

既存の地球温暖化モデル実験装置における欠陥

芹澤 嘉彦・奥沢 誠

群馬大学教育実践研究 別刷

第30号 17～25頁 2013

群馬大学教育学部 附属学校教育臨床総合センター

既存の地球温暖化モデル実験装置における欠陥

芹澤 嘉彦・奥沢 誠

群馬大学教育学部理科教育講座物理学教室

A defect in the existing model-experimental device for global warming

Yoshihiko SERIZAWA and Makoto OKUSAWA

Department of Physics, Faculty of Education, Gunma University

キーワード：地球温暖化，モデル実験装置，既存の装置，周囲の影響の排除

Keywords : global warming, model-experimental device, existing device, exclusion of surrounding influence

(2012年10月31日受理)

1 はじめに

地球温暖化¹⁾は、世界が直面している深刻な環境問題の一つである。地球温暖化については、二酸化炭素が増加することが原因であると一般的には言われているが、そうではなく時間的に長いスケールでの気候変動に過ぎないとする意見も含め、さまざまな議論²⁾がなされている。いずれにしても地球規模の様々な環境が複雑に影響し合っていることから、地球温暖化は解決が非常に困難な問題である。しかし、生物が生存する上で必要不可欠な条件—地球の環境—を変化させているのは、我々の活動にも少なからず原因があると考えられるため、地球温暖化を人類の重要な課題の一つとして捉え、対策を講じていくことが重要である。

地球温暖化については、COP3(国連気候変動枠組条約第3回締約国会議)で採択された京都議定書によって先進国における二酸化炭素の削減目標が定められたり、COPが継続的に開催され、COP18が2012年11月に開かれる予定だったり、世界的に関心が高い。日本においても、温室効果ガスを2020年までに1990年比で25%削減という国際公約が福島第一原発事故の影響などにより達成困難ではないかと話題になっていたり、環境保全のための活動であるECO活動が身近で活

発に行われていたりするため、「二酸化炭素の増加に伴って、地球温暖化が引き起こされる可能性がある」という知識を持っている人は少なくない。

平成20年度中学校学習指導要領の改訂においても、「地球温暖化についても触れる」という記述が加えられた³⁾。このような背景から、小・中学校の理科や総合的学習の時間において、地球温暖化についての教材の需要が高いと思われる。地球温暖化は、地球レベルの大規模かつ視覚では捉えることはできない現象のため、特にモデル実験を行える装置を用いることは、理解の助けになることはもちろん、子どもの興味を喚起できるものと考えられる。実際、地球温暖化現象の理解を支援する実験装置の開発がなされている^{4), 5)}。さらに、実験教材はインターネット上においても多数存在しているし、市販もされている。

しかし、既存の装置は地球温暖化現象をモデル化したとは言い難く、教材として不適切であると考えられている。ただ筆者らの知る範囲では、具体的に何が不足しているか、どこが欠陥なのか、明記されているものは見当たらない。筆者らは、その不足・欠陥の主要因は以下の4点であろうと考える：①装置が孤立化(アイソレート)しておらず、夾雑な因子—装置周囲の環境との伝導や対流、輻射といった熱の移動による

影響一が取り除かれてなく、少なからず存在している、②既存の装置は、地球温暖化現象において重要な要素である宇宙空間が考慮されていない、③気温を決定する重要な因子の一つである対流による熱の輸送が露に考慮されていない、④実験において、輻射による装置の熱の出入りが放射平衡状態に達していない。

本研究では、既存の地球温暖化モデル実験装置では考慮されていない①及び②に対応して、装置の周囲の環境からの夾雑な因子を取り除くとともに、宇宙空間を考慮した装置を新たに開発することを目的とした。本研究で開発した地球温暖化モデル実験装置には、真空部を挿入することによりモデル化した地球部分を外界から隔離し、地球部分と机・壁などの外界との対流・輻射による熱移動を遮断するとともに、宇宙をモデルに取り込んだ。また、太陽を模した電球からの輻射で装置周囲が温められ装置周囲の外部環境が変化することのないように、ほぼ「完全白体」とみなしてよいとされるアルミ箔を張り付けた板を装置の周囲に配置した。

外部環境に影響されないように上記のように重要な要素を考慮して、本研究で開発した地球温暖化モデル実験装置で初めて再現性のある結果が得られた。これらの要素を取り入れないままの、再現性の希薄な既存の装置は実験装置として全く不完全であり、既存の装置は地球温暖化現象をモデル化したとは言い難く、教材として不適切であると考えられる。最後に、ここで開発した装置がそのまま地球温暖化現象を忠実に再現したモデル実験装置あるということを主張するものではないことを強調しておく。

