

## 温暖化・温室効果に関するペットボトル実験の検証

近藤邦明

### はじめに

国連気候変動に関する枠組条約の締約国の中の先進国グループの主流気象研究者達によって、政治的な理由で、人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説が支持されて以降、気候変動に対する地道な科学的検証作業が困難になっています。

日本では初等中等教育において、近年の温暖化に対する複数の解釈がある中で、あたかも人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説が自然科学的に確認された既定の事実のように児童生徒に対して紹介されています。科学的な判断能力の低い頃から繰り返し人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説が事実であると刷り込まれることで、成人する頃にはもはや疑うことすらなくなっています。

児童生徒に対して CO<sub>2</sub> による地球温暖化を事実として印象付けるための手段の一つとして、ペットボトルという簡便な道具を使った「地球温暖化、温室効果を検証する実験」と称する見世物が盛んにおこなわれています。

公開されているこの種の「実験」レポートを見ると、一体何を検証するために行われている実験なのか理解できず、それにもかかわらず実験結果から「CO<sub>2</sub> に温室効果があることが確認された」とされている異様さに強い違和感を禁じえません。

今回、実験を行っている主要な大学の理科教育の研究者や理科教師と意見交換をする中で、驚くべきことに、この種の実験は自然科学的にいかなる理論的な裏付けによって、何を検証しているのかも定かでなく、それどころか実験者自身でさえ実験に見られる現象の実態をまったく理解していないことが分かりました。

このレポートでは、地球大気の温室効果の基礎的な内容を紹介するとともに、ペットボトル実験で紹介されている現象を自然科学的に分析することによって、温室効果とはかかわりのない見世物の実態を明らかにすることにします。

このレポートは、これからペットボトル実験を行おうと考えている理科教師や環境ボランティアの皆さんが、児童生徒に対して誤った情報を紹介することがないように、温室効果に対して必要最低限の情報とペットボトル実験の実態をまとめたものです。

2019.11.5

## 1. 地球大気を構成する主要な気体分子の性質

### 1-1 対流圏大気の組成

気体分子	体積比 (%)
窒素 N <sub>2</sub>	78.084
酸素 O <sub>2</sub>	20.948
アルゴン Ar	0.934
二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	0.039
水蒸気 H <sub>2</sub> O	~ 3.000

表5.1 対流圏の大気組成

対流圏下層大気の中で主要な赤外活性気体（1-4 参照）である水蒸気 H<sub>2</sub>O は、平均的には二酸化炭素 CO<sub>2</sub> よりもはるかに体積比が大きい気体ですが、変動が大きいため、通常の大気組成は水蒸気を除いた「乾燥大気」に対する組成で表されます。日本で観測される水蒸気の体積比は、寒冷で乾燥した冬季で 0.3%（3000ppm）程度、温暖で湿潤な夏季で 3.0%（30000ppm）程度です。

### 1-2 気体速度の Maxwell 分布と局所熱力学平衡、気体温度

気体とは、構成する分子が比較的自由に運動している状態です。地球の下層大気では比較的分子密度が高く、気体分子同士が頻りに衝突を繰り返しています。1 気圧常温の大気中では平均的な分子の速さは  $v=500$  (m/sec) 程度であり、1 秒間に 70 億回ほど分子衝突を繰り返しています。

その結果、気体分子はまったくバラバラな運動をすることは出来ず、気体の分子速度成分を確率変数とすると、平均値=0、分散= $kT/m$  ( $k$ :ボルツマン定数、 $T$ :絶対温度、 $m$ :分子質量) の正規分布  $N(0,kT/m)$  に従うこととなります。この確率密度関数を気体速度の Maxwell 分布と呼びます。

気体速度が Maxwell 分布に従うような気体は、気体分子の巨大な集団としての気体の性状を統計的に取り扱うことができ、温度、圧力、密度という示強性の状態量を有限確定値として定義することができます。このような状態を局所熱力学平衡と言います。気体の温度（絶対温度）は、次式で表される気体分子の平均的な運動エネルギーの指標です。

$$T = \frac{2}{3k} \frac{mv^2}{2}$$

### 1-3 気体分子の運動モードとエネルギー等分配則

地球大気を構成する主要な気体分子の運動モードを考えます。

単原子分子であるアルゴン Ar は、重心の x 軸、y 軸、z 軸方向の速度だけですべての運動を表すことができます。この気体分子の空間中の移動を並進運動と呼びます。単原子分

子の運動の自由度は3です。

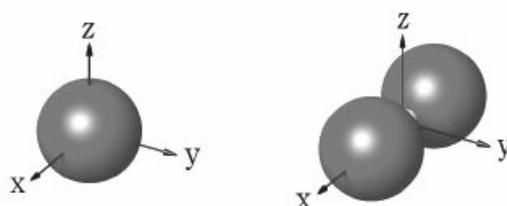


図5.3 単原子分子と二原子分子

二原子分子である窒素  $N_2$ 、酸素  $O_2$  は同種類の原子が二つ繋がった構造を持っています。そのため、並進運動に加えて、 $y$  軸、 $z$  軸周りの回転運動と  $x$  軸方向の振動が加わり、運動の自由度は6です。ただし、常温では振動運動は発現しないため、大気中の実質的な自由度は5と考えて差し支えありません。

並進運動と回転運動では分子を構成する原子の相対的な位置関係が変化しないので、「剛体運動モード」と呼ぶこともあります。

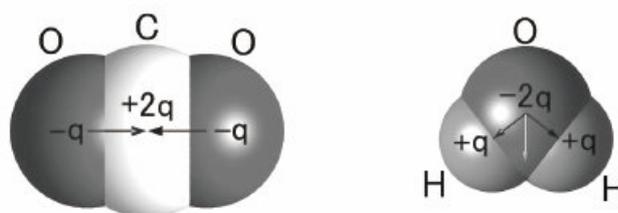


図5.4  $CO_2$ 分子と $H_2O$ 分子

三原子分子である二酸化炭素  $CO_2$  と水蒸気  $H_2O$  は、立体構造が異なります。 $CO_2$  は三つの原子が直線状に結合していますが、 $H_2O$  は屈曲しています。そのため、並進運動の3自由度は共通ですが、回転運動、振動の自由度が異なります。

$CO_2$  の回転運動の自由度は二原子分子と同じ2自由度ですが、 $H_2O$  の回転運動の自由度は  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸周りの3自由度です。

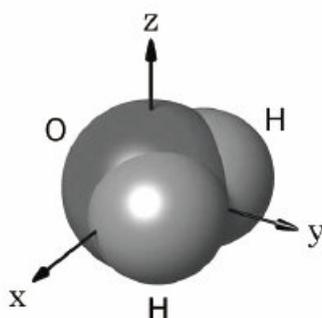


図5.6  $H_2O$ 分子の立体構造

CO<sub>2</sub> の振動モードを次図に示します。

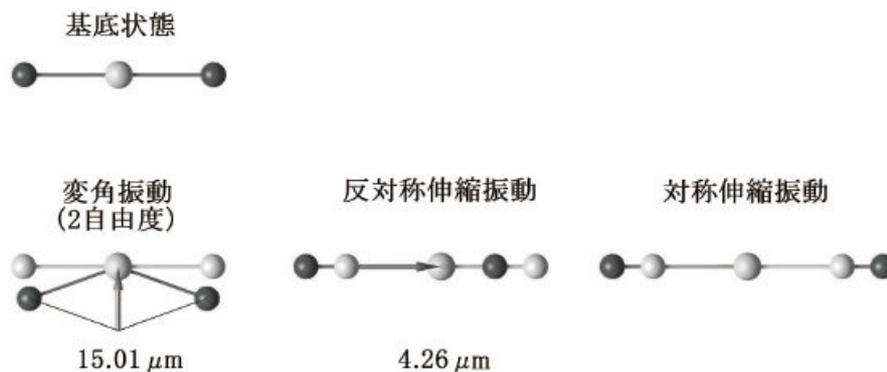
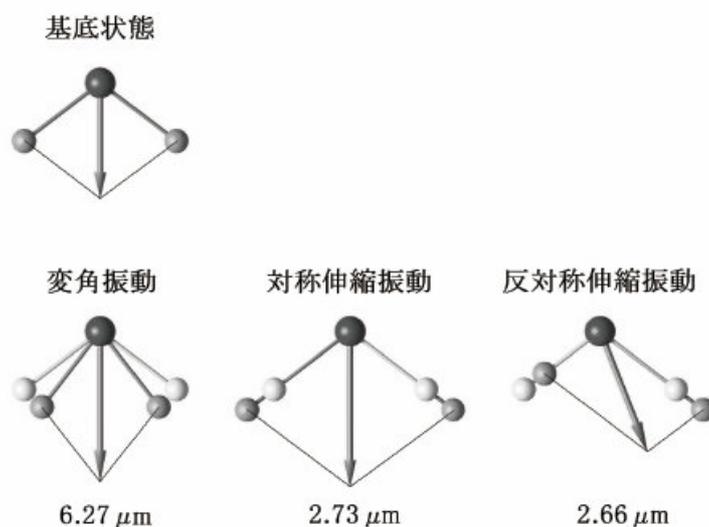


図5.9 CO<sub>2</sub>分子の振動モード

CO<sub>2</sub> の振動モードは変角振動 (2 自由度)、反対称伸縮振動、対称伸縮振動があり、振動の自由度は 4 です。

H<sub>2</sub>O の振動モードを次図に示します。



矢印で示すベクトルは電気双極子モーメント。運動によって電気双極子モーメントが加速度的に変動するときに電磁波を放射する。H<sub>2</sub>O分子は基底状態で電気双極子モーメントがゼロではない極性分子なので、回転運動でも電磁波を放出する。

