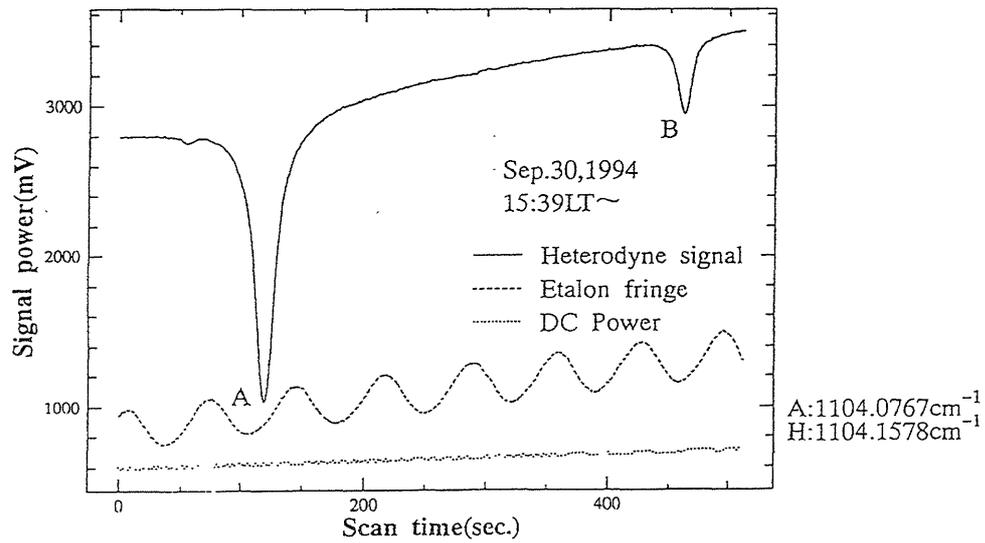
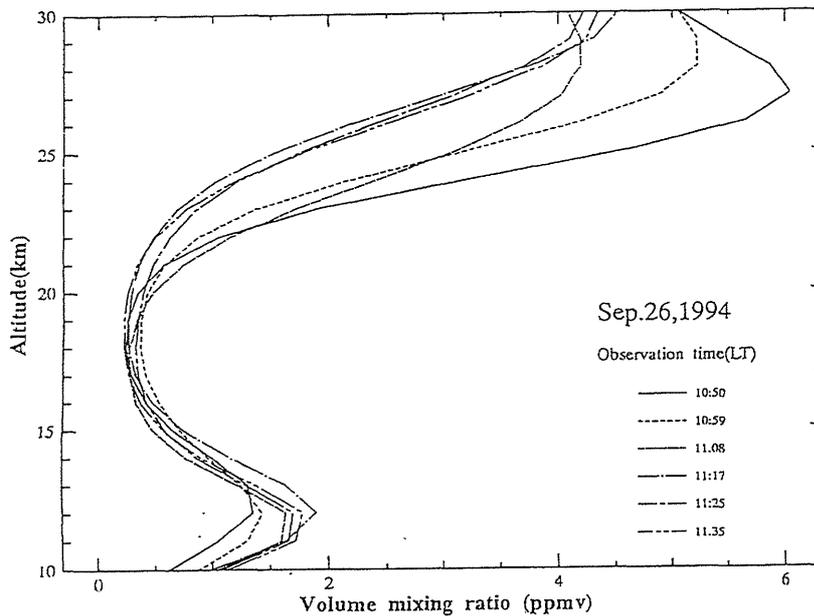


Fig. 3. Examples of retrieved ozone height profiles.



謝辞：今回の観測に際して、第35次日本南極地域観測隊の全隊員には絶大なる協力をいただきました。ここに心より感謝の意を表します。

Table 1. Specifications of the Tunable Diode Laser Heterodyne Spectrometer, TDLHS-3.

観測波数域	815cm ⁻¹ - 934cm ⁻¹ , 1101cm ⁻¹ - 1121cm ⁻¹ 1017cm ⁻¹ - 1123cm ⁻¹ , 1161cm ⁻¹ - 1253cm ⁻¹
帯域幅 (波数分解能)	40MHz(0.0013cm ⁻¹)
1 スキャンあたりの S/N 比	約 500
半導体レーザーの可変温度領域	60K - 90K
温度安定性	<0.01K
観測時間 / 1 スペクトル	512 秒または 1024 秒

3. 開発経過

Fig.1 に、TDLHS-3 のブロックダイアグラムを示す。TDLHS-3 の開発の際には、これまでに製作した 2 台の分光計 (TDLHS-1, 2) の運用経験から細部の改良を行った。まず、戻り光対策を容易にするため、レーザーとフォトミキサのデュワーをそれぞれ専用にした。このことで、レーザー用のデュワーでは従来フォトミキサーを設置していたスペースが空き、4 個のレーザーを搭載することが可能となった (従来は最大 2 個)。また、ビームスプリッターには透過率が 80 % のものを採用した (従来は 50 %)。これは戻り光を減少させるためであり、半導体レーザーの出力が大きくなったことによって可能となった。電気系では高周波アンプに低雑音タイプを新たに使用した。

Fig. 1. Block Diagram of TDLHS-3.

