

## Application of the Stimulated Raman Scattering by Carbon Dioxide to the DIAL Transmitter

中里真久<sup>1</sup>、永井智広<sup>1</sup>、松村貴嗣<sup>2</sup>、酒井哲<sup>3</sup>、内野修<sup>4</sup>Masahisa Nakazato<sup>1</sup>, Tomohiro Nagai<sup>1</sup>, Takatsugu Matsumura<sup>2</sup>, Tetsu Sakai<sup>3</sup>, Osamu Uchino<sup>4</sup><sup>1</sup>気象研究所、<sup>2</sup>科学技術振興事業団/気象研究所、<sup>3</sup>日本学術振興会/気象研究所、<sup>4</sup>広島地方気象台<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Japan Science and Technology Corporation,<sup>3</sup>Japan Society for the Promotion of Science, <sup>4</sup>Hiroshima Local Meteorological Observatory

**Abstract:** It is indicated that carbon dioxide is useful as a Raman active gas for the transmitter of a tropospheric ozone DIAL using single Raman cell. Employment of carbon dioxide enables us to transmit three wavelengths (276nm, 287nm, and 299nm) convenient to measure both upper and lower tropospheric ozone. Experimental result showed that optimum pressure of carbon dioxide was 0.7MPa.

## 1. はじめに

ライダーによるオゾン観測は、既存のオゾンゾンデ観測に比べて、精度評価が容易であり、経年変化がなく、連続観測ができるなどの利点がある。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な、対流圏オゾンライダーの開発を進めている。この装置では、送信用レーザーにNd:YAGレーザー第4高調波を採用し、ラマンセルを使って必要な波長を得る構成を取っている。現在のシステム構成で、高度3kmから15km程度までのオゾンの観測データが得られているが、今後の開発により、地上のごく近傍まで観測範囲を広げる予定である。

これまでに行った観測誤差の評価結果によれば<sup>[1]</sup>、対流圏上部の観測には波長280nm程度以上が必要であり、対流圏下部の観測にはエアロゾルの影響を抑えるために、波長280nm程度以下が望ましい。地上近傍を測定するために、1本のラマンセルに2種類のラマン活性気体を充填して280nm付近の波長を生成し、受信望遠鏡の光軸と同軸で送信する送信光学系の開発例が報告されているが<sup>[2]</sup>、ラマン活性気体として二酸化炭素を採用すれば、ガスの種類を減らせる上に、対流圏下部の混濁大気中の観測に都合のよい276nmと対流圏上部の観測に適した287nm、299nmを同時に生成可能である。また、二酸化炭素の第3ストークス線までの変換効率是十分高く、ライダー送信系に使用可能と考えられる。

今回、対流圏オゾンライダーの送信系への応用を目的として、1本のラマンセルに二酸化炭素を充填し、波長276nmと287nmで対流圏下部を、また、波長287nmと299nmで対流圏上部を観測する構成を考え、ライダー送信系への使用を想定したラマンセルの特性を調べたので報告する。

2. CO<sub>2</sub>の誘導ラマン散乱で得られる波長

Fig.1にオゾン吸収断面積と二酸化炭素で得られる第3ストークス線までの波長の位置関係を示す。ストークス線波長は約10nmの間隔でオゾンのHartley吸収帯の長波長側に並んでいる。差分吸収ライダーに使用する2波長の間隔は、エアロゾルの影響を小さくし、ある程度の大きさの吸収差を得るために5~15nmが最適であると言われおり<sup>[3]</sup>、二酸化炭素で得られるストークス線波長の間隔は理想的であることが分かる。

また、波長276nm、10mJ/pulseで、高度10km程度までの観測が可能であり、混濁大気中で、

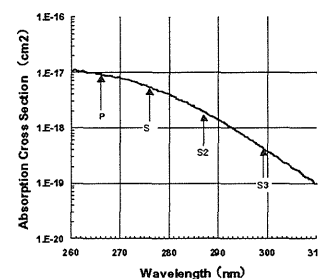


Fig.1 Absorption cross section of ozone and generated wavelengths in this study.

