

大気圧を実感させる教材と授業実践

芝原 寛泰・坂東 舞・大槻 収

(京都教育大学理学科)(京都教育大学理学科)(京都府立城陽中学校)

Development of Teaching Materials and Lesson Practice for the Learning of Atmospheric Pressure with a Feeling of Reality

Hiroyasu SHIBAHARA, Mai BANDO, Osamu OHTUKI

2004年11月29日受理

抄録：中学校理科の大気圧の学習に焦点をあて、大気圧を実感させる教材実験を検討した。また大気圧と密接に係る水圧の概念も含めた基礎的な教材実験も検討した。さらに、検討した教材実験を用いて中学校現場において教育実践を行い、教材実験としての実用性を確かめた。教育現場で簡単に作製できる教材を用いて、大気圧が関与する様々な実験を行うことにより、本来、実感することが困難な大気圧の及ぼす現象を視覚化できることがわかった。

キーワード：大気圧, 圧力, サイフォン, 理科教育, 中学校理科

1. はじめに

大気圧に関する単元は現在、中学校理科第1分野『身近な物理現象』の中の“力と圧力”で取り扱われている¹⁾。『身近な物理現象』のねらいは身近な事物・現象についての観察、実験を通して光や音の規則性、力の性質について理解させるとともに、これらの事象を日常生活と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養うことである。“力と圧力”では、生徒の発達段階を踏まえた観察、実験を行うことによって「力」に関する基礎的な性質やそのはたらきを理解させ、「力」の量的な見方の基礎を養うとともに、力と圧力に関して科学的に考察する能力や見方を養うことが提案されている¹⁾。そのため、教科書にもさまざまな実験が掲載されている。力に関わる基礎的な内容（力には大きさや向きがあること、2 力のつりあいの条件）を扱った後、圧力の学習に入る。力が物体に対してはたらく現象では、力を及ぼしあう物体同士の接触面積も考慮しなければならない。したがって、単位面積当たりにはたらく力の大きさとして圧力の概念を形成させる必要がある。この圧力の概念は最も基礎的で重要な科学概念のひとつである。この概念を形成させるために、スポンジなどの柔らかい物体に接触面積を変えて同じ力を加えた場合、へこみ方が異なる実験が一般的に多く採用されている。また日常生活と関連付けて理解できるようにするという観点として、スキー板など圧力に関係ある身近な事象も取り上げられている²⁾。圧力の単位としては、 $1\text{N}/\text{m}^2=1\text{Pa}$ （パスカル）が用いられている。

単位面積当たりにはたらく力の大きさとして圧力の概念を形成させた後は、水圧の概念を取り扱わないで大気圧の学習に入る。水圧の概念を発展させた後に大気圧の成因を推論させることは指導上有効であると考えられるが、水圧や浮力に関する単元は指導要領の改定によって徐々に記述が減少し、平成14年度から使用されている教科書では完全に扱われなくなった。一方、大気圧は平成4年度より登場し、現在、圧力に関連する項目として大気圧だけが扱われている。大気圧を理解していることは、他単元(天気単元など)を学習する上で大きな手助けになると考えられる。大気圧

を実感させ、その成因・性質を理解させることを目的として研究を行った。また、身近な材料を使い教育現場においても簡単に作製できる教材も重要³⁾であり試作を検討した。視覚的に捉えることが困難な大気圧を実感させるための授業案を検討し、開発した教材の一部を用いて授業実践を行った例についても報告する。

Ⅱ. 教材化のための基礎的実験

1. 圧力概念形成のための実験

大気圧の学習において最も重要なことは、単位面積当たりにはたらく力の大きさとして圧力の概念を形成させることである。そこで、以下のような実験で圧力概念の形成を図るべく教材実験の検討を行った。

(1) 連通管を用いた実験

連通管とは、いくつかの容器が底でつながったもので、連通管に水を入れると、各容器の液面は大気圧の作用により同じ高さでとまる。市販の連通管の多くはガラス製である。そこで身近な材料を使って簡単に製作できる連通管を作製した。

<材料>

- ・容器の容積と断面積が異なるペットボトル2種類(2.0ℓと500ml) ・透明ビニールホース(長さ50cm, 内径1cm)
- ・ハンダごて(ペットボトルのキャップに穴を開けるため) ・ホットボンド ・カッターナイフ ・ビニールテープ

<製作方法>

- 1) ペットボトルの底をカッターナイフで切り取った。
- 2) ペットボトルの切り口は鋭くなっているため、安全のためビニールテープで切り口を覆った。
- 3) ハンダごてを使い、キャップにビニールホースの径よりわずかに大きな穴を開けた。
- 4) 開けた穴にビニールホースを差し込み、周囲をホットボンドで固定した。また同時にホットボンドで塗り固めることにより穴からの水漏れを防いだ。
- 5) 完成した連通管に水を注ぎ入れた。
- 6) ペットボトルを上下させ、液面の移動の様子を観察した。

