

ゴミ袋の熱気球

市立函館高等学校 渡辺儀輝

テレビなどの映像で何度も見たことがあるが、なかなかうまく上がらないゴミ袋の熱気球。あげるためのコツを解説し、効果的な授業での位置づけ、発問について紹介する。

キーワード 温度による気体の体積変化 内部エネルギー

1. 実験の概要

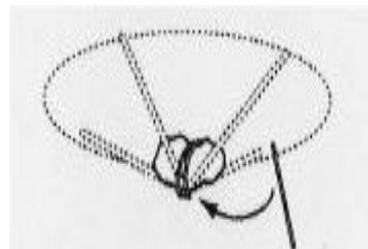
熱と温度の単元でよく実施される定番的な実験は、酢酸ナトリウム過冷却溶液の凝固発熱実験、少し値がはるが圧縮発火器を使った実験等、非常に瞬間的であり、各班での生徒実験に適しているものが多い。比較的大型のものでは、断熱膨張の原理を説明する、ペットボトルと圧気コンプレッサーを使った雲づくりなどがある（最後にボン！という大きな音がするのがよい）。

同様のものでは口の大きな梅酒をつくるガラス瓶にゴム手袋をはめ、グイッと外へ引っ張り上げ雲を作る、というものもある。

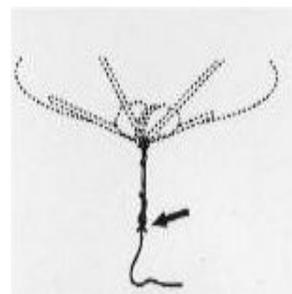
普通教室で簡素にできるゴミ袋の気球は、熱による体積膨張を実感できるダイナミックな教材であり、生徒の印象も強い。三態変化の学習から、各状態での物理変化の学習に移行する際、特にシャルルの法則の学習につながる最適な教具と考えられる。

市販の実験書を読むと、ストローで枠を固定させたり、アルコールのものを防ぐために、おかずのアルミパックを利用するなど、工作の要素が強く、教員にとっては少々わずらわしさを感じる教具である。しかし、ここで紹介するのは、非常に細い針金と、コットンパフなどの脱脂綿を使えば、短時間で作ることができるタイプである。ぜひご活用いただきたい。

② 小さな針金で脱脂綿をまん中にくくりつける。更に10センチくらいの針金を下にたらす。



③ 一番下に木綿糸をしぼりつけ、脱脂綿にエタノールを3滴程度つける。



④ 脱脂綿にライターで火を付けると、どんどんふくらんで熱気球が上がっていく。糸をけって離してはいけない。



2. 演示実験の方法

(1) 準備するもの

針金（#30）、ゴミ袋（厚さ0.015ミリ、45リットル）、脱脂綿、柄の長い電子ライター、木綿糸、セロテープ、エタノール、るつぼばさみ

(2) 実験のやり方

① ゴミ袋の周りに針金をセロテープではり付け、4カ所に別の針金を結びつけ図のように束ねる。



(3) 成功のポイント

- ・気球を上げる場所の上部に「火災報知器」がないことを確認する。
- ・エタノールが多すぎると炎上し、ゴミ袋の上がとけてしまう。つけすぎではいけない。ちよろちよろと燃える程度が最適。解説の時間をとることができる。炎が大きいと、あっという間に上がってしまい、生徒が気体分子の運動を実感することができない。
- ・火をつけるときには、生徒に手伝ってゴミ袋の上の両端をもってもらい、下の針金の輪をしっかりゆとりを持った円上にしてから点火する。口が狭いと着火のときに、

ゴミ袋に引火する可能性がある。

・ゴミ袋が厚い場合、または夏のように暖かすぎる部屋では、うまく上がらない。秋冬がちょうどよい。室内の暖房が効きすぎたり、または送風の風が流れている場合は調整する。

