

地球温暖化分子測定用 DIAL の開発

Development of Differential Absorption Lidar
for measurement of the Earth Warming Gases内海通弘、前田三男¹、村岡克紀、田中祀捷、内野修²Michihiro Uchiumi, Mitsuo Maeda¹,Katsunori Muraoka, Toshikatsu Tanaka and Osamu Uchino²九州大学総合理工学研究科、¹九州大学工学部、²気象庁
Dep. of Energy Conversion and of ¹Electrical Engineering,
Kyushu University and ²Meteorological Research Institute

abstract

A differential absorption lidar for the detection of atmospheric molecules related to earth warming was developed based on a tunable alexandrite laser. We proposed a new tuning method on the resonance line of CO₂ at 2 μm using the optogalvanic effect in an Ar discharge tube. The atmospheric CO₂ was measured by the long path absorption lidar.

1. はじめに

炭酸ガスなどのいわゆる温室効果気体の増加に伴う地球の温暖化が大きな社会問題となって久しいが、この問題の対策のためには、それらの大気成分の密度分布を計測し、現在量や増加量を把握しておくことが大事になる。我々は、すでに最も大きな温室効果を持つ水蒸気については、差分吸収ライダーの測定に成功しており、¹⁾他の地球温暖化分子に関しても、今後、差分吸収ライダーによるそれらの密度分布の測定を目指している。長光路差分吸収ライダーは、測定精度において優れているが、差分吸収ライダーは、分子の空間分布測定を測定できる点で、利用価値が高い。今回我々は炭酸ガスの吸収測定に必要な同調技術の確立を行い、それを使って実際の大气中の炭酸ガスの密度の測定を行ったので報告する。

2. 吸収線への同調の方法

吸収法の問題は、いかに精度良く分子の吸収線にレーザーを同調するかにある。その際、従来用いられてきたホワイトセルなどを用いて室内長光路吸収実験によって同調を確かめることができる。また、水蒸気ライダーで確立された光音響分光法 (PAS) によって同調することも考えられる。これらは赤外域になると、光が見えないため、実験上操作が非常に難しくなる欠点がある。しかも、粗同調のために赤外域のウエーブメーター、分光器等が必要になる。しかし、アレキサンドライトレーザー、Ti:サファイアレーザーのように可視域近くの高出力可変波長レーザーの誘導ラマン散乱光を用いて赤外光を発生させる場合、いくつかのテクニックが使われる。ラマン変換される波長は、入力した波長 (基本波) からかなり精度良く計算されるので、先ず基本波を可視域の分光器で粗同調し、ホロカソードランプを用いる光ガルバノ分光法 (OGS) によりその波長を精度良く同定する。そのラマン変換光の波長は計算できるから、そのあたりで波長をわずかに振って PAS により分子の吸収線に微同調する。

今回行った実験を以下に示す。炭酸ガスは、赤外域にたくさんの吸収線を持っているが、アレキサンドライトレーザーの誘導ラマン散乱の第二ストークス線を利用して吸収線に同調する

ことができる。^{2,3)} ラマンレーザーのスペクトルは、 0.24cm^{-1} で、出力は 1mJ である。Fig. 1 に炭酸ガスの吸収線に同調するために、今回考案した同調システムを示す。

まずアレキサンドライトレーザーの基本波を可視域の分解能 60pm 程度の分光器で粗同調した後、アルゴンガスを封入したホロカソードランプでオプトガルバノ信号を利用して、アルゴンのスペクトル線(真空中における波長 751.6720nm) に同調する。

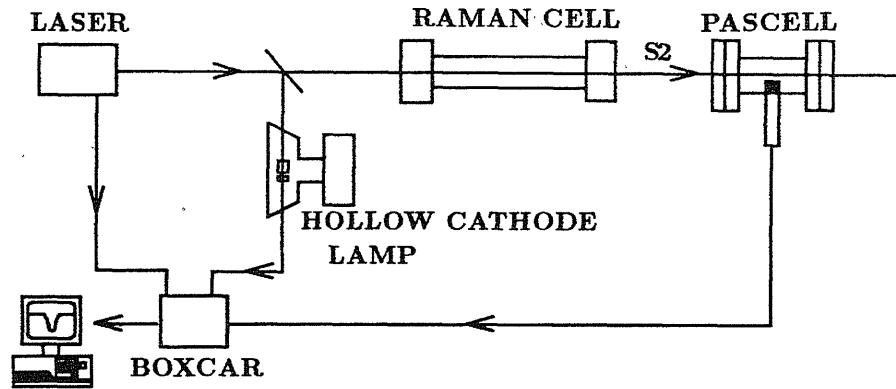


Fig. 1 Raman laser and the tuning system.

