

## 温室効果を学ぶ実験教材の開発-光音響効果を用いて-

福原 朗子 (北大院環境・北科大工)

山中 康裕 (北大院地球環境)

### 1. はじめに

地球温暖化という「言葉」は広く知られており, 新学習指導要領の告示 (H20 年度) 以降, 環境に関して学ぶ機会は小学校の総合学習や道徳などの科目において増加した. その一方, 温暖化の「しくみ」である気体の温室効果については, 高等学校の地学基礎 (H27 年度履修率 26.9%・文部科学省) の範囲に含まれ, 70%以上の方は, 学習する機会を持たないまま高校を卒業する. 温暖化の対策は国や業界での取り組みに加え, 市民の意識や行動に変化を与え得る教育が必要である.

金子らは, 光音響効果を用いて, 赤外線吸収による気体の小さな温度変化を視覚化し, 比較可能にする実験装置 (以下, PA 装置) を開発した<sup>1)</sup>. また, 福原・小川らがこの装置の音響信号の解析を行った<sup>2)</sup>.

現在は北海道科学大学の一年生約 320 名を対象に, この PA 装置を使用して気体の温室効果の解説と演示実験を行っている. 本稿では, この実験装置の概要, 実験特性, 教材としての今後の展望について報告する.

### 2. 実験装置の概要

光音響効果とは, 光エネルギーを吸収した分子の温度が変化し, それにより, 閉じ込められた気体の圧力変化がおり, それが音響波として捉えられる現象である. PA 装置は, 3つのパーツからなる(図 1). (I)光源部: 赤外光源(1)から出た赤外線は, 5つの穴の開いた回転円盤(チョッパー) (2)を通過して赤外線パルスとなる. (II)気体セル部: 円柱状のガスセル(3)には, 赤外線に対して高い透過率の KBr の結晶板からな

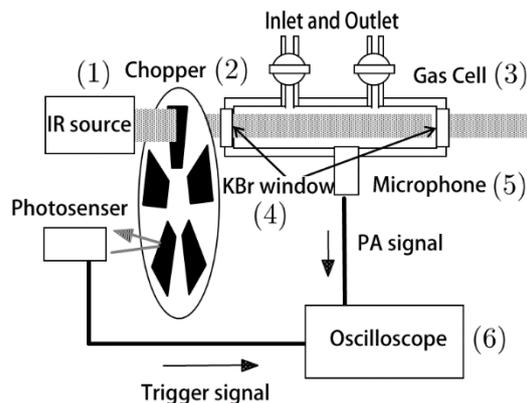


図 1 PA 実験装置の概略図<sup>1)</sup>

る窓(4)がある. 赤外線パルスは, 内部のガスを暖め, 内部温度と圧力は同じ周期で変動し, 音響波を誘起する. (III)検出表示部: 音響波をマイク(5)で検出して, オシロスコープ(6)で表示する.

本実験で用いる PA 装置では, (1)PA の持つ熱的時間特性より短い, 数十から数百 Hz の光パルスを使用し, 微小な温度変動成分に注目して, 光音響効果を高感度かつ短時間に音響波として測定できる, そのため, (2)窒素と混合させて, 濃度 1~100%にした温室効果ガスの応答も細かく計測できる(学生が, オシロスコープの波形の振幅や, スピーカーを用いて音として確認できる).

### 3. 気体の種類別実験結果

PA 装置を用いて窒素と二酸化炭素を用いた実験結果を示す. (図 2). この装置では三角関数に類似した周期信号が観測される. 温室効果をもつ二酸化炭素を用いた場合, 赤外線の吸収により音響信号が検出されるが, 温室効果を持たない窒素の場合は検出されないことがわかる.

