

研究報告

地球温暖化デモンストレーション実験器

川村 康文 信州大学教育学部 380-8544 長野市西長野 6-ロ

地球環境問題について学習ができる実験教材を求める声は大きい。これまでも地球温暖化を、実験を通して視覚的に説明するための実験器を製作してきたが、今回、実験結果が安定に得られるものが完成した。簡易な地球モデルを2個用意し、一方の地球モデルはそのままの空気の状態に、もう一方の地球モデルは二酸化炭素が充填した状態にし、温室効果の比較を行うものである。この実験器の特徴は、地球モデルを熱源の周りに周回させ、各地球モデルが単位時間あたりに熱源から受ける熱量を等量にした点と、実験器を持ち運びしても精度が狂わないように製作することにより、社会教育の場面などに前実験器として利用が可能な点である。

キーワード 二酸化炭素の赤外線吸収、地球温暖化

1. はじめに

温室効果ガスによる地球の温暖化を、児童・生徒に理解させるためのデモンストレーション実験器を求める声は大きい。これまでも、いろいろなタイプの温室効果実験器*を製作してきたが、安定した実験結果が得られにくいという問題点や、実験装置が大がかりなものであったり、準備が大変であるという問題点があった^{1), 2), 3)}。今回、これらの問題点を克服し、実験結果が安定なタイプのものが完成した。

特に2つの熱源を用いて、2つの地球モデルに熱エネルギーを与えるタイプの実験器では次の点が問題であった。ランプでは、製品としては同じ企画の商品であっても、各ランプを1つずつ点検すると、単位時間あたりの熱放射量が異なる場合が多い。このため、たとえランプと地球モデルとの距離を厳密に等距離に設定しても、より多くの熱放射をするランプを照射した側の地球モデルの方が高温化し、二酸化炭素などの温室効果ガスによる高温化よりも、寄与が大きかった。つまり、より熱い側のランプでは、二酸化炭素の温室効果による高温化よりもランプの特性のために高温化してしまうという問題点があった。このため、同じ熱さの2つのランプを、実験で計測することによって選び出す必要があった。

そこで、2つのランプを用いるのではなく1つのランプを熱源として用いることにより、実験条件からランプの製品としてのばらつきを解消しようとしたが、ランプが放射する熱量は、ランプ照射する方向によって異なるという問題があった。このため、ランプから等距離に地球

モデルを置いても、その方向にランプから強い熱放射がある場合、温室効果ガスによる高温化の効果を隠してしまった。

そこで、今回製作した実験器では、1つの熱源の周りに、地球モデルを周回させることにより、各地球モデルが、単位時間あたりに受ける熱量を等量とすることで、温室効果ガスによる温室効果を顕在化させることができるように改善した。

この実験器では、温室効果ガスに二酸化炭素を用いた場合、二酸化炭素による温室効果が明確に示され、地球温暖化のデモンストレーションを示すことができた。また、熱源を実験器中央部に強固に固定し、地球モデルを取り付けるアームも強固なものとする事により、実験器の持ち運びによって、熱源と地球モデルとの距離が狂うことを防ぐことが可能となり、より安定した実験器とすることができた。

以上、この実験器を用いることにより、学校の授業においても、あるいは社会教育の場においても、地球温暖化を示す演示実験が簡易に行うことができるようになった。

2. 実験器材

2.1 地球温暖化デモンストレーション実験器

温室効果ガスによる地球温暖化デモンストレーション実験器は、図1に示すように、中央部に熱源を設置し、その熱源の周囲を簡易に作成した2つの地球モデルが周回するように製作した。

1. 地球モデルの製作には、ポリスチレン製の透明半球を4個用いる。透明半球を2個ずつ組み合わせて球形にしたものを地球モデルとした。一方は普通の空気のままとし、もう一方には二酸化炭素を充填する。実験に用いた二酸化炭素ボンベの製品としての濃度は、95%であった。

* 1. 第46回全日本教職員発明展特別賞（弁理士会長賞）、1998。
2. 第2回ひょうごエコグッズ大賞 優秀賞、2000。

2. 光源には、赤外線ランプ100Wを4個用いた。これら4個の赤外線ランプは、それぞれ90°間隔で取り付けられた。用いた赤外線ランプは、東芝IRYO100/110V100WRMで、全長は145mm、ガラス球の処理は硬質赤色ガラス、形式はR、ガラス球の径は100mmである。口金はE26、定格消費電力100W、放射効率40%、定格寿命5,000hである。実験器にはこれらの赤外線ランプが4個取り付けられているので、実験器を運転中はランプの出力は合計400Wである。
3. 回転システムは、廃材となったモーターを、電圧コントローラで回転数を落とし、さらにプーリーを用いて減速し、回転周期を2秒から3秒とした。地球モデルは、モーターに取り付けられた回転棒に取り付ける。

