

赤外レーザー長光路吸収実験システムの開発

Development of infrared laser long-path absorption experiment system

湊 淳、杉本 伸夫

(Atsushi Minato, Nobuo Sugimoto)

国立公害研究所

(The National Institute for Environmental Studies)

Infrared (1~5 μm) Raman shifted Dye laser long path absorption experiment system for multiplex measurement of atmospheric trace species was constructed. This system uses the Hadamard transform method, and therefore multiplex measurement(4 channels) is possible.

1. はじめに

近年地球規模の環境保全が大きな問題となってきた。大気微量分子の高精度空間分布測定は環境監視のための不可欠な技術である。例えば、二酸化炭素の濃度分布を高精度で求めることにより、大気、海洋、植生間の二酸化炭素の収支等の研究に有効な観測データを与えることが出来る。レーザー長光路吸収法についてはこれまでも多くの研究が行なわれ、高精度の測定法として知られているが、濃度が光路の平均として与えられ、空間分布が得られないという欠点がある。このため複数の光路における測定を同時に行える多重化の技術開発が必要となっている。そこで、赤外ラマンレーザー長光路吸収実験システムにアダマール変換光学を組み合わせたシステムを製作し、アダマール変換をもちいた4本の光路での多重化実験を行なった。今回は、実験システムの概要と基礎実験の結果を報告する。

2. 実験系の構成

2. 1 レーザーシステム

1~5 μm 帯の赤外領域には、二酸化炭素、メタン、一酸化炭素、亜酸化二窒素等の重要な大気微量分子の吸収線がある。この波長帯の光源としては、半導体レーザー、Fセンターレーザー、波長可変固体レーザー等が考えられる。任意の波長域が選択できる、安定性、出力が大きい等の理由でYAGレーザー励起の色素レーザーと水素分子を用いたラマンシフターの組合せを選択した。色素とラマンの1~3次ストークスの選択により1~5 μm のパルス光が得られる。ラマンセルは、高次のラマン光が高効率で得られるよう導波路型とした。パルス繰り返しは10Hzである。色素レーザーのスペクトル幅は、共振器にエタロンを用いることにより0.05 cm^{-1} とした。色素レーザーで圧力掃引を行うことにより4.4 cm^{-1} の波長掃引が可能である。2 μm 帯での出力は約1mJである。

2. 2 光検出器および信号処理系

受光素子は、ダイナミックレンジが広い高速Au:Geディテクタをもちいた。レーザー出力を補正するために信号検出用とレーザーパワーモニター用の2つの受光素子を持つ。検出したパルス信号は、強度を精度よく記録するため、積分回路を通して約10 μsec のパルスに変えアンプで増幅してからトランジェントレコーダーに記録している。トランジェントレコーダーのサンプリングタイムは100nsecで、1パルスごとにミニコンピュータに送られ磁気テープに記録される。

2. 3 アダマールコード変調器

レーザー光は、4つの光路に分けられる。それぞれの光が変調器によってアダマールコード変調を受ける。変調を受けた4つの光は、それぞれの光路を通して1つの検出器に集光される。8回の変調が1組のデータとなる。アダマールコードは直交行列なので1組のデータを逆変換することにより4つの光路の信号強度が独立に得られる。つまり8ショットの測定で4つの光路の信号量がそれぞれ1つずつ得られることになる。レーザー発射のタイミングは、コード変調器と同期させる。またこのシステムは、コード変調器を用いない場合には、1本の光路での実験も可能である。

3. 実験結果

3. 1 1本の光路による長光路吸収実験

実験室内において1本の光路による長光路吸収分光実験を行った。二酸化炭素の測定を目的として、色素レーザー 750nmの2ndストークス光による2 μ m帯のレーザー光を用いた。二酸化炭素は4 μ m帯により強い吸収線を持つが4 μ m帯のレーザー出力が弱いため、2 μ m帯を選択した。光路長は約20mである。波長スキャンによりAFGL(米国空軍地球物理学研究所)作成の大気吸収モデルとよく一致する二酸化炭素と水の吸収スペクトルが得られた。レーザー波長を固定した場合1ショット当りの測定精度は、約4%であった。これは、各信号をパワーモニター信号で補正した200ショットの信号の標準偏差である。測定誤差がランダムノイズのみであると仮定して、二酸化炭素による吸収量が約10%のところ波長を固定し10分(6000ショット)の測定を行なった場合、二酸化炭素濃度の測定精度としては約0.5%となる。さらに光路長を長くとり(実験室外での測定を行なう)、より強い吸収波長を選択する、光学系及び信号処理系の改良などにより測定精度の改善が可能である。

3. 2 アダマール変換を用いた多重化実験

実験室内においてアダマール変換を用いた多重化の基礎実験を行った。4つの信号がそれぞれ復調できることを確認した。多重化を行なわない場合と同じ条件で波長を固定して信号の測定精度を求めた結果、1組(8ショット)のデータ当り各光路の信号強度の精度は約12%となった。1本ずつ光路をおおっていくと、残りの光路の測定精度が向上し最後には多重化を行なわない場合の測定精度となることがわかった。多重化による精度が悪いのは、特に光検出器、積分回路、アンプを含めた信号検出系の非線形性の影響及び光学系に原因があるものと思われる。

4. まとめ

システム全体に関して、光学系、信号処理系の改良により測定精度の向上が期待される。アダマール変換を用いた多重化の測定に関しては、信号処理系の非線形性の補正などによって他の光路の影響を除く必要がある。今後はこのシステムを用いレーザー光を室外に打ち出し野外パスでの実験も行なっていく予定である。