

## 実験で確認する物理の誤った概念

足利 裕人 元公立鳥取環境大学, 680-0851 鳥取市大杵 390-20

筆者は2011年より10年間、公立鳥取環境大学の理科教員養成課程の開設、運営に関わり、県内外の物理教員研修の講師を務めている。「高校物理基本実験講習会」（兵庫会場）の講師は兵庫物理サークルメンバーが中心となっており、サークルの創設メンバーとして、第5回より講師を務めている。第5回はエントロピー増大の法則や静電気の授業で生徒を惹きつける工夫を、第6回はLEDを用いてLEDを点灯させる直列・並列つなぎの学習を担当したが、第7回以降は物理を中心とした、教科書等に散見する誤った概念を考える実験を行っている。

### 1. はじめに

高名な学者や専門メーカーの技術者が書籍に記述し、一般的によく知られ、科学的に正しいと信じられていたことが、実は間違いだったということはよくあることである。また、発達段階の子供には、専門的な内容による説明を廃し、間違っても理解しやすい内容で説明することも見かける。筆者は中等学校の教科書の内容を中心に、誤った概念を分析し、実験を行なって確認しながら検証するように講義を組み立てた。受講者が正しい概念を獲得し、授業に活かせることを願っている。

### 2. 子供むけテレビ番組と誤った概念

講習の最初に、分かりやすい誤った概念として子供向けのテレビ番組の現状を紹介している。最初の例は、ある民放の子供向け番組である。「宇宙船内で物が浮くのは、地球から遠く離れ、重力が弱くなるから」と解説した。当時はスペースシャトルの時代であり、地球を回る円軌道の高度は約120kmばかり。重力加速度は $9.8\text{ m/s}^2$ と地上よりわずか3%小さいだけで、重力が弱くなっているとは言えない。筆者は驚いて早速メールや電話で放送局へ修正を求めて連絡したが、修正の返事は



図1 重力による同時落下

あったものの、そのまま放置されたままである。正解は地球へ向かってスペースシャトルも中の物体も、同じ加速度で地球に向かって落下しているため、相対的にふわふわ浮いているのである。遊園地のフリーフォールで体験すれば分かることであるが、図1は、宇宙船に見立てた枠と人形を同時に落下させ、相対的に浮いていることを示す手軽な実験である。宇宙船内の微小重力の体験は、日本では小牧飛行場で実際されている。上昇途中でエンジンを止めると、機体は放物運動を行い、中の乗客は微小重力を体験できる。

図2は週間子どもニュースで放映された図である。「缶の中の水を温めると水の粒がふくらむ」と解説した。これも早速電話したが、修正の約束は守られなかった。正しい解答には高校物理の気体分子運動論を習わない限り到達できない。熱が気体分子に移動し、気体の運動エネルギーが増す（気体が速くなる）のだが、発達段階の子どもたちが対象であるとはいえ、間違った概念を植え付けるのは困る。言葉を工夫して正しく説明すべきである。

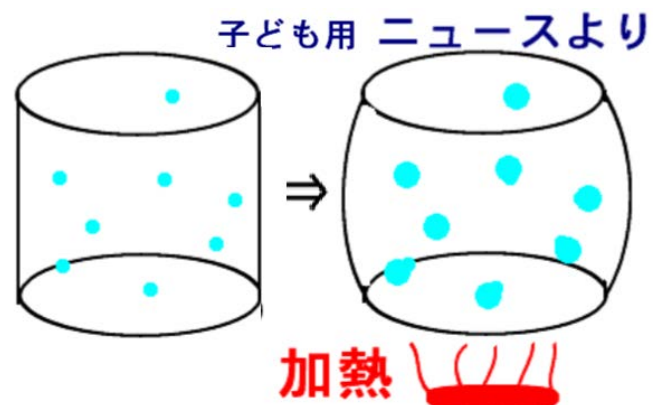


図2 加熱によりの粒が膨れる？

### 3. 中学校理科教科書の誤った概念

#### 3.1. 電気二重層コンデンサと水素燃料電池

筆者が県立高校を定年退職し、地元の大学で理科の教職課程を解説する準備を1年間行ったが、その際手始めに、中学校理科教科書の誤った概念を調査した。当時の教科書で最初に目に留まったのが、当時盛んにおこなわれていた、手回し発電機で電気分解装置の水を酸素と水素に分解し、その電極にモーターを接続して回転させる、という内容である。しかし、モーターは数秒で回転を止める。電気化学の内容でもあり、「化学と教育」に、当時神戸高校教諭の中澤に論文を依頼した<sup>3)</sup>。オシロスコープで電極の電圧の変化を調べると指数曲線で減衰する。明らかに電池ではなく電気二重層コンデンサを示している<sup>2)</sup>。しかも水素燃料電池はせいぜい1Vを少し上回る電圧しか発生できないのに、5V以上の電圧からスタートしている。