図5.7 H<sub>2</sub>O分子の振動モード

H<sub>2</sub>O の振動モードは変角振動、対称伸縮振動、反対称伸縮運動があり、振動の自由度は 3 です。

次表に地球大気を構成する主要な気体分子の運動の自由度をまとめておきます。

気体	並進	回転	振動	合計
Ar	3			3
N <sub>2</sub>	3	2	1	6
O <sub>2</sub>	3	2	1	6
CO <sub>2</sub>	3	2	4(3)	9(3)
H <sub>2</sub> O	3	3(2)	3(3)	9(5)

※括弧内は赤外活性を示す運動モード。

表5.2 大気を構成する主要な気体分子の自由度

局所熱力学平衡状態では、分子衝突を介して並進、回転、振動モードのエネルギーが等価なものとして絶えず交換されています。その結果、各運動の自由度に対して平均的に見ると等しく  $kT/2$  のエネルギーが分配されています（振動モードに対しては  $kT$ ）。これをエネルギー等分配則と呼びます。

#### 1 - 4 赤外活性

3 原子以上の気体分子の特定の運動モードでは、気体分子の電気的な性質が加速度的に変化することによって、その運動周期に対応する電磁波（赤外線）を放射・吸収する性質を持ちます。この性質を赤外活性と呼びます。

H<sub>2</sub>O は極性分子であり、基底状態でも電気的な偏りがあります。そのため、x 軸、z 軸周りの回転運動で波長  $15 \mu\text{m}$  よりも長波長側の広い帯域の赤外線を放射・吸収します。

更に H<sub>2</sub>O 分子は、変角振動、対称伸縮振動、反対称伸縮振動の基準振動でそれぞれ波長  $6.27 \mu\text{m}$ 、 $2.73 \mu\text{m}$ 、 $2.66 \mu\text{m}$  の赤外線を放射・吸収します。

CO<sub>2</sub> は無極性分子なので回転運動では赤外活性はありません。変角振動、反対称伸縮振動の基準振動でそれぞれ波長  $15.01 \mu\text{m}$ 、 $4.26 \mu\text{m}$  の赤外線を放射・吸収します。

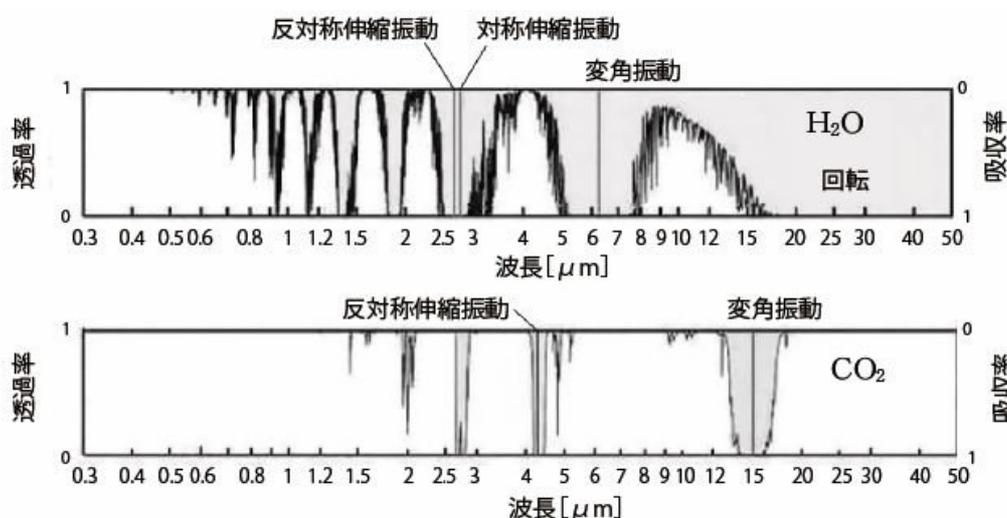


図5.8 H<sub>2</sub>OとCO<sub>2</sub>の赤外線放射・吸収特性

## 2. 地球大気の温室効果

### 2-1 地球の受けとる太陽放射

地球の大気圏外で太陽光に垂直な面の受けとる太陽放射の強さ（太陽放射照度） $I_{se} = 1366 \text{ W/m}^2$  程度です。太陽の半径  $R_s = 6.955 \times 10^8 \text{ m}$ 、太陽と地球の距離  $r = 1.4959787 \times 10^{11} \text{ m}$  なので、太陽表面の放射発散度は、

$$I_s = 1366 \times \left( \frac{1.4959787 \times 10^{11}}{6.955 \times 10^8} \right)^2 = 6.3199 \times 10^7 \quad \text{W/m}^2$$

ステファン・ボルツマンの式から、太陽の表面温度は次のように推定できます。

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{6.3199 \times 10^7}{5.67 \times 10^{-8}}} = 5778 \quad \text{K}$$

地球の半径を  $R_e = 6356752 \text{ m}$  とすると、地球の受けとる太陽放射の合計は  $1366 \pi R_e^2$ 、これを地球の表面  $4 \pi R_e^2$  が均等に受けとるとすると、平均的な地球の単位表面積当たりの太陽放射照度は、

$$I_0 = \frac{1366 \pi R_e^2}{4 \pi R_e^2} = 341.5 \quad \text{W/m}^2$$

太陽放射の一部は雲や地球の表面などで反射されるため、地球を暖めるために有効な太陽放射は  $I_0$  の 70% 程度になります。これを有効太陽放射と呼び、その強さは、

$$I_{0e} = 341.5 \times 0.70 = 239.05 \quad \text{W/m}^2$$

有効太陽放射に対する放射平衡温度は、ステファン・ボルツマンの式から次のように計算されます。

$$T_{0e} = \sqrt[4]{\frac{239.05}{5.67 \times 10^{-8}}} = 255 \quad \text{K}$$

### 2-2 地球大気の熱収支

地球は、内部からの熱放出（太陽放射の 0.02% 程度）もありますが、主に太陽放射によって温度が維持されています。地球環境の定常性を維持するためには、地球は太陽放射によって供給されているエネルギーに見合うエネルギーを宇宙空間に放出することが必要です。大きく見ると、地球は受け取る太陽放射と放射平衡にあると考えられます。

ここでは、平均的な地球大気の熱収支（エネルギー収支）の概略について考えます。次図では、 $I_0 = 341.5 \text{ W/m}^2$  を 100 とした相対的な数値を示しています。



大気中で赤外活性気体は温度状態に応じて定常的な熱放射をしています。熱放射は等方的です。放射された赤外線は、大気中の赤外活性気体に吸収されるため、通過距離に対して指数関数的に減衰します。対流圏下層大気に含まれる赤外活性気体から放射された下向きの熱放射の内、地表面にまで到達した赤外線 **95** によって地表面は温められます。

一方、対流圏上層大気に含まれる赤外活性気体から放射された上向きの熱放射の内、大気に吸収されずに宇宙空間にまで到達する赤外線 **57** によって放熱しています。

このようにして、地球の受けとる有効太陽放射 **69** に対して、地表面放射による放熱 **12** と対流圏上層大気からの熱放射 **57** による放熱が釣り合うこととなります。

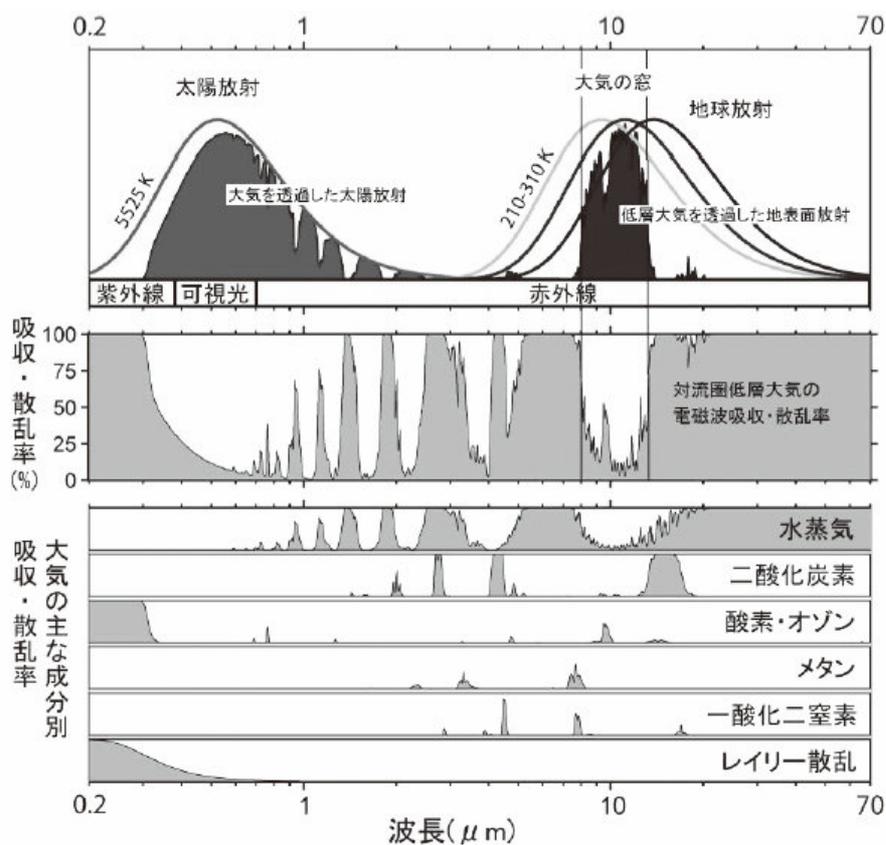


図3.4 大気の電磁波に対する吸収・散乱特性

### 2-3 地球大気の温室効果

地球に大気がない場合、有効太陽放射に対して地表面からの熱放射が放射平衡になることが必要です。地球を黒体で近似できるとすれば、2-1 で示したように、その放射平衡温度は **255K** になります。つまり平均的な地表面温度は  $255\text{K} = -18^\circ\text{C}$  になります。