このレーザー光のラマン変換出力の第二ストークス線 (4993.68cm^{-1} , 約 $2\mu\text{m}$) は、たまたま測定に適した炭酸ガスの強い吸収線の近傍に当たっており、その近傍でレーザー光を OGS を用いて微同調して炭酸ガスのラインに合わせることができる。Fig. 2 にそのスペクトルを示す。

この図で、下側と上側の横軸はそれぞれ波長 (pm) と波数 (cm^{-1}) を表している。ただし、基準となるアルゴンの波長をゼロにとった。左側と右側の縦軸はそれぞれ OGS と PAS の信号の相対強度を表している。OG 信号は負にふれるので、下向きに凸のスペクトルになっている。OG 信号は可視域の基本波の実験から得られ、下側横軸で波長の関数で表され

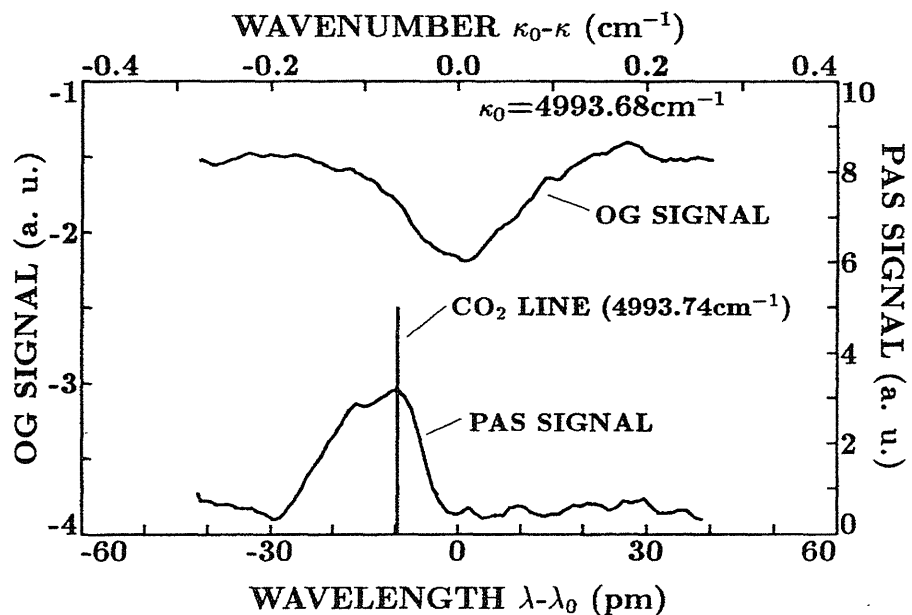


Fig. 2 Spectral line shapes of CO_2 by PAS and Ar by OGS.

る。PAS 信号は、赤外域のラマン光が炭酸ガスに同調したときに得られるもので、上横軸の波数の関数である。上と下の横軸の関係は、ラマン変換のシフト量で与えられる。

3. 長光路吸収法による観測

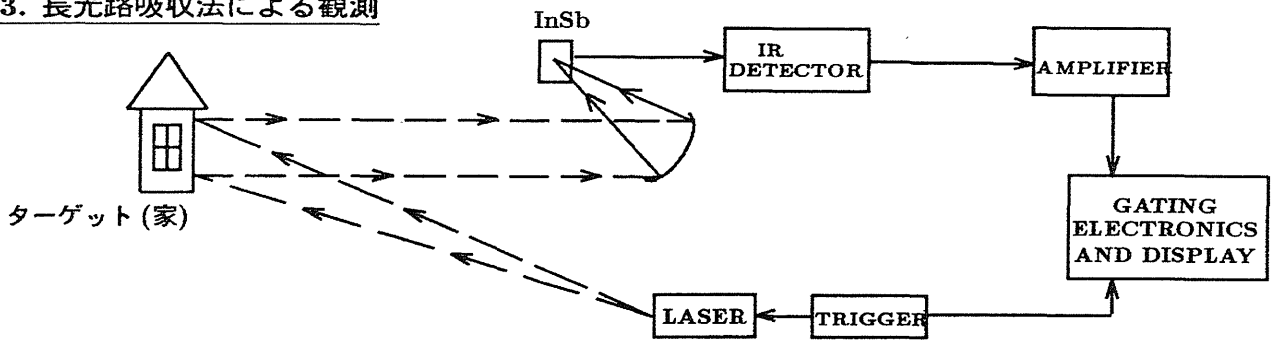


Fig. 3 Long path absorption measurement of the atmospheric CO₂.

