

## 理科教育法の講義で実験を

### Incorporating experiments in Teaching Methods in the Natural Sciences

殿村 洋文\*  
TONOMURA Hirofumi

#### 1 実験をしない自然科学教育

一昨年より宮村さんの後を引き継いで理科教育法Ⅰ、Ⅱを担当している。この科目は、中高の理科の教員免許を取得するために必要なものである。理科は何を教える科目かは実ははっきりしていないし、色々な考えがあるのだが、少なくとも自然科学に深く関係するという点は共通している。

自然科学には様々な分野があるが、生物学者であれば顕微鏡を見る姿や網を持って採集をしている様子を思い出すし、天文学者は望遠鏡を覗いており、化学者は白衣を着て試験管を振るのが、物理学者にはコイルの前に立つ姿が思い起こされる。要する実験や観察をすることが多くの人を持つイメージである。

ところが現実の理科教育の場を見ると、実験観察の時間は驚くほど少ない。小学校であれば専門ではない教員が多いので致し方がない側面もあろうが、曲がりなりにも自然科学のいずれかの分野を専門に学んできた中高でも実験観察に時間が割かれていない。

筆者は理科教育法Ⅰの最初に学生にどのような理科教育を受けてきたかを尋ねている。中には“(高校の)化学授業(2、3年)では、2/3以上が実際に実験をする授業でした”(中学は)校舎内に自然が多かったので、その観察や、実験の回数が多かった”という学生もいたが、大多数の学生は実験はほとんど記憶にないという。今年の学生の中に“(高校では)実験は一度もなく、本当に座学だけで内容は面白いのに授業はつまらなかった”と書いていたので、化学で中和滴定くらいはやらなかったのかと聞いてみたら、それもやったことがないとのことで、これにはびっくりした。

#### 2 何を取り上げるか

学習院大学理学部にはもちろん実験があり、教職のための実験も開講されているが、中学3年間、高校3年間の授業で取り扱う実験・観察を網羅することは不可能であろう。先に述べた学生の実態から見て、実験一般の技能や知識の習得をするとともに、中高の理科の授業で誰もが身に付けるべき基礎的概念の獲得に欠かせない実験・観察を、教科教育法の中でも取上げなければならないと考えた。取り上げるのは、生徒の耳目を惹くようなビックリさせたり、面白がらせるようなものではなく、中学理科や高校での基礎のついた科目で行われる基礎的な実験・実習で、そこで起こる事実は記憶しているが、より深く考えさせ、概念や法則の捉えなおしを迫るようなものが良い。

#### 3 実験実習の例

この2年間に前項で述べた観点から、いくつかの実験を実際に演示し、その際の注意点

---

\* 学習院大学教職課程非常勤講師・東京都市大学教職課程教育講師・自由の森学園中高非常勤講師

や発問例、多くの生徒が考える誤答を紹介するとともに、必要な教具の作成もいくつか行ってみた。それを以下に記す。

#### a. 塩化ナトリウムの融解

物質はその温度により固体、液体、気体のいずれかの状態をとることは中学で学ぶ内容だが、それが全ての物質について言えるとは思っていない（熱分解する物質はもちろん多くあるのだが、それは物質の三態変化を学習した後に取り上げることによって、化学変化の本質を理解する教材となる。また高分子化合物のように明確な融点を持たない物質は中学段階では詳しくは扱わない）。理科教育法を履修する学生でも似たようなものである。

そこで取り上げたのが塩化ナトリウムの融解と、次項で取り上げる過熱水蒸気である。塩化ナトリウムは身近にある物質で、その溶解はしばしば目にするが、融解した液体状態を目にすることはまずない。加熱したフライパンに塩を振り入れても小さな粒のままであるし、焼き魚の尾に付けられている飾り塩は焼いている間も固体のままである。

しかし直径18mmの試験管に深さ5mm程度の塩化ナトリウムを入れ、トーチバーナー（1100℃ほどまで加熱が可能）で試験管の底を加熱すると、数分で液体となる。試験管を振るとわずかに黄色味がかかった液体がゆれているのが見える。加熱を止めると固体に戻るが融点が801℃であるから固体に戻ったばかりでは相当の高温である。紙が触れると焦げて孔が開き、マッチの頭葉部分を押し付けると発火することから、200℃以上であることが明らかになる。また試験管内の塩化ナトリウムは、中央がやや凹んでおり固体の方が体積が小さく密度が大きくなることも示せる。

以上のような演示は単に見せるだけでなく、なぜそのよう操作するかを学生に問い考えさせながら行う。同様の実験を青木夏子氏（当時埼玉県内の公立中学校教員）の授業ビデオ映像でも見ているのでより印象は深い。

なお、液体の塩化ナトリウムが電気を通すことから、陽イオンと陰イオンの結晶から成ることも示せるのも実演する。2018年度は電気伝導性の試験装置（後述）も学生に製作させた。