では、地球に大気があっても、赤外活性がない場合はどうでしょうか？赤外活性のない大気は赤外線を吸収することも放出することもできません。したがって、やはり地表面からの熱放射が有効太陽放射と平衡することが必要なので、平均的な地表面温度は  $-18^\circ\text{C}$  になります。

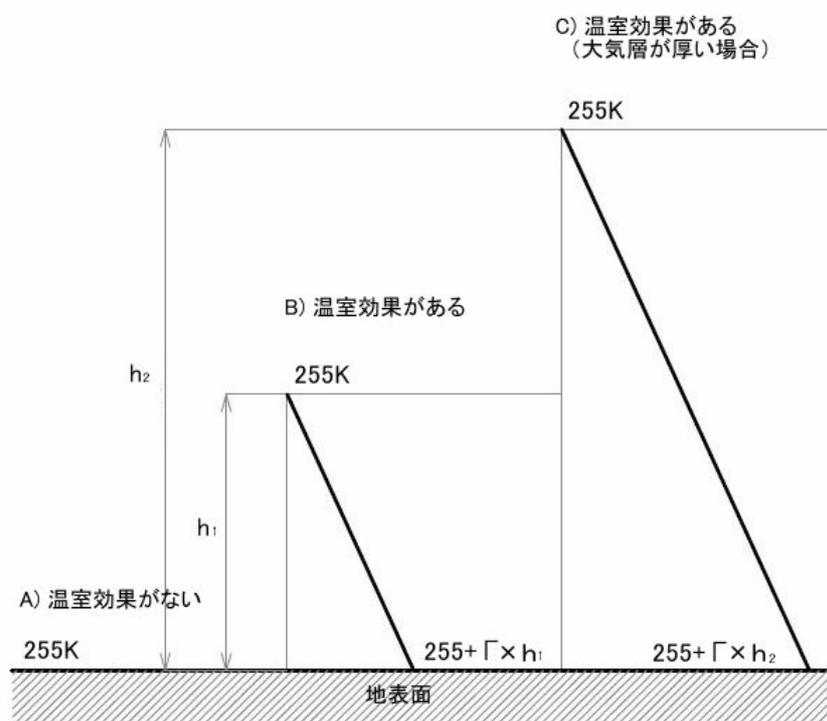
実際の地球大気の熱収支の概要は 2-2 で示した通りです。地表面の放射発散度から地表面温度≒気温を推定してみます。

$$I = I_0 \times \frac{114}{100} = 341.5 \times 1.14 = 389.31 \quad \text{W} / \text{m}^2$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{389.31}{5.67 \times 10^{-8}}} = 287.9\text{K} = 14.9^\circ\text{C} \approx 15^\circ\text{C}$$

地球大気に赤外活性気体が含まれているために、地表面放射がそのまま宇宙空間に放出されることを妨げ、同時に、対流圏上層大気が熱放射することで宇宙空間に放熱することによって、地表面温度は $-18^\circ\text{C}$ から $15^\circ\text{C}$ に上昇します。この現象を『温室効果』と呼んでいます。

ここでは、説明を簡単にするために、地球大気が地表面放射を 100%吸収するとして温室効果の仕組みを説明します。



温室効果がない場合は、A) に示すように地表面温度が放射平衡温度である 255K になります。

地球大気が赤外活性気体を含む場合、対流圏上層大気からの熱放射が有効太陽放射と放射平衡になります。（註：大気には固体のような確固とした表面がないため、実際には熱放射で放熱する大気温度と大気の高さには幅がありますが、ここでは便宜的に一つの温度・高さで代表させることができるものとして説明します。）

B) に示す場合、高さ  $h_1$  の大気からの熱放射が有効太陽放射と放射平衡になるものとします。高さ  $h_1$  から下の大気温度は断熱圧縮によって上昇します。高度が下がることによる温度上昇率を  $\Gamma$  で表すと、地表面の温度  $t$  は、 $t = 255 + \Gamma \times h_1$  になります。実際の地球の

対流圏大気では平均的に、 $\Gamma = 6.5\text{K/km}$  程度です。

つまり、大気の温室効果の本質とは、地表面に代わって、大気上層からの熱放射で放熱することです。大気の鉛直方向の温度分布は、有効太陽放射と地球からの熱放射がバランスするように決まるのです。

仮に、大気の温度が低すぎる場合は、有効太陽放射よりも地球からの熱放射が小さくなり、その不平衡分のエネルギーが大気に蓄えられます。すると大気温度が上昇し、大気からの熱放射が大きくなり、有効太陽放射と地球からの熱放射のバランスが回復します。大気温度が高すぎる場合は逆の現象が起こります。

温室効果というと、熱を貯め込むことだという認識が強いようですが、むしろ赤外活性を持つ大気からの熱放射による放熱こそがその本質です。その前提となる条件は、地球の周りに赤外線の出でなくては放熱できないほとんど真空の宇宙空間が存在することです。

実際の地球大気では、2-2 で示したように、大気の窓などを通して地表面放射の一部が直接宇宙空間に達して放熱しています。そのため、大気放射は有効太陽放射よりも小さくて済むので、大気放射の放射平衡温度は $-31^{\circ}\text{C} = 242\text{K}$  程度であり、 $255\text{K}$  よりも低くなっています。

温室効果による地球の温度上昇とは、地表面放射による放熱 12 を小さくすることによって生じます。赤外活性気体の黒体に対する吸収率=射出率 ( $< 1.0$ ) は大気中濃度に大きく影響されます。そこで、地表面の平均温度  $15^{\circ}\text{C} = 288\text{K}$  程度の熱放射 (放射スペクトルのピークは  $10\mu\text{m}$  付近) に対する吸収の大きな赤外活性気体の濃度が上昇することが地表面放射の吸収を大きくすることになると考えられます。

そこで注目されているのが波長  $15.01\mu\text{m}$  付近に吸収帯を持つ  $\text{CO}_2$  です。しかし、 $15.01\mu\text{m}$  付近では、既に現在の  $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  の大気中濃度で地表面放射は十分吸収されています。これ以上  $\text{CO}_2$  濃度が上昇しても、地表面放射の吸収量の増加は限定的です。

これに対して、国立環境研究所のホームページで江守氏は、 $\text{CO}_2$  濃度が上昇すれば幾らでも温室効果は大きくなると主張しています。その証拠として金星を取り上げています。江守氏は金星大気の  $\text{CO}_2$  濃度が  $96.5\% = 965000\text{ppm}$  であるから「猛烈な温室効果」で金星の表面温度は  $740\text{K} = 467^{\circ}\text{C}$  であると述べていますが、これは誤りです。

金星大気は地球大気よりも  $50\text{km}$  ほど厚く、金星表面気圧は  $92$  気圧程度です。C) に示すように大気層が厚ければ、それだけ地表面気圧は高くなり、断熱圧縮された大気温度が上昇します。

例えば、地球大気の乾燥温度減率  $\Gamma = 9.8\text{K/km} = 9.8^{\circ}\text{C/km}$  を用いて、地球の大気厚がもう  $50\text{km}$  厚くなった時の地表面付近の大気温度を計算すると次の通りです。

$$t = 15^{\circ}\text{C} + 9.8^{\circ}\text{C} / \text{km} \times 50\text{km} = 505^{\circ}\text{C}$$

これは金星表面よりも高温です。

金星表面が高温なのは、大気層が厚く表面気圧が高いことが原因であり、「猛烈な温室効果」とは関係ありません。また、地球において大気中の CO<sub>2</sub> 量が増えて、大気層の厚さが顕著に増加するなどということは現実的に起こり得ません。

### 3. 地球温暖化に対するペットボトル実験

これまで見てきたように、地球の温室効果とは、ほとんど真空の宇宙空間に赤外活性を持つ大気層に覆われた地球があるから生じています。温室効果は、現在世間で取り沙汰されている人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説でも注目されているのはご承知の通りです。

もしもその温室効果をペットボトルと赤外線ランプという簡単な装置で検証可能だとすれば、これは画期的な実験と言ってよいでしょう。

ここでは、ネット上に公開されているペットボトルを使った温室効果ないし温暖化の検証と称する実験について、実際に携わっている研究者から話を伺ったうえで、その内容を検証することにします。

#### 3-1 ペットボトル実験の目的は何か？ ～温室効果の検証は不可能～

ペットボトルによる温室効果実験が企図された背景には、温室効果に対して誤った俗説が蔓延していることが大きな原因だと考えられます。

例えば、「太陽光に暖められた地表が放出する赤外線を二酸化炭素などの温室効果ガスが吸収するため、地表が温室のように保温される現象。(goo 辞書)」、「太陽からの短波放射は、比較的容易に大気中を通過して地表面に吸収されるが、地表面から射出される長波放射は、大気中の水蒸気、二酸化炭素、オゾンに吸収されて大気圏外に逸散しにくい。(ブリタニカ国際大百科事典)」とされています(傍点：近藤)。

