

二酸化炭素の温室効果を確認する 化学から環境科学へ

神奈川県立横浜桜陽高等学校教諭 鈴木正明

1. はじめに

地球温暖化の最大の原因は、二酸化炭素 CO_2 をはじめとする温室効果ガス(熱エネルギーを吸収する性質をもつ)の増加による大気圏内の熱の蓄積である。人類によって大気中へ排出される CO_2 の量は年間炭素換算 70 億トンである。

地球の温暖化を防ぐため、 CO_2 排出抑制と省エネルギーと非化石系エネルギー資源の開発が当面の取り組み課題であり、 CO_2 の固定が今後の課題である。

CO_2 の固定には、「 CO_2 を排ガスの中から分離・回収し、深海や地中などに貯蔵する方法」、「化学的に変換して、再利用する方法」、「植物の光合成を利用する方法」などがある。日本では、火力発電所などから大量に発生する CO_2 を分離・回収し、海洋の中層に液体 CO_2 を放出する技術や、地中帯水層に貯留する技術の開発を進めているが、エネルギー収支や周辺環境への影響など、解決すべき課題が多い。

このような現状の中で、高校化学での CO_2 の実験教材を環境科学の視点で見直し、化学教育から環境教育への教材開発を試みた。

2. 教材の展開

I. 状態変化《液化または固化による CO_2 の固定》

物質は、気体、液体、固体のいずれかの状態をとる。 CO_2 の場合には、1 気圧のもとでは、気体が固体の状態しか見られず、液体の状態は存在しない(図1)。

最初に昇華の実験を試みた。次に、固体 CO_2 (ドライアイス) を液化して液体 CO_2 を見る実験を行った(昇華点 - 78.5)。

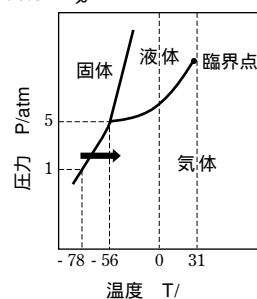


図1 二酸化炭素の状態図

〔実験1〕 CO_2 の昇華

電子天秤に断熱材として発泡スチロールの中空半球を乗せ、風袋消去をしたのち、ドライアイスを木槌で叩いて砕いたものを 44g よりやや多めに載せる(写真1)。



写真1

〔実験結果1と考察〕

- ・表示された秤量値が次第に減少していく様子から固体から直接気体になって拡散していく現象を確認することができた。
- ・44g (モル質量) から半減するまでに 1h18min (気圧 1001hPa, 温度 26.8 , 湿度 70% の下) かった。最初、昇華による質量減少の勢いがあるものの、次第にその減少速度が落ちた。これは、ドライアイスの周囲にある空気中の水蒸気が冷却されて液化し、さらに固化してドライアイスの表面を覆い、昇華を妨げたものと考えられる。
- ・44g の CO_2 がすべて気体となれば、標準状態の下では、体積は 22.4 l であり、固体の体積の 794 倍である(固体 CO_2 の密度は 1.56g/cm^3 (-78.5 , 1013hPa))(写真2)。このことを実感するには、秤量した 44g の固体 CO_2 をチャック付き小ポリ袋にすばやく入れ、それを 45l 大のポリ袋に入れた後にチャックを開封し、適温で加熱しながら、気化した CO_2 を 45l 大のポリ袋で封じ込めるとよい。

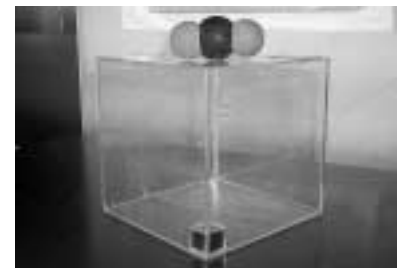


写真2

CO_2 の分子模型・1 mol の気体および固体の体積比較

〔実験2〕 液体 CO_2 を見る

ドライアイスの破砕物を塩化ビニルホース(長さ 35cm, 内径 10mm・外径 12mm と内径 15mm・外径 19mm で二重管にしたもの)に 3分の1ほど詰めて(写真3), ホース両端を 2つ折りして金具で締めて密封する。



写真3

〔実験結果2〕

- ・ホース内のドライアイスの昇華によって生じた気体 CO_2 の内圧上昇(5気圧以上)により、ドライアイスの液化が破砕物の表面から始まり、次第に液体 CO_2 が見られるようになった(写真4)。