2011年当時の中学校理科の出版社5社を調べたところ、1社だけが正しい燃料電池を記載していた。この社はH字管を用い、パラジウムメッキした触媒電極を用いて酸素と水素のガスを導入し、発電するものである。他の4社はいずれも電気分解装置の電極にモーターを接続する電気二重層コンデンサを用いていた。筆者はある出版社の電気分解装置を製作しているメーカーに連絡し、触媒電極を電気分解装置の上部に取り付け、電解液に届いて水素イオンが動くように指導した。この装置が図3の水素燃料電池実験装置である。驚いたことに、現在発刊されている5社とも、この燃料電池を使っ



図3 水素燃料電池

ている。当時、偽物の燃料電池販売していた全てのメーカーに、改善やカタログからの削除を申し入れ、全社に応じてもらった。また、誤解による論文を掲載している研究者にも連絡し、取り下げていただいた。

#### 3.2. 簡易真空実験装置と音の減衰

中学校理科教科書には、装置内の気圧が減ると音が小

さくなるとあり、これは正しいのだが、実験装置が問題である。ブザーを使っているが、ホワイトノイズであり、様々な振動数で鳴るため容器が共鳴し、オシロでの波形の測定にも不向きである。また、容器のふたを閉めた時点で音が内部で反射され、極端に小さくなり、気圧を下げていくとさらに音が小さくなる。ここで音が聞こえなくなったと言ってしまいがちであるが、実際は市販の簡易真空容器では1/3気圧程度までしか下がらない。これはエベレスト山頂の気圧レベルで、三浦雄一郎が音声で家族に携帯電話をかけている場面が放映されたように、しっかり会話ができる気圧である。

筆者はブザーを3,000 Hzの正弦波を出す圧電ブザーに変え、マイクを容器内に設置して、真空容器内の音の減衰をオシロスコープも併用して外部スピーカーを鳴らして聞くようにしている<sup>4)</sup>。図4は真空鍾に入れた圧電ブザーの音の音圧の変化と気圧の関係の測定値である。外部スピーカーを用いて真空鍾内の音が聞き取れなくなるには、1 hPa以下に内部の気圧を下げる必要がある。

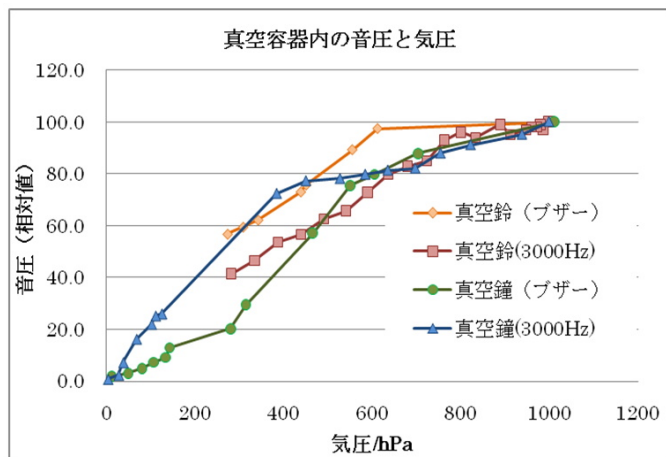


図4 真空容器内の音圧と気圧の関係

#### 3.3. 電流が取り出せる物質の組み合わせ

ある県の高校入試問題に、電流が取り出せる物質の組み合わせを問うものがあつた。しかし、実験では教科書通りにはいかないものである。中学校では水は電気を通さないとあるが、実際は蒸留水や超純水も抵抗値が示され、不導体も電気抵抗の範囲が示される。ほとんどの物質の組み合わせで電池は形成されてしまうため、このような問題を入試で問うのは適切ではない。