これらの説明を見ると、温室効果ガス(赤外活性気体)が地表面放射を吸収して、宇宙空間への放熱が減少するような印象を受けます。事実、JCCCA(全国地球温暖化防止推進センター)によって広まった温室効果の説明図は次のようなものでした。



これを見ると温室効果ガスの増加によって地球からの放熱が減少しているように描かれています。初等中等教育の理科教師たちは、この温室効果に対する科学的に誤った情報を鵜呑みにしてしまい、赤外活性気体が赤外線を吸収することばかりに注目して、同時に熱放射で放熱していることをまったく認識していないようです。それが「ペットボトルに詰めた赤外活性気体に赤外線を照射すれば赤外線のエネルギーを吸収して温度上昇する＝温室効果を再現できる」と短絡的な発想につながったのだと考えます。

もしも、JCCCA の図のように有効太陽放射よりも地球からの熱放射が小さければ、地球大気の保有するエネルギー量は限りなく増大して気温が上昇し続ける熱暴走状態になってしまいます。定常的な地球環境ではあり得ないことです。

この点について、高校「地学基礎」の学習指導要領は次のように述べています。

**「地球全体の熱収支」については、太陽放射の受熱量と地球放射の放熱量がつり合っていることを扱い、温室効果にも触れること**(傍点:近藤)。

温室効果の本質はエネルギーを貯め込むことではありません。前述の通り温室効果とは、地表面に代わって大気上層において赤外活性を持つ気体（あるいは雲頂）からの熱放射によって宇宙空間に放熱することによって生じる現象です。赤外活性を持つ気体＝温室効果ガスがあるからこそ大気から宇宙空間に放熱することができるのです。

ペットボトル実験は大気中で行われています。前述のように、温室効果が発現するための一つの条件である「真空の空間」を再現することは出来ません。したがって、ペットボトル実験で温室効果そのものをモデル化して検証することは理論的に不可能です。

では、ペットボトル実験は一体何を「検証」しようとしているのでしょうか？今回、ネット上で公開されているペットボトル実験の当事者の方に伺ったところ、その内容が二つの類型に分かれるようです。

- ①温室効果の発現にかかわる赤外活性気体の赤外線の吸収能力を示そうとする実験。
- ②温暖化の原因を大気の保温効果であるとして、加熱した気体の放冷特性を示す実験。

## 3-2 ペットボトル実験各論

### 3-2-1 赤外活性を示すペットボトル実験

これは、ペットボトルにそれぞれ空気と赤外活性気体（主に二酸化炭素）を充填した試料を用意して、これに赤外線を照射して温度の違いを測定することで、二酸化炭素の赤外線吸収量を示そうという対照実験です。

赤外線として、太陽放射を用いるものと赤外線ランプを用いるものが主流です。特異なものとして温水を用いるものがあります。

## 3-2-1-1 赤外活性気体の赤外線吸収による温度

熱放射についてはステファン・ボルツマンの法則によって、黒体放射  $I_B$  と黒体の温度  $T$  の関係が示されています。

$$I_B = \sigma \cdot T^4$$

ここに、 $I_B$ : 黒体放射発散度 ( $W/m^2$ )  $\sigma$ : ステファン・ボルツマン定数  $5.67 \times 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4})$

黒体放射  $I_B$  は熱放射の最大値を示すものであり、実際の物体からの熱放射は黒体放射に対する射出率  $\varepsilon < 1.0$  を用いて次のように表すことができます。

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = \varepsilon \cdot I_B$$

温度  $T$  の黒体の分光放射発散度を  $I_B(T, \lambda)$ 、ある物質の分光射出率を  $\varepsilon(\lambda) \leq 1.0$  (例えば、図 3.4 に示す波長に対する吸収率の分布: 分光射出率  $\varepsilon(\lambda)$  は分光吸収率  $\alpha(\lambda)$  と等しい) とすると、射出率  $\varepsilon$  は次式で定義されます。

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} I_B(T, \lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_B(T, \lambda) d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} I_B(T, \lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda}{I_B} < 1.0$$

$\varepsilon$  は物質の特性と温度によって定まる定数です。熱放射  $I$  を放射している物体の温度は次式で求めることができます。

$$T = \sqrt[4]{\frac{I}{\varepsilon \cdot 5.67 \times 10^{-8}}} \quad (K)$$

今、着目する物体表面における分光放射照度を  $I_0(T_0, \lambda)$ 、ある物質の分光吸収率を  $\alpha(\lambda) \leq 1.0$  とすると、吸収率  $\alpha$  は次式で定義されます。

$$\alpha = \frac{\int_0^{\infty} I_0(T_0, \lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_0(T_0, \lambda) d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} I_0(T_0, \lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{I_0(T_0)} < 1.0$$

$\alpha$  は物質の特性と温度によって定まる定数です。物体表面における放射照度を  $I_0(T_0)$ 、赤外線の吸収率を  $\alpha$  だとすると、放射平衡状態では、

$$\alpha \cdot I_0(T_0) = I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad T_0: \text{赤外線源の温度. 一般に } T \neq T_0$$

その温度は、次のように計算できます。

$$T = \sqrt[4]{\frac{\alpha \cdot I_0(T_0)}{\varepsilon \cdot 5.67 \times 10^{-8}}} \quad (K)$$

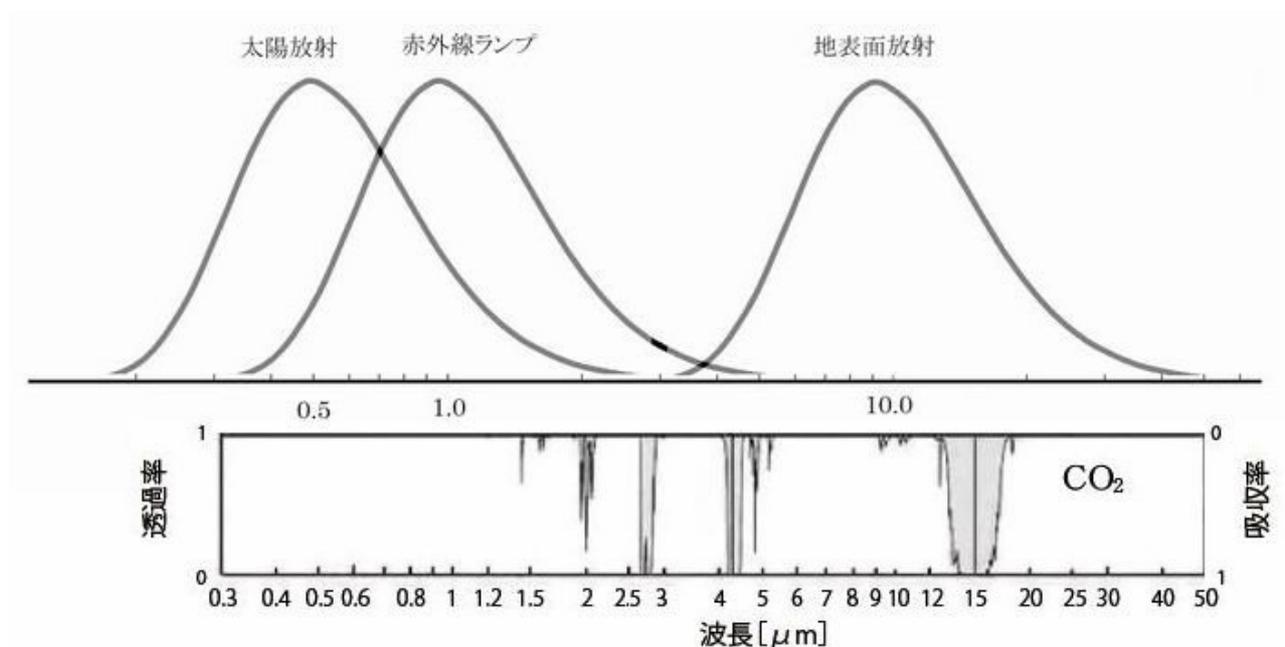
$T = T_0$  の場合には  $\alpha = \varepsilon$  が成り立ち、これをキルヒホッフの法則と言います。

### 3-2-1-2 実験装置の問題

この実験では三つの問題が考えられます。

一つ目の問題は、気体の温度を計測することで赤外線吸収量を示すことが可能なのか、という本質的な問題です。いくら 100%の二酸化炭素を使用したとしても、ペットボトルの内径程度の光学的深さの試料で有意に温度差に表れるほどの赤外線吸収が起こるのでしょうか？

二つ目の問題は、赤外線スペクトルの違いの問題です。地球の温室効果を対象とする実験であれば、対象とする赤外線は地表面放射であり、平均的に 288K の常温の物体から放射される赤外線（放射スペクトルのピークは  $10\mu\text{m}$  付近）を用いる必要があります。ペットボトル実験で用いられている太陽光は約 5887K 程度（放射スペクトルのピークは  $0.5\mu\text{m}$  付近）、赤外線ランプは 3000K 程度（放射スペクトルのピークは  $1\mu\text{m}$  付近）の線源温度であり、赤外線スペクトルの分布が全く異なっているため、地球の温室効果の検証実験としては意味がありません。