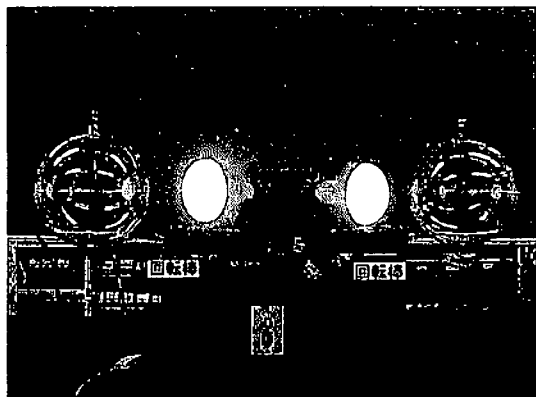


図1 温室効果ガスによる地球温暖化デモンストレーション実験器

4. 温度計測には、デジタル温度計を、図1のように各地球モデルに設置し、30秒ごとに地球モデル内部の温度の計測を行う。なお、用いたデジタル温度計は、佐藤計量器製作所のSK-250WPである。分解能は0.1℃、本体精度は±0.1℃以内、センサー精度は±0.1℃以内（-30.0～240.0℃）、センサーはサーミスターでSWP-01型である。プローブはステンレス（SUS-304）製で、先トガリ型である。本体・プローブ部ともにJIS C 0920「保護等級6」（いかなる方向からの水の直接噴流を受けても内部に水が入らないもの）に準拠した防水構造である。

2と3の方法を組み合わせることにより、同じ製品規格の4個の赤外線ランプのうちどれかが他のものよりも、やや高温か逆にやや低温であっても、それら4個の赤外線ランプのまわりを、それぞれの地球モデルが回転するので、各地球モデルが1周期の間に受けるエネルギーは等しくすることが可能になった。

2.2 多目的分光放射計

地球モデルの放射強度の測定には、マキ製作所製多目的分光放射計MSR7000を用いた。この計測器では、200nmから2500nmまでの範囲にわたって、光源から放射され

るエネルギーの強度を計測することができる。赤外線ランプのスペクトルの強度分布と、普通の空気の地球モデルを透過してきた光のスペクトル分布と、二酸化炭素の濃度をほぼ100%に充填した地球モデルを透過してきた光のスペクトル分布を比較することにより、二酸化炭素が充填された地球モデルでは、二酸化炭素による吸収が生じていることを確かめることができる。

3. 実験方法

3.1 温室効果ガスによる地球温暖化デモンストレーション実験器での温暖化の計測

1. ポリスチレン製の透明半球2個をあわせて1個の地球モデルとする。この地球モデルを2個準備する。
2. 地球モデルのうちの下部の側の透明半球の底に3φの穴をあけ、その穴に3φのボルトを挿入し、透明半球とボルトをボンドで固定し、回転システムの回転棒にナットを用いて取り付ける。
3. 地球モデルの上部の側の透明半球の天頂に3φの穴を1個、3φの穴を挟むようにその付近に4φの穴を2個、合計3個の穴をあける。天頂の穴には、デジタル温度計のセンサーを挿入する。また、この際、デジタル温度計のセンサーを挿入した穴の隙間から、地球モデル内部の気体が漏れないようにシールする。4φの穴の一方には、ノズルを利用して、二酸化炭素をガスボンベから充填する。このとき、他方の4φの穴から、地球モデルの内部の空気を外部に追い出すことができる。この方法により、地球モデル内部の気体をほぼ100%置換することができる。
4. もう一方の地球モデルは普通の空気のままの状態とする。地球モデルの底には3φのボルトを取り付け、回転棒にナットを用いて取り付ける。天頂の部分に3φの穴を開け、デジタル温度計を取り付ける。
5. 回転システムは、電圧コントローラを用いて回転速度を調節し、周期を2秒から3秒とする。
6. 地球温暖化デモンストレーション実験器の中央の熱源には、100Wの赤外線ランプを4個用いる。これらの赤外線ランプの点灯を確認しておく。
7. 回転システムを起動させると同時に、中央部のランプを点灯させる。30秒ごとに、デジタル温度計で、両方の地球モデル内の温度を計測する。両者の差が明確になればデモンストレーション実験を終了する。およその目安として、6分程度が考えられる。