本論文では、第2章で地球温暖化の概要について述べる。第3章では、開発した実験装置の構成・役割、実験方法について説明する。第4章では、実験結果を示し、第5章では考察を述べる。そして第6章において、まとめを行う。

2 地球温暖化の概要

地球温暖化について考える上で基礎となる熱輸送について述べる。実際の現象は、高度や気圧の違いによる大気中の気体密度、気体分子種の割合の違いなどさまざまな要素が織り成す、より複雑な熱輸送の総体である。しかし、ここでは複雑な現象から本質を抜き出

し全体像を捉えられるようにするために、これらの要素は考慮しないものとする。

地球自身が熱源を持っていないため、地球表面温度は太陽から放射され、地球に吸収されたエネルギーと地球から宇宙へ放出されるエネルギーとの収支によって決まる。ここでは太陽—宇宙空間—地球大気—地表、それぞれの間における熱輸送について略記する。

まず、太陽から地表への熱輸送を述べる。エネルギー源である太陽から大気までの間は、宇宙空間が存在しているため、対流輸送は起こらず、光による輻射輸送のみの熱輸送が起こる。大気から地表までの間は、大気に吸収・散乱されなかった太陽光の輻射輸送及び大気からの輻射輸送によって熱輸送が起こる。次に、地表から宇宙空間への熱輸送に着目する。地表から大気への熱輸送は、地表からの輻射輸送及び対流輸送が主である。大気から宇宙空間への熱輸送は、大気で吸収されなかった地表からの輻射輸送及び大気からの輻射輸送である。

輻射及び対流輸送を取り入れた温度と高度との関係は、Manabe and Wetherald (1967) によって数値計算がなされている¹⁾。それによると大気中の二酸化炭素などの濃度が上昇すると、地表付近の温度が上昇し、成層圏の温度が下降していく傾向を示している。

本研究ではこのような考えを基にして、地球温暖化モデル実験装置について考えていくが、対流輸送による温度変化は考慮されていない。

地球（地表及び大気）の周りは宇宙空間が広がっているため、地球と地球外との熱輸送は、輻射のみによって起こる。太陽及び地球など、ある温度 T [K]の物体からからの放射される光のエネルギー密度 $U(\nu)$ [J/m³]は、プランクの式で表すことができる。さらにプランクの式から導かれるシュテファン・ボルツマンの法則により、物体の表面から単位面積、単位時間に照射される電磁波のエネルギーを表すことができ、この法則は、物体がそれ自身の温度によって決まるエネルギーの光を放出していることを示している。

地球表面の大気を考慮すると、地球から放射されるすべての光が宇宙へと出ていくのではなく、大気中に存在する、赤外線領域の光を吸収する気体によって一部の光が妨げられる。この際それらの気体は、赤外線を吸収して暖まり、宇宙空間と地表に赤外線を放射する。この赤外線により地表は再び暖められるといった

プロセスが起こっている。このように輻射による熱輸送が起こり、地球は次第に放射平衡状態に達し、ある一定の温度に保たれている。温室効果ガスが増加すると、一旦地球から光として熱が宇宙に放出されにくくなり、放射平衡状態がずれる。その後、温室効果ガスの増加以前の地表の温度よりも高い温度で再び放射平衡状態になる。地球温暖化現象は、このようなプロセスで地球が暖まるのではないかと考えられている。

赤外線領域の光を吸収する主たる気体は水蒸気であり、また二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスも赤外線を吸収する。これらの気体分子は、固有の振動エネルギー準位を赤外領域に持つ。このため気体分子にその振動エネルギー準位の赤外線が照射された場合、赤外線を吸収して振動状態が励起される。Table 1に水蒸気及び温室効果ガスである二酸化炭素の赤外線吸収波長を示す。

Table 1 水蒸気及び二酸化炭素の赤外線における主な吸収帯の中心波長⁶⁾

| | 吸収波長[μm] |
|-------|-----------------------|
| 水蒸気 | 2.662, 2.734, 6.270 |
| 二酸化炭素 | 4.348, 15.15 |

3 実験

3.1 従来の装置の欠陥・問題点及びその改善案

3.1.1 欠陥・問題点

本研究に関連する従来の実験装置の主要な欠陥・問題点を2点あげる。

- (1) 実験装置の周囲の物質からも、その物質の温度に伴う熱放射が起こり、実験装置が周囲の物質からの影響を受けてしまう。また、装置周囲が温まることによる伝導や装置近傍の空気分子が暖まることによる対流が生じ、装置に影響を及ぼし得る。これらの影響は熱源による周囲の物質の温度上昇に伴い、増大する。
- (2) 従来の装置は、太陽と地球との間に宇宙空間を模した部分、つまり輻射のみに限られた熱の移動部が存在しない。そのため、装置と装置外の空気分子や机との間において、輻射以外の伝導や対流の影響を少なからず受けてしまう。