図に太陽放射、赤外線ランプの放射、地表面放射のスペクトル分布と二酸化炭素の透過・吸収スペクトル分布を示しています。二酸化炭素の最大の吸収帯域は 288K の地表面放射と重なる波長  $15\mu\text{m}$  付近です。太陽放射や赤外線ランプの放射に重なる吸収帯域はわずかです。光学的深さの浅いペットボトル実験では、ペットボトルの方がはるかに多くの赤外線を吸収するため、気体の温度差を検出するのは困難だと考えられます。

さらに、赤外線ランプは太陽光と違って拡散光なので、試料との距離や照射角度によって放射照度が変わるため安定した実験環境を作るのが困難だと考えられます。

三つ目は、そもそも空気という熱伝導媒体の充満する空間で、ペットボトルという赤外線をよく吸収する容器を使用して、容器に充填した気体の赤外線吸収量を温度差で示すことは理論的に可能なのか、という問題です。

熱力学の基本原理である熱平衡あるいは熱力学第 0 法則は、

「熱の交換が可能な物体系において、物体間に熱の移動がなく、かつ相の変化もないときに、これらの物体系は熱平衡にあるといい、熱平衡にある各物体の温度は等しい。一般に孤立した系は十分に長く放置すれば必ず熱平衡の状態になる。A と B が熱平衡にあり、A と C も熱平衡にあれば、B と C とを熱的に直接接触させると必ず熱平衡にある。」

(出典 ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典)

とされています。要するに、熱いものと冷たいものを同じ入れ物に入れておけば、そのうちみな同じ温度になるという日常的に経験していることです。当たり前のことですが、熱平衡が成立するからこそ、私たちは接触温度計で温度を測ることができるのです。

気体は一般的に熱伝導と対流によって熱エネルギーを絶えず授受しています。赤外活性を持つ気体であれば熱放射、赤外線吸収によってもエネルギーを授受しています。

試料気体を充填する容器であるペットボトルは熱伝導によって熱を授受するだけでなく、赤外線を吸収し、同時に熱放射しています。

ペットボトル実験では、実験室内の空気、ペットボトル、ペットボトルに充填された試料気体は、赤外活性の有無に関わりなく「熱交換が可能な物体系」を構成します。定常状態になれば実験系は熱平衡ないし局所熱力学平衡状態になり、ペットボトルに接する周辺の空気とペットボトルと試料気体は同じ温度になります。

一方、前述の通り、気体の温度とは熱平衡ないし局所熱力学平衡状態における気体分子の平均的運動エネルギーの指標となる示強性の物理量です。

つまり、ペットボトル実験は実験系の温度状態が定常状態＝熱平衡ないし局所熱力学平衡になった状態で初めて所与の条件下での気体温度が定義可能であり、その温度は試料気体の赤外活性の有無にかかわらず同じ温度になるのです。したがって、ペットボトル実験で赤外活性を示すことは不可能です。

### 3-2-1-3 無意味な実験のための理想的な実験装置

以上の考察から、赤外活性を気体の温度差で示すことを目的とするペットボトル実験は成り立ちません。その上で、敢えて実験を行うとして、最も簡単で正しい実験装置を考えてみることにします。

赤外線源の温度は地表面放射と同等の常温 288K 程度にします。これはランプなどの赤外線源を必要としません。私たちの身の回りには常温の物体がいくらでもあるため、常に常温の赤外線に曝された状態です。

ここでは実験環境を周囲の影響から隔離した『孤立系』と見なせるようにするために、ペットボトルが 2 本ゆとりをもって収めることのできる程度の大きさの断熱性の良い段ボール箱を用意します(出来れば内面をつやのない黒い塗料で塗装しておくといよいでしょう)。この段ボール箱をしばらく室内に放置して室温と同じ温度にしておきます。これで段ボール箱が室温に等しい熱放射をする赤外線源になります。段ボール箱の表面は黒体放射に対

して 90%以上の射出率の熱放射をします。

ここまでの準備ができたなら、試料気体を充填したペットボトルを段ボール箱に収め、蓋を閉めて温度を計測し、温度変化がなくなるまで放置し、定常状態＝熱平衡になった段階で温度を計測します。結果は明らかです。段ボール内は、試料気体の赤外活性の有無にかかわらず、すべて同じ温度になります。

赤外線として常温の赤外線源を想定していれば、ペットボトルに充填した気体の赤外活性の有無を気体温度の違いで示せるのではないかと、という発想は起きなかったのではないのでしょうか？

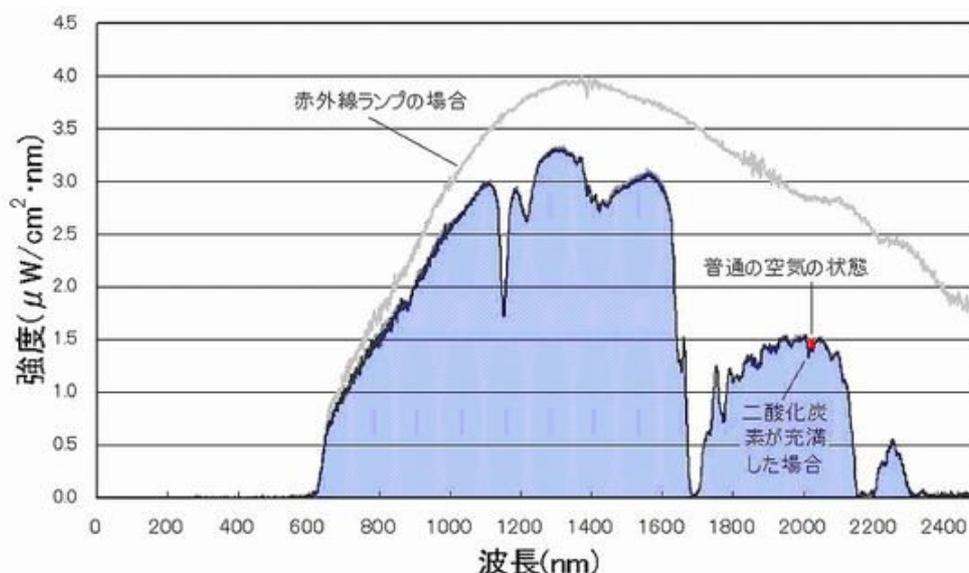
ペットボトル実験では、おそらく実験をショーアップするために、広い空間で赤外線ランプという地球放射とは全く異なる高温の点光源を用いたことによって、実験の本質が分かりにくくなり、誤解が入り込むことになったのではないかと推測します。

### 3-2-1-4 実験結果の検証

ここではネット上に公開されていた実験レポートの実験結果について考察します。

#### (1) 赤外線の大部分は容器によって吸収されている

東京理科大学の実験報告では、ポリスチレン容器に空気を充填した試料と 100%二酸化炭素を充填した試料について透過赤外線スペクトルを計測しています。



図では灰色で示した赤外線ランプの放射スペクトルが気体試料を充填したポリスチレン容器を透過した後の赤外線スペクトルを青で着色して示しています。

図には、空気を充填したポリスチレン容器の透過スペクトルと二酸化炭素を充填したポリスチレン容器を透過したスペクトルを示しています。ほとんどの波長帯域で差はなく、僅かに 2000nm (=2μm) 付近で赤で着色した部分に差が見られます。ここでは仮に二酸

化炭素の赤外線吸収率(赤外線ランプスペクトルの面積に対する赤着色部分の面積の比率)  $\alpha_{\text{CO}_2}$  を 0.01 程度と仮定しておきます (実際はもう少し小さいようです)。

赤外線ランプの放射スペクトルと透過スペクトルの差の大部分はポリスチレン容器に吸収されています。ポリスチレン容器の赤外線吸収率  $\alpha_c$  は 0.5 程度です。

ここで、ポリスチレン容器に充填されている二酸化炭素の温度を推定してみます。赤外線ランプからの放射  $I_0(T_0)$  を受けて放射平衡にある物体の温度は次式で求められます。

$$T = \sqrt[4]{\frac{\alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{I_0(T_0)}{5.67 \times 10^{-8}}} \quad (\text{K})$$

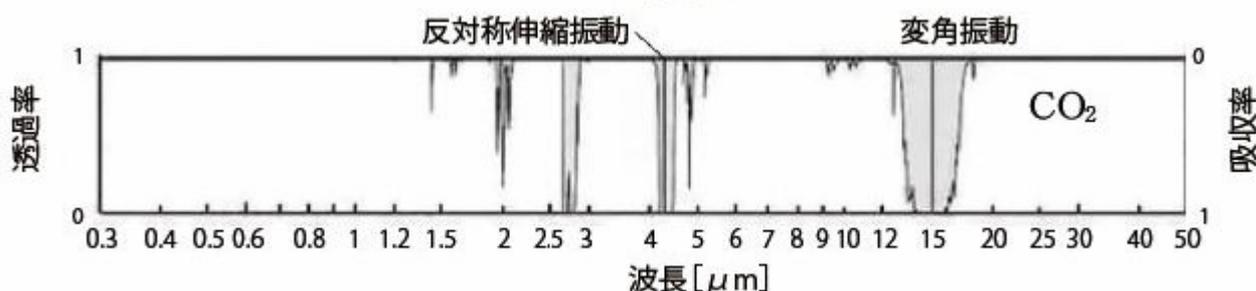
$T_0$  は赤外線ランプの線源の温度なので、3000K 程度です。図に灰色で示した赤外線ランプの放射スペクトルを波長 0~ $\infty$  の範囲で積分した値 (面積) が  $I_0(T_0)$  です。ここでは 600W/m<sup>2</sup> 程度とします。

