

地球温暖化実験装置を用いた理科学習の実践

中山慎也*†・村上隆正**・重松宏武***†

Shinya NAKAYAMA*†, Ryusei MURAKAMI** and Hirotake SHIGEMATSU***†

Example of Practicing Science Study Program with Global Warming Experiment Device.

要 約

二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化現象を児童・生徒に演示実験を通して理解させるため、安定した実験結果が再現性良く得られる効果的な実験装置を製作した。

アクリル製の透明半球を2個組み合わせ、内部にボウリング球を入れて模擬地球と仮定した。模擬太陽と仮定して熱源に赤外線電球4個を用いた。二酸化炭素あるいは窒素を仮想大気として模擬地球内の空気を置換し、赤外線電球を回転させながら15分間加熱した。加熱を終了すると両気体ともに冷却されていたが、二酸化炭素は窒素を用いた場合と比較して一時的に1.3℃ほど気温が高くなり冷却されにくい傾向が観測された。

小学校・中学校の理科学習で二酸化炭素や地球環境など地球温暖化の問題を考察できる学習内容を調査した。小学6年生「ものの燃え方と空気」の単元において本装置を活用した授業を平成17年からの2年間で延べ37回、約2,000人の児童を対象に出雲科学館において実施した。装置の仕様と実験条件および結果について述べ、演示実験に用いた理科学習の実践例について詳細に報告する。

【キーワード：地球温暖化，理科学習，環境学習，授業実践】

1 はじめに

小・中学校の教育現場では理科や総合的な学習の時間において、地球温暖化・オゾン層の破壊・熱帯雨林の減少・酸性雨（霧）・海洋汚染・都市生活型公害などの問題¹⁾について学習ができる実験装置の開発やその活用事例を希望する声が多い。その中でも特に地球温暖化については、その現象の理解を支援する実験装置が開発されている²⁾。しかし、安定した実験結果を得るためには装置を使用する部屋の空調や照明などの条件を十分に考慮する必要があった。これらの条件によらず安定した実験結果が得られるように、川村³⁾は装置への改良を加えている。

これまでに報告^{3,4)}されている実験装置による温度変化のグラフをみると、地球が太陽からの光を浴びている昼（地表からの赤外線の放射による温暖化も同時に生じている）の様子を再現したものがほとんどである。しかし、これだけでは単に空気（主成分の窒素と酸素）と二酸化炭素の比熱容量⁵⁾の違いが寄与して温度変化が生じている可能性も考えられる。太陽光があたらない夜には、地表や海から放射された赤外線の一部が温室効果ガスによって吸収されて熱に変換される。大気中の温室効果ガスの濃度が高くなればそれだけ地球が温室のように暖められるので、夜は温度が下がりにくい状態になると考えられている。このような地球の夜の状態（保温効果）を示すデータは鈴木⁶⁾により報告されているが、データの

再現性は完全では無かった。

また、M. Adelhelmは黒色の物質を地球モデル内部に共存させておくことが温度の上昇に関して重要であると報告²⁾しており、装置の仕様についても再検討する必要がある。

そこで、出雲科学館（以後、当館とする。）では装置の仕様について検討を行い、新たに変更を加えた装置を製作し実験を行った。その結果、地球の夜の状態の温度変化を示すグラフを再現良く得ることができた。小学6年生を対象にした当館での理科学習において、この装置を使用した際の実験結果とその実践例について報告する。

2 実 験

2.1 実験装置

地球温暖化実験装置は、地球モデルと太陽モデルによって構成されている。（写真1）地球モデルの作成には、アクリル製の透明半球（400φ）を2個組み合わせ、地球の大気層とし、内部にはボウリング球（エボナイト社、IMPACT、表面から約15mmの厚さでポリエステル層、濃青色で淡青色のまだら模様あり、210φ）を模擬地球と仮定して設置した。また、模擬太陽と仮定した熱源が回転するようにして中央部に設置し、地球モデルはその両側の等しい距離のところに置くように製作した。

