

高等学校における教科指導の充実

理 科
《 物理領域 》

「物理基礎」における指導展開例

栃木県総合教育センター
平成24年3月

ま え が き

21 世紀は、新しい知識・情報・技術が、政治・経済・文化をはじめ社会のあらゆる領域での活動の基盤として飛躍的に重要性を増す、いわゆる「知識基盤社会」の時代であると言われてしています。そのような時代を生きるために、確かな学力、豊かな心、健やかな体の調和を重視する「生きる力」をはぐくむことがますます重要になっています。他方、各種の国際的な調査では、我が国の児童生徒について、思考力・判断力・表現力等、知識・技能の活用、学習意欲、学習習慣・生活習慣などに課題があると分析されました。このような状況を踏まえて、平成 20 年 1 月の中央教育審議会の答申を受け、平成 21 年 3 月に高等学校学習指導要領が告示されました。

この新しい学習指導要領は、高等学校では平成 25 年度入学生から年次進行で実施されます。総則の一部、総合的な学習の時間及び特別活動においては、平成 22 年度から先行して実施されています。また、数学、理科及び理数の各教科・科目については、平成 24 年度入学生から年次進行により先行して実施されます。各学校においては、新しい学習指導要領の理念をどのように実現していくのか、具体的な検討を進めていることと思います。

栃木県総合教育センターでは、基礎・基本の確実な定着を図る教科指導の在り方について研究するとともに、その成果を普及することで生徒の学力の向上に資することを目的に、平成 17 年度から「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」を行ってきました。今年度は、昨年度に引き続き、「今回の学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、各教科に求められている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探る」ことに重点を置き、国語科、地理歴史科、理科、保健体育科、商業科で調査研究に取り組みました。本冊子はその成果をまとめたものであり、教科指導を充実させる一助として、御活用いただければ幸いです。

最後に、調査研究を進めるに当たり、御協力いただきました研究協力委員の方々に深く感謝申し上げます。

平成 24 年 3 月

栃木県総合教育センター所長
瓦 井 千 尋

目 次

1	本調査研究の背景	1
2	「物理基礎」の内容と、その取扱いについて	5
3	授業計画・評価計画について	8
4	「様々な物理現象とエネルギーの利用」の授業展開例	14
	～ 単元「波」の授業展開例 ～	
	事例1 演示実験「気柱の振動の可視化」	18
	事例2 生徒実験「音波の反射と音速の測定」	24
5	思考力・判断力・表現力等を育成する授業の展開例	32
	事例3 討論を重視した授業「第1宇宙速度」	
6	物理実験ワンポイントアドバイス	38
	事例4 手軽に実験を行うための工夫	

※本資料は、栃木県総合教育センターのホームページ「とちぎ学びの杜」内、「調査研究」と「教材研究のひろば」のコーナーにも掲載しています。

（「とちぎ学びの杜」 <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>）

1 本調査研究の背景

今年度の「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」は、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、各教科に求められている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探ることに重点を置き、国語科、地理歴史科、理科、保健体育科、商業科で実施するものである。

各教科で調査研究した内容を次章以降に提示するに当たり、まず、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領改訂の基本的な考え方、教育内容の主な改善事項及び学習評価の基本的な考え方について整理する。

(1) 学習指導要領改訂の基本的な考え方

平成 21 年告示の高等学校学習指導要領の改訂では、21 世紀を生きる子どもたちの教育の充実を図るため、「生きる力」をはぐくむという教育課程の基準全体の見直しを図った。今回の改善の方向性は、平成 20 年 1 月の中央教育審議会答申「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」に示されている。答申では、以下の①～⑦を基本的な考え方として、各学校段階や各教科等にわたる学習指導要領の改善の方向性が示された。

- ① 改正教育基本法等を踏まえた学習指導要領改訂
- ② 「生きる力」という理念の共有
- ③ 基礎的・基本的な知識・技能の習得
- ④ 思考力・判断力・表現力等の育成
- ⑤ 確かな学力を確立するために必要な授業時数の確保
- ⑥ 学習意欲の向上や学習習慣の確立
- ⑦ 豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実

具体的には、①については、教育基本法が約 60 年振りに改正され、21 世紀を切り^{ひら}拓く心豊かでたくましい日本人の育成を目指すという観点から、これからの教育の新しい理念が定められたことや学校教育法において教育基本法改正を受けて、新たに義務教育の目標が規定されるとともに、各学校段階の目的・目標規定が改正されたことを十分に踏まえた学習指導要領改訂であることを求めた。③については、読み・書き・計算などの基礎的・基本的な知識・技能は、例えば、小学校低・中学年では体験的な理解や繰り返し学習を重視するなど、発達の段階に応じて徹底して習得させ、学習の基盤を構築していくことが大切との提言がなされた。この基盤の上に、④の思考力・判断力・表現力等をはぐくむために、観察・実験、レポートの作成、論述など、知識・技能の活用を図る学習活動を発達の段階に応じて充実させるとともに、これらの学習活動の基盤となる言語に関する能力の育成のために、小学校低・中学年の国語科において音読・暗唱、漢字の読み書きなど基本的な力を定着させた上で、各教科等において、記録、要約、説明、論述といった学習活動に取り組む必要があると指摘した。また、⑦の豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実については、徳育や体育の充実のほか、国語をはじめとする言語に関する能力の重視や体験活動の充実により、他者、社会、自然・環境とかかわる中で、これらとともに生きる自分への自信をもたせる必要があるとの提言がなされた。

また、高等学校の教育課程の枠組みについては、高校生の興味・関心や進路等の多様性を踏まえ、必要最低限の知識・技能と教養を確保するという「共通性」と、学校の裁量や生徒の選択の幅の拡大という「多様性」とのバランスに配慮して改善を図る必要があることが示された。

(2) 教育内容の主な改善事項

平成 21 年告示の高等学校学習指導要領における教育内容の主な改善事項は以下のようである。

●言語活動の充実

- ・国語をはじめ各教科等で批評、論述、討論などの学習を充実した。

●理数教育の充実

- ・遺伝など、近年の新しい科学的知見等を踏まえ内容を充実し、統計に関する内容を数学 I に導入した。
- ・日常生活や社会との関連を重視した改善を図った。
- ・数学 I に〔課題学習〕を導入したり、科目「理科課題研究」を新設したりするなど、知識・技能を活用する学習や探究する学習を重視した。