289nm に比べて誤差が小さいこと、高度 5~6km 以上の対流圏上部では、289nm と 299nm の組み合わせがよいことが分かっている。このことから、二酸化炭素による誘導ラマン散乱の第 3 ストークス線までの変換効率が十分に大きく、ライダーの送信系に使用可能なパワーが得られれば、1本のラマンセルに二酸化炭素を充填して、対流圏下部観測用に 276nm と 287nm の組み合わせ、対流圏上部観測用に 287nm と 299nm の組み合わせで対流圏全域をカバーすることが可能であるといえる。

### 3. 実験方法及び結果

オゾンライダー送信系への応用の可能性を示すために、二酸化炭素による誘導ラマン散乱のストークス線パワーを実験により調べた。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。ラマンセルから出射したストークス線及びポンプ光を焦点距離 1500mm のレンズでコリメートし、スペクトル及び各波長のエネルギーを測定した。

Fig.2 にレーザー出力 1.0W、二酸化炭素圧力 0.7MPa を充填したときの、誘導ラマン散乱のスペクトル測定例を示す。この時の波長 276nm、287nm、299nm のパワーは同程度であることが分かる。

Fig.3 にレーザー出力 1.0W の時の各波長におけるエネルギーの二酸化炭素圧力依存性を示す。二酸化炭素圧力 0.7MPa の時、276nm、287nm、299nm のエネルギーは、それぞれ 7.6mJ/pulse、7.6mJ/pulse、4.6mJ/pulse であった。

バッファガスとしてアルゴンを採用した場合、第 3 ストークス線出力はアルゴンを加圧するとともに単調に減少した。このことから、ライダー送信系への応用には、アルゴンを加圧しないで使用するのがよい。

### 4. 考察

計算機シミュレーションによれば、気象研究所の対流圏オゾンライダーで上記送信パワーを出した場合、15分~30分程度の積算で対流圏の観測が可能と考えられる。

### 5. まとめ

送信用レーザーに Nd:YAG レーザー第 4 高調波を使用し、ラマンセルを使って波長シフトさせる方式の対流圏オゾン観測用差分吸収ライダーに関して、ラマン活性気体に二酸化炭素を採用することにより、対流圏下層の観測に都合のよい波長と対流圏上層の観測に都合のよい波長を同時に送信することが可能である。

最適な二酸化炭素の圧力は、Continuum 社製 Powerlite8010 の第 4 高調波と焦点距離 1200mm の集束レンズを用いた場合、約 0.7MPa であった。

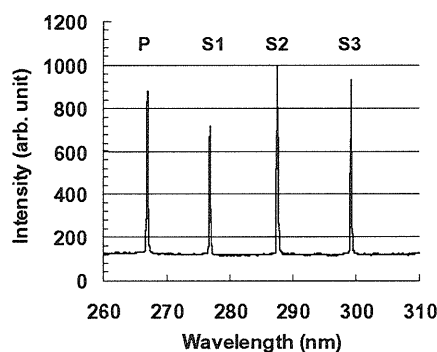


Fig.2 Measured spectrum of the stimulated Raman scattering by carbon dioxide.

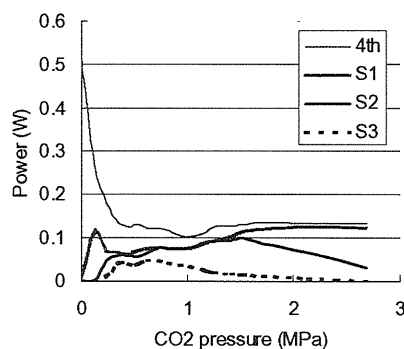


Fig.3 Measured power of the Stokes lines generated by carbon dioxide.

### 参考文献

- [1] 中里真久他, 第 28 回リモートセンシングシンポジウム講演論文集 (2002).
- [2] V. Simeonov, B. Lazzarotto, P. Quaglia, H. van den Bergh, B. Calpini, "Three-wavelength UV ozone DIAL based on a Raman cell filled with two Raman active gases", 20th International Laser Radar Conference (2000).
- [3] G. J. Megie, G. Ancellet, and J. Pelon, "Lidar measurements of ozone vertical profiles", Appl. Opt. 24, 3454-3463(1985).