・終了のとき、火のついた脱脂綿をるつばさみでつかみ、バケツの水を使って、確実に消火する。

・一度使ったゴミ袋は熱で変形しているため、再利用は不可。必ず新しいものを使用する。

・予備実験は欠かさない。一度うまくいったからといっても、油断は禁物である。

3. 授業の進め方

気球の演示実験は、この単元のオープニングに演示すると、単なるアトラクションで終わってしまう。生徒はあーおもしろかった、もっと他にないの？・・・、で思考が止まってしまい、炎上などの事故が起きると、そればかりが印象に残ってしまい、ほとんど教育効果が期待されない。卒業後まで「炎上したこと」が話題に上るくらいになってしまう。

この演示実験は「つかみ」ではなく、思考を深める「途中経過」でもなく、章の最後の「まとめ」に活用した方がよい。このように授業のどこに演示実験を配置するかで、効果はまったく異なる。

気体の分子運動、内部エネルギーの学習が終了し、分子の微視的なイメージが形成されてから演示した方が、はるかに効果的である。今回の物理基礎の学習指導要領にも「熱と温度について、原子や分子の熱運動という視点から理解すること」と明記されている。様々な熱に関する「マクロ的な」諸現象を、「ミクロの視点」で感じることができる、ことに重点を置いている。このような意味からも、「気球は最後の締め」は非常に重要である。

では、具体的な授業展開の例を紹介する。

T「ここでちょっと懐かしいですが、浮力がなぜ発生するか、復習をしてみましょう。」

(板書：長方形の上面に下向きの短い矢印、下面に上向きの長い矢印、側面に下方へどんどん長くなる矢印を図示)

T「随分前に学習したから、忘れていた生徒もいるかもしれませんがね。気体や液体のような流体の中に物体を置くと、上面と下面の圧力差によって浮力が起きるのでしたね。」

S「私たちは空気という巨大な海の底に暮らしている、

でしたね。」

T「その通り。上からだけでなく、あらゆる方向から押されている、ということも大丈夫かな？」

S「流体の中にいるといつでも浮力を受けている、その大きさは沈んでいる体積に比例するでしたね。」

T「そうです。大気による浮力はとても小さいので、あまり実感できません。しかし体積はそのまま、物体の質量がどんどん小さくなっていくと・・・。」

S「密度が小さくなる。当然重力も小さくなっていくので、浮力>重力となって、加速度が上向きになる。」

T「そうです。物体が最初静止しているとすると、上昇する。浮力によって物体が上昇する原理は整理できたかな？」

S「はい。」

T「では次に、つい最近学習した、熱力学第1法則を復習してみよう。ここにある容器に閉じこめられた気体があるとしよう。気体が加熱される、つまり外から $Q [J]$ の熱エネルギーが与えられ、更に気体が圧縮される、つまり外から $W [J]$ の仕事が加わった場合、気体の内部エネルギーの増加量 ΔU は？」

S「 $\Delta U = Q + W$ で与えられます。」

T「その通り。ここで重要なのは『閉じられた気体』ということ。では気体の内部エネルギーとは？」

S「閉じられた容器の中にある気体分子の運動エネルギーの総和です。」

T「はい。その運動エネルギーが増えるということは、観察される現象的には、どのようなことを指しますか？」

S「気体の温度が上がるということです。」

T「その通りです。熱力学第1法則は理解できているようですね。何もこれはエンジンの中のことだけではありません。みんながよく知っている気球が膨らんでいく現象もこの法則で説明できるのです。では、これからゴミ袋を使った気球を上げてみます。」

(気球を見せる)

T「ではこの脱脂綿に火をつけるとどうなりますか？」

S「気球がふくらみます」

T「膨らむということは、気体にとって外から仕事をされているの？外へ仕事をしているの？」

S「外へ仕事をしています。」

T「では第1法則の W の符号は？」

S「マイナスになります。」

T「 Q がプラス、 W がマイナスですね。」

S「あれ？先生。プラスマイナスゼロで、内部エネルギーが上がってこないんじゃないんですか？」

T「いいところに気がつきました。それは Q と W の大き

さが同じ時ですね。もし、 $|Q| > |W|$ だったら？」

S「あ、温度が上がる・・・」

T「気球は下の部分があいているので、厳密には『閉じられた気体』ではありません。でも、パンパンにふくらむまで、気球の中の空気は外にもれてこないと仮定しましょう。」

(着火)