●伝統や文化に関する教育の充実

- ・歴史教育（世界史における日本史の扱い、文化の学習を充実）、宗教に関する学習を充実した。
- ・古典（国語）、武道（保健体育）、伝統音楽（芸術「音楽」）、美術文化（芸術「美術」）、衣食住の歴史や文化（家庭）に関する学習を充実した。

●道徳教育の充実

- ・学校の教育活動全体を通じて行う道徳教育について、その全体計画を作成することを新たに規定した。
- ・現代社会や特別活動において人間としての在り方生き方に関する学習を充実した。

●体験活動の充実

- ・ボランティア活動などの社会奉仕、就業体験を充実するとともに、職業教育において、産業現場等における長期間の実習を取り入れることを明記した。

●外国語教育の充実

- ・指導する単語数を増加するとともに、授業を実際のコミュニケーションの場とするという観点から、授業は英語で指導することを基本とするなどの改善を図った。

●職業に関する教科・科目の改善

- ・職業人としての規範意識や倫理観、技術の進展や環境等への配慮、地域産業を担う人材の育成等、各種産業で求められる知識・技術等を身に付けさせる観点から科目構成や内容を改善した。

(3) 学習評価の基本的な考え方

現在、高等学校においては、学習状況を分析的にとらえる観点別学習状況の評価と総括的にとらえる評定とを、学習指導要領に定める目標に準拠した評価として実施している。小・中学校において観点別学習状況の評価が定着していることから、高等学校段階においても、学習評価の前提となる指導と評価の計画や、観点に対応した生徒一人一人の学習状況を生徒や保護者に適切に伝えていくなど、学習評価の一層の改善が求められている。

このようなことから、高等学校においても、学校教育法や平成 21 年告示の高等学校学習指導要領を踏まえ、基礎的・基本的な知識・技能に加え、思考力・判断力・表現力等主体的に学習に取り組む態度に関する観点についても評価を行うなど、観点別学習状況の評価の実施を推進し、きめの細かい学習指導と生徒一人一人の学習の確実な定着を図っていく必要がある。なお、高等学校における教科・科目の評価の観点は、小・中学校との連続性に配慮しつつ、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領の趣旨を踏まえ、生徒の実態に合わせて設定することが適当である。

また、学習評価は、生徒の学習状況を検証し、結果の面から教育水準の維持向上を保障する機能を有するものである。したがって、学校が地域や生徒の実態を踏まえて設定した観点別学習状況の評価規準や評価方法を明示するとともに、それらに基づき学校において適切な評価を行うことなどにより、高等学校教育の質の保障を図るものである。

平成 21 年告示の高等学校学習指導要領における評価の観点は、以下の囲みのように整理される。「知識・理解」及び「技能」については、教科の特性に応じ、知識と技能に関する観点が分けて示されていることもある。また、「思考・判断・表現」については、各教科の目標や内容を踏まえ、当該教科において育成すべき能力にふさわしい名称とし、位置付けられている。

● 「関心・意欲・態度」

各教科が対象としている学習内容に関心をもち、自ら課題に取り組もうとする意欲や態度を児童生徒が身に付けているかどうかを評価するもの。評価に当たっては、各教科が対象としている学習内容に対する児童生徒の取組状況を通じて評価することが基本であり、例えば、授業中の挙手や発言の回数といった表面的な状況のみに着目することにならないよう留意する必要がある。

● 「思考・判断・表現」

各教科の知識・技能を活用して課題を解決すること等のために必要な思考力・判断力・表現力等を児童生徒が身に付けているかどうかを評価するもの。従来の「思考・判断」に「表現」が加えられた。これは、この観点到に係る学習評価を、言語活動を中心とした表現に係る活動や児童生徒の作品等と一体的に行うことを明確に示したためである。

このため、この観点を評価するに当たっては、単に文章、表や図に整理して記録するという表面的な現象を評価するものではなく、例えば、自ら取り組む課題を多面的に考察しているか、観察・実験の分析や解釈を通じ規則性を見いだしているかなど、基礎的・基本的な知識・技能を活用しつつ、各教科の内容等に即して思考・判断したことを、記録、要約、説明、論述、討論といった言語活動等を通じて評価するものであることに留意する必要がある。

● 「技能」

各教科において習得すべき技能を児童生徒が身に付けているかどうかを評価するもの。基本的には、従来の「技能・表現」で評価している内容は引き続き「技能」で評価する。

今回、各教科の内容に即して思考・判断したことを、その内容を表現する活動と一体的に評価す

る観点として「思考・判断・表現」が設定されたことから、当該観点における「表現」との混同を避けるため、評価の観点の名称が「技能・表現」から「技能」に改められた。

● 「知識・理解」

各教科において習得すべき知識や重要な概念等を児童生徒が理解しているかどうかを評価するもの。従来の「知識・理解」の趣旨を踏まえた評価を引き続き行う。

また、評価の在り方については、「高等学校学習指導要領解説 総則編」で、次のように述べられている。

〈第3章 5 (12) 指導の評価と改善 (第1章第5款の5の(12))〉

基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図るとともに、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等を育成し、学習意欲を高めるための指導を行うためには、評価の在り方が大切である。いわゆる評価のための評価に終わることなく、生徒一人一人の学習の成立を促すための評価という視点を一層重視することによって、教師が自らの指導を振り返り、指導の改善に生かしていくことが特に大切である。

評価に当たっては、生徒の実態に応じた多様な学習を促すことを通して、主体的な学習の仕方が身に付くように配慮するとともに、生徒の学習意欲を喚起するようにすることが大切である。その際には、学習の成果だけでなく、学習の過程を一層重視する必要がある。特に、他者との比較ではなく生徒一人一人の持つよい点や可能性などの多様な側面、進歩の様子などを把握し、学年や学期にわたって生徒がどれだけ成長したかという視点を大切にすることが重要である。また、生徒が自らの学習過程を振り返り、新たな自分の目標や課題をもって学習を進めていけるような評価を行うことが大切である。

学習評価においては、生徒のよい点や進捗の状況などを積極的に評価するとともに、指導の過程や成果を評価し、教師が自らの指導の改善を行い、生徒の学習意欲の向上に生かすようにすることが大切である。そのためにも、「関心・意欲・態度」、「思考・判断・表現」、「技能」、「知識・理解」の4観点の趣旨を踏まえ、適切に評価を進めていくことが求められる。