* 出雲市教育委員会 出雲科学館

*** 島根大学教育学部 自然環境教育講座

** 出雲市立今市小学校

† 山陰エネルギー環境教育研究会

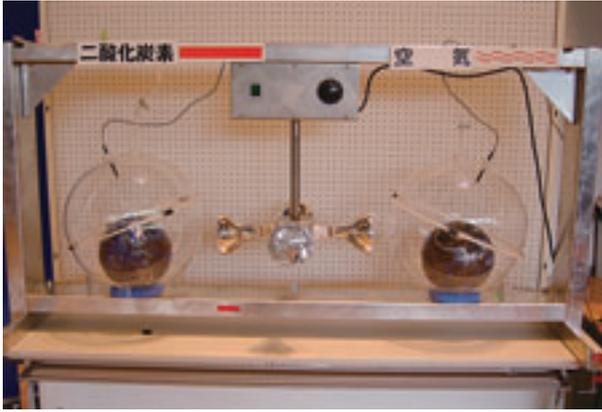


写真1 地球温暖化実験装置

地球大気層のモデルとして、一方へは二酸化炭素（山陰酸素工業99.5%）を、他方へは窒素（イワタニ山陰99.99%）を充填した。

熱源には赤外線電球（TOKI硬質IR100V125WRH）を4個用いた。これら4個の電球はそれぞれ90°の角度で水平に取り付けた。作動中の電球の出力は合計500Wとなる。2つの地球モデルへ均一に照射するために、熱源をモータによって回転させた。熱源部分を回転させることにより、2つの地球モデルが1周期の間に熱源から受けるエネルギーは等しくなる。

温度計測にはデジタル温度計（サイエンスメイトSL4・UCHIDA製）を用いて、5秒ごとに地球モデル内部の温度計測を行った。なお、用いた気温センサー（UK-10・UCHIDA製）の仕様はサーミスターで分解能は0.1℃、精度は±0.1℃以内、測定範囲は-20~60℃である。実験装置の寸法を図1に示す。

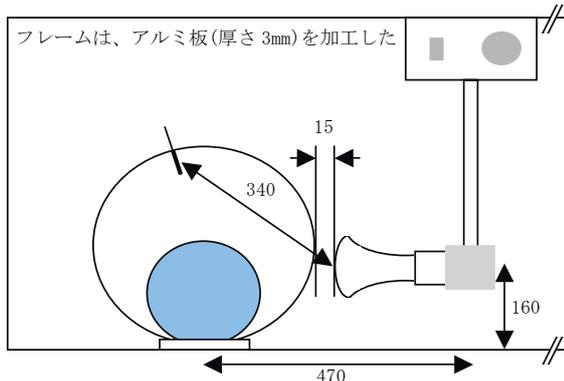


図1 装置の寸法 単位(mm) 左右対称に設計するため、熱源と左側の距離を示す

2.2 実験方法

1. 熱源からの距離が等しくなるように、アクリル製の透明半球を左右に1個ずつ設置した。

2. それぞれの半球の内部にボウリング球を置いてから、残りの半球をかぶせて蓋をした。実験中に内部の気体が容易に漏れないように半球の接触面にシリコングリースを塗った。

3. 透明半球の天頂から順に33, 29, 13φと合計3個

の穴を開けて、29φの穴にはシリコン製のゴム栓に気温センサーを取り付けた物を設置した。他の穴はシリコン製のゴム栓で蓋をした。

4. 33φの穴から気体導入用のホースを最深部へ挿入して、地球モデル内部へ各気体を10Lmin⁻¹の流量で5分間吹き込んで置換した。二酸化炭素の場合と比較検討がしやすいように空気の主成分である窒素で置換し、どちらの地球モデル内部も1成分の気体とした。⁷⁾