3.2 多目的分光放射計での赤外線吸収の計測

1. 多目的分光放射計で、赤外線ランプ1個の放射強度を測定する。ディテクターと赤外線ランプの距離は50cm

とした。

2. 普通の空気の状態の地球モデルを、多目的分光放射計と赤外線ランプの間の中央に置き、この地球モデルを透過してきた光の放射強度を測定した。ディテクターと赤外線ランプの距離は50cmのまま一定とした。
3. 二酸化炭素の濃度が高くなった地球モデルを、多目的分光放射計と赤外線ランプの間の中央に置き、この地球モデルを透過してきた光の放射強度を測定した。ディテクターと赤外線ランプの距離は50cmのまま一定とした。
4. 1～3で計測した放射強度を1つのグラフにすることにより、地球温暖化デモンストレーション実験器において、二酸化炭素による赤外線の吸収があるかどうかを確認する。
5. 地球温暖化デモンストレーション実験器で用いた地球モデルの材質はポリスチレンであるが、ポリスチレンによる光の吸収がみられるため、この波長域で吸収が比較的少ないガラス容器を用いた地球モデルを用いて、上述の1～3を行い、二酸化炭素による赤外線の吸収を確認した。

4. 実験結果

4.1 二酸化炭素による温室効果

温度計測によって得られた実験データを表に示す。2つの地球モデルのうち、一方は普通の空気の状態のもので、もう一方は二酸化炭素を封入したものである。二酸化炭素の濃度はほぼ95%である。室温は26.0℃であった。

表 二酸化炭素を封入した地球モデルと普通の空気を封入した地球モデルの温度の時間的変化

時間(秒)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
二酸化炭素	26.6	27.3	28.0	28.6	29.2	29.7	30.1	30.5	30.9	31.3	31.5	31.8	31.9
空気	26.6	27.3	27.9	28.5	29.1	29.5	29.9	30.3	30.6	30.8	31.1	31.3	31.4

得られたデータをグラフ化すると、図2に示すグラフが得られる。

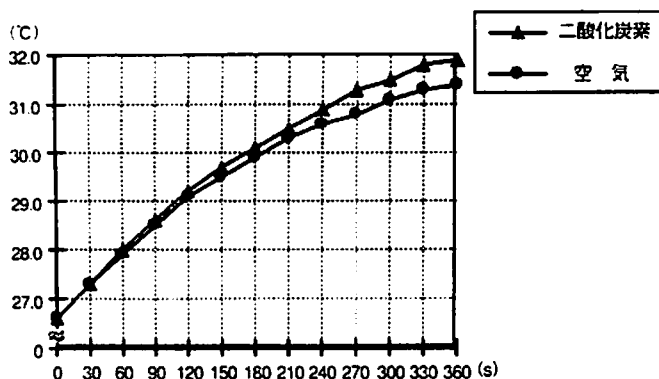


図2 二酸化炭素を封入した地球モデルと普通の空気を封入した地球モデルの温度の時間変化

図2より、二酸化炭素を封入した地球モデル内では、普通の空気の状態に比較して高温化していることがわかる。このことにより、二酸化炭素の温室効果を示すことができた。

4.2 二酸化炭素による赤外線吸収

本地球温暖化デモンストレーション実験器において、二酸化炭素の濃度が高い地球モデルで、赤外線の吸収があるのかどうかをみるため、マキ製作所製多目的分光放射計 MSR-7000 を用いて、二酸化炭素の赤外線吸収の確認実験を行った。

図3より、実験に用いた赤外線ランプのスペクトルは、620nm 付近より立ち上がり、測定器の限界の2500nmまでの分布が確認できた。得られた曲線の形態から2500nm以上の長波長域の光を含んでいることが推測できる。

また、この実験で用いた普通の空気の状態の地球モデルを透過したスペクトル及び、二酸化炭素を充填させた地球モデルを透過したスペクトルもあわせて示した。

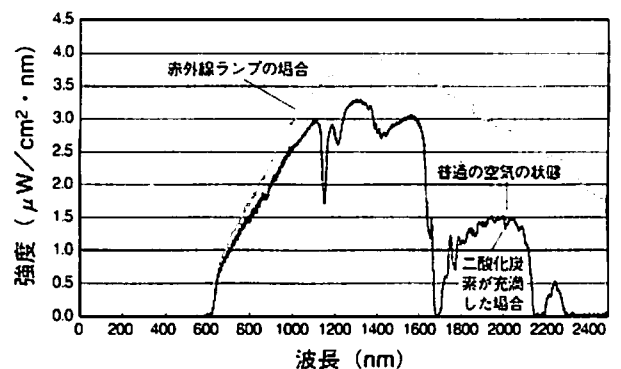


図3 多目的分光放射計で計測した赤外線ランプのスペクトル強度 (ポリスチレン容器)

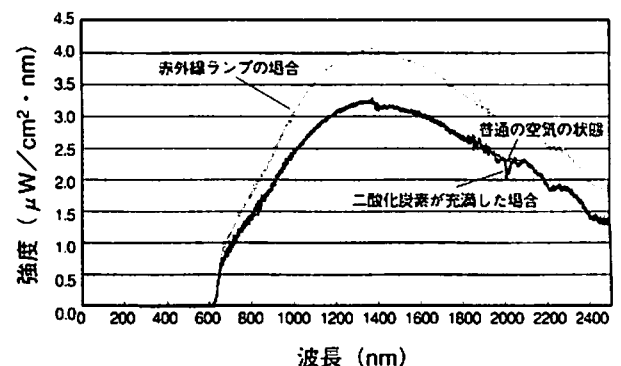


図4 多目的分光放射計で計測した赤外線ランプのスペクトル強度 (ガラス容器)