3.1.2 改善案

- (1) 装置周囲の温度上昇を防ぎ、周囲からの伝導や対流、輻射を取り除くため、装置の周囲と下部に白体輻射に近いアルミ板（アルミ箔で覆った段ボール）を敷く。
- (2) 外部からの熱の移動を輻射のみに制限するために、内壁が中空で内外壁間が真空状態のジュワビンと呼ばれるガラス容器を用いる。

3.2 実験装置の構成

3.2.1 地球温暖化モデル

実験装置の主な構成は、太陽部・宇宙空間部・大気部・地球部（黒体）である。それをFig. 1に模式的に示す。

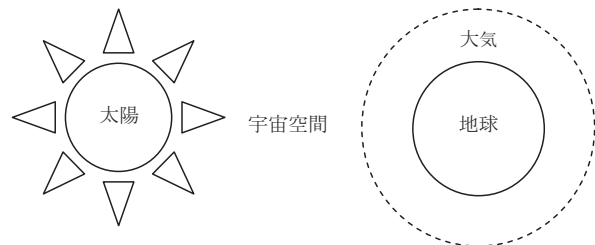


Fig. 1 地球温暖化モデル

上記の改善案を踏まえ、各構成部に用いる材料及びその役割を以下に示す。

・太陽部

太陽光に近いスペクトルの光源を使う方が実際の現象に近くなるが、日常でなかなか手に入りにくいことや実験効果を強調したいため、500Wの白熱電球を用いる。照射の位置・角度がずれないようにスタンドで固定する。

・宇宙空間部

ジュワビンの真空層部を利用し、熱の移動を輻射のみとする（Fig. 2参照）。ジュワビンの口の部分は、ラップで覆い容器内の気体を逃がさないようにしている。但し、温度計の挿入口等があるため、完全に密閉されているわけではない。また、発泡スチロールでフタをして断熱する。発泡スチロールは、光源の熱により融けないように半分アルミで覆い、輻射を防ぐ。

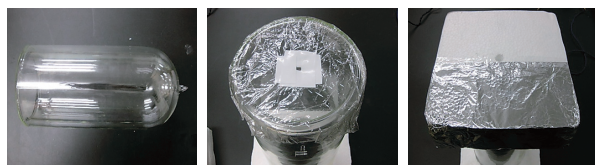


Fig. 2 宇宙空間部 (左からジュワビン, ラップ, 発泡スチロール)

・大気部

空気中には、赤外線吸収をする水蒸気が存在しているので、その効果を消去するためドライ窒素およびドライ二酸化炭素ガスを用いる。気体を容器に入れる際に、完全に密閉できていないこと、一度真空にした後完全置換を行ったわけではないことから容器内の気体の純度は高くない。

・地球部

光を吸収するように黒スプレーで塗った円形板状のコルク板を用いる (Fig. 3 参照)。先行研究の追試用にペットボトルを用いる場合は、先行研究と同様に黒体は中に入れないことにする。ペットボトル使用時は、ペットボトルの口の部分は気体が漏れないようにゴム栓で閉じ、ゴム栓にはセンサーを入れる穴を開けてテフロンテープで隙間がないようにする (Fig. 4 参照)。

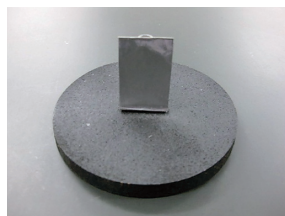


Fig. 3 コルク板とアルミ
つい立

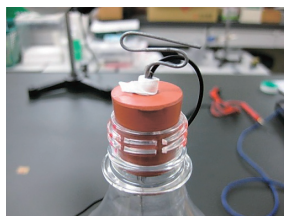


Fig. 4 ペットボトルのゴム
栓

・温度計

気温センサーとして精度が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ であるサーミスタ及び分解能 0.01°C 、精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ のデータロガーを用いる。センサー部を、光が直接当たらないようにアルミ箔で隠し、センサーのコード部にもアルミ箔を巻いた (Fig. 5 参照)。また、温度計のセンサー部の位置が測定ごとに変化しないように、容器内に入れるセンサーの長さを一定にし、さらにコルク板に針をリング状にして固定した。

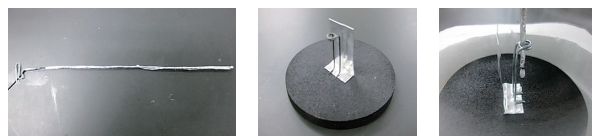


Fig. 5-1 アルミを巻いたセンサーコード部, センサー
固定用の針金つい立及びセンサー設置後の様
子



Fig. 5-2 ペットボトルにおけるセンサー部のアルミ

・反射板

周囲からの熱放射の影響を受けないように、発泡スチロールをアルミ箔で覆った台を装置の底に敷き、その台の四隅の光源側以外にはアルミ箔でダンボールを覆ったアルミつい立を囲いとして立てた (Fig. 6 参照)。