5. 熱源は、電圧コントローラを用いてモータの回転速度を調節し、回転周期11秒で作動させた。実験前に赤外線電球がしっかりとソケットに固定されていること及び置換した気体の温度が室温と同じになっていることを確認した。

6. 熱源の赤外線電球を点灯させると同時に回転させて、加熱を開始した。5秒ごとに、デジタル温度計で各地球モデル内の気体の温度を測定した。

2.3 実験結果

実験データから図2のグラフが得られた。加熱中（0~15分）に両者の温度差が明確になることはなかった。

赤外線電球を消灯させると同時に回転も停止させて、地球モデル内部の気体が冷却される変化に注目した。消灯時の地球モデル内部の気体の温度は、それぞれ27.6℃（二酸化炭素）と27.5℃（窒素）であった。

消灯後、二酸化炭素および窒素気体の温度差は0.1~0.3℃（15~19分）で推移し、わずかながら二酸化炭素の方が冷えにくい様子が分かる。しかし、ほとんど同じように両気体の温度は低下していった。

20分後（消灯5分後）から、両者の冷却の様子に明らかな違いが見られた。20~30分までの測定温度を表1に示す。

窒素雰囲気下ではそのまま速やかに冷却が進むのに対して、二酸化炭素雰囲気下では冷却速度が緩やかになった。二酸化炭素と窒素雰囲気下との温度差は最大で1.3℃に達した。29分以降は両者の温度差は縮小し、やがて室温へ戻った。

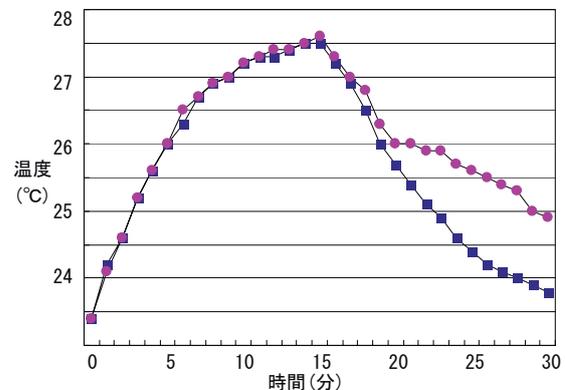


図2 二酸化炭素●と窒素■を充填した地球モデルの温度変化（加熱時間15分、室温23.4℃）

部屋の照明やエアコンから受ける影響⁸⁾ および左右の装置による違いが無いことを確認するために充填する気

体を左右入れ替えて実験を行ったところ、二酸化炭素側の冷却速度が緩やかになる同様の傾向が観測された。

なお、地球モデル内部のボウリング球を取り除いて各気体だけを充填して測定すると、このような冷却速度の減少はみられなくなった。

表1 20～30分(消灯5～15分後)の測定温度

時間(分)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
測定温度 N ₂ (°C)	25.7	25.4	25.1	24.9	24.6	24.4	24.2	24.1	24.0	23.9	23.8
測定温度 CO ₂ (°C)	26.0	26.0	25.9	25.9	25.7	25.6	25.5	25.4	25.3	25.0	24.9
温度差(°C)	0.3	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1

3 理科学習における活用

3.1 単元の選定

出雲市内の公立小中学校では理科の教科書は学校図書版(小学校)と東京書籍版(中学校)を採用していた。これらの教科書において、地球温暖化の問題を考察できる学習内容のある単元は表2の通りであった。

当館では、これまでに表2に示す(1)～(4)の単元について授業を実施してきた。年間授業計画や各単元の演示実験内容を検討し、小学6年生「ものの燃えかたと空気」の単元において本装置を活用することにした。