※本冊子においては、以降、平成11年3月に告示された学習指導要領を「現行の学習指導要領」、平成21年3月に告示された学習指導要領を「新学習指導要領」として記す。

※本冊子に掲載した単元等に付してある評価規準は、新学習指導要領における教科・科目を想定して、参考として掲載したものである。

2 「物理基礎」の内容と、その取扱いについて

(1) 「物理基礎」の内容と、その取扱い

新科目「物理基礎」の内容と、その取扱いをまとめると、次の表のようになる。科目の全体像を俯瞰するための一助になれば幸いである。

項 目	内 容	内 容 の 取 扱 い
(1) 物体の運動とエネルギー 日常に起こる物体の運動を観察，実験などを通して探究し，その基本的な概念や法則を理解させ，運動とエネルギーについての基礎的な見方や考え方を身に付けさせる。		
ア 運動の表し方 (ア)物理量の測定と扱い方 (イ)運動の表し方 (ウ)直線運動の加速度	(ア)身近な物理現象について，物理量の測定と表し方，分析の手法を理解すること。 (イ)物体の運動の基本的な表し方について，直線運動を中心に理解すること。 (ウ)物体が直線上を運動する場合の加速度を理解すること。	(ア) 「物理基礎」の学習全体に通じる手法などを扱うこと。
イ 様々な力とその働き (ア)様々な力 (イ)力のつり合い (ウ)運動の法則 (エ)物体の落下運動	(ア)物体に様々な力が働くことを理解すること。 (イ)物体に働く力のつり合いを理解すること。 (ウ)運動の三法則を理解すること。 (エ)物体が落下する際の運動の特徴及び物体に働く力と運動の関係について理解すること。	(ア) 摩擦力，弾性力，圧力及び浮力を扱うこと。また，空間を隔てて働く力にも定性的に触れること。 (イ) 平面内で働く力のつり合いを中心に扱うこと。 (ウ) 直線運動を中心に扱うこと。 (エ) 自由落下，鉛直投射を扱い，水平投射，斜方投射及び空気抵抗の存在にも定性的に触れること。
ウ 力学的エネルギー (ア)運動エネルギーと位置エネルギー (イ)力学的エネルギーの保存	(ア)運動エネルギーと位置エネルギーについて，仕事と関連付けて理解すること。 (イ)力学的エネルギー保存の法則を仕事と関連付けて理解すること。	(ア) 重力による位置エネルギー，弾性力による位置エネルギーを扱うこと。 (イ) 摩擦や空気抵抗がない場合は力学的エネルギーが保存されることを中心に扱うこと。
エ 物体の運動とエネルギーに関する探究活動	物体の運動とエネルギーに関する探究活動を行い，学習内容の理解を深めるとともに，物理学的に探究する能力を高めること。	
(2) 様々な物理現象とエネルギーの利用 様々な物理現象を観察，実験などを通して探究し，それらの基本的な概念や法則を理解させ，物理現象とエネルギーについての基礎的な見方や考え方を身に付けさせる。		
ア 熱 (ア)熱と温度 (イ)熱の利用	(ア)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。 (イ)熱の移動及び熱と仕事の変換について理解すること。	(ア) 熱現象を微視的な視点でとらえ，原子や分子の熱運動と温度の関係を定性的に扱うこと。また，内部エネルギーや物質の三態にも触れること。 (イ) 熱現象における不可逆性にも触れること。

<p>イ 波 (ア)波の性質</p> <p>(イ)音と振動</p>	<p>(ア)波の性質について、直線状に伝わる場合を中心に理解すること。</p> <p>(イ)気柱の共鳴、弦の振動及び音波の性質を理解すること。</p>	<p>(ア) 作図を用いる方法を中心に扱うこと。また、定在波も扱い、縦波や横波にも触れること。</p> <p>(イ) 波の反射、共振、うなりなどを扱うこと。</p>
<p>ウ 電気 (ア)物質と電気抵抗</p> <p>(イ)電気の利用</p>	<p>(ア)物質によって抵抗率が異なることを理解すること。</p> <p>(イ)交流の発生、送電及び利用について、基本的な仕組みを理解すること。</p>	<p>(ア) 金属中の電流が自由電子の流れによることも扱うこと。また、半導体や絶縁体があることにも触れること。</p> <p>(イ) 交流の直流への変換や電磁波の利用にも触れること。</p>
<p>エ エネルギーとその利用 (ア)エネルギーとその利用</p>	<p>(ア)人類が利用可能な水力、化石燃料、原子力、太陽光などを源とするエネルギーの特性や利用などについて、物理学的な視点から理解すること。</p>	<p>(ア) 電気エネルギーへの変換を中心に扱うこと。「原子力」については、関連して放射線及び原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。</p>
<p>オ 物理学が拓く世界 (ア)物理学が拓く世界</p>	<p>(ア)「物理基礎」で学んだ事柄が、日常生活やそれを支えている科学技術と結び付いていることを理解すること。</p>	<p>(ア) 日常生活や社会で利用されている科学技術の具体的事例を取り上げること。</p>
<p>カ 様々な物理現象とエネルギーの利用に関する探究活動</p>	<p>様々な物理現象とエネルギーの利用に関する探究活動を行い、学習内容の理解を深めるとともに、物理学的に探究する能力を高めること。</p>	

(「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」《平成 21 年：文部科学省》 より作成)

(2) 「物理基礎」と「物理Ⅰ」の相違点

新科目「物理基礎」と、これまでの「物理Ⅰ」との内容の違いについて整理すると、次のようになる。

【新しく加わったもの】

- ◇ (1) ア(7)「物理量の測定と扱い方」では、測定の仕方や分析の手法、データの扱い方や誤差の考え方などを学習する。この部分については、学習の順序性はなく、他の部分の学習内容と絡めて少しずつ理解を深めるようにするとよい。
- ◇ (2) オ(7)「物理学が拓く世界」では、日常生活や産業などで利用されている科学技術の具体例を取り上げる。この部分については、学習のまとめとして、これまでに学習した内容と結び付けて、先端的な科学技術を紹介し、物理学を学ぶ意義や有用性を実感させるとともに、科学への興味・関心を高めるようにするとよい。

