

日産科学振興財団 理科／環境教育助成 成果報告書

回次：第 **4** 回 助成期間：平成 **19** 年11月1日～平成 **20** 年10月31日（期間 **1** 年間）
 テーマ： 「水」の蒸発・凝結・凍結実験とその教材としての利用
 氏名： 小西啓之 所属： 大阪教育大学 登録番号： 07301

1. 課題の主旨

本課題では、水の蒸発、水蒸気の凝結による雲粒の形成、過冷却雲粒の凍結など、大気中で生じている水の相変化を伴う現象を簡単な実験で再現し、地球表層の「水」の変化についての理解を深めることを目的とする。

「水」の相変化そのものは洗濯物が乾いたり、冷たい飲み物を入れたコップの周りが結露することなど見慣れた現象であるためそれほど不思議さは感じないが、実はその相変化の際に生じる熱（潜熱）が非常に大きいことや過冷却という見慣れない現象が雲の中で生じていることなど、あまり気づかない多様な面もある。ここでは水の相変化を伴う実験を通じ、「水」で覆われた地球表層の温度環境に「水」が大きな影響を与えていることに気づかせ、「水」で覆われた地球という惑星の環境について関心を高めることをねらいとする。

2. 準備

本課題は、水の相変化を観察する実験を、実験装置の製作、実験の試行、実験の映像化、実験を伴う出張授業の4段階に分けて実施する。

実験装置の製作：本課題で行う水の蒸発の実験、ダイヤモンドダスト実験、過冷却水の凍結実験の実験装置の試作を行う。

実験の試行：試作し装置を用い、大阪教育大学生に対し模擬授業を行い、装置の改善を図る。

実験の映像化：模範的な変化を示す映像や時間変化を短縮あるいは引き伸ばした映像の作成を行う。

実験を伴う出張授業：小、中、高等学校への出前授業を行う。

3. 指導方法

実施する3実験の概要

1. 水の蒸発の実験

ゴム栓をした植木鉢を素焼きの壺がわりに利用して、水の蒸発の潜熱を測定する実験を行う。壺から水がしみ出ると壺の水温が低下することを観察し、水の蒸発量と水温の低下量から水の蒸発の潜熱を推定する。水の比熱の値と比べ蒸発の潜熱はどの程度大きいかを理解させる。

2. 保冷剤を利用した雲粒とダイヤモンドダスト作成の実験

空き缶よりひと回り大きい発泡スチロールで作った保冷箱を作成し、空き缶と保冷箱の間の壁面と底面にフリーザーで-20℃程度までよく冷やした保冷剤を入れ、上部から水蒸気を供給するため息を吹きかける。このとき空き缶内に白く漂う雲（雲粒）を観察する。次に、この雲の中でエアパックを破裂させて断熱膨張による種まきを行い、きらきらと輝くようになる雲（氷晶）を観察する。雲は水蒸気を冷

やせば生成され、その雲は可冷却の水からなる場合もあることを理解させる。

3. 過冷却水を凍結させる実験

-8℃の温度に設定したフリーザー内に水を入れたペットボトルを入れておくと過冷却水ができる。この過冷却水を使って、水温の測定、攪拌や氷粒挿入による凍結過程の観察、凍結時の水温上昇の測定、を行う。過冷却水滴を入れた容器は、常温に置くと周りが結露して中が見難い。2重の容器を作成するなどして過冷却状態が破れ凍結する過程を見やすく工夫する。

4. 実践内容

本課題の実験を含む出前授業を小学校2回、高等学校1回の計3回行った。詳細は、
平成19年2月29日大阪市立中浜小学校4年生(25名・1+2時限、25名・3+4時限)
平成19年6月25日茨木市立穂積小学校6年生(30名・1+2時限、29名・3+4時限)
平成20年9月30日大阪教育大学付属高校天王寺校舎2年生(19名・1+2時限、18名・3+4時限)
である。

まず、実験の前段階として、水の三態(水・水蒸気・氷)およびその相変化の名称(凝結・蒸発・融解・凍結・昇華・蒸発・昇華凝結)などを説明するため、冷たい水を入れたコップの周りにできる水滴、寒い日に吐く白い息、沸騰したやかんから出る水蒸気や湯気など、身の回りにある水の相変化の例について示した。さらに、演示実験として空気入れとペットボトルを用いた雲を作る実験を行い、水蒸気から水への相変化の例を示した。その後、以下の3実験を行った。

実験1. 水の蒸発の実験

植木鉢を用いた壺の実験器具を4人に一組配布し、汲み置いた室温の水を壺に入れる前後に、質量を測定し、装置および入れた水の質量を測定させた。数分間静置しておくと壺の色が茶色に変わり始め水がしみ出てくることがわかる。さらに蒸発を進めるために数分(計15分程度)待ち、壺に刺した温度計の示度を読むと1℃程度水温が低下したことを観察することができる。同時に装置全体の質量を測定し、水の蒸発量を測定した。水の蒸発量と水温の低下量の関係から水の蒸発の潜熱を推定させ、水の比熱の値と比べ蒸発の潜熱が大きいことに気づかせた。