表2 二酸化炭素や地球環境に関する単元

番号	教科書	「単元名」	関連する内容
(1)	小学校 理科 6年	「ものの燃えかたと空気」	ろうそくが燃えた後、二酸化炭素ができていくか確かめる。
(2)	新編 新しい科学 1分野 下	「化学変化と原子・分子」	炭素と酸素の化合を化学反応式で書き表す。
(3)	新編 新しい科学 1分野 下	「エネルギー」	地球規模でのエネルギーの移り変わりを考える。
(4)	新編 新しい科学 1分野 下	「科学技術と人間」	エネルギー資源を有効かつ安全に利用することの重要性を認識する。科学・技術と人間や自然との関わりについて考える。
(5)	新編 新しい科学 2分野 下	「自然と人間」	地球規模での環境破壊や汚染の進行、自然環境を保全することの重要性を認識する。 自然界での物質(炭素)の循環の重要性について考える。

小学校:学校図書(平成16年2月検定済)中学校:東京書籍(平成17年2月検定済)

3.2 演示実験での使用

当館では市立小中学生に対して、午前・午後のそれぞれに三単位時間の理科学習を1学級あたり3人の指導者によるチームティーチングの体制で実施している。1時間目のサイエンスホールでの学習においては、児童・生徒の科学への興味・関心を高めることを目的に、大型の実験装置を用いた演示実験を主体とした授業を行っている。2,3時間目には、1時間目の内容に関連したテーマのもと児童・生徒が個別に実験や観察ができるように器具や装置などを十分に準備した授業を行っている。(表3)そこで今回、本装置はサイエンスホールでの学習の演示実験に用いた。

表3 小学生を対象にした学習時程

午前2学級(午後2学級)

9:55(13:40)

12:10(15:55)

移動	1時間目 サイエンスホール	休憩	2,3時間目 実験室または実習室 (休憩時間を含む)	移動
----	------------------	----	----------------------------------	----

※1 単位時間:45分間、学校からの移動時間は含まない。

1時間目の授業が始まると同時に、赤外線電球の電源を入れて地球モデルの加熱を開始した。加熱中は他の演示実験(表4)を順に実施し、地球温暖化現象に関する話題に入った時点で装置の仕組みを説明した。

また、赤外線電球を模擬太陽、ボウリング球を模擬地球と仮定することを説明し、それぞれの地球モデルへ充填した気体と加熱後の地球モデルの温度を児童と一緒に確認してから加熱を終了した。次に、日光があたらない状態(夜)になると、温度はどうなるのかを予想させ、しばらく様子を見て観測温度が下がり始めたのを確認した。その後、観測温度が下がるのにしばらく時間がかかるため、地球温暖化の影響も一因として考えられている氷河の衰退や珊瑚礁の死滅、洪水や干ばつなどの異常気象に関する映像を視聴させた。遠い外国の事象としてではなく、周囲を海に囲まれた日本、とりわけ日本海や宍道湖・中海の近くに位置する出雲市に住む私たちにとっても重要な問題であることを伝えた。このような地球温暖化の原因としていろいろな学説が唱えられているが、その1つとして大気中の二酸化炭素濃度の増加が指摘されていることを説明した。

そして、地球温暖化防止のためにひとり一人ができることについて考えさせ、エネルギーの節約を目指した生活習慣の改善を促す環境省作成の資料⁹⁾を配布して、その事例を解説した。(例えば、冷暖房の温度設定やゴミの減量など。)

赤外線電球の電源を切ってから5～10分後には、各地球モデルを測定している温度差が大きくなる。この時間帯を見計らって実験結果を解説した。日光が当たる昼は両モデル共通して温度が上がる。しかし、日光があたらない夜は二酸化炭素の多いモデルの方が温度が下がりにくい状態であることを、グラフを見ながら確認した。そして、赤外線電球の電源のON/OFFを繰り返すこと、つまり昼と夜が繰り返されることによって、二酸化炭素で満たされた地球モデルの方が温度は少しずつ高くなっていくことを推測させた。