写真4

- ・金具をゆるめるとホース内は急激に大気圧に戻り、断熱膨張の結果として、固体 CO_2 の雪状の結晶が現れる。一部の液体を気化させた際に要した潜熱が残りの液体を冷却したため、雪状の固体 CO_2 が得られた。

II. 分子量の測定《 CO_2 の分離・回収との関連》

気体の分子量の測定には、「分子量既知の気体との密度比(または同体積(同温, 同圧のもと)での質量比)から求める方法」、「揮発性物質の場合は気体の状態方程式を使って求める方法」などがある。

ここでは、空気より重い気体 CO_2 の分子量を、空気(平均分子量 28.8) の同体積の質量と比較して求める。

標準状態では気体 1 mol の気体の体積は 22.4 l であり、その質量はモル質量である(分子量 g)。

500ml のペットボトルに注入した CO_2 の質量とこの CO_2 と同体積の空気の質量比は各気体のモル質量比に等しい(写真5)。

$$M(\text{CO}_2 \text{ の分子量}) : 28.8 = W_{\text{CO}_2} : W_{\text{air}}$$



写真5

上部 CO_2 , 下部 air

〔実験3〕 CO_2 の分子量の測定

実験用 CO_2 小型ポンペ (a [g]) と、乾いた 500ml のペットボトルの質量 (b [g]) を 0.01g の単位まで測定する。

実験用 CO_2 小型ポンペのノズルをペットボトルの底に差し込み、電子天秤の表示が 0.16 ~ 0.20g 増えるまで CO_2 を注入する (d [g]) 。



写真6

再び、実験用CO₂小型ボンベの質量(*d* [g])を測定する。

注入されたCO₂の質量 *W*_{CO₂} とペットボトルから排除された空気の質量 *W*_{air} をそれぞれ算出する(これらの気体は同体積)。

$$W_{CO_2} = (a - d) [g]$$

$$W_{air} = \{(a - d) - (c - b)\} [g]$$

CO₂ と空気の質量比からCO₂の分子量 *M* を算出する。

$$M = \frac{W_{CO_2}}{W_{air}} \times 28.8$$

〔実験結果3と考察〕

条件	1014hPa, 32.0
<i>W</i> _{CO₂}	0.52g
<i>W</i> _{air}	0.35g
<i>M</i>	42.8g

表1

・使用する容器の大きさと注入するCO₂の量を適当に工夫すれば、より妥当な近似値が出ると考える。

III. 温室効果《地球温暖化のしくみ》

CO₂は大気中に0.03vol%含まれている。太陽から地球にやってくるエネルギーを地球大気は素通りさせるが、逆に地球から放射されるエネルギーの一部は地球大気に吸収され熱に変わり、地表温度を上昇させ高温に保つ。太陽からの放射エネルギーの99%までは地球大気を素通りする0.17~4/mの短波長である。地球表面はその99%を3~120/mの波長に変えて大気に放射する。このとき、CO₂は13~17/mのエネルギーを吸収するので、温室効果が生じる。

〔実験4〕 温室効果の室内実験

目的 CO₂の温室効果を検証する。

仮説 CO₂の温室効果があるならば、空気との対照実験で冷却温度の差異がみられるだろう。

準備 実験用CO₂小型ボンベ, 2.0ℓペットボトル(2個), デジタル温度計(分解能0.1), ストップウォッチ, 赤外線家畜用電球(150W), 電球照射器具, 実験用スタンド

操作 電子天秤に2.0ℓペットボトルを載せ, 風袋消去をする。

実験用CO₂小型ボンベのノズルをペットボトルの底に差し込み, 電子天秤の表示が0.70~0.80g

増えるまで, CO₂を注入する(CO₂濃度約20vol%)。ペットボトルに栓をして, 室温, 気圧, 湿度を測定する。

栓を抜き, 電球を設置して赤外線照射を15分行う(写真7)。



写真7
赤外線照射中

赤外線照射を照射後, 放冷しながら温度測定を行い, 記録する(写真8)。

測定経過時刻は0分, 1分, 2分, 3分, 4分, 5分, 6分, 7分, 8分, 9分, 10分, 12分, 14分, 16分, 18分, 20分, 25分, 30分とする。