【「物理Ⅱ」から移行したもの】

- ◇ (2) エ(7)「エネルギーとその利用」では、放射線と原子力についても触れる。
(これまでは、「物理Ⅱ」の選択履修分野であったことに注意。)

【削除されたもの】

- ◇ (2) イ「波」の項目では、光に関する部分が削除された。(新科目「物理」に移行した。)

以上のような、内容の変更があったのに加えて、以下の点についても留意しなければならない。

- ◇ これまでの「物理Ⅰ」の標準単位数が3であったのに対して、「物理基礎」の標準単位数は2である。また、文系の大学等への進学を目指す生徒を含めて履修するケースが増加することから、これまでの「物理Ⅰ」と同様の内容であっても、扱い方については深入りし過ぎないように注意しなければならない。
- ◇ 「基礎を付した科目」*から3科目以上を必修とする場合、物理・化学・生物の枠組みにとらわれずに「物理基礎」を担当するようなケースが考えられる。したがって、だれが「物理基礎」を担当しても授業内容や実験などに不安を抱くことがないように、物理教員を中心として、予め年間指導計画案や実験書などを準備・工夫しておくことが重要になる。

これらの留意点を踏まえて、次に続く「3 授業計画・評価計画について」では、新科目「物理基礎」の授業計画と評価の在り方の基本的な考え方を紹介する。

* 「基礎を付した科目」とは、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」及び「地学基礎」を指す。

3 授業計画・評価計画について

(1) 学習評価の在り方について

中央教育審議会・初等中等教育分科会教育課程部会が平成 22 年 3 月に出した報告「児童生徒の学習評価の在り方について」の中には、次のようなことが述べられている。

(高等学校における学習評価の基本的な考え方)

- 高等学校については、各学校において生徒の特性，進路等に応じて多様な教育課程が編成されていることから，従来，高等学校学習指導要領に示す各教科・科目の目標に基づき，学校が地域や生徒の実態に即して設定した当該教科・科目の目標や内容に照らし評価を行うこととされている。また，小・中学校と同様，評価の 4 観点に基づく観点別学習状況の評価を踏まえながら評定を行うこととされており，平成 16 年 3 月には，国立教育政策研究所より高等学校の必修科目等について「評価規準の作成，評価方法の工夫改善のための参考資料」が示された。一方で，国の示す指導要録の参考様式としては大枠のみが示され，各教科・科目の学習状況の記録については原則として評定のみを記載することとされており，観点別学習状況の評価を記載することとはされていない。 (下線は稿者による)

これによると、学習評価については次の 2 点がポイントとなる。

①教科・科目の目標に準拠した評価

これは、他の生徒との比較から評価するのではなく、「学習指導要領に基づいて定めた教科・科目の目標に対して、どの程度達成されているかによって評価をする」ということ、つまり、これまでと同様にいわゆる絶対評価をするということである。

②観点別の評価

これは、「関心・意欲・態度」、「思考・判断・表現」、「技能」、「知識・理解」の4 観点を踏まえて評価を出し、それを総括して評定を出すということである。

これまで、「表現」については、「技能・表現」の形で観点に入れられていたが、観察・実験の結果を記録したりグラフ等を作成する等の「技能」とは区別して、自らが思考・判断したことをレポートなどに表して「伝える能力」に着目することに注意する。

(2) 指導と評価の一体化について

これまでも、「指導と評価の一体化」が求められてきたが、具体的に何をどのように進めればよいのかがよく理解されていない部分もある。先述の報告「児童生徒の学習評価の在り方について」の中では、次のように述べられている。

(学習評価を踏まえた教育活動の改善の重要性)

- また，従前指導と評価の一体化が推進されてきたところであり，今後とも，各学校における学習評価は，学習指導の改善や学校における教育課程全体の改善に向けた取組と効果的に結び付け，学習指導に係る PDCA サイクルの中で適切に実施されることが重要である。

つまり、「評定を出すための評価」ではなく、「学習指導を改善するための評価」が重要になる。すなわち、生徒の成績を出すための評価だけでなく、授業改善のために生徒の反応などをよく観察して、それに応じて指導の方法を変更するなどの工夫をすることが大切である。

そのためには、授業ごとに評価規準を設け、授業中に評価資料を蓄積していく必要がある。このとき、一つの授業にすべての観点を盛り込むのではなく、單元ごとのような「大きなまとまり」で四つの観点を評価できるように、指導計画案の中に評価規準を盛り込むことが大切である。このとき、達成度を記録し、学習状況を総括する際の資料とする評価規準（本冊子では◎印で表す）と、達成度が十分でない生徒を把握し、適切に指導や助言を与えられるようにすることを主な目的とする評価規準（本冊子では○印で表す）を区別して、指導計画や学習指導案に明記するとよい。

(3) 学習指導案について

かつての高等学校の学習指導案は、1時間の展開の様子に重点が置かれていて、単元全体の指導計画や、前後の授業とのつながりなどについては、あまり重要視されないことが多かった。しかし、次に述べるような理由から、今後は単元や科目全体を見通した指導計画との関連付けが求められる。

- 各学校で作成している「年間を通した指導計画（シラバス）」と授業進度の整合性が求められる。(学校の説明責任)
- 評価規準を念頭においた授業展開が求められる。(評価規準の明確化)
- 担当者によって、大きく学習内容が変わることのないようにする。(授業の公平性)
- 学習内容が、必要以上に浅くなり過ぎたり深入りし過ぎたりすることがないようにする。(授業の質の保証)

そこで、「単元の指導計画及び評価計画」と関連付けた学習指導案の例を以下に示す。

(表紙)