実験してみると、電解質でない砂糖水に亜鉛と銅の極板を浸すと1V程度出るし、メロディーICも鳴る。アルコールや超純水でも、異なる金属極板で起電力は測れる。極めつけは両極がマグネシウムリボンでさえ、激しく溶けている方が負極になる。図5にその様子を示した。



図5 両極がマグネシウムリボンの電池

#### 4. 高校物理教科書の誤った概念

##### 4.1. 眼球の光の屈折モデル

高校生物の教科書では、各社とも屈折は角膜と水晶体が担うとあるが、中学理科や高校物理の教科書では、水晶体がレンズのはたらきをすることで角膜に触れない。物理では眼球の仕組みをカメラと比較するために、角膜は考慮しないのか。筆者はK社の高校物理の教科書に角膜が屈折の7割を担うことを記述し、光線の図を修正した。例えば、水中では裸眼の近視眼はものが見えやすくなるが、正視眼はぼける。これを強度の近視の受講生に、水中メガネに水を満たして画面に密着させ、メガネの

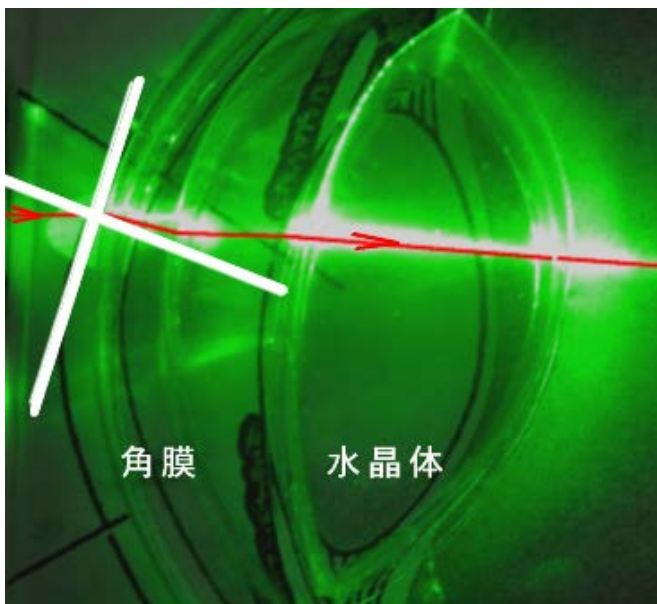


図6 角膜で大きく屈折するモデルの実験

替わりになるか実験してもらった。また、魚の目玉はなぜ丸いのかとか、水上と水中が見える魚の目は上半分が凸レンズで下半分が球レンズになっているのは何故か、角膜と水との間に空気層を作る水中メガネの働きは等を考えてもらう。レーシックの近視眼の手術では、角膜の中央部をけずって凹レンズを形成している。眼球はほとんど水であるため、水を満たした眼球モデルも考えてもらう<sup>4)</sup>。図6は、アクリル板で作った眼球モデルに、食塩で調整した屈折率の食塩水で角膜と水晶体を形成し、眼房水と硝子体は水を満たしてレーザー光の屈折を実験したものである。角膜は空気との境界であるため、最も屈折するのが確認できる。

##### 4.2. マイナスイオンドライヤーを用いた静電気実験

マイナスイオンはニセ科学の造語であるが、市販のマイナスイオンドライヤーは、負の高電圧をかけた電極でコロナ放電させ、空気や水蒸気に電子を付着させて送風しているため、箔検電器の実験に利用することができる。箔検電器の上に亜鉛板を乗せ、負に帯電させて箔を開かせ、紫外線を当てて箔を閉じさせる光電効果の実験にも利用できる。また、正の高電圧が利用できるドライヤーも市販され、箔の正負と開閉の関係が実験できる<sup>5)</sup>。

##### 4.3. 弦楽器と共鳴

管楽器は管内の気柱に共鳴させて音を大きくしているが、弦楽器は弦の振動を胴に共鳴させていると記述している教科書があり、間違いを指摘した。チェロやコントラバスなどの大きな弦楽器では、弦に胴が共鳴するとウルフサウンドと言って指が弾かれ演奏の妨げになる。そのため、おもりに調整している。すべての物体にはその大きさや形や密度等による固有振動数があるが、それは微妙な楽器の味わいを出しており、音叉を弾いて黒板や机に当てると大きな音になるように、弦楽器の胴は強制