<実験結果と考察>

製作した連通管を図1に、また実験結果を図2に模式的に示す。ペットボトルを上下させると、液面の高さに差が出来、それと同時に液面が上下(水が移動)し、再び2つのペットボトル内の液面が一致して水の移動は止まった。連通管に使用したペットボトルの形・容積・液面の表面積は異なるが各容器の液面が同じ高さで止まるのは、単位面積当たり同じ大きさの大気圧が液面にはたらくているからである。この実験は、単位面積当たりにはたらく力の大きさとしての圧力概念を形成させるために用いることができる。

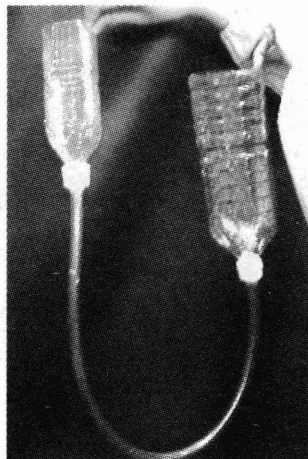


図1 ペットボトル連通管

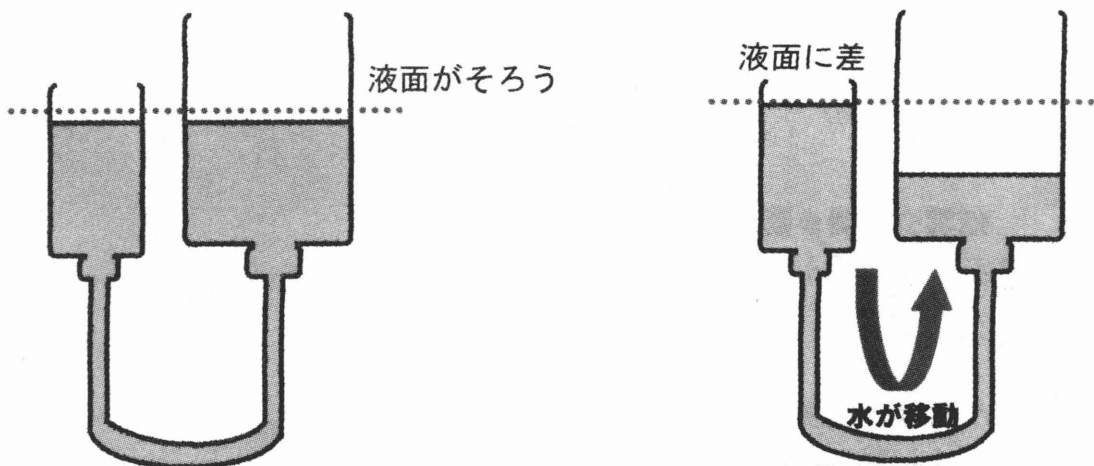


図2 連通管の液面がそろう様子

圧力が単位面積当たりにはたらく力の大きさとして捉えられていないと液面の表面積が大きいほど大きな圧力がかかっているという誤概念を導くことになる。今回この実験は圧力概念を形成させるために用いたが、連通管は水深と水圧の関係の説明にも有効である。すなわち連通管の各容器の液面が形・容積・表面積に関係なく同じ高さで止まるのは、各容器の水圧が液面からの深さのみによって決まると説明できる。今回はペットボトルを2つ連結させたが数を増やすことも可能である。また、容器の上部にふたが出来るようにしておくと、大気圧が液面にはたらいっている場合とそうでない場合との比較実験ができ、発展的に大気圧の学習にも取り入れることが可能となる。

(2) “ふれあい水槽”を用いた実験⁴⁾

“ふれあい水槽”とは水族館などで、水槽の側面に開けられた穴から手を差し入れて魚と触れ合うために考案された水槽である。実際、水族館では真空排気装置を使って水槽内の圧力を管理している。この“ふれあい水槽”の原理を簡単に再現し圧力のはたらく力の大きさと方向から、圧力の概念を形成させることを考えた。“ふれあい水槽”の原理を図3に示す。図4は、琵琶湖博物館（滋賀県）に設置されている“ふれあい水槽”を示す。