高等学校 理科（物理基礎）学習指導案 学 校 名：栃木県立□□高等学校 対象クラス：□□科 □年□組（□□コース 男子□名、女子□名 計□名） 使用教科書：「高等学校物理基礎」（□□出版） 授 業 者：□ □ □ □				
単 元 名	仕事とエネルギー			
単元の目標	力学的エネルギーについて、定量的な扱いができるようにし、力学的エネルギー保存の法則について仕事と関連付けて理解する。			
単元の 評価規準	関心・意欲・態度 ・運動エネルギーや位置エネルギーについて関心をもち、それらについて意欲的に探究しようとしている。 ・力学的エネルギー保存の法則について関心をもち、意欲的に探究しようとしている。	思考・判断・表現 ・様々な条件下における、運動エネルギーや位置エネルギーについて考察している。 ・力学的エネルギー保存の法則について考察し、考えを表現している。 ・物体の運動について、力学的エネルギーについて考えることによって解析している。	観察・実験の技能 ・力学的エネルギーに関する実験について、基本操作を身に付け、過程や結果などを的確に記録している。 ・目的に沿って実験を行い科学的な方法によって探究している。	知識・理解 ・仕事や仕事率について理解し、これらに関する基礎的な知識を身に付けている。 ・運動エネルギーや位置エネルギーについて理解している。 ・力学的エネルギー保存の法則について理解している。
単元の 指導内容 及び 配当時間	第1部 物体の運動とエネルギー 第1章 物体の運動 第2章 力と運動 第3章 仕事と力学的エネルギー 1 仕事 ・ ・ ・ ・ ・ (3時間) 2 運動エネルギー ・ ・ ・ ・ ・ (2時間) 3 位置エネルギー ・ ・ ・ ・ ・ (2時間) 4 力学的エネルギーの保存 ・ ・ ・ ・ ・ (3時間) 5 力学的エネルギーに関する探究活動 ・ ・ (2時間) 第2部 物理現象とエネルギー 第1章 熱 第2章 波 第3章 電気 第4章 エネルギーとその利用 第5章 物理学が拓く世界			
生徒の実態 及び 指導の方針	本校の□□コースは、主に大学への進学を希望する生徒からなり、全体的に学習意欲は高い。しかし、中学校における学習内容の理解が十分でない生徒も見られるため、基礎的な内容でも丁寧に対処が必要がある。仕事と力学的エネルギーの関係は、物理の基礎概念の一つであり、問題演習を十分に行うとともに、実験を通して体験的に概念形成を促していきたい。			

I 指導計画及び評価計画（12時間）

時	学習内容	学習活動	ねらい	関	思	技	知	評価規準	評価方法
1 2 3	仕事 ・仕事 ・仕事の原理 ・仕事率	・仕事や仕事率の定義を知る。 ・仕事の原理を理解して、それについての考察をする。	仕事に関する基本的な知識や考え方を身に付けて、これらについて興味や関心をもつ。	○				興味をもち、意欲的に理解しようとしている。	発問
					◎			仕事の原理を使って、物理現象を考察している。	小テスト
							◎	仕事や仕事率に関する基本的な知識を理解している。	小テスト
4 5	運動エネルギー ・エネルギー ・運動エネルギー ・運動エネルギーと仕事の関係	・仕事と運動エネルギーの関係を理解する。	物体が受けた仕事と、運動エネルギーの変化の関係について理解する。	○				仕事と運動エネルギーを関連付けて考察している。	発問 小テスト
							◎	仕事と運動エネルギーの関係を理解している。	小テスト
6 7	位置エネルギー ・重力による位置エネルギー ・弾性力による位置エネルギー ・保存力と位置エネルギー	・重力による位置エネルギーについて知る。 ・ばねの弾性力による位置エネルギーについて知る。	重力や弾性力による位置エネルギーについて理解する。				◎	位置エネルギーに関する基本的な知識を理解している。	小テスト
8 9 10	力学的エネルギーの保存 ・力学的エネルギー保存の法則 ・保存力以外の力が仕事をする場合 ・問題演習	・力学的エネルギーが保存することを知る。 ・力学的エネルギーが保存しない場合があることを、物体が受ける仕事と関連付けて理解する。 ・力学的エネルギーに関する考察を通して、物体の運動を分析する。	力学的エネルギーが保存すること、または、保存しない場合があることを、仕事と関連付けて理解し、そのことを利用して物体の運動を分析する。	○				力学的エネルギーの保存について、意欲的に考察しようとしている。	発問
					◎			力学的エネルギー保存の法則を使って、物理現象を考察している。	小テスト
							◎	力学的エネルギーと、物体が受ける仕事の関係を理解している。	小テスト
11 12	力学的エネルギーに関する探究活動	・力学的エネルギー保存の法則に関する探究活動を行う。	力学的エネルギーが保存することを、実験を通して調べる。	◎				力学的エネルギーについて意欲的に探究している。	レポート
					◎			科学的に考察し、自分の考えを的確に表現する。	レポート
						◎		実験の基本的な操作を身に付け、データ等を的確に記録している。	レポート

(評価規準の欄に記されている記号の意味)

◎：学習状況を総括する際の資料とする評価規準

○：適切な指導・助言を与えることを主な目的とする評価規準

II 各時の展開

(1時間目)

題 目		仕事		
指導内容及び 配当時間		1 仕事 ・ ・ ・ ・ ・ (3時間：本時はその1時間目) 2 運動エネルギー ・ ・ ・ ・ ・ (2時間) 3 位置エネルギー ・ ・ ・ ・ ・ (2時間) 4 力学的エネルギーの保存 ・ ・ ・ ・ ・ (3時間) 5 力学的エネルギーに関する探究活動 ・ ・ (2時間)		
本時の目標		仕事の定義を知り、様々な場合における仕事を定量的に求める。		
指導上の 留意点		仕事やエネルギーに関する最初の授業であり、丁寧な導入によって興味・関心を引き出し、意欲的に取り組めるように工夫する。		
準 備		段ボール箱 (荷物)、台車 (荷物用)		
段階	時間	学 習 内 容	指導上の留意点	評 価
導 入	10分	・ 中学校までの学習内容を確認する。 ・ 仕事という量を導入する必然性について考える。	・ これまでに学習した範囲の中で、エネルギーに関する知識の確認をする。 ・ 力の大きさそのものと、力のはたらきの量とは、異なることを強調する。	○ 意欲的に仕事について考えようとしている。 (関心・意欲・態度)
展 開	30分	・ 仕事の量を定義する。($W = F \cdot s$) ・ 簡単な練習問題を解く。 ・ 力と動きの向きが異なる場合について考察する。 ・ 運動方向と垂直に働く力が、仕事をしないことを理解する。 ・ 運動の向きと逆向きに働く力が、負の仕事をすることを理解する。 ・ 仕事の定義式に $\cos\theta$ の部分を加え、修正する。 ・ 仕事の定義式について3通りの解釈を理解する。 ・ 問題演習を行う。	・ 仕事という量を考える意義について、考えさせる。 ・ はじめは、力を成分分解して考えさせる。次に、運動方向を分解する方法があることを説明する。 ・ 問題演習においては、机間指導を行い、生徒の理解度を把握すると共に、必要に応じて、支援を行う。	◎ 仕事の定義を理解している。(知識・理解) ◎ 運動と力の向きが異なる場合について、自ら考え、表現している。(思考・判断・表現) ○ 意欲的に問題演習をしている。(関心・意欲・態度)
ま と め	10分	・ 実際に荷物を運び、そのとき仕事について考察する。 ※ A, B, C の3名を指名し、それぞれに、「荷物を台車に載せる」、「台車を移動させる」、「荷物を台車から降ろす」という3つの作業をさせる。 ・ 荷物を持ち上げるための工夫について考える。	・ それぞれの作業について、どのような力を与えて、その結果物体はどのような仕事を受けたのかを考察させる。 ・ それぞれが、正の仕事をした、仕事をしていない、負の仕事をした、ということが理解できたかを確認する。 ・ 次回の仕事の原理についての接続について留意する。	○ 意欲的に考えようとしている。(関心・意欲・態度) ○ 正の仕事・負の仕事及び仕事をしない場合があることを理解している。(知識・理解)