赤外線ランプの放射を受けたポリスチレン容器の温度は 35°C 程度です。したがって、ポリスチレン容器の射出率は次のように求められます。

$$273 + 35 = \sqrt[4]{\frac{0.5}{\varepsilon} \cdot \frac{600}{5.67 \times 10^{-8}}} \quad (\text{K})$$

$$\frac{1}{\varepsilon} = 308^4 \times \frac{1}{0.5} \cdot \frac{5.67 \times 10^{-8}}{600} = 1.69 \quad \therefore \varepsilon = 0.591$$

二酸化炭素の分光射出率 (= 分光吸収率) の分布は下図の通りです。二酸化炭素は 3000K の赤外線放射を主に 2  $\mu\text{m}$  付近で吸収し、主に 15  $\mu\text{m}$  付近で熱放射することになります。



二酸化炭素の射出率  $\varepsilon = 0.1$  程度と仮定しておきます。ポリスチレン容器内の二酸化炭素の、吸収した赤外線に対する放射平衡温度を求めると次の通りです。

$$T = \sqrt[4]{\frac{0.01}{0.1} \cdot \frac{600}{5.67 \times 10^{-8}}} = 180.4 (\text{K}) = -92.6 (^\circ\text{C})$$

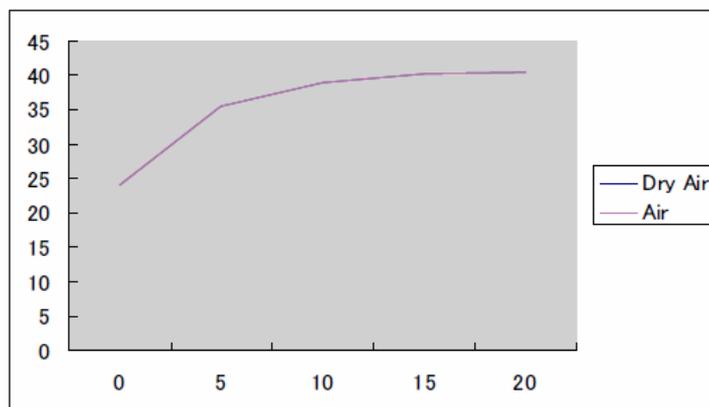
以上の試算から、赤外線ランプからの赤外線吸収率が極めて小さい二酸化炭素の放射平衡温度はポリスチレン容器の温度よりも、あるいは室温よりもはるかに低いことが分かります。したがって、充填された二酸化炭素はポリスチレン容器からの熱伝導で一方向的に温められているのです。

厳密にはペットボトルについても透過スペクトルの測定で確認する必要がありますが、赤外活性気体である二酸化炭素と赤外活性のない空気の 2000nm 付近の赤外線吸収量の差

はわずかで、二酸化炭素の赤外線吸収率は極めて小さく、吸収エネルギーに対する放射平衡温度はペットボトルの放射平衡温度よりもはるかに低くなると考えられます。したがって、二酸化炭素はペットボトルからの熱伝導によって温められることとなります。

弘前大学教育学部の実験報告では、ペットボトルに乾燥空気と空気を充填した試料について比較した結果が掲載されています。

表2 空気と乾燥空気での実験結果



ペットボトルと赤外線電球の配置

結果を見ると、赤外活性のない乾燥空気と空気に全く差はなく、赤外線ランプ照射開始直後から試料気体の温度が上昇していることが分かります。乾燥空気は赤外線を吸収しないので、図に示された温度上昇はすべてペットボトルからの熱伝導によって生じています。この結果からも、ペットボトルを用いても、赤外線ランプからの放射の吸収の大部分は容器が担っていると推測されます。

屋内で赤外線源として赤外線ランプを用いる実験では、絶えず外部（電源）からエネルギーの供給があるため、熱平衡にはなりません。理想的には、赤外線ランプ以外に一切の熱源がない状態にして、赤外線ランプで供給されるエネルギーと実験室から散逸するエネルギーが等しくなり、実験室内のあらゆる場所の温度に変化がなくなったときに、任意の場所で局所熱力学平衡になったと見なせます。

ペットボトルに均等に赤外線が照射され、熱伝導や対流の条件が等しければ、ペットボトルに充填した気体が空気であっても二酸化炭素などの赤外活性のある気体でも、ペットボトルからの熱伝導によって温められ、ペットボトルと同じ温度になって定常状態になります。温度差によって気体による赤外線吸収量を比較することは不可能です。

厳密には定常状態になったとき、ペットボトルに充填された二酸化炭素はペットボトルからの熱伝導で温められているので、自ら吸収した赤外線量に対する放射平衡温度よりもはるかに高温になっています。熱放射量は吸収した赤外線量よりも大きくなっているため、むしろ二酸化炭素を充填したペットボトルの方が低温になると考えられます。

もう一つ別の視点から考えてみます。

前述の通り、放射照度  $I_0(T_0)$  を受けて放射平衡にある物体の温度は次式で求められます。

$$T = \sqrt[4]{\frac{\alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{I_0(T_0)}{5.67 \times 10^{-8}}} \quad (K)$$

空気を充填したペットボトルの  $I_0(T_0)$  に対する吸収率と自らの熱放射の射出率の比率と、二酸化炭素を充填したペットボトルの二酸化炭素を含めた  $I_0(T_0)$  に対する吸収率と自らの熱放射の射出率の比率を考えます。

東京理科大学の赤外線ランプ (3000K 程度) による赤外線の透過スペクトルの測定結果から推定して、 $I_0(T_0)$  に対する空気と二酸化炭素を詰めたペットボトルの吸収率にはほとんど差がないと考えられます。

$$\alpha_{air} \doteq \alpha_{CO_2}$$

一方、ペットボトルの温度は  $35^\circ\text{C}$  ( $308\text{K}$ ) 程度であり、 $308\text{K}$  の黒体放射スペクトル (ピーク波長は  $9.41 \mu\text{m}$ ) は、二酸化炭素の主要な熱放射帯域である  $15 \mu\text{m}$  付近に重なるため、二酸化炭素を充填したペットボトルの射出率の方が大きくなると考えられます。

$$\varepsilon_{air} < \varepsilon_{CO_2}$$

したがって、

$$\left( \frac{\alpha_{air}}{\varepsilon_{air}} \right) > \left( \frac{\alpha_{CO_2}}{\varepsilon_{CO_2}} \right) \quad \therefore T_{air} = \sqrt[4]{\frac{\alpha_{air}}{\varepsilon_{air}} \cdot \frac{I_0(T_0)}{5.67 \times 10^{-8}}} > \sqrt[4]{\frac{\alpha_{CO_2}}{\varepsilon_{CO_2}} \cdot \frac{I_0(T_0)}{5.67 \times 10^{-8}}} = T_{CO_2}$$

つまり、二酸化炭素を充填したペットボトルの放射平衡温度  $T_{CO_2}$  の方が低くなります。

しかし実際には温度差は小さく、周囲の空気からの熱伝導で常に熱を補填されるため、温度差が計測されることはないでしょう。

赤外線源として特異なものとして温水を用いた例について触れておきます。これは旧さぬき市立大川第一中学校の実験です。空気と二酸化炭素を詰めたペットボトルを  $60^\circ\text{C}$  の温水につけるといふものです。

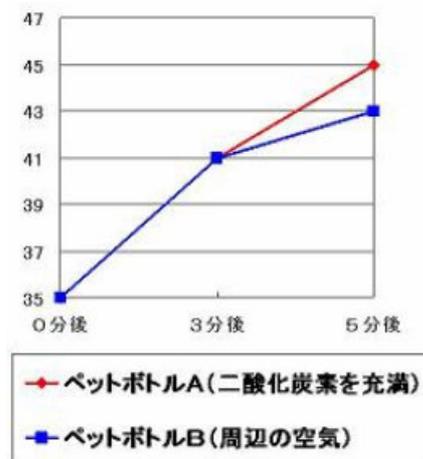
水の赤外線の射出率は  $95\% \sim 98\%$  と高く、しかも赤外線ランプのような点光源ではないので、安定した実験だと考えられます。しかも水温  $60^\circ\text{C}$  ( $333\text{K}$ ) と比較的地表面放射に近い温度である点でも優れています。できれば常温である  $288\text{K}$  ( $15^\circ\text{C}$ ) の水で実験すればさらに良かったと思われれます。

ただし、この実験では、温水とペットボトルが直接接触しているため、ペットボトルは温水からの熱放射よりも熱伝導によって温められ、試料気体はペットボトルからの熱伝導で温められることとなります。

この実験は温水を入れた容器および気体を充填したペットボトルは熱交換可能な孤立系と見なせるので、定常状態では熱平衡になるため、すべてが同じ温度になります。

以上の検討から、いずれもペットボトルの加熱実験であり、試料気体はペットボトルからの二次的な熱伝導によって温められていることが分かりました。赤外活性気体による赤外線の吸収量を試料気体の温度差で推定することは不可能です。

## (2) 経過時間－温度曲線についての解釈



ペットボトル実験では、さぬき市立大川第一中学校の温水による加熱実験が最も分かりやすいので、まずこの実験について考えます。

ペットボトルに空気と二酸化炭素を充填して 60°C の温水につける実験です。この実験では赤外線源である温水とペットボトルと試料気体が互いに接触しているので、「熱の交換が可能な物体系」を構成しています。したがって、熱平衡になり物体間に熱の移動がなく相変化もない状態になれば、温水とペットボトル、ペットボトルと充填された試料気体はすべて同じ温度になります。