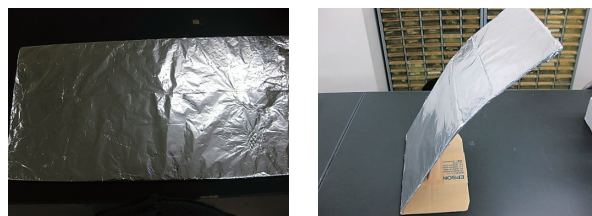


Fig. 6 アルミ台と囲いを使うアルミつい立

3. 2. 2 ジュワビンを用いた装置

装置の構成概略図をFig. 7 に、全体の様子をFig. 8 に示す。

- ①光源
- ②ジュワビン
- ③温度計
- ④反射板
- ⑤温度計ロガー
- ⑥黒体 (黒塗りコルク板)

ここで、全ての改善点 (ジュワビン, アルミ板, センサー部のアルミつい立, センサーコード部のアルミ) を含んだ装置を改善した装置と呼ぶことにする。

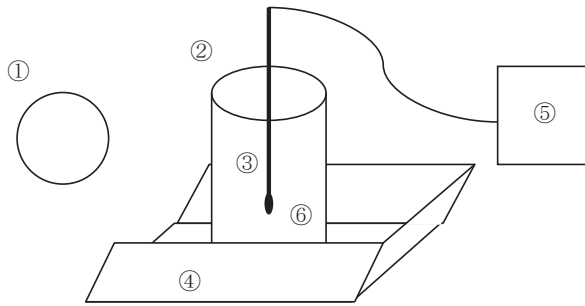


Fig. 7 装置の概略図



Fig. 8 装置の写真

3. 3 実験方法

3. 3. 1 実験手順

実験は以下の手順で行った。

- ①黒体部（黒塗りコルク板）の温度を測る。（ジュワビンの時のみ）
- ②ガスを十分入れ、ラップで覆い発泡スチロールでフタをする。その後、温度計のセンサーを入れ、ストップウォッチで5分計る。
- ③5分後にデータロガーの測定を開始し、光源及びストップウォッチのスイッチを入れる。
- ④室温をアルコール温度計で計る。
- ⑤10分後、光源を止めてアルミのつい立を光源前に設置する。
- ⑥30分間そのまま冷却した後、測定を止める。
- ⑦温度計で室温を計る。
- ⑧扇風機をあて、冷却を1時間行う。（冷却時間は、前後の測定で同じ時間）
- ⑨黒体部の温度を測り、前回の測定とほぼ同じことを確認する。
- ⑩再び②～⑨の操作を繰り返す。

3. 3. 2 測定環境

ペットボトル及びジュワビンを用いた装置に光を照射・消灯し、その際の温度変化を測定した。測定は、500Wの光源による10分間照射、30分間冷却の計40分間行った。実験は、温度センサーを用いて5秒間隔で測温した。また光源と装置の位置関係が測定に大きく影響を与えるため、比較するデータは測定時間を変え、位置を固定した一つの容器で実験をした。そのため、測定後は扇風機を用いて、1時間冷却を行い、黒体の温度を測定前の温度と同程度にし、気温変動が昼間より少ない夜間に行った。

3. 3. 3 実験条件

実験は、基本的には開発した装置を基準として、それぞれの改善点がどのような効果があるのか調べるために一つだけ条件を変えて対照実験を行った。このとき、気体容器内の気体は統一してドライ窒素を用いることとした。

はじめに、①②センサー部のアルミつい立、センサーコード部のアルミの効果について実験を行った。次に、③アルミ板を敷くことによる効果を調べるために実験を行い、さらに④同様の実験をペットボトルの容器を用いても行い、ジュワビンの真空層がどのような効果があるのか比較する。これらの実験をまとめてTable 2に示す。

Table 2 実験条件のまとめ-1

| | 比較条件 | 気体容器 | 気体 |
|-----|-----------------|--------|-------|
| 実験1 | センサー部のアルミつい立の有無 | ジュワビン | ドライ窒素 |
| 実験2 | センサーコード部のアルミの有無 | ジュワビン | ドライ窒素 |
| 実験3 | アルミ板の有無 | ペットボトル | ドライ窒素 |
| 実験4 | | ジュワビン | ドライ窒素 |

次に、⑤ペットボトルを容器として用い、アルミ板を敷かない既存型の装置を用いて、ドライ二酸化炭素とドライ窒素の温度変化を比べる実験を行い、どのような違いがでるのか調べた。また、⑥改善した装置においても同様に、2つの気体の温度変化を測定した。この実験においては、測定を8回行った。さらに、⑦温室効果ガスと同様に赤外線を吸収する透明なシート（透明断熱フィルム）の有無による変化を改善した装