(2時間目)

題 目		仕事の原理		
指導内容及び 配当時間		1 仕事 ・ ・ ・ ・ ・ (3時間：本時はその2時間目) 2 運動エネルギー ・ ・ ・ ・ ・ (2時間) 3 位置エネルギー ・ ・ ・ ・ ・ (2時間) 4 力学的エネルギーの保存 ・ ・ ・ ・ ・ (3時間) 5 力学的エネルギーに関する探究活動 ・ ・ (2時間)		
本時の目標		仕事の原理について理解する。		
指導上の 留意点		身近に見られる「道具」の話題を導入として興味・関心を引き出し、意欲的に取り組めるように工夫する。		
準 備		はさみ、釘抜き、スタンド、たこ糸、滑車2個、おもり (500g)		
段階	時間	学 習 内 容	指導上の留意点	評 価

(※ 以下、各時間ごとの展開が続く。)

ところで、すべての時間に対して綿密な計画を立て、そのとおりに実施することが望ましいのかというと、必ずしもその通りとは言えない。場合によっては、生徒の反応を見て軌道修正をする必要が出てくるであろうし、その他にも学校行事などの様々な事情で授業の進度を調整しなければならないこともある。そういう意味では、毎時の指導案には、柔軟性をもたせることも必要である。研究授業などのような特別な1時間については、「Ⅱ 各自の展開」の部分を「本時の展開」としてしっかりと指導案を組み立てる必要があるが、そうでない授業については、ある程度簡略化した方が負担軽減になる上に、柔軟性もあり実際に使いやすくなる。

「Ⅰ 指導計画及び評価計画」の部分については、先述のとおり、指導と評価の一体化や評価規準の明確化、授業の公平性などの理由によって、重要視されているので、教科書の目次やシラバスなどを参考に、各單元ごとに必ず作成するようにすることは、大変重要な意味をもつ。

次ページ以降に、單元「波」を題材にとり、

- 単元の指導計画の例
- 単元を指導する上での留意点の例
- 指導実践事例

について、紹介したい。これらが指導計画の立案や、実験を実施する際の参考になれば幸いである。

4 「様々な物理現象とエネルギーの利用」の授業展開例

～ 単元「波」の授業展開例 ～

(1) 単元「波」の指導計画例

単元「波」について、授業の展開例を示す。

単元名	波			
単元の目標	身の回りには多くの波動現象が存在することに気付き、波の現象についての基本的な性質を理解する。特に直線状に伝わる波や音波の性質について理解する。			
単元の評価規準	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
	<ul style="list-style-type: none"> 波について関心を持ち、身の回りの波動現象について意欲的に探究しようとしている。 音について関心を持ち、意欲的に探究しようとしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 様々な条件下における、波の様子について考察する。 波動の基本的な性質から波の振る舞いなどを科学的に考察し、その考えを表現している。 	<ul style="list-style-type: none"> 波や音に関する実験について、基本操作を身に付け、過程や結果を的確に記録している。 目的に沿って実験を行い科学的な方法によって探究している。 	<ul style="list-style-type: none"> 波や音についての基本的な性質について理解している。 音源の振動や、固有振動が起きる条件について理解している。
単元の指導内容及び配当時間	<p>第1部 物体の運動とエネルギー</p> <p>第1章 物体の運動</p> <p>第2章 力と運動</p> <p>第3章 仕事と力学的エネルギー</p> <p>第2部 物理現象とエネルギー</p> <p>第1章 熱</p> <p>第2章 波</p> <p>1 波の伝わり方 …………… (3時間)</p> <p>2 波の性質 …………… (3時間)</p> <p>3 音波 …………… (2時間)</p> <p>4 音源の振動 …………… (3時間)</p> <p>5 音に関する探究活動 …………… (1時間)</p> <p>第3章 電気</p> <p>第4章 エネルギーとその利用</p> <p>第5章 物理学が拓く世界</p>			
生徒の実態及び指導の方針	(省略)			

指導計画及び評価計画 (12時間)

時	学習内容	学習活動	ねらい	関	思	技	知	評価規準	評価方法
1 2 3	波の伝わり方 ・波とは ・正弦波 ・横波と縦波	<ul style="list-style-type: none"> 身近な波動現象について考察する。 波の基本的な性質について理解する。 媒質の振動と波の伝播の関係について理解する。 	身の回りにある現象から波に関することを見だし、興味・関心をもつと共に、波の基本的な性質について理解する。	○				興味を持ち、意欲的に理解しようとしている。 ----- 波の基本的な性質について理解している。	発問 ----- 小テスト

