

内海通弘<sup>1)</sup>、吉岡昌男<sup>2)</sup>、N. J. Vasa<sup>2)</sup>、前田三男<sup>3)</sup>、内野修<sup>4)</sup>M. Uchiumi<sup>1)</sup>、M. Yoshioka<sup>2)</sup>、N. J. Vasa<sup>2)</sup>、M. Maeda<sup>3)</sup> and O. Uchino<sup>4)</sup>有明高専<sup>1)</sup>、九州大学総合理工<sup>2)</sup>、九州大学システム情報科学<sup>3)</sup>、気象庁<sup>4)</sup>Ariake National College of Technology<sup>1)</sup>、Kyushu University<sup>2),3)</sup>、Meteorological Agency<sup>4)</sup>

Development of a mid-infrared differential absorption LIDAR system around 2  $\mu\text{m}$  wavelength is described for remote sensing of greenhouse-effect gases, such as  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$ . A spectrally narrowed  $\text{Ti}^{3+}$ : sapphire laser in combination with Raman shifter was used for a tunable mid-infrared laser source. Initial remote sensing measurements showed that the system is expected to perform better with some improvements in the laser source.

## 1. はじめに

近年、地球温暖化が危惧されているが、その主な理由として大気中二酸化炭素の増加があげられる。地球温暖化の正確な予測のためには二酸化炭素の絶対量の把握が重要である。地球大気全体の二酸化炭素の増加量は年に 1ppm 程度であり、固定点で観測量を平均化して求められている。一方、発電所などの二酸化炭素の発生源から、森林や海洋などの吸収源へのフラックスを求める必要がある。特に、海洋の吸収は不明な点が多く、いわゆる収支におけるミッシング・リンクの解明が急務となっている。我々は将来的にシステム全体をコンパクト化し、可搬型地球温暖化分子観測システムとする構想の下に、可変波長レーザを用いた計測システムの開発を行ってきた。この DIAL は 1000m 程度の測定範囲を持ち、煙突周辺や森林・農地などでの  $\text{CO}_2$  と  $\text{CH}_4$  観測を目指している。

## 2. 方法

今回は、レーザ光源が一つであるため、短時間に ON/OFF 波長を切り替える方式をとった。従来、我々は、手動で、ON/OFF 波長を切り替えるのに最短でも約 1 分を要していたが、今回の改良で、3.2 秒程度で ON/OFF 波長の一セットの観測が行えるようになった。これくらいでは大気の変動が激しくないときには、観測可能であると考えられる。

これまでに、DIAL 光源として、最終的にラマンシフト付きの Ti:サファイアレーザシステムを完成した。これにより、大気中  $\text{CO}_2$  の DIAL 観測を行い、700m 程度の範囲で大気中濃度とほぼ一致する値を得ることに成功した。このレーザの仕様は、最大出力

3mJ(波長  $2\mu\text{m}$ )、同調範囲  $1.9\sim 2.8\mu\text{m}$ (2 次ストークス線)、連続波長掃引可能、スペクトル幅  $0.06\text{cm}^{-1}$  程度である。このレーザを用いて大気中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  の DIAL 観測を行っている。実験配置

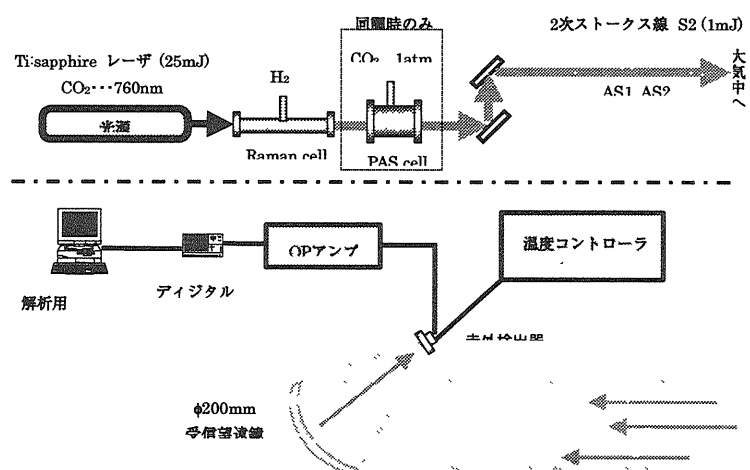


Fig. 1 Differential absorption LIDAR system

図を Fig.1 に示す。レーザ波長は、CO<sub>2</sub> 観測時は 2.0 $\mu$ m、その出力は 1mJ 程度である。受信部は大気からの散乱光を、受信望遠鏡(直径 200mm)で集光し、赤外検出器により信号を取り込む。信号は 1000 回積算して計測を行う。