<材料>

- ・ ペットボトル（1.5～2.0ℓ）2本 ・ カッターナイフ
- ・ 水漏れ防止用のシリコン充填剤あるいはホットボンド

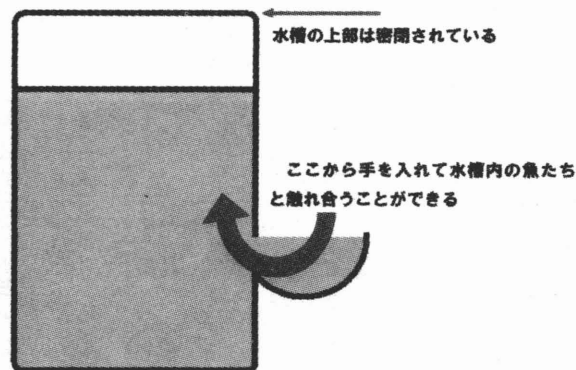


図3 “ふれあい水槽”の模式図



図4 琵琶湖博物館内の“ふれあい水槽”

〈製作方法〉

- 1) ペットボトルの下部をカッターナイフで切り抜き $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ の穴をあけた。
- 2) もう一本のペットボトルを底から 10 cm のところで切り取った。
- 3) 2) で切り取ったペットボトルの底の一边を切り取った。
- 4) 1) で開けた穴を囲むように 3) のペットボトルを取り付けた。水漏れ防止用のシリコン充填剤あるいはホットボンドで確実に固定し水漏れを防止した。
- 5) 完成した水槽に水を満たした。
- 6) ペットボトルにキャップをしている場合としない場合の違いを観察した。

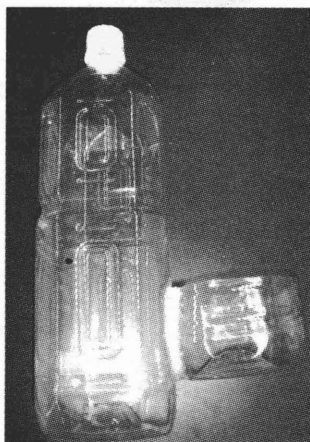


図6 ペットボトルで作製した“ふれあい水槽”

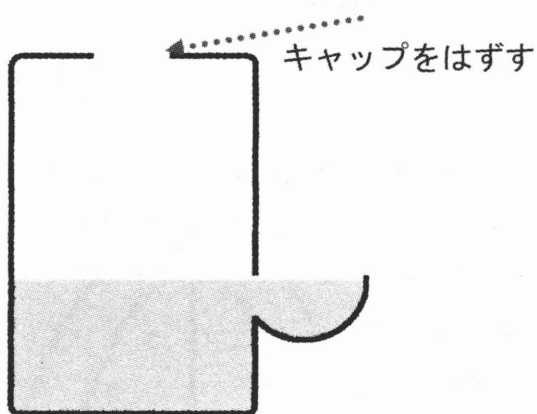


図7 上部のキャップを外した“ふれあい水槽”

完成した“ふれあい水槽”を図6に示す。ペットボトルのキャップを閉め、水を入れたバケツの中に“ふれあい水槽”を沈めて水槽に水を満たした。キャップを閉めた状態では、側面の小窓から水が溢れ出すことはなく水族館の“ふれあい水槽”を再現することが出来た。

〈実験結果と考察〉

キャップを取ると側面の小窓から水が溢れ出した。図7に示すように側面の小窓と液面がそろうまで水は溢れ出した。キャップを取ったとき容器内の水が小窓の液面の高さまで流れ出したのは、連通管の原理から説明できる。つまり、キャップを外すことによって水槽内の水面に大気圧がはたらき、水は小窓から流れ出たのである。しかし、小窓にも単位面積当たり同じ大きさの大気圧がはたらいているので2つの液面が同じ高さになったところで流れは止まる。キャップを閉めているときは小窓の水面にはたらく大気圧と水槽内の圧力が釣り合っているので小窓から水が溢れ出すことがない(図8参照)。この実験も連通管の実験と同様に圧力概念の形成のために用いるだけでなく、大気圧の学習にも用いることができる。小窓をホットボンドで接着すると速乾性があり便利だが、水を入れたときにその重みに耐えられない場合がある。小窓の接着にはシリコン充填剤の方が適している。

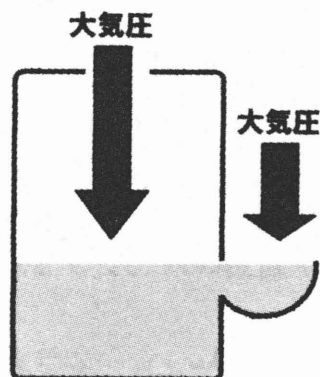


図8 キャップを外したときの圧力関係

2. 水圧の学習のための実験

圧力が固体を伝わる場合と液体や気体を伝わる場合では伝わり方が違う。圧力を加える物体が固体の場合、圧力は加えた力と同じ向きに伝わる。気体中での圧力の伝わり方は、液体中での圧力の伝わり方とほぼ同じである。液体中での圧力の例としての水圧は、実験によって容易に目で確かめることができる。実験により大気圧と水圧の関係を推論させることは重要である。水圧に関する性質として“水圧は水深に比例する”及び“あらゆる方向に伝わる”を実感させるための実験を検討した。