4 5 6	波の性質 ・波の性質 ・定在波 ・波の反射と位相の変化	・波の独立性や重ね合わせの原理について理解する。 ・定在波が生じる仕組みについて理解する。 ・自由端反射と固定端反射の違いについて理解する。	波の性質について理解を深め、様々な条件下における、波の振る舞いについて考察する。	◎			波形的変化の様子を重ね合わせの原理から考察し、表現している。	発問 プリント
					○		重ね合わせの原理を作図で表現している。	プリント 机間指導
						◎	波の性質について正しく理解している。	小テスト
7 8	音波 ・音の性質 ・音の三要素 ・可聴音と超音波	・音速や、音波の基本的な性質について理解する。 ・音波には、耳に聞こえないものもあることを知る。	音について興味・関心をもち、音波について基本的な性質を理解する。	○			興味をもち、意欲的に理解しようとしている。	発問
						◎	音波の性質について正しく理解している。	小テスト
9 10 11	音源の振動 ・弦の振動 ・気柱の振動 ・共鳴・共振 ・うなり ・波が伝えるエネルギー・情報	・弦の固有振動について理解する。 ・気柱の固有振動について理解する。 ・共鳴・共振・うなりなどの現象について理解する。 ・波が情報を伝えたりエネルギーを運ぶことを学ぶ。	発音体の振動の様子について、固有振動が起こる条件等を踏まえて考察し、弦や気柱の固有振動、共鳴、うなりなどの現象を理解する。	○			意欲的に考察しようとしている。	発問
					◎		固有振動が起こる条件から、弦の振動や気柱の共鳴について考察している。	小テスト
						◎	物体の固有振動について理解している。	小テスト
12	波・音に関する探究活動	・音に関する実験を行い、音の性質を探究する。	音の性質について、実験を通して調べるとともに、科学的に探究する方法を学ぶ。	◎			音の性質について、意欲的に探究している。	レポート
					◎		科学的に考察し、自分の考えを的確に表現している。	レポート
						◎	実験の基本的な操作を身に付け、データ等を的確に記録している。	レポート

①「波の伝わり方」の内容における留意点

生徒にとって「波のイメージ」といえば、まず海岸に打ち寄せる波であろう。しかし、この波は、教科書で扱う「縦波」でも「横波」でもなく、その中間的な性質をもつものであるということに注意が必要である。

波動については、はじめに媒質の振動と波の伝播の関係を押さえておくことが重要である。媒質の振動と波の伝播の関係を観察する材料としては、水槽に水を張り、水面に小物体を浮かべた状態で水面に波紋をつくり、波が伝播する様子と小物体が振動する様子を観察させることなどが考えられる。このとき、波が小物体のある部分を通過しても、小物体は上下に揺れるだけで、波が伝わる方向には移動していかないことに気付かせることが重要である。

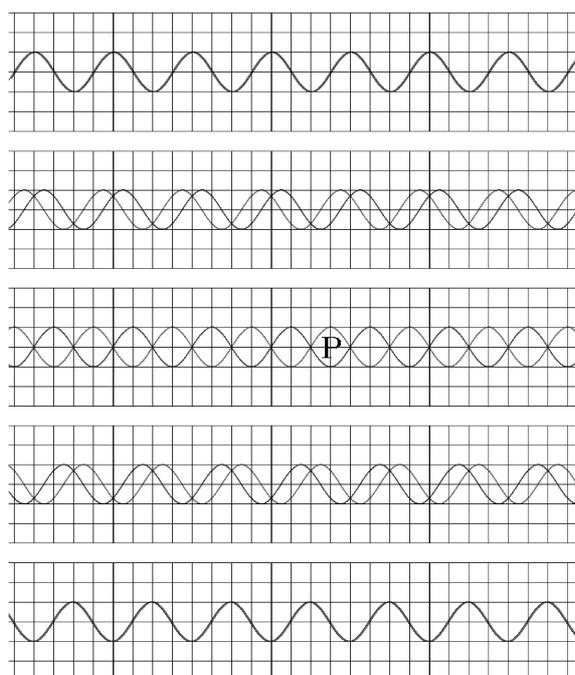
正弦波については、波の式が発展的な内容であることに注意が必要である。波動の現象を数学的に扱っていく方法もあるが、「物理基礎」としては数学的にあまり深入りしない方が望ましい。一方、波の位相 (phase) については、反射時の位相の変化などについて説明する上でも、きちんと扱った方がよいと思われる部分である。はじめに簡単に等速円運動の基本的なイメージをつくった上で、単振動について軽く触れて、正弦波について説明をするとよい。位相という量は、教師としては教えづらく、生徒にとっては理解しづらいものであるが、元来は「月の満ち欠けの状態と位置関係の様子を表す」言葉であり、まさに、振動の状態を円運動の回転角と関連付けて示す量であることに注意すると説明しやすい。

また、「物理基礎」では、直線状に伝わる波を中心に扱い、平面上や空間を広がって伝わる波（円形波・球面波）については、新科目「物理」で扱うことになる。そのため、回折や屈折などの現象については、あまり深入りしないように注意する必要がある。

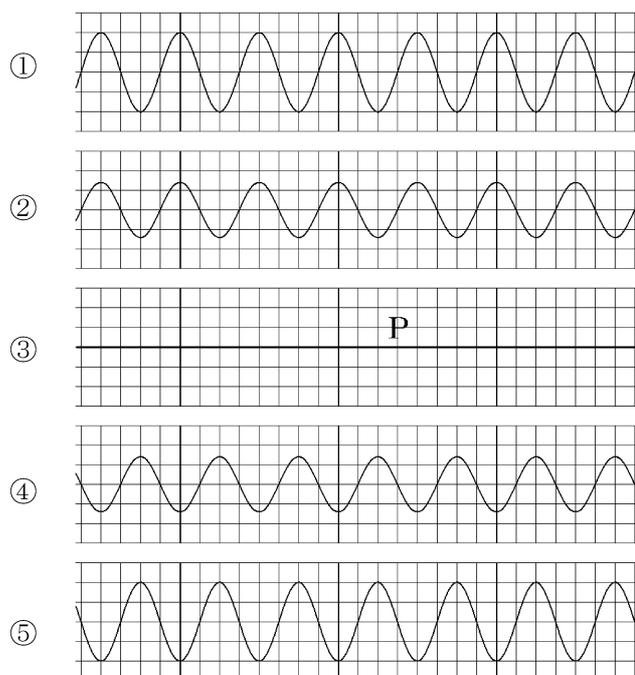
②「波の性質」の内容における留意点

波の「重ね合わせの原理」は、この分野において最も重要な部分のうちの一つである。原理そのものはたいへん分かりやすく、容易に理解できるのだが、それを応用して「次の瞬間の合成波の波形を描く」という作業は、意外と難しい。そのため、生徒には必ず作図をさせて、理解の度合いを確認すべきである。