#### b. メタノール風船と過熱水蒸気

物質の三態変化での体積変化は固体⇌液体よりも液体⇌気体の方が大きく、気体になると約1000倍になる。この時使うのが、メタノール風船である。現在は風船よりも手軽なチャック付のビニール袋（ジップロックなど）が使われるが、それに2～3mLのメタノールまたはエタノールを入れ空気を追い出し、沸騰した湯を掛けるか、表面にメタノールの入った部分を漬けるとメタノールは気化し、袋はパンパンに膨らむ。中学の教科書には載っている実験であるが、実際に見た経験がある学生は少ない。体積比較のため、φ18mmの試験管（容積約30mL）や2Lのビーカーを置いてことや、全て気化してしたら袋の内部は透明で、凝縮が始まると液滴が垂れてくるのが見えることに注目させること、さらに手で触ってみると熱くて、袋内部が沸点以上になっていることが定性的にわかることなどをやはり問いかけながら進めていく。繰り返すことで三態変化が可逆的であることも示せる点も知らせる。

構成粒子のレベルで考えると、分子間の距離

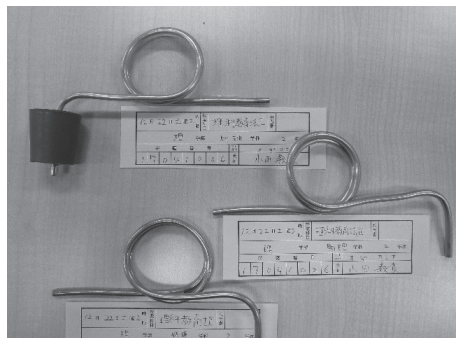


図1：学生が制作した過熱水蒸気発生装置

がおよそ10倍になることで、縦10倍×横10倍×高さ10倍=1000倍となると考えられ、また分子間距離10倍ということは、分子間力だいたい1/1000以下になり無視できるので、気体の種類に関係なくボイルシャルルの法則が成り立つのだということも話す。これは学んだことが上級の学校に行っても関係して使えるということの例でもある。

学生は皆、三態変化における温度変化のグラフを見ているが、融点に達する以前の右上がりの直線や沸点以降の右上がりの直線の意味を真に理解していない。すなわち氷はみな0℃で水蒸気は100℃であると思いついてしまっている。しかし-10℃の冷凍庫内の氷は-10℃であるし、水蒸気は加熱すれば100℃を超えるのである。後者についてはやはり中学の教科書に取り上げられている、過熱水蒸気の実験で簡単に示すことができる。古川千代男氏考案の実験装置<sup>1)</sup>は簡単に作れるので、2018年度も2019年度も学生に製作してもらった。前頁の図1は2018年度の例であるが、約40cmの銅パイプを図のように曲げ、一端をゴム栓に差し込むだけである。この学生は1時間で3つ作った。

このゴム栓部分を水と沸騰石を入れた500mL丸底フラスコの口にはめ加熱すると水が沸騰しやがて銅パイプから水蒸気が出るようになる。パイプの丸くなった部分をトーチバーナーで加熱すると、パイプから出る水蒸気の温度は数百℃になるが、水を入れた試験管を近づけると水滴が生じるから水蒸気であることは間違いないが、無色透明で目に見えないこと、先に試験管を置いたあたりに置くと焦げることや、マッチの頭薬を置くと発火することから水蒸気は数百℃になっていることが確かめられること示した。

またパイプの材料が銅であるのはなぜなのかも問うことで、化学で登場する金属のイオン化傾向と反応性の関係から、高温の水蒸気とは反応しない銅でなければならないことを確認し、理科の科目相互が関連していることも知ることができる。

### c. 電気伝導性試験装置

液体の塩化ナトリウムの電気伝導性について調べるには、電気伝導性試験装置を試験管に入れればよいが、市販の装置は電極部分が大きくφ18mmの試験管には入らない（もちろん、マッフル内に収めたルツボに10~20gぐらいの塩化ナトリウムを入れ、メッセルバーナーで加熱すればたっぷりの量の液体塩化ナトリウムを作れ、市販の電導性試験装置も入れられる）。

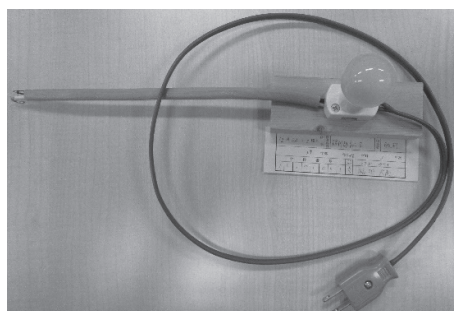


図2：学生が制作した電気伝導性試験装置

そこで試験管に入れられるものをつくる。2018年度は学生に先の過熱水蒸気発生装置と選択させ製作させた。図2がそれである。屋内配線用の2芯Fケーブルを25cmほど切り、一番外側の被覆5cmほどはがし、次いで内側の2本のケーブルの被覆を3cmほどはがす。あらわれた銅線の先端を、電導性を確かめたい物体に接触させるのである。他端は同じように被覆をはがすが、1本は直接2芯の電源用電線の1本と半田付けし、もう1本と電源用電線の間には電球のソケット（やや小さいE17のソケットにしたので片手でも持てる）を直列に接続した。プラグをACのコンセントに差し込むことで使用できるようになる。