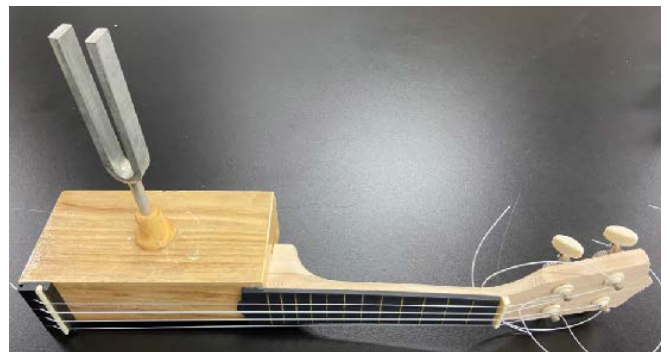


図7 440 Hz に共鳴するウクレレ

振動を用いている。これは共鳴ではなく響鳴であり、例えばピアノのそばでくしゃみすると、響板が強制振動して全ての弦が鳴るのもその一例である。楽器はどの振動数の音も大きくしないといけませんが、全ての音階に共鳴する胴は作れない。弦楽器の弱点の共鳴を完全に無くしたのが、胴を持たない電子楽器のエレキギターである。図7では440 Hzの音叉に共鳴するウクレレを作り、弦楽器が共鳴を嫌うことを学ぶ教具にした。

#### 4.3. 音色は波形の違いなのか

人の耳は、鼓膜の振動を耳小骨でリンパ液の振動に有効に変換し、蝸牛管の有毛細胞で周波数の異なる正弦波に分解して聞いている。音の高低は基底膜の幅が異なる細長い台形位置の共鳴で捉え、蝸牛管の入口が高音、奥が低音である。音の周波数成分の重なり具合が音色の違いになるが、どの教科書にも音色は波形であると記述されている。しかし、人の耳は各周波数成分の正弦波の初期位相の違いまでは感知することができないのは、音響学では常識である。青木の書籍<sup>9)</sup>では、初期位相の異なる同じ成分の合成波の聞き比べサイトが紹介されている。オシロスコープで観察される波形が同じだと、音色は同じになるが、音色が同じでも初期位相で波形は異なる。図8はこのことを示すために製作した装置である。4台の低周波発振機で例えば440、880、1320、1760 Hzの音を強さを調整してミキサーにかけて合成し、ギターアンプを通して音色を確認することができる。また、このとき初期位相は少しずつ時間変化していくため、オシロスコープの画面で波形が異なっていくことが確認できる。



図8 合成波と初期位相の実験装置

#### 4.4. 水流モデルと電流、電気のエネルギー

受講生には、教科書で使われているモデルにはどのよ

うな問題点があるか考えてもらうようにしている。例えば、電流の水流モデルが高校の教科書にも掲載されているが、電子の速さやエネルギー、オームの法則等の説明が困難である。また、IH調理器や携帯電話の充電など、非接触で電気のエネルギーが伝わる。電子は電流を構成するが、エネルギーを運んでいるとは言えない。電磁波を扱うためにマクスウェルの方程式を使いこなしたり、ポインティングベクトルを高校教科書で扱ったりするには、十分な検討が必要だが、現実には私たちはその恩恵を受けている。LEDや各種半導体もバンド理論が必要になり、高校教科書でどう扱うか、検討しないといけいない。物理の教科書は時代を適切にとらえているとは言えない。

## 5. おわりに

筆者の講座では他に、飛行機はどうして飛べるのか、1円玉が水面に浮くのは表面張力なのか浮力なのか、サイホンの原理は重力なのか大気圧なのか等も扱っている。この研修講座が今後も継続し、物理教育や本学会の発展につながることを強く願うものである。



図9 研修の様子

## 引用文献

- 1) 中澤克行：化学と教育 61(2013)180-181
- 2) 足利裕人：「RikaTan」17号 文理 (2015) 87-89
- 3) 足利裕人：日本理科教育学会全国大会発表論文集 61回(2011)160
- 4) 足利裕人：「RikaTan」23号 文理 (2016) 28-29
- 5) 足利裕人：「RikaTan」24号 文理 (2017) 100-101
- 6) 青木直史：ゼロからはじめる音響学 講談社 (2014)