実験2. ダイヤモンドダスト作成実験

飽和水蒸気圧は温度が高いほど指数関数的に増加するので、空気中に含むことのできる水蒸気は気温が高いほど多い。逆に気温が下がった場合は含むうる水蒸気が減少する。したがって、一般に気温が下がると空気中に含まれる水蒸気は飽和に達し凝結し、雲、露、霧、霜などができる。これを実験室内で再現するため、空気を冷やす方法として保冷剤を用いた。最近、保冷剤の中には-数℃ではなく-15℃程度の低温を長時間維持できるタイプのものがホームセンターで販売されるようになっている。この保冷剤をあらかじめ-20℃程度の冷凍庫で十分冷やしておき、発泡スチロールで作った保冷箱の内壁と底面に入れ、その内側に雲を観察しやすくするために内部を黒く塗った空き缶を入れて、雲観察箱を製作した。内部の温度を測定するための温度計や雲を観察するための懐中電灯を含めて4人に一組配布した。

この雲観察箱の上部から水蒸気を供給するため息を吹きかけ、空き缶内に白く漂う雲(雲粒)を観察させた。懐中電灯で照らすと雲をより鮮明に見ることができる。できた雲の「水」は、「水」か「氷」かを尋ねると、箱の内部の温度が-15℃前後であることから、多くの児童、生徒は、「氷」と答えた。

次に、この雲の中で菓子などの梱包に使われているエアークッションを一つ破裂させてやると、白くもやもやしていた雲が、きらきらと輝くように変わることを観察させた。これは、エアークッションの断熱膨張による種まきの結果、全方向に散乱して白っぽく見えた微水滴が六角柱の面をもつ氷晶に変わったためであることを種明かしし、0℃以下の氷点下であっても水が存在することを理解させた。

実験 3. 過冷却水を凍結させる実験

キャンプ用の可搬型フリーザーには庫内温度を -8°C に設定できるものがある。実験の前日に 250ml のペットボトル 20 本、60cc 程度のプリン型ポリ容器 50 個に水道水を入れ、このフリーザーで冷やした。一晩静置するといくらかの容器内の水は凍結するが、大多数の容器内には $-4\sim-6^{\circ}\text{C}$ 程度の過冷却水が作成される。これを用いて実験を行った。

まず、演示実験として、ペットボトル内に温度計を入れこの水が氷点下であることを確認させた。次にペットボトルを振り、過冷却水にショックを与えると、氷が発生することを示した。このとき、凍らせる(過冷却水を振る)だけで、水温がマイナス数度から 0°C まで上昇することを示し、凍結の潜熱を説明した。

次に 4 人に 1 本ずつ過冷却水の入ったペットボトルを配布し、振るなどして水が凍ることを観察させた。さらに過冷却水が凍る過程を観察させるためにプリン型ポリ容器の過冷却水を配布し、凍るきっかけとして 1cm 程度の氷の粒を入れさせ、その後の凍る過程を観察させた。

5. 成果・効果

これらの実験を通して、水の三態が我々の身の回りに存在し

水のわずかな量の蒸発により、温度が下がること、
雲が(過冷却)水や氷の小さな粒でできていること、
過冷却水が特別な場合でなく、普通に存在すること、
過冷却水は、簡単に凍ること、

など水の相変化に関する知識や興味を持たせることができたと思う。「水」は生命そのものが生きていくのに必要な物質であるばかりでなく、「地球」の気候を形成する上でも重要な物質であることが理解され、気候をもとにした「地球」環境問題への関心が深まることが期待される。

6. 所感

所属している大阪教育大学で大学生に対してもここでを行った実験の試行として同様の実験をこれまで行っているが、雲粒が氷晶に変わりきらきら輝く様子や過冷却水がゆっくり凍っていく様子の実験は、歓声が上がり人気がある。今回、小学生や高校生に対しての実験でも、同様の歓声が上がり、十分興味を引くことができたと思う。内容としては小学生には難しいところもあったと思うが、いろいろな相変化によって姿を変える「水」の変化過程などは印象に残ったと思う。また、高校生に対しては、水の相変化に伴う熱のやり取りを含めて説明を行ったので水で覆われた地球の熱の移動に水の果たす役割に多少の理解や興味を持ってもらえたと思う。

7. 今後の課題や発展性について

本課題は身近な「水」を扱っているのが扱いやすいが、過冷却水を作ることや保冷剤を冷却するなど実験を行うには数日前から準備が必要である。特にフリーザーを用いて過冷却水を作るためには前日に実験場所にフリーザーを設置し冷却しておかねばならず、出前授業の際は面倒である。過冷却水を大量にすぐ作れるような装置の工夫が必要である。

地球環境問題がますます社会問題として広がる中で、水惑星である地球の環境を支配する因子である「水」が気候に与える影響は大きいので、「水」についての理解を深めることは大切であり、本課題で示したような水の相変化への理解は必要で、その重要性は増すであろう。また、本課題で紹介した実験は、簡単でありながら興味を引く内容であると思うので、実験そのものや科学に対して興味を持つ生徒が増えることが期待される。