したがって、ペットボトルに充填した気体が空気であっても赤外活性のある二酸化炭素であっても、熱平衡に至れば温度は温水と同じ 60°C になります。この場合、赤外線ランプを用いる場合と異なり、 $T=T_0$  なので、キルヒホッフの法則が成り立つので  $\alpha = \varepsilon$  です。

大川第一中学校のホームページに掲載された実験結果を示すグラフを見ると、時間経過とともに空気と二酸化炭素に温度差が生じています。

この実験は 5 分後に温度計測をやめ、「二酸化炭素を充填させたペットボトル A と普通の空気をいれたペットボトル B では、5 分で、2°C の差がついた。つまり、二酸化炭素には温室効果がある、ということが分かった。」という誤った結論を導いてしまいました。

グラフからわかるように、実験を打ち切った段階でまだ気体温度は上昇を続けている＝遷移状態にあり熱平衡に至っていません。したがって、与えられた条件下の気体温度を確定することはできません。気体の温度とは、熱平衡ないし局所熱力学平衡の成立する気体における平均的な気体分子の運動エネルギーの指標です。つまり実験系が熱平衡ないし局所熱力学平衡に至った段階で初めて確定できるのです。

この実験に用いた温水の温度は 60°C なので、熱平衡になると空気も二酸化炭素もともに 60°C になるという、全く当たり前の結果になります。しかしそれは同時に、この実験の目的であった「温度差によって赤外線吸収量の差を計測する」ことができないことを意味しています。

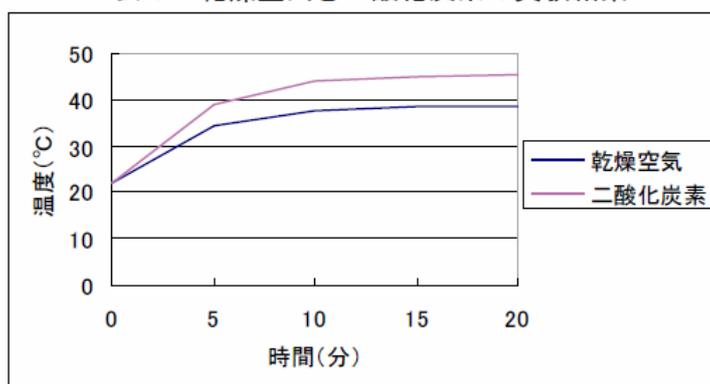
以上から、赤外線源と熱交換が可能な実験系では、ペットボトルに詰めた試料に赤外活性が有っても無くても熱平衡ないし局所熱力学平衡に至れば同じ温度になるため、赤外活

性を温度差で示すことは理論的に不可能です。

さぬき市立大川第一中学校の実験は、おそらく「気体温度に差が出るのが正しい」という先入観によって、空気と二酸化炭素に温度差が確認できた段階で実験を打ち切ったために誤った結論を導いたのです。（むしろ実態は、二酸化炭素に「温室効果があることを見せる」ために計画されたデモンストレーションであり、そもそも何かを実験によって確認する意図はなかったのではないかと推測されます。）

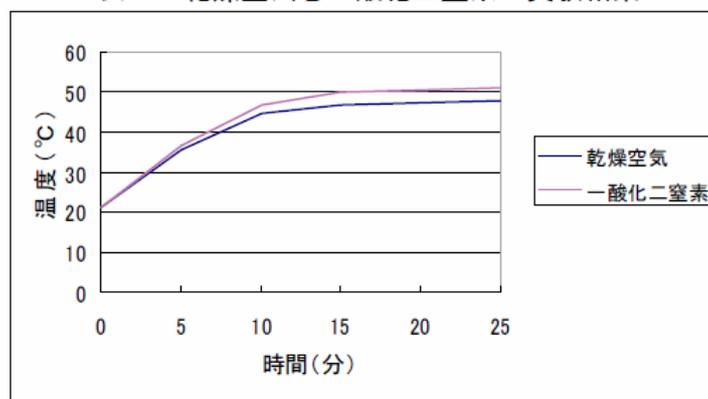
赤外線ランプを用いた例として、弘前大学教育学部の実験結果を示します。

表4 乾燥空気と二酸化炭素の実験結果



最大温度差7.8度

表5 乾燥空気と一酸化二窒素の実験結果



最大温度差3.2°C

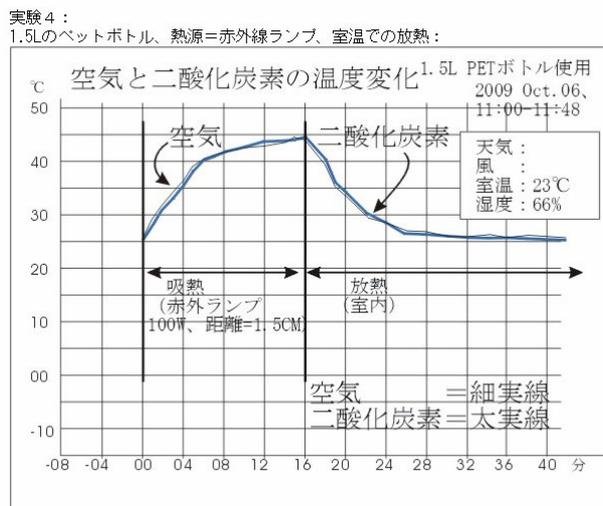
二つの実験結果で注目したいのは、乾燥空気と対照の赤外活性気体の温度差ではなく、二つの実験の乾燥空気の温度変化です。同じ条件で実験が行われたようですが、全く異なる結果になっています。

二酸化炭素との対照実験では、20分間経過時点の乾燥空気の温度は38°C程度ですが、一酸化二窒素との対照実験では20分間経過時点の乾燥空気の温度は48°C程度になっています。10°Cの差というのはあまりにも大きな差ではないでしょうか。これでは実験の信頼性は極めて低いと考えざるを得ません。

ちなみに、一酸化二窒素との対照実験の乾燥空気の温度上昇は、二酸化炭素の温度上昇よりも大きいからです。

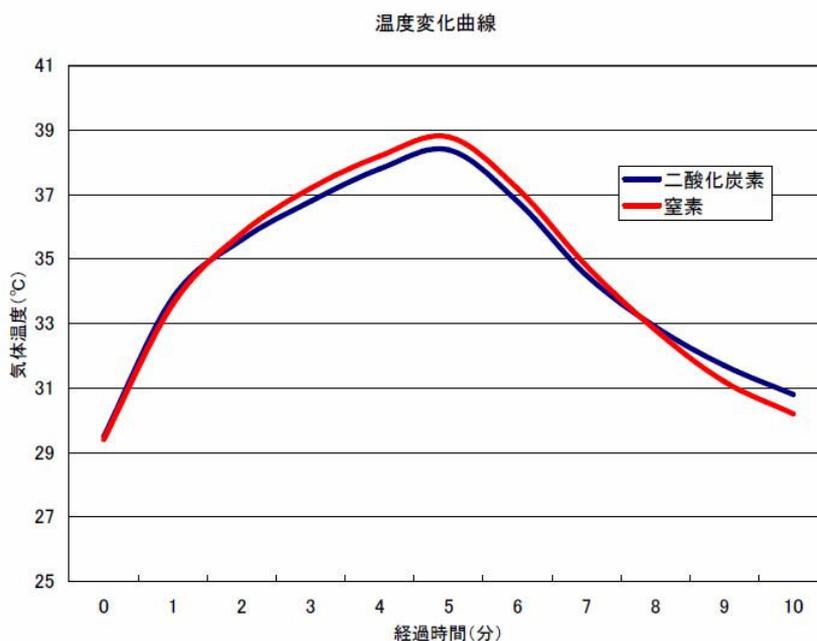
このことから、赤外線ランプ照射によるペットボトル実験は、実験条件を適切に設定することがむつかしく、実験の信頼性、再現性は極めて疑わしいとしか言いようがありません。また、実験は温度状態が定常状態になる以前で打ち切られていることも問題です。

赤外線ランプを用いたペットボトル実験についてのもう一つの例として、ホームページ「Weather Information Technology Research & Development」の「二酸化炭素の温度変化実験」からの結果を示します。



この結果では、空気と二酸化炭素に差は見られないことが報告されています。

赤外活性の検証が目的ではないとされていますが、香川大学教育学部の実験結果を示します。



窒素の特性は乾燥空気とほぼ同じと考え、この実験では赤外活性のない窒素の方がむしろ温度上昇が早くなっています。

以上、ペットボトルに空気（≒窒素）と二酸化炭素を充填し、赤外線ランプの照射による気体温度変化を測定した対照実験をいくつか見てきましたが、その結果はばらばらだということが分かりました。

これを見ると、何をどのように検証するのかという理論的な問題からペットボトル実験は無意味であることは前述の通りですが、実験の再現性・信頼性の意味でも全く実験としての体を成していないことが分かります。

### 3-3 二酸化炭素の「保温効果」の検証実験

香川大学教育学部 CST（コア・サイエンス・ティーチャー）のホームページに公開されている「二酸化炭素の性質（保温効果）を調べよう」では、二酸化炭素の保温効果が地球温暖化に関連しているとして、「二酸化炭素の加熱・冷却に対する温度変化を測定することで、地球温暖化の原因がなぜ二酸化炭素なのか、その根拠を科学的に検証する」ことを目的に実験を行うとしています。

実験は、ペットボトルに二酸化炭素と、対照試料として空気ではなく窒素を充填して、これにランプを5分間照射し、その後ランプを消してその温度変化を調べるというものです。