本研究では、測定精度の向上・測定範囲の拡大を目指し、二波長交互発振装置を付加する。レーザの波長は同調鏡をステッピングモータにより回転させることにより行う。ON/OFF 波長は、室内同調実験によって同調する。光音響セルに炭酸ガスを含む 1 気圧の空気を詰め、レーザ光を通過させ、光音響分光法によって行った。このようにして、ON/OFF 波長のレーザを発振するステッピングモータの角度位置が決め、その位置の間を往復運動させる。それに同期して、オシロスコープのチャンネル 1 と 2 に入力信号が振り分けられる。ON/OFF 波長の信号エコー信号は、それぞれ、チャンネル 1 と 2 に、積算される。

### 3. 実験結果

本装置の動作をチェックするために、二酸化炭素を含む 1 気圧の空気を封入したセルにより、光音響分光法(PAS; Photoacoustic spectroscopy)の実験を行った。Fig.2 にその実験結果を示す。横軸は時間、縦軸は PAS 信号強度である。一本の吸収線の中心を ON 波長とし、その裾野の波長を OFF 波長として、Ti<sup>3+</sup>: サファイアレーザを ON/OFF 波長で交互発振させている。ON/OFF 波長それぞれ、10 ショットづつ発射して、ボックスカー積分器で平均化した。したがって、ON/OFF 波長の中間を発振中はトリガをかけないので観測されないが、平均化しているので、ON/OFF 波長の信号は滑らかにつながる。レーザは、ほぼ ON/OFF 波長で交互発振しているのがわかる。OFF 波長では、安定して下限の値付近まで信号が落ち込んでいるが、ON 波長では信号が大きくなるが毎回安定していないことがわかる。これは、吸収線のピークが鋭いため、毎回微妙に波長がずれるため、PAS 信号が大きく変動したと考えられる。

大気中の CO<sub>2</sub> を観測して得た波形では CO<sub>2</sub> の吸収線に同調した波長(on 波長)と、吸収線から外れた波長(off 波長)で観測される信号に差があることがわかった。これは、送信したレーザ光の CO<sub>2</sub> による吸収を観測できたためと考えられる。各種大気条件下で観測を行い、DIAL 観測における初期データを得た。今回開発した固体可変波長レーザシステムは、非常に狭いスペクトル幅(0.06cm<sup>-1</sup>程度)を持ち、ラマンシフトにより可視域から近赤外域に渡る広範囲において同調や連続波長掃引が可能である。

### 4. まとめ

今回は、レーザ光源を一つで済ませるため、短時間に ON/OFF 波長を切り替えるシーケンス制御方式をとった。従来、手動で、ON/OFF 波長を切り替えるのに最短でも約 1 分を要していたが、今回の改良で、0.6 秒で切り替え、3.2 秒程度で ON/OFF 波長の一セットの観測が行えるようになった。これで大気の変動が激しくないときには、観測可能であると考えられる。

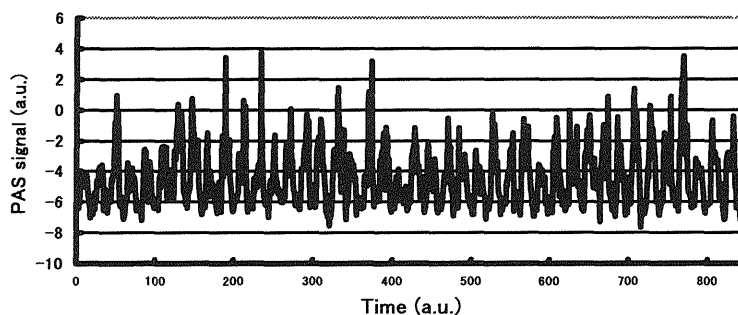


Fig. 2 PAS Signals averaged by a BOXCAR integrator for the alternating wavelength of the on and off wavelengths.