### d. その他

その他演示したり、作成したものは、ストロー（パスタ）ウェーブマシン、大気圧実感装置（ゴムぴた君の名称で販売されている）、炭酸水素の熱分解による化学反応式の係数決定などである。いずれも、百円ショップやホームセンター、スーパーなどで入手可能な

材料で製作したり、実験できるものである。

どのような学校でもある力学台車や記録タイマー（これらも使った記憶のない学生が少なからずいた）は、納品された状態から組み立てたたりすることで、その構造や役割をより深く理解でき、日常の維持管理の方法も理解できる。記録タイマー導入以前の運動の記録方法を考えさせることで、記録タイマーの利点を知らせることも行った。

伝統的な実験器具だけでなく、新しいICT機器も紹介した。2018年度に購入していただいたスマートカート（図3）は、力学台車に力センサー、加速度センサー、ロータリーエンコーダーが組み込まれたもので、力学台車が受ける力や、移動距離、生じた加速度などが無線でタブレットに表示されるものである。これを使うことの長所と短所も考えさせることも行った。

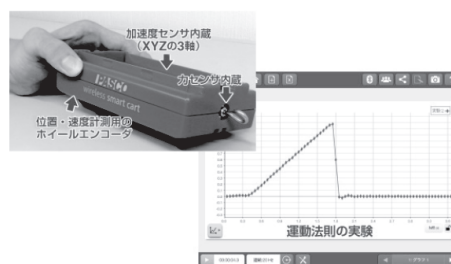


図3：スマートカート

#### 4 学生はどう感じたか

学校現場では、器具がそろっていないかたり壊れていたりしていることもあり、また予算が少なく、実習助手がいないなど、準備や修理を教員が行わなければならないことも多い。実際に触ってみることで、その原理がよくわかり、代替品あるいは代替実験を考える端緒ともなる。



図4：パスタウェーブマシン

安価な材料で教具を自作することで、自然科学の法則がどのような時でも成り立つこと実感できるようである。圧力の性質を学ぶ器具を作った時にある学生は「手軽に手に入る、100均ショップの物を使用して実験するのが面白いと思った。このような工夫をすることで、教師が授業の準備をしやすだけでなく、生徒にとっても日常生活にあるものであるため、概念を理解しやすいのではないか」と書いている。圧力は力と混同している場合が多いが、状態量の一つで、あらゆる方向に働くことを水中では確認する装置もあり、教科書に写真が載っているが、気体の場合については確かめていないので効果がある実験装置であるから作ってもらったことに（作り方などはまだまだ改良の余地がたくさんあるが）意義はあったようであった。

またストローウェーブマシンや図4のパスタウェーブ<sup>2)</sup>（筆者がインストラクターを務めている、高校物理の授業に役立つ基本実験講習会で紹介したもの）を作って見せた時に「学校にある機械は法則を示すために作られたものだから当たり前思ったが、身近なも

糸式

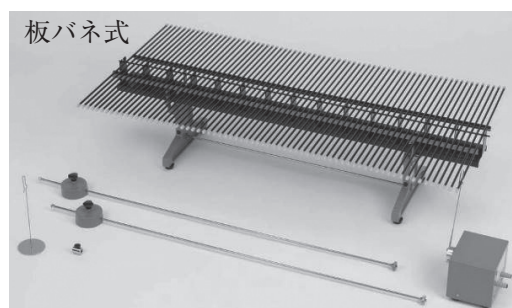
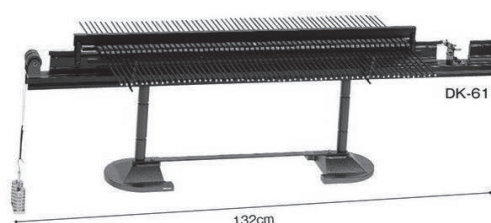


図5：市販のウェーブマシン

ので同じものができて同じような結果が出るので、色々な法則はいつでも成り立ってるのだと実感した」という趣旨の感想を述べていた。

ウェーブマシン（前頁図5）は波動の実験に使われるが高価で（約18万円）重いために、使用をためらったりすることも多いが、パスタウェーブマシンのように極めて安価な材料で簡単に作って見せる（数百円で10分ほどでできる）ことで、物理法則の普遍性を実感させることができた。

今後も理科の広い分野について、少しでも実験や観察を講義の中に取り入れるようにしたいと考えている。

- 1) 左巻健男、吉田安規良 編著『【新訂】授業に活かす! 理科教育法 中学校・高等学校編』東京書籍、2019年3月、
- 2) 殿村洋文「ウェーブマシンを使う」物理教育研究会主催『高校物理の授業に役立つ基本実験講習会』テキスト（2019年7月14～15日、麻布高校にて行われた）。この時、市販のウェーブマシンの棒の代わりに、ストローや乾麺のパスタを使用し、セロハンテープに貼り付け、セロハンテープによって復元力を生じさせている（市販品では板バネやヒモに棒を取り付けている）ウェーブマシンを紹介した。