置を用いて行った。これらの実験をTable 3に示す。

Table 3 実験条件のまとめ-2

| | 比較条件 | 気体容器 | 用いた装置 |
|-----|----------|--------|--------|
| 実験5 | 二酸化炭素と窒素 | ペットボトル | 既存型の装置 |
| 実験6 | 二酸化炭素と窒素 | ジュワビン | 改善した装置 |
| 実験7 | 赤外線吸収シート | ジュワビン | 改善した装置 |

以上の7つの実験を本研究では行った。

3. 4 考慮していない事項

本実験で考慮しなかった事項を以下に箇条書きにしてみとめる。

- ・容器内の対流輸送による熱輸送がある。
- ・太陽光と光源のスペクトルが同じではない。
- ・容器内は、純気体ではない。
- ・完全に容器を密閉できていない。
- ・気体の膨張を考慮していない。
- ・容器自体の光の吸収率は考慮していない。
- ・模型と実体の気体の濃度が違う。
- ・放射平衡状態に達していない。

4 実験結果

4. 1 結果

本研究では、10分間光を照射し、続いて30分間消灯して冷却した際の容器内の気体の温度変化を測定した。さらに、装置にアルミ板を設置した実験においては、容器近傍の下部（机上またはアルミ板の上）を熱電対温度計で測定前、消灯時（5分後）、測定後の3回測定を行った。室温の測定は、上記のタイミングと同様に3回測定を行った。

4. 1. 1 センサー周辺の輻射防護の有無による実験結果

Fig. 9（実験1）は、ジュワビンを用い、センサーのコード部にアルミを巻いた状態で、センサー部アルミのついでの有無を比較し、Fig.10（実験2）は、センサー部にアルミのついでをしている状態で、センサーのコード部のアルミの有無を比較したものである。横軸が光源で光を照射してから経過時間、縦軸が容器内の気体の温度を表している。どちらの実験において

も、容器内の気体温度はアルミを用いなかった場合の方が、より大きな温度上昇が見られた。

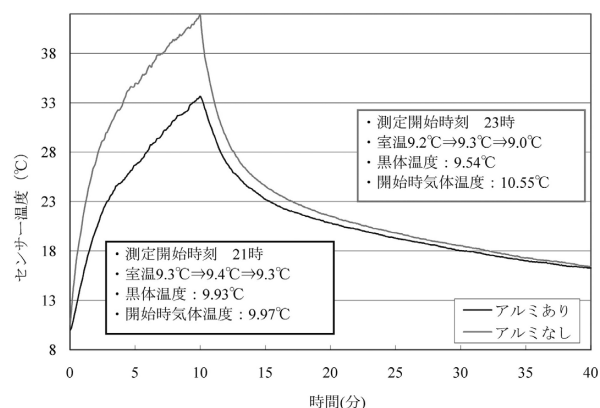


Fig. 9 センサー部のアルミついでの有無による温度変化（実験1）

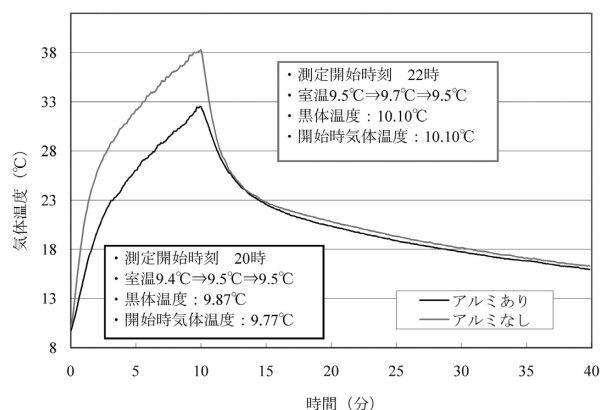


Fig.10 センサーのコード部のアルミの有無による温度変化（実験2）

4. 1. 2 アルミ板の有無による容器近傍の下部の温度変化

Fig.11は、アルミ板の有無による装置近傍の下部（装置周囲）の温度変化を比較した図である。横軸が光源で光を照射してから経過時間、縦軸が容器の設置面の温度を表している。アルミを敷いてない場合は、容器の設置面において20°C以上の温度上昇があったが、アルミを敷いてある場合は1°C程度の温度上昇の違いしかみられなかった。

