

DIAL による対流圏オゾン観測—CO₂誘導ラマン効果の高次 Stokes 線の利用—

Tropospheric Ozone Observation by means of DIAL - Application of higher order Stokes components of the Stimulated Raman Scattering by CO₂ -

中里真久¹、廣瀬保雄¹、永井智広¹、松村貴嗣、酒井哲²、片野元³

Masahisa Nakazato¹, Yasuo Hirose¹, Tomohiro Nagai¹, Takatsugu Matsumura, Tetsu Sakai², Gen Katano³

¹気象研究所、²名古屋大学、³科学技術振興事業団/気象研究所

¹Meteorological Research Institute, ²Nagoya University, ³Japan Science and Technology Corporation/MRI

Abstract: Tropospheric ozone profiles were observed using a three-wavelengths DIAL whose transmitter has only a Raman cell filled with carbon dioxide as a Raman active gas. The Raman cell converts fourth harmonics of the Nd:YAG laser and generates the first three Stokes components (276nm, 287nm, 299nm) for DIAL measurements. Ozone profiles up to 8km above ground level were obtained with analog measurements within 30 minutes.

1. はじめに

我々のグループでは、既存の成層圏オゾン観測用ライダーと合わせて、地上から高度 40km 程度までのオゾンの鉛直プロファイルを観測可能とするために、対流圏オゾン観測用ライダーの開発を進めている。これまでに、対流圏オゾンライダーの送信系への利用を想定して、二酸化炭素を充填したラマンセルの特性を調べ、誘導ラマン散乱の第 1 Stokes 線から第 3 Stokes 線までの 3 波長 (S1: 276nm、S2: 287nm、S3: 299nm) が対流圏オゾンライダー送信系に利用可能であることを発表した^[1]。今回の発表では、二酸化炭素を充填したラマンセルを用いて実際に対流圏オゾンを観測し、連続観測データを得た結果を発表する。

2. CO₂ ラマンセルを使った送信系の特徴

従来の対流圏オゾンライダー送信系では、Nd:YAG レーザー第 4 高調波をビームスプリッターなどで 2 つに分け、並列に並べた 2 本のラマンセル (それぞれラマン活性気体として重水素及び水素を充填) に入射し、289nm 及び 299nm の波長を生成して観測に使用することが多かった。その他に、メタンを使った例や窒素を使った例などが報告されている。これらはいずれも変換効率の高い第 1 Stokes 線を使用している。これらの気体の中にはライダー送信系にとって十分な量の高次 Stokes 線を得られるものもあるが、ラマンシフトが大きいために、DIAL に最適と考えられている波長間隔の Stokes 線を得ることができない。

また、1 本のラマンセルで複数波長を生成するために、2 種類のラマン活性気体を混合して充填した例が報告されている^[2]。2 種類の気体の組み合わせとして、水素と重水素や水素とメタンなどが使用されている。この方式の場合、2 種類の気体で 1 回ずつ波長シフトするなどにより、混合気体特有の波長が現れ、エネルギーが分散して必要な波長のパワーが低下することが問題である。

これらに対して、二酸化炭素のラマンシフトは 1385cm⁻¹ であり、これまでに使われているラマン活性気体の中では小さいので、Stokes 線の波長間隔は DIAL に最適と考えられている程度の値になる。また、二酸化炭素の波長変換効率は高次 Stokes 線に対しても十分高い。このため、1 本のラマンセルに二酸化炭素を充填するだけで、DIAL に必要なすべての波長を十分に生成することが可能である。他に酸素 ($\Delta k=1552\text{cm}^{-1}$) などいくつかの気体が考えられるが、安全性や使いやすさ (化学的安定性や常温で気相であることなど) の面から、ラマン活性気体として二酸化炭素を採用した。

二酸化炭素を用いた対流圏オゾンライダーは従来のものに比べて、1) ラマンセルが 1 本ですむことから、オーバーラップ高度を低くすることができ、低高度での観測が可能、2) 波長 276nm は低高度でのエアロゾルの影響を受けにくく、観測精度が向上する、3) 装置の構造が単純になる、4) 必要なラマン活性気体は二酸化炭素 1 種類のみであり、水素に比べて安全であるため、

装置の取り扱いが容易になる、などの利点がある。

3. システム概要

Fig. 1 にライダーシステムの概略を示す。レーザー装置は Continuum 社（現 Excel Technology 社）製 Powerlite8010 を使用した。2枚の誘電体多層膜ミラーで反射させたレーザー光を、焦点距離 1200mm のレンズで、長さ 2.0m のラマンセルの中心部付近に収束させた。各 Stokes 線のパワーは二酸化炭素圧力によって変化する。Fig. 2 に各 Stokes 線の二酸化炭素圧力依存性を示す。この実験結果から、ラマンセル中の二酸化炭素圧力は 0.7MPa とした。