水の押す力を実感する実験

〈製作方法〉

- 1) 図9のように、ペットボトルの側面に小さな穴を数個開けた。
- 2) 容積の異なるペットボトルに同じ高さまで水を入れ、底近くの同じ高さの所に同じ大きさの穴を開けた。

〈実験結果と考察〉

ペットボトルに水を入れ、すべての穴から水が飛び出す様子を観察した。底に近いところに開けた穴ほど水の飛び出す勢いは大きく水は遠くまで飛び出した。容積の違うペットボトルに同じ高さまで水を入れ、底近くの同じ高さの所に同じ大きさの穴を開け2つのペットボトルから水が飛び出す様子を比較したところ、水は勢いよく飛び出すが飛び出す勢いはどちらも同じであった。

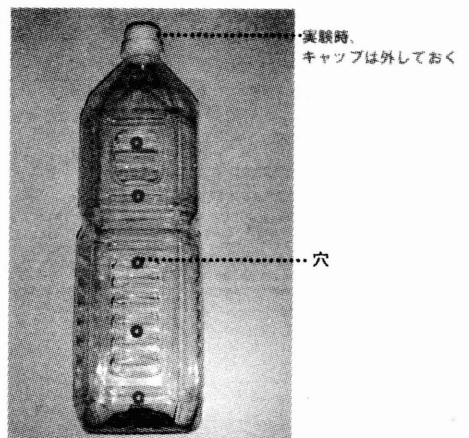


図9 ペットボトルの穴の位置

3. 大気圧を実感する実験

(1) サイフンの実験⁵⁾

ビニールホースを用いたサイフンを作り、大気圧と関連付けて水が流れ出る様子(水面の高さの変化)を観察した。

“サイフン”とは[siphon = 管の意のギリシャ語に由来] 大気圧を利用して、容器中の液体を自動的に吸い上げ、容器の側壁を越えて外側の低い所に流し出すために用いる曲がった管を意味する。

〈実験方法および結果と考察〉

透明なビニールホース（内径約1cm）と水槽を用いて次のよう実験を行った。実験の展開は文献5を参考に身近な材料を用いて再現を試みた。

- 1) サイフンの出口の高さを吸い込み口よりも高くした。指を離した時、水がどこまで流れ出るかを調べた。実験の結果、サイフンの出口と容器内の水面の高さと同じになった時点で水の流れは止まった（図10参照）。
- 2) サイフンの吸い込み口の位置は1)の場合と同じで、出口を吸い込み口よりも低くした。実験の結果、サイフンの吸い込み口より水面が下（吸い込みとほぼ同じ）になった時点で水の流れは止まった（図11参照）。
- 3) サイフンの吸い込み口を容器の底までつけ、出口は2)と同様に吸い込み口よりも低くした。実験の結果、容器内の水は全て流れ出た（図12参照）。