4. 1. 3 アルミ板及びジュワビンを用いた改善点における実験結果

Fig.12（実験3）は、ペットボトルを用いてアルミ板の有無の比較、Fig.13（実験4）は、ジュワビンを用い

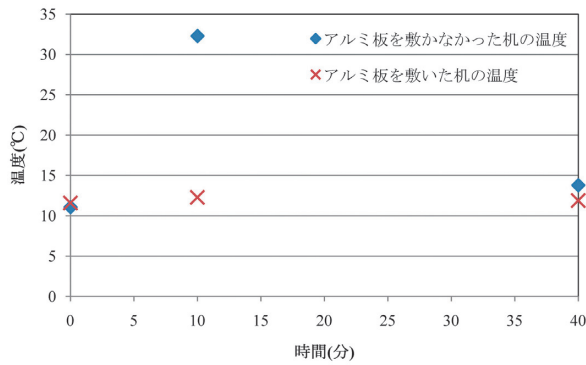


Fig.11 アルミ板の有無による容器の設置下部の温度変化

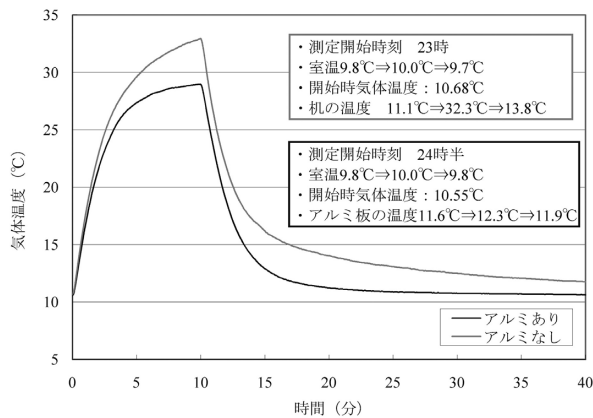


Fig.12 ペットボトルを用いた、アルミの有無による温度変化 (実験3)

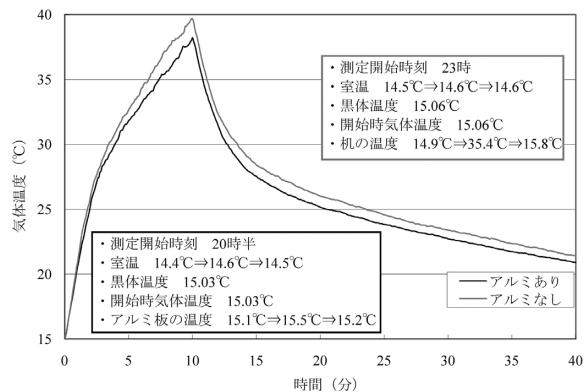


Fig.13 ジュワピンを用いた、アルミの有無による温度変化 (実験4)

て、実験3と同様の比較を示す。Fig.12において、アルミ板の有無により容器内の気体の温度変化に10分間で4°C程度の差が見られる。Fig.13においては、容器内の気体の温度はアルミ板の有無による差はペットボトルの実験に比べほとんど見られなかった。しかし、アルミ板を用いなかった場合の方が用いた場合に比べ、わずかに温度が高い。

4. 1. 4 二酸化炭素と窒素の比較実験結果

Fig.14 (実験5) は、ペットボトル用いアルミ板を敷かない装置で、Fig.15 (実験6) は改善した装置で、それぞれドライ二酸化炭素とドライ窒素の温度変化の比較を示す。Fig.14及びFig.15において、どちらも二酸化炭素の方がより大きな温度上昇があるが、Fig.14の方がFig.15に比べ、二酸化炭素と窒素の温度差が大きい。

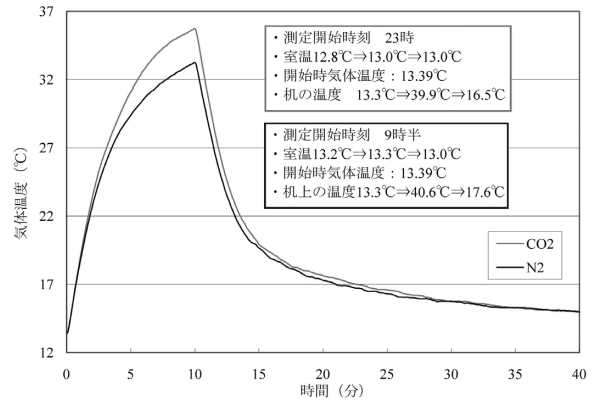


Fig.14 従来型の装置を用いた二酸化炭素と窒素の温度変化 (実験5)