写真8
放置冷却中

対照実験として空のペットボトル(空気の入ったもの)で上記 ~ の操作を行い, データをとる。

〔実験結果4〕

測定結果を表2に, グラフ化したものを図2に示す。

時間(分) (照射/放冷)	温度(°C) 20%CO ₂	温度(°C) 空気	操作
0	26.9	26.9	赤外線照射開始
15	30.1	30.9	赤外線照射終了
— 1	30.1	30.6	以後放置冷却
— 2	30.1	30.2	
— 3	29.7	29.7	
— 4	29.5	29.2	
— 5	29.4	28.8	
— 6	29.3	28.5	
— 7	29.0	28.2	
— 8	28.7	28.0	
— 9	28.5	27.9	
— 10	28.2	27.8	
— 12	28.0	27.5	
— 14	27.8	27.5	
— 16	27.6	27.5	
— 18	27.5	27.4	
— 20	27.5	27.4	
— 25	27.3	27.3	
— 30	27.2	27.2	

(気温: 26.9 湿度: 70% 気圧: 1001hPa)

表2

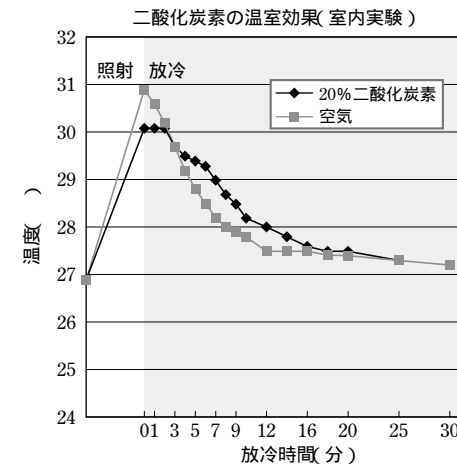


図2

〔考察4〕

20vol% CO₂と空気を比較すると放冷曲線に差異が見られ, CO₂の温室効果を確かめることができた。空調のない普通の化学実験室で行ったためデータの再現性は完全とはいえないが, 上記の傾向は再現性よく認められる。

室温, 湿度, CO₂濃度が最適の状態で行われたら, もっと顕著に差異のある結果が予想される。

ペットボトルは, 材質(ポリエチレンテレフタレート)がガラスに比べて赤外線吸収による保温効果が少なく, 実験に適切な素材の容器である。

〔参考1〕

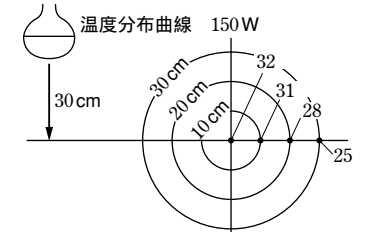


図3 赤外線家畜用電球の温度分布

〔参考2〕

CO₂は低濃度では, 無害であるが, 濃度が高くなると呼吸中枢を麻痺させるため, 多量のCO₂を取り扱うときには注意が必要である。許容濃度は0.5vol%である。(今回の実験ではペットボトル内は20vol% CO₂に抑えた。)

3. おわりに

産業革命前, CO₂濃度は280ppmv, 1994年時の濃度は358ppmvで, 濃度増加率/年1.5ppmvと報告されている(IPCC, 1994, 1995)。温暖化は宇宙や自然の気候の変動とは異なる人為的の結果による気候変動である。

現在, 系の選択科目のひとつとして環境科学の科目を担当し, 取り組んでいる。科学的な眼から環境問題を冷静にかつ客観的に理解しようと努めている。また, 一方で自然の素晴らしさに感動し, 自然を守ろうという気持ちを新たに積んでいる。

「宇宙船地球号」という発想が地球環境問題を考える上で基本的な視点になって久しい(1965年の国連経済社会会議でアドレイ・スティブソン氏の演説より)。この言葉は日々, 新鮮に思える。理科の教諭として生徒とのかかわりを持ちながら, 「地球を守るために, 自然と共生した持続可能社会の構築のために, 何が出来るか。」, 教育に携わる者のひとりとして何らかの役割を担いたいと思っている。受け継ぐこれからの世代のために。

以上の内容は本校夏季セミナーで実施した。より適当な開発教材をご教示いただけたら幸いである。

主な参考文献

- (1) 小宮山宏: 地球温暖化問題に答える。東京大学出版会(1995)
- (2) 二酸化炭素の効率海洋固定技術 NIRE ニュース 資源環境技術総合研究所(1997)
- (3) 化学大事典 東京化学同人(1989)