表4 1時間目サイエンスホールでの演示実験項目

番号	「演示実験名」	演示時間	概要	※印:本装置に關係する操作
(1)	「固体・液体・気体の燃焼」	5分	燃える物・燃えない物を、三態それぞれで例示する。 ※赤外線電球の電源を入れる。	
(2)	「摩擦熱・集光熱を利用した燃焼」	5分	火打石や火起こし器、フレネルレンズやパラボラ集光による着火。	
(3)	「燃える時の条件は何か その1」	5分	可燃物と熱(温度)が必要であることを確認する。	
(4)	「燃える時の条件は何か その2」	5分	空気が必要であることを真空中での燃焼実験で確認する。	
(5)	「空気中のどの気体が燃える時にはたらくのか」	5分	各気体入りの集気瓶の中でろうそくの火がどうなるか確認する。	

(6)「地球温暖化現象および実験装置の解説」 3分 ※実験趣旨の説明と装置を紹介し、赤外線電球の電源を切る。
(7)「地球温暖化がなぜ問題なのか」 2分 氷河や珊瑚礁の破壊、洪水や干ばつなど異常気象の映像を視聴する。
(8)「二酸化炭素の発生を確認しよう」 5分 ろうそくの燃焼により、二酸化炭素が発生することを石灰水により確認する。
(9)「エネルギーの節約を目指そう」 5分 環境省作成の資料を用いて生活改善・節約事例を紹介する。 風力や太陽発電、燃料電池など社会全体の取り組み事例を紹介する。
(10)「地球温暖化実験の結果」 2分 ※夜になっても気温が冷めにくいことを確認する。
(11)「水素の燃焼」 3分 二酸化炭素を発生しないエネルギーを紹介する。

この装置は、平成17年4月18日から5月2日までの10日間および平成18年4月18日から28日までの9日間実施された小学6年生を対象にした当館での理科学習「燃えるってどんなこと？」の演示実験（延べ37回、約2,000人の児童対象）で使用された。

4 考 察

川村³⁾の実験装置では熱源からの放射熱量および室内の照明やエアコンの影響を均一に受けるように、中央部に設置した熱源の周りを地球モデルが周回するように工夫されている。しかし、地球モデルが回転すると温度を連続測定してリアルタイムにグラフ化するためには、データを無線でパソコン等へ送信する必要があった。今回の実験装置では2点について改良した。①熱源部分のみが回転するようにした。そのため、温度計測時にはパソコンへの接続機能の無い温度計でも児童が示度を読み取ってグラフ化するなど十分に対応できるようになった。ただし、本実験ではパソコンで計測できると同時にグラフ表示も可能な機種を用いて演示した。

②地球のモデルとしてボウリング球を用いた。これにより、地球の夜の状態で相当する温度変化のグラフが得られた。これは、赤外線電球によってボウリング球が暖められて表面から赤外線が放出され、二酸化炭素がそれを吸収したため地球モデル内の二酸化炭素の温度が下がりにくくなったからであると考えた。M. Adelmhelmの報告²⁾と同様に地球モデル内部には赤外線を放出することができる物質を共存させておくことが温度の上昇に関して重要であると推測できる。加熱時に、両モデルで観測される温度に差が生じなかったのは、ボウリング球の表面からの赤外線放射によって気体が暖められる速さよりも、電球からの放熱によって直接モデル内部の気体が暖められる度合いが大きいためであると考えた。

本装置では地球モデルを固定して熱源部分を回転させた。地球モデルを固定したことで部屋の照明やエアコンの存在が実験結果に影響を与えていないか確認する必要があった。そこで、左右の地球モデルへ導入する気体のみを入れ替えて再度測定を試みたところ、同様の結果が再現性良く得られたので、部屋の照明やエアコンから受ける影響⁸⁾は無視できると判断した。

今回の①や②の改善により、装置の回転動作部分の面

積が少なくすむようになった。また、これまでの実験装置と比較して、夜の地球モデルに対応する明確な温度差の観測が再現性良く得られるようになった。

理科学習の地球環境問題に関連する単元、特に地球温暖化に関する内容においては、本装置を用いて科学的な実験をすることができると考えられる。本実験には加熱から冷却するまでの時間として約30分間を必要としたが、取り扱う単元に応じて他の演示実験を組み込んだり関連する話題を提供したりすることにより時間調整をすることができる。

