



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光音響効果を用いた気体の温室効果を学ぶ実験教材に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	福原, 朗子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第14600号
Issue Date	2021-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/82336
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	FUKUHARA_Akiko_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 福原 朗子

学 位 論 文 題 名

光音響効果を用いた気体の温室効果を学ぶ実験教材に関する研究

A Study on development of the educational material to learn greenhouse effect of gas
using photoacoustic effect

二酸化炭素などの温室効果気体によって、大気における温室効果が起こる。多くの人が、言葉として知っているものの、高校や大学で習う自然科学的な知見と結びつけて理解する機会は少ない。本研究では、Kaneko *et al.*(2010)で開発された光音響効果の実験装置に関して、気体セルに封入された二酸化炭素が赤外線を断続的に吸収する様子を音響信号として検出できるメカニズムや、気体セルにおける入射量・吸収量・透過量に関するエネルギー収支、気体セルに封入された二酸化炭素の光学的厚さ、について高校生や大学生が理解できるような説明と裏付けをまとめた。

第一章では、序論として、既存の温室効果を理解する教材の課題を挙げ、太陽放射と地球放射、二酸化炭素の赤外吸収と黒体輻射の関係や光学的厚さ、光音響効果などの、教材を作るうえで考慮すべき内容について説明する。第二章・第三章で用いる実験装置の概要を紹介する。実験装置は、赤外光源とチョッパーによって赤外線の断続光を作る部分、赤外線を入射・透過させる温室効果気体を封入する気体セルの部分、気体セル内の圧力変化をマイクにより音響信号として検出し、オシロスコープで表示させる部分からなる。Kaneko *et al.*(2010)では、気体の種類によって音響信号が異なること、気体の濃度が高くなると音響信号が大きくなること、断続光の周波数が高くなると音響信号が小さくなること、などが示されている。

第二章では、断続的な赤外線を吸収する温室効果気体に対する、高校生や大学生が扱う電気回路(CR回路)と相似となる熱収支の方程式を考察した。気体の温度変化は、気体が吸収した赤外線エネルギーと熱伝導で失うエネルギーの差で表される。この考察から、断続的な赤外線の周波数が、気体の比熱と熱伝導係数から決まる時定数よりも十分に速いとき($\gg 100\text{Hz}$)、音響信号の振幅は角振動数に反比例することが示された。反比例することとともに、矩形波として与えられる断続光の基本周波数と高周波成分の比の周波数特性など、方程式の解から実験結果を説明することができた。

第三章では、この実験装置のエネルギー収支と光学的厚さについて考察する。先行研究では、気体の種類や濃度で変わる音響信号、すなわち、気体による赤外線の吸収量の相対値で議論していた。そのため、入射される赤外線のどのくらいが吸収されているか(吸収率)などを求めることが出来なかった。第三章では、地表からの赤外線の一部が吸収されたりする大気の熱収支をイメージして、2つの

気体セルを縦列配置し、2つの気体セルの吸収量から、それぞれの入射量や透過量を含めたエネルギー収支を考え、それらの量を見積もった。2つの気体セルに同じ温室効果ガスを封入すれば、その気体の吸収帯だけに注目した赤外線エネルギー収支を考えることが出来る。今回、光源から近い気体セル(1段目)に0%から100%までCO₂濃度を変え、遠い気体セル(2段目)には(1段目の透過量のいわば検出器として)CO₂濃度100%を封入することにした。試行錯誤の結果、簡単なエネルギー収支として、経験的補正係数を導入することで、入射量や透過量を見積もることが出来るようになった。そのことにより、1段目のCO₂濃度に応じた吸収率を見積もることが出来た。

光学的厚さは気象学における基礎的概念であるが、一般の高校生や大学生にとっては初めて聞くことになる概念である。そのため、光学的厚さを(顕微鏡で使われる)カバーガラスの枚数に置き換えられるように、その吸収率も計測した。カバーガラスは、可視光で透明だが、赤外光に対しては半透明であり、枚数を重ねる毎に透過率は下がり、CO₂濃度100%を封入した2段目の音響信号が小さくなる。なお、FTIR（フーリエ変換赤外分光高度計）を用いて、波長ごとのCO₂の吸収帯とカバーガラスの透過率から、カバーガラスの計測された吸収率を確認することが出来ている。波長毎の特性も、高校生や大学生の温室効果の理解に役立たせることが出来る。

第四章では、第二章や第三章について、高校生や大学生が温室効果の理解するための教材という視点からまとめた。本研究では、Kaneko *et al.*(2010)が開発した光音響効果の実験装置を元にして、温室効果ガスが断続的な赤外線を吸収する様子を音響信号として検出できる過程を確かめるとともに、気体セルを縦列配置させることで、入射・吸収・透過について実体験させ、高校生や大学生が光学的厚さもカバーガラスの枚数(厚み)で理解できるようにした。本研究では、温室効果ガスのうち、二酸化炭素のみを扱った。今後の研究では、他の温室効果ガスも扱い、赤外線のうち、気体特有の吸収帯での吸収していることを理解する教材なども開発することが望まれる。