T「熱エネルギーが外部から供給されているよ。Qはプラスだ。袋がどんどん膨らんでいく。Wはマイナスだ。Qの大きさがWより大きいので、中の気体分子の運動エネルギーがどんどん大きくなっていく、内部エネルギーが増加している。中の空気が熱くなってきた。温度の上昇だ。気体分子の運動が激しくなって袋の壁にパカパカあたっているよ。これが『外への仕事』の原因だ。分子の動きを感じることができるかな？」

(パンパンになると・・・)

T「さすがにこれくらいになると、気球の中の気体分子の運動が激しすぎ、気体の下からもれ始めます。あれ？もれると気球の中の空気の質量は？」

S「減っていく・・・」

T「袋はパンパンなので体積が変わらない。すると・・・」

S「密度が小さくなる」

T「だから・・・」

S「浮力>重力になり、浮き始める・・・」

T「ほら！浮いた！」

(消した後)

T「君たちはソーラーバルーンって知っているかな？気球のように穴が空いていない、完全に密封された大きなゴミ袋を日光にあてておくと、どんどんふくらみフワリと浮きあがるんだ。これは空気の漏れがない、「閉じられた気体」のタイプだよ。」

浮力・第1法則の復習をしっかりと行い、章のまとめとして、生徒との対話を重視し、問いかけながら実施する。そうすれば、単に気球が上がった上がないに一喜一憂することもない、アトラクションの域を超えた、質の高い物理の「授業」が実現する。大学受験の2次試験でも、よく出題されるので、進学を重視する高校であれば、次の時間にそれを例題にするのもよい（私は北見工大の過去問を使用）。しかしこの場合は、気球が膨らんでいくが、外圧・内圧の差は非常に小さいことから「定圧変化(=シャルルの法則)」を使った出題が多いので、生徒が混乱しないよう、問題を解く前に十分なリードが必要となる。

4. 参考

- ・針金#30 (直径0.3ミリ・長さ20m、100円)
 - ・高密度ポリエチレン製、厚さ0.015ミリのゴミ袋45リットル(10枚入り100円)～学校でよく使われているゴミ袋は厚すぎうまくいかない。しっとりしたタイプではなく、カサカサしているタイプを選ぶ。
 - ・化粧用コットンパフ(50枚入り100円)。
- いずれも100円ショップ、またはホームセンターで購入可能である。

5. その他

私が演示する際に、いつも肝に銘じているのは、藤木源吾氏が昭和25年に書いた「化学講義実験法」に書かれている、理科実験10か条である。化学に限定されたものではなく、理科・科学授業における生徒実験・演習実験全てに通じる項目である。ぜひ参考にされたい。

- | | |
|-------|-------|
| ・安全第一 | ・百発百中 |
| ・準備迅速 | ・装置簡易 |
| ・現象顕著 | ・観察徹底 |
| ・装置存続 | ・改良工夫 |
| ・材料経済 | ・整頓清潔 |

また、世には数多くの実験があふれているが、それを授業のどこに配列するか、どこに置けば最大の教育効果を上げることができるのか、は教員のノウハウとして、各個人の知恵の中に蓄積されている。これは書物に書いていない。webにも載っていない。諸先輩の先生方とコミュニケーションをとり、その対話から聞き取り、自分の担当している生徒を思い浮かべながら、自分なりに解釈するしか方法はないのである。研究会に参加する意義はここにある。

理科教師が数多くの実験手法を知っているのは当然である。しかし実験を授業のメインとして、数多くやれば、生徒は理科に興味を持ち、思考が深まり理解が進む、というのは迷信である。量ではない、教師のトーク、生徒への問いかけ、コミュニケーションが授業のメインストリートであり、実験の「質」と適切な箇所へ「配置」が大切なのである。

参考文献

- ・SoftBank Creative サイエンス・アイ新書
「おもしろ実験と科学史で知る物理のキホン」 渡辺儀輝