実験結果（前出の図）を見ると、ランプの照射に対して二酸化炭素の方が温度上昇が小さく、ランプ消灯後の冷却過程でも温度低下が小さくなっています。この結果から分かることは、この実験の範囲では、二酸化炭素を充填したペットボトルの方が熱容量が大きいということです。

この結果について「二酸化炭素と窒素による温度変化を比較することで、二酸化炭素の温度低下がわずかながら緩やかになっていることが確認でき、生徒は物質の温度変化の違いが実感できる。」としています。

この結果が、「地球温暖化の原因がなぜ二酸化炭素なのか」というこの実験の目的にどのように結びつくのか分からなかったため、香川大学教育学部 CST 担当者に伺ったのですが、明確な回答は得られませんでした。

ここからは推測ですが、気体の物性としての比熱の違いが地球大気温度変化に対して影響しているという仮説を検証しようとするもののように思えます。

しかし、地球大気の組成を見ると、二酸化炭素はわずか400ppm程度です。近年取り沙汰されている産業革命以降の地球の平均気温上昇は0.6~1.0°C程度です。一方、この間の大気中の二酸化炭素濃度の上昇量は100ppm（1/10000）程度です。この程度の変化が大気の熱容量に対して与える影響はほとんど無視できます。

#### 4. 総括

まず、ペットボトル実験で対象とされた地球温暖化、「温室効果」とは、単なる気体の赤外線放射・吸収にかかわる物理的な特性ではなく、真空の宇宙空間にある赤外活性気体を含む大気層に覆われた地球という空間的な構造を持つ場に起こる現象であることを確認しておかなくてはなりません。

したがって、熱伝導による放熱ができる空気中で、赤外線を放射・吸収するペットボトル容器に充填した「光学的深さ」が極めて浅い赤外活性気体という構成のモデルによって再現することは端から無理だったのです。

赤外活性気体の赤外線の吸収という一面的な性質だけに注目し、赤外活性気体はその温度状態に応じた熱放射をしていることを見落とし、ペットボトルの赤外線の放射・吸収について見落とし、更には熱力学の基本的な法則である熱平衡、あるいは気体温度が局所熱力学平衡において定義される状態量であるということにさえ考えが及ばなかったという、およそ科学の名に値しない杜撰な「実験」だったのではないのでしょうか。なぜこのようなことが起こってしまったのでしょうか？

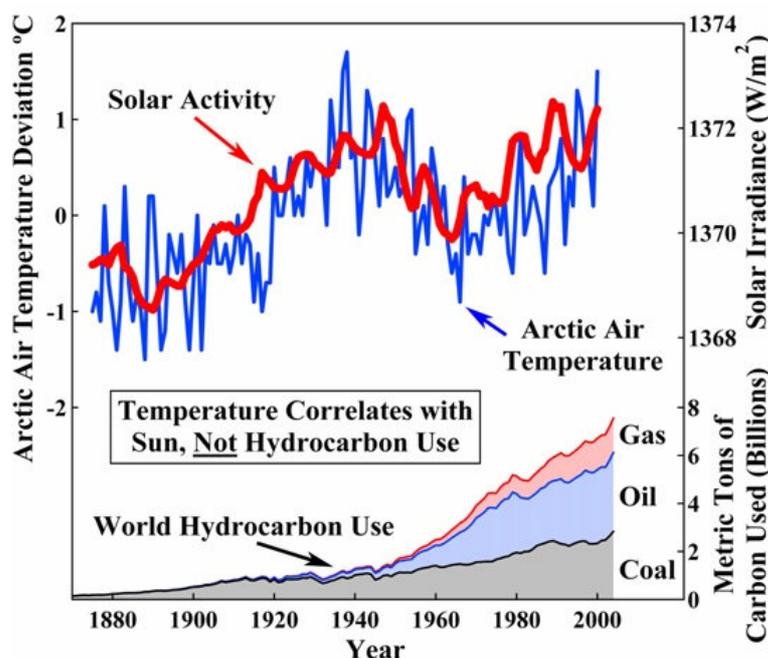
おそらく、人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化が人間社会にとって脅威となると「信じて」、それを子供たちにも目に見える形で紹介することが必要だという「善意」から始まったことではないかと推測します（少なくとも、自らの経済的・社会的地位の向上のために、偽りを知りつつデータを改竄してまで人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化というフィクションを広めようとした多くの職業的気象研究者たちとは違うと、信じたいと思います。）。

そこでは、自然科学的な正確さよりも外形的に「二酸化炭素の温室効果と見える現象」を簡単な装置で実現することを優先したのではないのでしょうか？実験を通して自然現象を確かめるのではなく「CO<sub>2</sub>に温室効果があることを見せる」ための道具立てを整えただけの、言わば科学を装った「見世物」だったということではないのでしょうか。

悪意はなかったと信じたいのですが、人為的 CO<sub>2</sub> 温暖化を事実であると強弁して、実質的には大企業に恩恵をもたらす経済政策である温暖化対策に対して巨額の国家予算を投じることを正当化したい国や、その経済的恩恵に寄生する似非気象学者や大企業の目論見に加担し、実質的には自然科学的に全く誤った見世物で、子供たちを人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説によって洗脳した責任は決して小さくないことを認識していただきたいと考えます。

たかが子供相手の「ペットボトル実験」かもしれませんが、そこには人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説を信仰する非科学の善意による世の狂騒状態の縮図を見ることができます。

最大の問題は、人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説は、近年の気温上昇を説明する一つの仮説、しかも非常に出来の悪い仮説に過ぎないにもかかわらず、これを初等中等理科教育の中で確認された事実のように紹介していることです。少なくとも理科教育に携わる教師や研究者であれば、人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化説は自然科学的に確認された事実ではなく、あくまでも一つの仮説であるということを知った上で、冷静で科学的な分析の上に対応するべきであったと考えます。



例えば上図は北極圏の気温変動と太陽放射照度、そして人為的な炭素使用量の経年変化を示したものです。これを見ると気温変動と太陽放射照度の変動傾向には極めて明瞭な相関関係が認められます。

完新世で最も寒冷であった時期の一つである小氷期が19世紀後半に終わり、20世紀中盤、ちょうど第二次世界大戦の終わるころまで気温は上昇傾向を示しました。その後1940年代から気温は低下傾向を示し、1970年代には小氷期終盤に匹敵するくらいに寒冷化しました。北極海では港湾が結氷し、海上交通に支障をきたすようになりました。この頃は、間氷期が終わり、そのまま本来の氷期に突入するのではないかと心配されました。

その後、幸い2000年にかけて気温は上昇傾向を示しましたが、2000年ころから太陽活動が衰退しはじめ、気温の上昇傾向は止まり、再び気温低下局面を迎えようとしています。

これに対して、人為的な炭素使用量は、産業革命以降単調に増加しています。第二次世界大戦後からは戦後復興によって炭素使用量は急速に上昇を始めました。しかし同じ時期に、炭素使用量の増加に全く逆行するように、気温は1970年代を底とする顕著な低下傾向を示しました。炭素使用量と気温がともに上昇傾向を示したのは、その後の1970年代終盤から2000年にかけてのわずか30年足らずの期間に過ぎないのです。大気中のCO<sub>2</sub>濃度は2000年以降も上昇を続けていますが、気温の上昇傾向は停滞しています。

こうした気象観測事実を冷静に見れば、人為的CO<sub>2</sub>地球温暖化説に対する妄信的な信仰は、自然科学的に見て、極めて危ういと言わざるを得ません。

初等中等理科教育に携わる教師や研究者の皆さんには、こうした事実を踏まえ、人為的CO<sub>2</sub>地球温暖化キャンペーンに飲み込まれることなく、冷静で何より自然科学に立脚した確かな事実を子供たちに示されるよう、切望します。科学とは信じるのではなく、絶えず疑問を抱き続けることなのです。

## 参考

- 1) 「【自由研究・地学】二酸化炭素の性質から地球温暖化の原因を探る」 (ReseMom)  
<https://resemom.jp/article/2018/07/23/45806.html>
- 2) 「実験 1 温室効果」 (さぬき市立大川第一中学校)  
[http://www.sanuki.ed.jp/ookawa1-j/pcc/h20mediapost/3index\\_2.html](http://www.sanuki.ed.jp/ookawa1-j/pcc/h20mediapost/3index_2.html)
- 3) 「地球温暖化のデモンストレーション実験」 (東京理科大学川村研究室)  
<https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/~elegance/jikkensp10/onndannka.html>
- 4) 「二酸化炭素の性質 (保温効果) を調べよう」 (香川大学教育学部)  
[https://www.ed.kagawa-u.ac.jp/~cst/activity/img/card/yagi\\_2.pdf](https://www.ed.kagawa-u.ac.jp/~cst/activity/img/card/yagi_2.pdf)
- 5) 「温室効果ガスの検証実験と中学校における教材化に向けた基礎研究」 弘前大学教育学部紀要 第104号 : 45~51 (2010年10月)
- 6) 「二酸化炭素の温室効果を確かめる」 (神奈川県立横浜桜陽高等学校教諭 鈴木正明)  
[https://www.chart.co.jp/subject/rika/scnet/18/sc18\\_4.pdf](https://www.chart.co.jp/subject/rika/scnet/18/sc18_4.pdf)
- 7) 「二酸化炭素の温度変化実験」 (Weather Information Technology Research & Development)  
<http://www.ny.airnet.ne.jp/satoh/expmkidsEX.htm>
- 8) 「検証温暖化」 (近藤邦明 著、2019年7月、不知火書房)