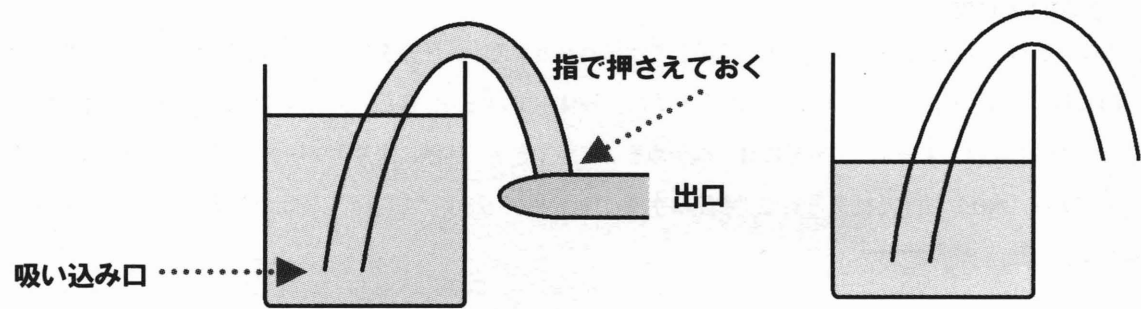


図 10 サイフンの出口の高さを吸い込み口よりも高くした場合

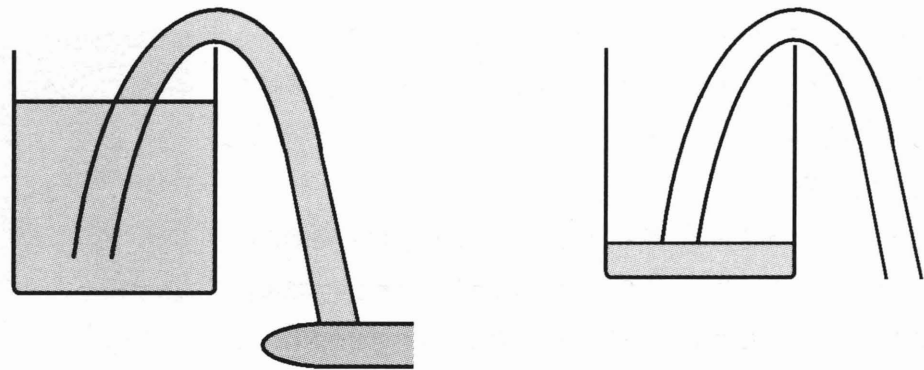


図 11 サイフンの出口を吸い込み口よりも低くした場合

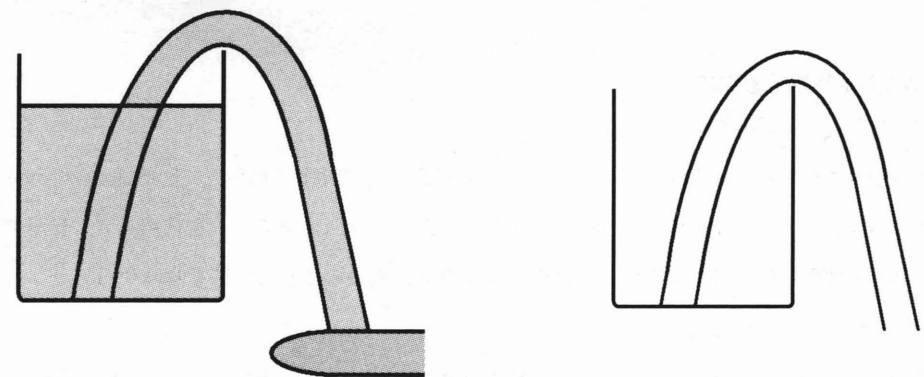


図 12 サイフンの出口を吸い込み口よりも低くした場合

サイフォンから水が流れ出すのは、容器の水面にはたらく大気圧と水圧が関係していると考えられる。つまり、サイフンの基本原理は圧力の差で水を押し出すはたらきである。容器の水面には絶えず大気圧がはたらいている。また、サイフンの出口側にも大気圧がはたらいている。サイフンの一番高くなったところ A 点（頂点）でサイフンの中にはたらく圧力を考える（図 13）。
容器側からの圧力＝大気圧－AB の圧力

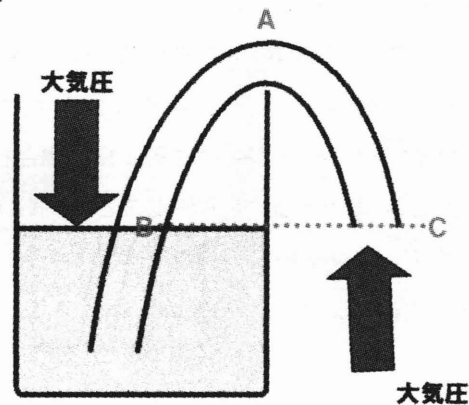


図 13 水が流れない場合

サイフォンの出口側からの圧力＝大気圧－ACの圧力

ここで、ABの圧力＜ACの圧力の場合、容器側からの

圧力はサイフォンの出口側からの圧力より大きいことがわかる。したがってBCの圧力差によって水が流れることになる。水の流れが止まる(もしくは流れない)のは圧力差のない場合である。つまり、圧力差のない場合とは、A点において

容器側からの圧力＝大気圧－ABの圧力＝サイフォンの出口側からの圧力＝大気圧－ACの圧力

となる。図10のとき、 $B=C$ なので圧力差がない。図11の場合は液面とサイフォンの吸い込み口の高さがほぼ一致したときに水の流れは止まった。これは液面が吸い込み口よりも低くなることでサイフォンが水を吸い上げられなくなったからである。圧力差が生じて液面がサイフォンの吸い込み口よりも低くなるとサイフォンははたらかなくなる。図12の場合は容器内の水が全て流れ出た。これは、圧力差が生じる関係にあり、かつサイフォンの吸い込み口が容器の底まであったからである。