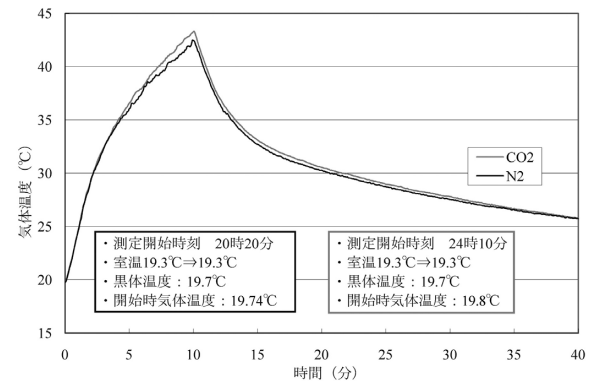


Fig.15 改善した装置を用いた二酸化炭素と窒素の温度変化 (実験6)

4. 2 二酸化炭素と窒素の温度上昇の差

実験6で得られた全8回のデータの相加平均を取り、その二酸化炭素の温度から窒素の温度を引いた差を、Fig.17に示す。8回行った実験の再現性は良い。この図において、横軸が光源で光を照射してから経過時間、縦軸が気体の温度差を示している。また、エラーバーは温度計の最大誤差を示しており、誤差を考慮した上でも二酸化炭素が窒素に比べて、より温度上昇が見られる。

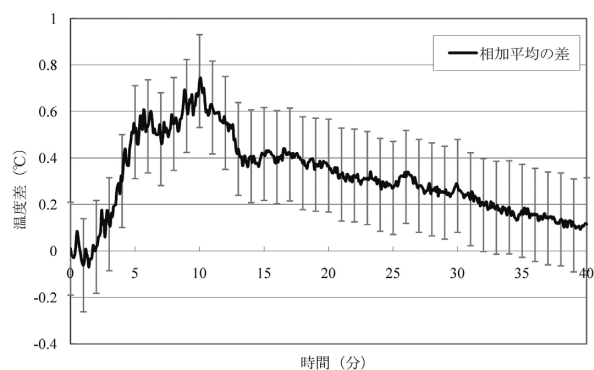


Fig.16 二酸化炭素と窒素の温度差の相加平均 (実験6)

4. 3 赤外線吸収シートの有無による実験結果

Fig.17 (実験7) は、赤外線吸収シートの有無による気体温度 (どちらもドライ窒素) の温度変化を示している。シートを用いた方が、温度上昇が顕著であることがわかる。

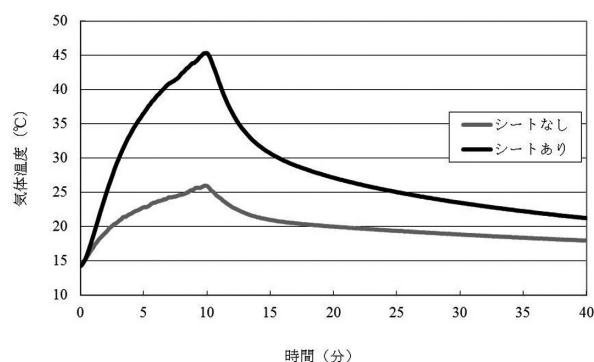


Fig.17 赤外線吸収シートの有無による温度変化 (実験7)

5 考察

5. 1 既存の装置に存在する主要な欠陥因子を取り除いた装置の開発

実験1及び実験2において、センサー部やセンサーコード部へのアルミの使用の有無を比較したところ、どちらもアルミを用いなかった場合の方が、より大きな温度上昇が見られた。これは、センサー部やセンサーコード部に光が直接当たってしまうことで、センサー部が光を吸収してそれ自体の温度が上昇してしまい、その温度をセンサーが感知してしまったことが考えられる。

実験3・実験4で、装置の下部にアルミ板を敷かない場合は、容器設置部に20°C近い温度上昇が見られた

が、アルミ板を敷いた場合は数°Cの違いに留まった。これは完全白体に近いとみなされるアルミニウムの遮光性により、光源からの光が反射され、装置周囲の環境の温度上昇を抑制できたと考えられ、周囲からの輻射以外の熱輸送を抑えられることが示された。

ペットボトルを用いた実験3は、アルミ板の有無により、大きな温度差がみられる。これは、アルミ板を敷かないことにより、周囲の物質の温度が上昇し、伝導や対流といった影響を受けているものと考えられる。このことから、ペットボトルの実験では、周囲との熱の出入りの影響を多大に受けていることを示している。

一方、ジュワビンを用いた実験4において、アルミ板を用いなかった場合の方が用いた場合に比べ、容器内の気体の温度がわずかに高かった。しかし、アルミ板の有無による周囲の温度変化に差があったものの、気体内の温度に大きな差は見られなかった。これは実験3と比べ、容器設置部の温度が上昇したことや容器内の熱が放射以外で外に逃げるということと周囲の環境への影響がジュワビンの真空部により、取り除けたのではないかと考えられる。またジュワビンの実験において、わずかに温度が異なることに関しては、容器内を全て真空で覆うことができないため、ジュワビンの支持部の多少の伝導・対流の影響を受けている可能性が考えられる。