このようにしてレーザー光を炭酸ガスの吸収線に同調したあと、屋外に打ち出し、90m先の建物に照射し、波長を掃引した (Fig. 3)。その散乱光を赤外光起電力素子 InSb 検出器で測定した結果を Fig.4 に示す。図中の●が得られたデータで、実線は光路長と吸収線の分光データを仮定して得られた光路長 180m の大気の透過率である。その際、炭酸ガスの濃度を変化して計算した。これら比較から、濃度約 330ppm±50ppm であることがわかる。レーザーの出力変動をモニターすることによってさらに精度をあげることができる。

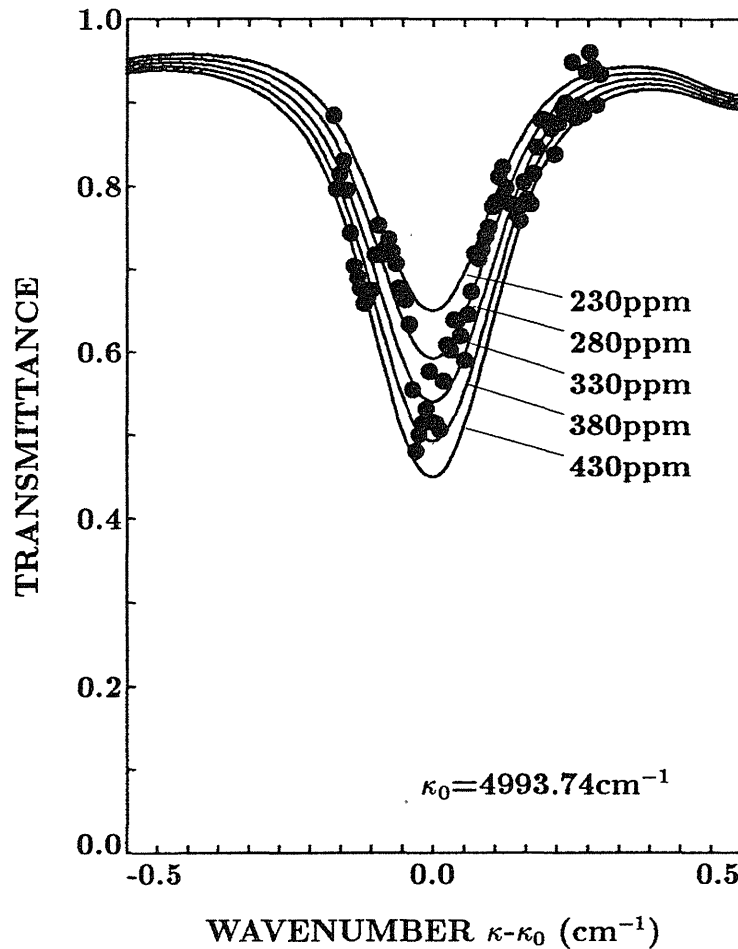


Fig. 4 Experimental results of measurement of CO₂.

長光路吸収法では、レーザーと反射体間の平均的な分子の密度を測定できるわけであるが、差分吸収ライダーの場合は、空間分布を測定できるメリットがある。今後、差分吸収ライダーに発展させるためには、検出器の応答速度の速いものを用いて、距離分解能をあげる必要がある。また、差分吸収ライダーでは、反射体として大気のみー散乱、レーリー散乱を利用するためエコー信号が小さくなるため、更にレーザーを高出力化する必要がある。なおレーザー出力のショットごとの変動は、差分吸収ライダーの場合には問題なくなる。

4. まとめ

地球温暖化分子の総合的な観測を目指した差分吸収ライダーの開発のために、同調技術の開発を行った。特に炭酸ガスの場合に、光音響分光法と光ガルバノ分光を使うことによって、容易に赤外域の分子の吸収線に同調できることを示した。また、それを使って実際の大気中の炭酸ガスの密度の測定を行った。

参考文献

- 1) 内海他: レーザー研究、21, p1031-1039, (1993).
- 2) 内海・前田: レーザー研究、22, 6, p448-459 (1994).
- 3) M. Uchiumi et al.: 17th Int'l Laser Radar Conf., Sendai, Japan, p31-32, (1994).