理科の授業では映像や資料集を参考にすることも重要であるが、児童・生徒の目の前で実験して温度差が明確に示されることは地球温暖化現象の理解を促すうえでとても高い教育効果が得られるものと思われる。

5 おわりに

二酸化炭素自身は地球温暖化を促進する気体であり、今後も化石燃料の使用等によって大気中の濃度が高くなれば、その温室効果によって温暖化がもたらされることは間違いでは無いと考えられている。しかし、二酸化炭素濃度の上昇の理由についてはもちろん、現在の地球温暖化の原因が種々の温室効果ガスの影響によるものかあるいはそれ以外の要因によるものか、科学的な結論はまだ出ていない状況である。そのため授業では、二酸化炭素だけに焦点を絞り、「二酸化炭素を排出しないためにはどうすればよいか」という視点ではなく、地球上の資源を有効に活用するため「子どもから大人までひとり1人で、エネルギーの節約のために何かできることは無いだろうか。」という視点からの解説にとどめることにした。

ともすれば、児童・生徒に二酸化炭素のみが悪者であるかのようなイメージを与え兼ねないが、二酸化炭素は植物にとっては光合成に不可欠なエネルギー源になっていることや温室効果ガスのおかげで暖まった地球から熱が逃げないため温暖な地表が保たれていることなど、化学物質への客観的な理解を促すために科学的な情報を総合的に説明する必要がある。

授業を受ける児童・生徒にとって、理科がよりいっそう好きになることはもちろん、エネルギーや環境に関する興味・関心を高め、理解を促すきっかけに本装置や本実践が役立つことができれば幸いである。

6 謝 辞

本装置は、国際ロータリー第2690地区の寄付を受けて製作された。当館での理科学習は島根県教育委員会および出雲市教育委員会、出雲市立小中学校の協力によって実施されている。

参考文献

- 1) 環境教育指導資料 (中学校・高等学校編), 文部省, 2-5 (1991).
- 2) M. Adelhelm, E-G. Hohn, *J. Chem. Edu.*, **70**, 73-74 (1993).
- 3) 川村康文, 物理教育, **52**, 234-236 (2004).
- 4) 山田卓三, おもしろ理科実験 調べよう! 地球温暖化～二酸化炭素のふしぎ～, 財団法人科学技術広報財団 (2005)
例えばこの小冊子では、山口県地球温暖化防止活動推進センター考案の実験装置を用いた結果を記載している。
- 5) バーロー 物理化学 上巻, 第5版, 東京化学同人 (1990). 巻末付録Bより 気体状態の定圧モル熱容量 (293K, 1atm)、二酸化炭素 37. 11, 窒素 29. 12, 酸素 29. 36 ($\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$).
- 6) 鈴木正明, サイエンスネット, 第18号, 12-15, 数研出版 (2003).
- 7) 空気には水蒸気 (湿気) が含まれる。特に四季のある日本では乾燥した冬季もあれば多湿な梅雨時期があるため、できるだけ乾燥した単一の気体で実験を行うことで再現性のある結果が得られると考えた。
- 8) 天井の照明はHIDランプHQL-TS150W/WDLの他にハロゲンランプJD110V215WN-EHや蛍光灯FDL27EX-Nなどを使用していて、エアコンの吹き出し口と同様に天井に埋設されている。天井と地球モデルの距離は約5mあり、実験中はエアコンからの風が装置に直接あたらないように設置した。
- 9) 環境省地球温暖化対策課国民生活対策室、環の暮らしコマメちゃんの部屋より「みんなでできる10のコマメシール」資料 <http://www.wanokurashi.ne.jp/intro/komame/index.html>