ラマンセルから出射した Stokes 線及びポンプ光を焦点距離 4000mm のレンズでコリメートし、直径 25cm の低層受信用望遠鏡の光軸上から送信する構造となっている。望遠鏡は高度 3km 程度までの低層受信用望遠鏡の他に、高度 3km 程度以上の高層受信用に直径 60cm の反射望遠鏡を使用した。視野角はいずれも 1mrad とした。低層受信用望遠鏡は中心波長 276nm 及び 287nm の干渉フィルターを、また高層受信用望遠鏡は中心波長 287nm 及び 299nm の干渉フィルターを備えており、それぞれ光電子増倍管で受信信号を検出する。出力信号は Licel 社製 Lidar Transient Recorder に渡されて、チャンネル毎にアナログ計測及びフォトンカウンティングが可能となっている。

4. 観測及び解析

観測は、2004年8月9日から10日にかけて行った。この日、つくばは東西の高気圧、北の低気圧、南の2つの台風が作る低圧帯に囲まれ、南西の弱い風が吹いていた。データ取得は、3000ショットの積算を行い、6回の観測を高度ごとに積算した。従って、30分ごとに1プロファイルが計算される。各高度プロファイルは、レンジゲート 7.5m の生データを高度方向に 10点ずつ加算し、3次のスプライン関数で最小二乗フィッティングした。なお、今回の解析では、エーロゾルの補正は一切しなかった。

5. 観測結果及びまとめ

Fig. 3 に高層受信系アナログ計測により得られた対流圏オゾンの連続観測結果を示す。高度 2km 以下から 8km までのオゾンの分布が得られた。この時のオゾンの濃度は対流圏のほぼ全域

で $0.8 \sim 1.4 \times 10^{18}/\text{m}^3$ 程度であったことが分かる。1:30 から 5:30 まで高度 5km 付近に雲が現れており、それよりも高い高度では誤差が大きくなっている。今回の観測では、装置の調整が完全ではなかったために 2km 以下での精度が出なかった。近日中に、高層系のフォトンカウンティングデータ及び低層系のデータを接続し、対流圏全域の観測データが得られる予定である。

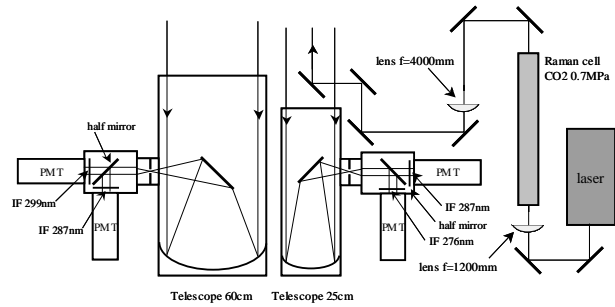


Fig.1 Schematic of the Tropospheric ozone DIAL

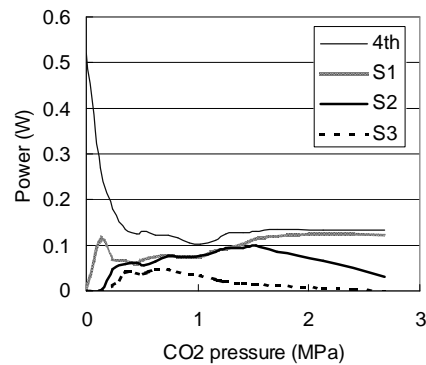


Fig.2 Measured power of the Stokes lines generated by carbon dioxide.

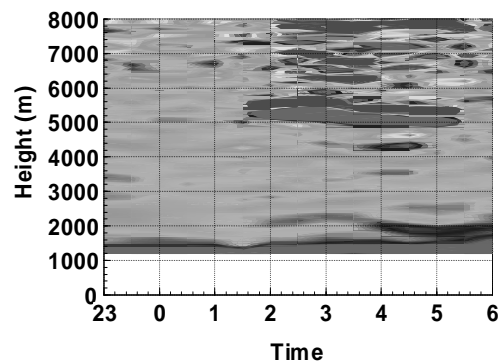


Fig.3 Time-height cross-section of tropospheric ozone density from 2300 JST 9 August to 0600 JST 10 August 2004 over Tsukuba.

参考文献

- [1] 中里真久他, 第 22 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2003).
- [2] V. Simeonov et al., 20th International Laser Radar Conference (2000).