(2) 自動式サイフンの実験

ジャバラつきの曲がるストローを使って自動式サイフォン⁵⁾を試作し、自動式サイフォンがはたらく条件を検討する教材とした。自動式サイフォンについては、福井らによる報告と解説⁵⁾を参考にした。

〈材料〉

・ジャバラつき曲がるストロー（内径6mm）3本 ・ストロー（内径5mm）1本 ・ホットボンド

〈作製方法〉

- 1) ジャバラつき曲がるストローと内径の異なるストローを図14のように切った。
- 2) 1) で切ったストローを組み合わせ、ホットボンドで接着し形を固定した。
- 3) 水を一杯に満たした容器に自動式サイフォンを入れ、水が流れ出す様子を観察した。

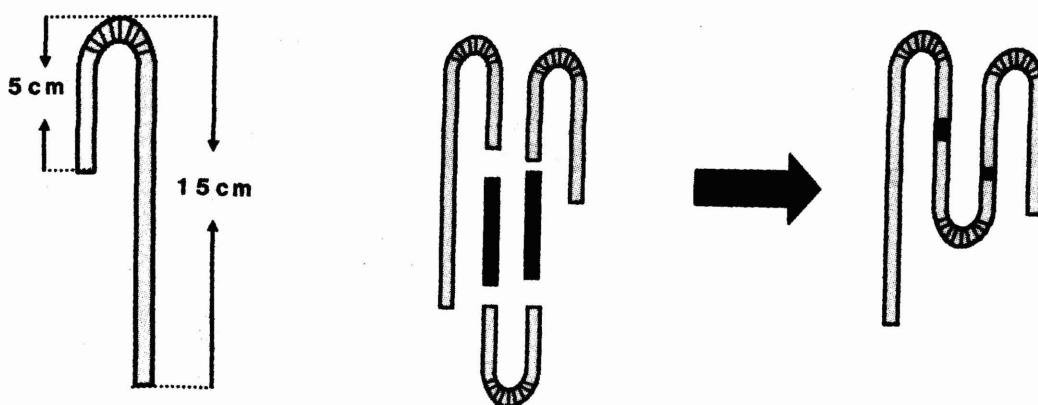


図14 自動式サイフンの作り方

〈実験方法および結果と考察〉

完成した自動式サイフォンを図15に、また自動式サイフォンを使って水が流れ出した様子を図16に示す。水を一杯に満たした容器に自動式サイフォンを入れたところ、水が自動的にサイフォン内を満たし容器の外へ流れ出た。一般的なサイフォンと異なり、自動式サイフォンは予め水を満たしておく必要がない。容

器に自動式サイフォンを入れると同時にサイフォン内に水が満たされていくからである。容器内の水がどこまで流れ出るかは、自動式サイフォンの吸い込み口と出口の高さに依存することも実験によって確かめられた。

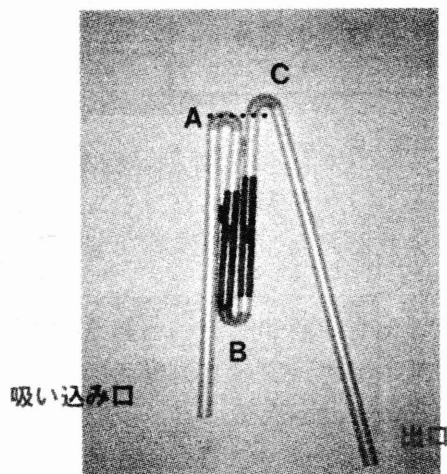


図 15 作製した自動式サイフォン



図 16 水が流れ出る自動式サイフォン

自動式サイフォンの特徴は、曲管が2つ結合した形をしている点である。一般的なサイフォンが2つ結合したものと考えられる。実験の結果より得られた自動式サイフォンが動作する条件として、使用する容器の端まで一杯に水を満たすこと、水の満たされた容器に自動式サイフォンを入れる時、自動式サイフォンの1つ目の頂点Aが水面に完全に浸かっていることがあげられる(図15)。つまり、A点が水面に浸かるということは自動式サイフォンのA点までは水で満たされる。また、図15において頂点Aと頂点Cの差は2cm以内にすることが必要である。この差が大きいと自動式サイフォンははたらかなかった。A点が水面に浸かると吸い込み口から入った水はA点とB点を通過し、A点と同じ高さまで満たす(図15の点線の位置)。そしてA点と同じ高さを越えC点へ到達した。こうして自動式サイフォン内は完全に水で満たされた。A点と同じ高さまで到達した水がそれより高いC点へも到達するのは、水の流れに慣性が加わるためと考えられる。その慣性によってA点よりも高いC点をも越えるのである。しかし、このわずかな水の慣性によってC点を越えるので、A点とC点の差が大きいと水はC点を越えられない。差が大きいとC点の直前で来て水が逆流してA点と同じ高さで止まってしまう、自動式サイフォン内が水で満たされることはない。サイフォン内が水で満たされると、形状の違いはあるが原理は一般式のサイフォンと同じである。自動式サイフォンは大気圧を実感させるための実験として適している。容器の水面を大気圧が絶えず押し続ける(容器の水面に大気圧がはたらいている)ことによって水が流れ続ける現象は、大気圧のはたらきを視覚化していると言える。