5. 2 既存の装置に存在する主要な欠陥因子を取り除いた装置を用いた効果

ペットボトルの実験5において、二酸化炭素の方が窒素に比べ2°C以上の温度上昇がみられる。これは、赤外線を吸収する性質をもつ二酸化炭素が赤外線を吸収して暖まったことによる影響と考えられる。また、二酸化炭素は窒素に比べ、比熱が大きい。比熱が大きいということは、同じ量の熱の移動を考えた場合、暖まりにくく冷めにくいことが言え、暖まった二酸化炭素が窒素より冷めにくいことによる温度差が少なからずあるのではないかと考えられる。しかし、実験5のペットボトルの状態は、伝導や対流により熱を周囲から与えられたり、熱を周囲へ逃がしたりといった周囲の環境の影響を受ける。さらにペットボトル容器自体の光の吸収も考えられ、装置の周囲と真空で隔てていないことにより、熱を得た容器と周囲の環境との間の

熱輸送も少なからず含んでいる可能性もある。これらのことからペットボトルを用いた装置では、装置周囲の影響を多大に受けている可能性が十分にある。

一方、因子を取り除いた状態での実験6においても、二酸化炭素の方がより大きな温度上昇が見られたものの、その差はわずか0.6℃程度であった。これは、実験5における考察と同様に暖まった黒体や光源から放出される赤外線の一部を、二酸化炭素が吸収する効果及び二酸化炭素の比熱による冷めにくさが考えられる。この実験による温度上昇がどの程度の割合、赤外線を吸収する効果によるものかは分らないものの、その効果は非常に小さいことを示唆している。また、周囲の影響の多くを取り除けている状態で二酸化炭素の効果がわずかであったというこの結果は、実験5による温度変化の多くが、周囲の環境による影響である可能性が十分にあり得ることを示している。このことから、既存の実験装置は教材として不適当であると考えられる。

最後に、シートを用いた実験7において、シートを入れた方が温度の上昇が顕著に現れる。これは、シートが極薄で軽いことから実験6のような比熱の影響はほとんどないと考えられ、シートの赤外線吸収の効果により、黒体及び光源からの赤外線を吸収したのものによると考えられる。実際の地球温暖化は地球（黒体）からの赤外線の影響が主であるが、本研究のシートはどの程度の比率かは分らないが、黒体及び光源の両方から影響を多少受けていると考えられる。

6 まとめ

本研究では、既存の地球温暖化モデル実験装置では考慮されていない、装置の周囲の環境からの夾雑な因子を取り除くとともに、宇宙空間を考慮した装置を新たに開発した。本研究で開発した地球温暖化モデル実験装置には、真空部を模したジュワピンを用いることによりモデル化した地球部分を外界から隔離し、地球部分と机・壁などの外界との対流・輻射による熱移動

を遮断すると共に、宇宙をモデルに取り込んだ。また、太陽を模した電球からの輻射で装置周囲が温められ装置周囲の外部環境が変化することのないように、ほぼ「完全白体」とみなしてよいとされるアルミ箔を張り付けた板を装置の周囲に配置した。

外部環境に影響されないように上記のように重要な要素を考慮して、本研究で開発した地球温暖化モデル実験装置で初めて再現性のある結果が得られた。また、既存の装置に存在する主要な欠陥因子を取り除いたこの実験装置で二酸化炭素と窒素の温度上昇の比較実験を行った。これにより、赤外線を吸収する二酸化炭素の効果の大きさは既存のモデル実験で示されるものよりかなり小さい可能性があることがわかった。このことから、既存の装置は実験装置として全く不完全であり、既存の装置は地球温暖化現象をモデル化したとは言い難く、教材として不適切であると考えられる。

最後に、ここで開発した装置がそのまま地球温暖化現象を忠実に再現したモデル実験装置あるということを主張するものではないことを強調しておく。

謝辞

群馬大学教育学部理科教育講座教授岩崎博之先生からは、温度測定装置を快く貸していただきました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) S.MANABE, R.T.WETHERALD, *J. Atmos. Sci.*, 24, 241 (1967).
- 2) 例えば、赤祖父俊一、「正しく知る地球温暖化―誤った地球温暖化論に惑わされないために」誠文堂新光社（2008）.
- 3) 文部科学省、中学校学習指導要領解説 理科編、大日本図書株式会社（2008）.
- 4) 例えば、川村康文、物理教育、52, 234-236（2004）.
- 5) 例えば、中山慎也 *et al.*, 島根大学教育学部紀要 教育科学, 42, 7-11（2008）.
- 6) 工藤恵栄、分光学的性質を主とした基礎物性図表、共立出版株式会社（1972）.

（せりざわ よしひこ・おくざわ まこと）