8. 発表論文、投稿記事、メディアなどの掲載記事

特になし。

【教材制作方法】

- ・実施内容が教材開発の場合、ここから1～2ページ使って、教材の制作方法を記載願います
- ・実施内容が教材開発でない場合、このページ以降を削除願います

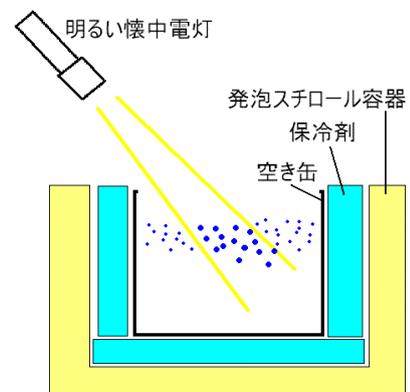
「実験 1」：蒸発の潜熱を測る実験。蒸発を効率的に行わせるには素焼きの壺が実験道具としては望ましいが、簡単には手に入らないので、底に穴があるが素焼きの材質で作られた植木鉢(直径 8cm 程度)にゴム栓をして、素焼きの壺の代用品とする。ゴム栓をして水が漏れないようにした植木鉢に水を入れ、水が染み出てからの鉢の中の水の温度変化を測定する。蒸発の潜熱の大きさを知るには、低下した水の温度、蒸発した水の量を測定すれば、おおよその値が得られる。

準備するもの：素焼きの植木鉢、ゴム栓、室温の水(蓋つきの容器入り)、天秤(分解能 0.1g、最大秤量 500g 程度)、温度計(分解能 0.1℃でサーミスター温度計など熱容量が小さいものが良い)、植木鉢を支える三脚



「実験 2」：保冷剤を利用した雲を作る実験。冷凍庫で十分に冷やした保冷剤(氷点下で保存することを目的とした強力なものは長時間実験できる)を発泡スチロール容器の周りに入れ、その中に上部の空いた内部を黒く塗った空き缶を入れる。容器内が十分冷えるまで数分待つて、息を吹きかけ、懐中電灯などで照らすと白いもやもやとした雲を見ることが出来る。一つ一つの水滴は水なので無色で透明であるが、小さな水滴がたくさん集まった雲は、光をいろいろな方向へ散乱させるために白く見える。「雲粒」の大きさは直径数 μm ～数十 μm ($1 \mu\text{m}=1/1000\text{mm}$)程度で、実際には毎秒数 cm 程度で落下している。しかし、落下速度が小さいので、雲全体としては落ちていくには見え、また、上昇気流があると落下せずに逆に上昇することもあるので、雲は浮かんでいるように見える。

このもやもやとした雲の中で、割れ物の包装などに用いられるプチプチと呼ばれるエアキャップ1つを手で破裂させる。すると白くもやもやした雲が、きらきら輝く小さな粒に変わることが観察される。雲粒(液体)から氷晶(固体)へ変わった結果である。雲の中でこのような現象が起こると雪結晶の誕生になり、地上で生じるとダイヤモンドダストと呼ばれる。ひとたび過冷却水滴の雲内に氷晶ができると、水滴は蒸発し、氷晶が成長する。これは同じ温度では水より氷の飽和蒸気圧が低いので、水には未飽和、氷には過飽和の状態ができるためである。



準備するもの：十分冷やした保冷剤(-20℃以下が望ましい)、発泡スチロール容器、中を黒く塗った空き缶(アルミホイルで作っても良い)、懐中電灯(明るい方が良い)、エアキャップ

「実験 3」：過冷却の水を作る実験。氷に塩を入れると、塩が寒剤として働き-20℃程度まで下がることが知られている。これを利用して水を静かに冷やして過冷却の水を作る。まず、ボウル状の容器に細かく砕いた氷(カキ氷や積もった雪などのほうが塩と混ざりやすいので良い)と塩を入れよく攪拌し、棒温度計でその温度を測定する。-10℃程度になったら、水を 1/3 程度入れた試験管をその容器に立てて入れ、3分程度待つ。そっと試験管を取り出せば、過冷却の水ができているはずである。試験管を振った

り、試験管に氷のかけらを入れ、氷ができれば過冷却していた証拠である。温度計を試験管に入れたまま冷やし、0℃以下まで下がるか否かを見ても過冷却状態を確認することができる。過冷却状態が壊れ、氷ができると、氷水の温度は0℃に上がる。

また、塩と氷の代わりに-8℃程度までしか下がらないキャンプ用のポータブル冷凍庫を利用すると、多量の過冷却水を作ることができる。ここでは、この過冷却水を用いて凍る過程の観察を行った。

準備するもの：細かく砕いた氷、塩、容器、試験管(数本)、水道水、棒温度計(2本)

または、

準備するもの：ポータブル冷凍庫、ペットボトル(250cc)20本、プリン型ポリ容器40個、水道水、サーミスター温度計