(3) ふしぎなコップ

沖縄県石垣島に伝わる「教訓茶碗」を身近な材料で再現し、“ふしぎなコップ”と命名して大気圧の学習のための教材として用いることを検討した。

〈製作方法〉⁵⁾

底に穴を開けた透明プラスチックコップ、ジャバラつき曲がるストロー、輪ゴムを用いた。ストローを曲げ、短い方よりも5mmほど長めに残して、もう一端をはさみで切りとった。切ったストローを輪ゴムで巻いて、曲がった状態に固定した。コップの底に開いた穴にストローを差し込み、ホットボンドで固定し水漏れを防いだ。図17は完成した“ふ

しぎなコップ”を示す。実験の様子は授業実践で述べる。

Ⅲ. 授業実践

1. “ふしぎなコップ”による授業実践

Ⅱの(3)で述べた“ふしぎなコップ”を用いて授業実践を行った。“ふしぎなコップ”は、製作が容易かつ短時間でできること、また大気圧を実感させるには最適な教材実験であると考え、以下のように授業実践の場で採用することになった。授業は城陽市立城陽中学校で「平成16年度 山城地方夢・未来教育実践交流会」における公開授業として大槻が行った。以下に理科学習指導案を示す。図18は授業の様子を示す。

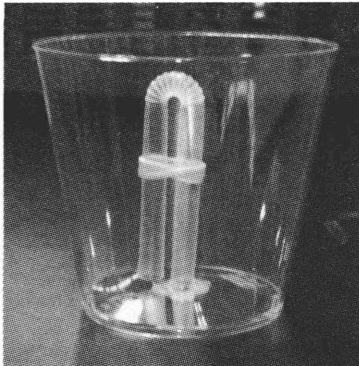


図17 ふしぎなコップ

- (1) 日 時 平成16年10月21日(木曜日)第3校時 10:50 ~ 11:40
- (2) 場 所 第2理科室
- (3) 学年・組 第1学年 4組 男子 17名 女子 20名 計 37名
- (4) 単 元 面を押す力
- (5) 単元設定の理由

身のまわりに起こるさまざまな現象のうち、この単元では力という目に見えない物理的現象を取り上げている。生徒は力が引き起こすさまざまな物理的現象を小さい頃から日常生活の中で体験しているものの、それを意識して科学的な目で見ては来てない。日頃当然のこととして深く考えないような事象について、なぜそのような事が起こるのかについて、じっくり考えさせていきたい。

また、物理的現象は抽象的であり理論が強く前に出てしまい、生徒にとって遠い世界の話になりがちであるが、普段生活している中で起こっている身近でおもしろい現象を体験させたり、身のまわりにある物を使って簡単な道具を作ることを通して、生徒の興味・関心を高め、なぜその現象が起こるのかという疑問を解決させながら、自然現象に対する理解を深めさせていきたい。

(6) 生徒観

1年生らしく明るく活発で、素直に物事に取り組む姿勢があり、普段は落ち着いた雰囲気生活している。学習に対しては、簡単な課題には積極的に取り組み、実験・観察を楽しむ生徒が多いが、難しい課題になると消極的になり、自らの手で考え課題を解決しようとする力が弱い生徒が女子に目立つ。この単元は「力」という目に見えない抽象的な事象を取り扱うため、理論的な話だけでは生徒の学習意欲がわかず、学習の定着が図れない。そこで、力の大きさを実感できるように体験的な実験を多く取り入れることで、生徒の意欲の向上を図りたい。

本時は、身近な材料を使い“ふしぎなコップ”を作ることを通して大気圧への関心を高め、自分の手で作ったものの原理を科学的な思考の観点から説明できるように指導していきたい。

(7) 単元の目標

(自然事象への関心・意欲・態度)

力のはたらきを圧力として考える場面を，日常生活の中に見い出そうとする。

(科学的な思考)

大気圧が高さによってどのように違うかを推定する。

(観察・実験の技能・表現)

空気に重さがあることを実験で調べることができる。

(自然事象についての知識・理解)