図3のグラフでは、2000nmで二酸化炭素による吸収帯がみられた。しかし、この波長付近ではポリスチレンによる吸収帯が多数存在し観測しにくい。そこで、2000nmでの二酸化炭素による赤外線の吸収を確認するために、ポリスチレンの代わりにガラス容器を用いて、同様のス

ペクトルを観測したところ、図4に示すように、二酸化炭素の2000nmでの吸収が観測できた。なお、大型フラスコは製造の方法として1個ずつ吹いて作られるため、光学的に同等の性質のものを2個準備するのが難しいと考えられるので、このデモンストレーション実験器には向かないと判断し、本実験には利用していない。

5. 考察

今回示した実験器では、二酸化炭素の濃度が高い地球モデルの方が高温化することが、再現性よく安定して得られた。これまでの実験器では、実験を行った会場（例えば、青少年のための科学の祭典の各地大会など）の照明施設の影響や会場内を吹く風の影響などで、予想と逆の結果を示すこともあったが、本実験器ではそのようなことは生じなくなった。

成功の主たる理由は、光源を中央部に設置し、地球モデルを光源の周囲を周回させることにより、2個の地球モデルが単位時間に受け取るエネルギーが等量となるようにしたことである。また、それ以外の会場の証明などからの熱エネルギーも、地球モデルを回転させることで、各地球モデルが単位時間に受ける影響も同等のものとすることができたからである。

地球モデルそのものに関しても、各地球モデルの特性のばらつきが少なくなるように準備することができた。透明半球は比較的安価であるため、地球モデルに汚れが目立てば2つの地球モデルを同時に取り変えることにより、2つの地球モデルの間に、温度上昇が異なることに対する要因が入らないよう対処することができた。

最後に、二酸化炭素の濃度の高い地球モデルの方が温度上昇が大きい原因として、この実験器における地球モデル内の二酸化炭素が赤外線を吸収しているのかどうかを示す必要があった。ポリスチレンの場合、図3に示すように、測定された波長領域に吸収帯が多いが、2000nmの近傍の波長領域以外では、普通の空気の状態の地球モデルと二酸化炭素の濃度が高い地球モデルの何れにおいても、放射強度曲線は重なり合っている。二酸化炭素の濃度が高い地球モデルでは、波長2000nmで二酸化炭素独自の吸収がみられ、赤外線の吸収が確認できた。

さらにこの現象を顕在化させるため、つまり地球モデ

ル内の二酸化炭素が、この2000nm近傍の赤外光を吸収していることを確認するため、1個のガラス製フラスコで、普通の空気の場合と二酸化炭素を充填させた場合とで、放射強度を比較した。その結果、図4に示すように2000nmでの二酸化炭素による赤外線の吸収が、より顕著に観測された。このことにより、本実験器の地球モデル内の二酸化炭素は赤外線を吸収し、普通の空気の状態の地球モデルに比較して、温暖化していることが確認できた。

6. おわりに

学校教育現場では、地球環境問題について、科学実験を通して学習させることができる実験器が求められているが、本実験器はそのようなニーズに応えることができるのではないかと考えている。

実際に授業で行う場合、図2に示したようなグラフの作成より、温暖化を学習する授業は可能であると考えられる。しかし、図3、図4のような二酸化炭素による赤外線の吸収実験までを授業に組み込むのは難しいと考えられる。そこで、本研究で報告したのと同じ方法での地球温暖化デモンストレーション実験器での実験を授業でされる場合の補足情報として、ホームページなどに、図3、図4の情報をアップしておくことが重要と考えられる。

一方、学習者自らが、学習する上での情報源として、インターネットが利用できる環境の構築も重要である。その環境のなかで、学習者の情報リテラシーを向上させることにより、学習者自身が自ら、上記情報源にアクセスし主体的に学んでいくことを支援したいと考えている。

本実験器を、社会教育の場面に積極的に利用して頂ければ幸いである。

引用文献

- 1) 川村康文「ペットボトルを利用した簡単な温室効果実験」理科の教育, Vol. 48, No. 9, pp. 46-48, 1999.
- 2) 川村康文「温室効果実験」植上慎二・オンライン自然科学教育ネットワーク著「ふしぎ体感, 科学実験」講談社ブルーバックス, pp. 140-143, 1999.
- 3) 川村康文「温室効果実験」『サイエンスEネットの親子でできる科学実験工作』かもがわ出版, pp. 114-117, 2000.

(2004年6月26日受理)