#### 4. 音響信号と赤外吸収の関係

次に光路長3cmのガスセルを用いて、二酸化炭素の濃度を変えて音響信号を比較した。濃度は二酸化炭素と窒素の体積比とし、調整にはプラスチック製シリンジ10ml, 100ml容を用いた。窒素100%の値を二酸化炭素濃度0%とした。またこの音響信号がどの波長域の分子振動に由来するか調べるためにFTIRを用いて400~4000  $\text{cm}^{-1}$ の赤外透過率を調べた。PA装置のガスセル部は取り外しが可能で、音響信号の測定直後にガスセルをFTIRのサンプル室にそのままセットし赤外透過率の測定を行った。窒素100%の値を空白とした。二酸化炭素の1%と10%結果を図3に示す。これらのデータはA帯B帯C帯（ピーク波長15, 4.3, 2.8  $\mu\text{m}$ ）に分けてピーク面積を算出した。

FTIRのピーク面積と音響信号の重回帰分析を行い、音響信号から濃度を推定した。二酸化炭素の場合、3つの波長域の組合せのうち、B帯のみのデータを用いた予測値と実測値に程よい一致が見られた。その結果を図4に示す。

#### 5. フィルター効果

赤外吸収をより深く理解するために装置光源部とガスセル部の間にフィルター素材をかざす実験を考えた。顕微鏡観察時に使用するカバーガラスは、可視光で透明の素材であるが赤外光では約1500  $\text{cm}^{-1}$ 以下で不透明である。二酸化炭素の吸収帯で当てはめると、A帯は0%, B帯とC帯で約90%の透過率のため、複数枚重ねて使用すると音響信号を徐々に減少させることができる。これは、光学的厚さの理解、赤外光が自然界で雲やエアロゾルに吸収・反射される例として使用する。

謝辞：科研費 基盤研究(C)(16K01028)より研究資金を得た。

注および参考文献：

- 1) J. Chem. Edu. 87, 202-204(2010)
- 2) Eur. J. Phys. 33, 623-635 (2012)

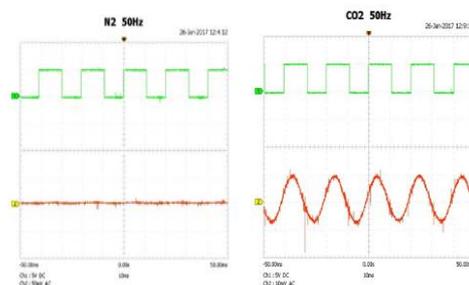


図2 N<sub>2</sub>(左)とCO<sub>2</sub>(右)の音響信号(下)

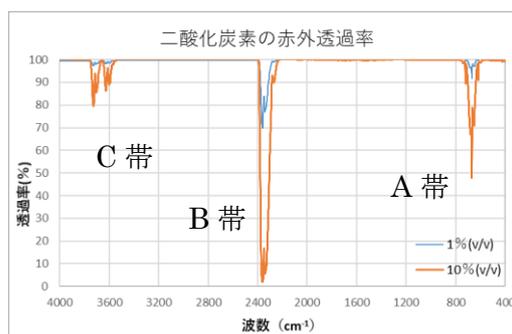


図3 CO<sub>2</sub>の赤外透過率

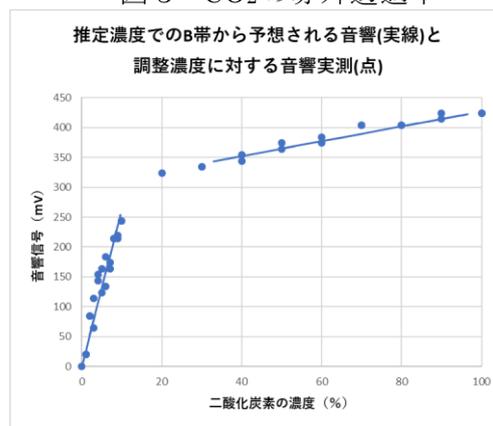


図4 CO<sub>2</sub>の推定濃度と調整濃度における音響信号の比較

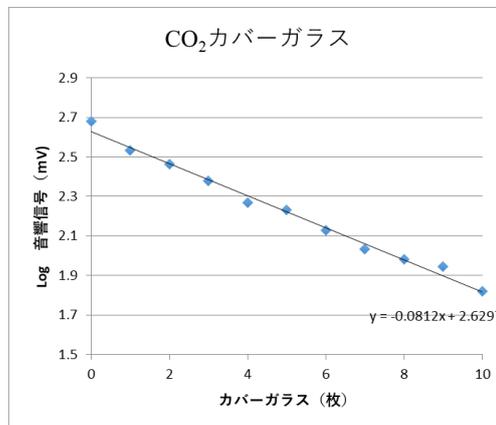


図5 フィルター枚数と音響信号