圧力の表し方を説明でき，計算で求めることができる。

空気にも重さがあることから，大気圧の存在を説明できる。

(8) 本時の目標 (本時 4/4 大気の圧力)

- 1 ふしぎなコップの製作に関心を示し進んで取り組む (自然事象への関心・意欲・態度)。
- 2 一定量を超えると水が流れ出す原理を，大気圧と関連付けて考えられる (科学的な思考)。

(9) 本時の展開

指導 過程	指導内容	指導 形態	主な学習活動	指導上の留意点	教材・教具等	評 価
導 入	・前時の復習	一斉	・空気の重さによって 大気の圧力が生じて いることを思い出す。			
	・本時の課題を 提示する。	一斉	・ふしぎなコップを製作 することを知る。	・水をたくさん入れ ると水がこぼれ出 すことをビデオカ メラを通して実際 に見せ，生徒の関 心を高める。	ふしぎなコップ	
展 開	・ふしぎなコップ の製作方法を 説明する。	一斉	・ふしぎなコップの製作 方法を聞く。	・工夫する点もあわ せて伝える。	ワークシート	
	・ふしぎなコップ を製作させる。	個人	・ふしぎなコップを製作 する。	・説明をもとに，自ら 主体的に取り組める	コップ ストロー	・ふしぎなコップ の製作に関心を

				よう、支援する。	輪ゴム ボンド	示し、進んで 取り組む(自然 事象への関心・ 意欲・態度)。 <行動観察> Cへの手だて ・作業の遅い生 徒には個別に 支援する。
展 開	・水がこぼれ出す ようすを観察 せる。	個人	・コップの水がどこま で来たときに水が流 れ出すかを観察し、 レポートに記入する。	・ストローの高さと 水位が関係してい ることに気付かせ る。	ワークシート	A ・意欲的に作業 に取り組む。
	・水がこぼれる 原理を考えさ せる。	個人	・一定量を超えると水 がこぼれ出す理由を 考える。	・机間指導しながら 個別に支援する。	ワークシート	・一定量を超える と水が流れ出す ことを大気圧と 関連付けて考え られる(科学的な 思考)<ワークシート>
		グループ	・考えた結果を発表す る。	・各自で十分に考え た後、班の中で意 見を交流させる。		Cへの手だて ・班の中で他の 生徒の意見を 聞き、考えるヒ ントにさせる。 A ・水がこぼれ出す 仕組みを正しく 理解し、班の中 で説明できる。
ま と め	・本時のまとめ	個人	・水がこぼれ出す理由を 大気圧と関連付けて まとめる。	・本時の活動を確実 に振り返らせる。	ワークシート	

2. 授業実践の評価



図 18 授業の様子

Ⅲ で取りあげた授業実践の他に、同じ城陽中学校において「選択理科」の授業時間内でも“ふしぎなコップ”と題して教育実践を行った。授業終了後のアンケート結果によれば、1) サイフンの仕組みがわかった 80% 2) “ふしぎなコップ”の仕組みがわかった 90% 3) 感想として、“大気圧のふしぎさを感じた”、“お風呂で使える。手品のネタとしておもしろい”という反応があり、“楽しい授業であった”という意見が大半を占めた。圧力に関する科学概念の定着については、今後の調査課題としたい。

Ⅳ. まとめ

大気圧の存在、大きさを実感させることは、基礎的な科学概念を定着させる上で重要な事である。身近な材料を使って、大気圧の存在を間接的に視覚化する教材を種々検討した。さらに検討した教材による授業実践を行い問題点を抽出した。検討した教材実験はいずれもよく知られているが、身近な材料を使い安全に製作、利用できるものであることを確認の上、教育実践の場での有効性を確かめた。中学校理科の学習指導要領から「水圧」の内容が無くなり、大気圧との関係で起こる様々な身近な現象を扱うことが難しくなった。圧力の正しい概念を伝えるためにも、大気圧と水圧を車の両輪のごとく学習の場に提供することが望ましいと考える。

文献

- 1) 文部科学省 2004. 中学校学習指導要領—解説—理科編（一部補訂）大日本図書. 東京
- 2) 吉川弘之 他 37 名 2001. 中学校理科 1 分野上 p.33 啓林館. 東京
- 3) 東郷伸也 2001. 大気圧を感じる実験（中学校における自作実験教材の開発と活用例）
フォーラム理科教育 No.3:23-27
- 4) 野呂茂樹, 工藤貴正 1999. 先生はマジシャン pp65-67 連合出版. 東京
- 5) 福井広和ら 1997. 自動式サイフォン 実験観察「たのしい授業」自由研究ハンドブック. pp.217-228
仮説社. 東京