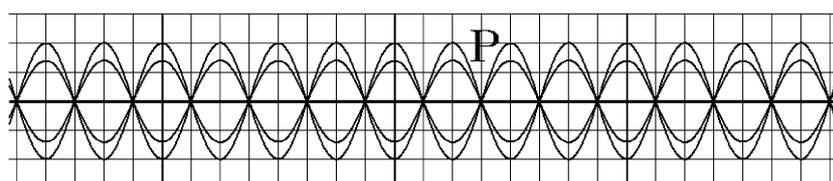
定在波については、「定常波」という言い方も一般的である。ウェーブマシンなどで観察させると効果的である。定在波を図示する際に、両方向からやってくる（重なる前の）進行波の波形と、これらが重なった結果生じる定在波の波形とが区別できない生徒をよく目にする。具体的には、下の図1のように二つの進行波が重なった結果、合成波の波形は図2のようになる。図2をまとめて、図3のような定在波ができるという表し方をしたとき、図3と図1の①の区別がつけられない生徒がいる。このとき、図1の③で、点Pのように山と谷が重なっている場所は、定在波の節であることに注意が必要である。



【図1（進行波が重なる様子）】



【図2（合成波の様子—定在波）】



【図3（定在波の様子—図1ではなく図2の様子を示している。）】

なお、定在波が生じることは、その次に学ぶ「音」の部分の、物体の固有振動に直結する概念であり、確実に定着させたい内容である。

③「音波」の内容における留意点

音波については、4単位科目の「物理」でも扱うので、特に、音の屈折・回折・ドップラー効果については、深入りしないように注意が必要である。

④「音源の振動」の内容における留意点

物体には、それぞれ振動しやすい振動数（固有振動数）が決まっており、固有振動数と一致する波が来ると共振することを観察・実験を通して理解させることが重要である。建物の固有振動数と地震波の振動数が一致すると大きな被害が出やすいことなどにも触れるとよい。

気柱の共鳴を可視化する実験としては、クント（Kundt）の実験が有名である。クントはドイツの物理学者で、微粉末を入れた筒に音波の定在波をつくることによって、気柱の共鳴する様子を可視化した。クントは、微粉末として石松子（ある種のシダ植物の胞子）を用いたが、現在では、コルク粉末や発泡スチロールの微粒子などを使う方法などが一般的である。その実践例を次のページで紹介する。

(2) 単元「波」の指導実践事例

事例 1 演示実験「気柱の振動の可視化」

1 実験の概要

気柱の振動は実際に目で見ることはできないので、以前から可視化の試みが数多くなされてきた。その中でも有名なものがクントの実験である。クントの実験は、ガラス管の中にコルク等の粉末を入れ、気柱が共鳴したとき、つまり管内に定在波が生じたときに、その腹の部分と節の部分で、粉末が振動する様子が異なることから気柱の振動を観察できるようにしたものである。実験用のコルク粉末なども販売されているが、その代用品として小さな発泡スチロール球や発泡ビーズなどを用いることができる。また、管内に水を張って、水しぶきがあがる様子から気柱の振動の様子を観察したりする例も見られる。ここでは、手軽な実験例として、透明なアクリル管内に発泡ビーズを入れる場合について紹介する。

2 ねらい

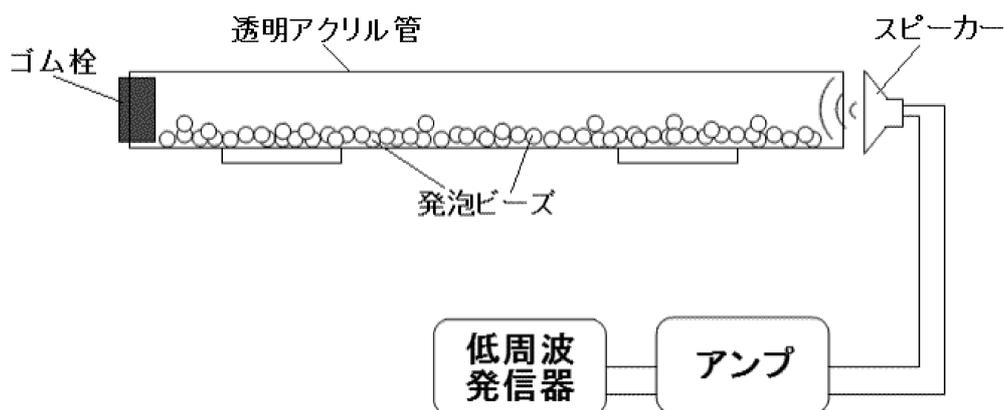
気柱にできる定在波（定常波）を可視化することにより、音波の共鳴現象に関する理解を深める。

3 準備物

低周波発信器、アンプ、スピーカー、発泡ビーズ（直径 5.0mm のものを使用）、スタンド 1 台、透明アクリル管（長さ約 102cm、外径 60mm、厚さ 6.0mm を使用）、管を支える台

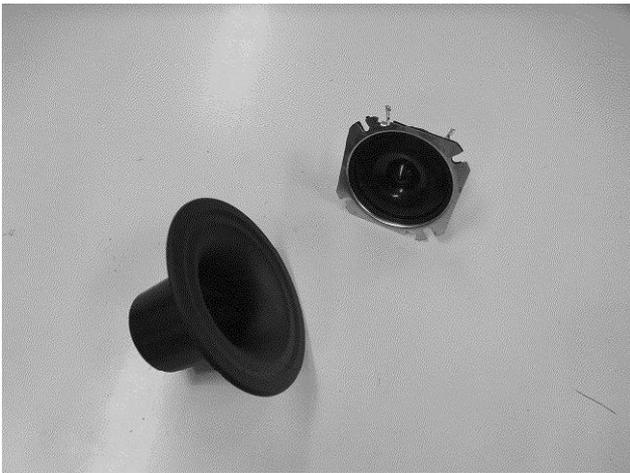
4 発泡ビーズを用いた実験の手順

(1) 図 1 のように実験装置を準備する。発泡ビーズは、あまり多く入れる必要はなく、図 1 のように管の下面に均一に広がる程度で十分である。スピーカーはスタンドで固定する。アクリル管は机などに直接触れないように、小さな台で支えて宙に浮かすようにする。



【図 1】

(2) スピーカーとアクリル管の開口部は、できるだけ近づけ、音が漏れないようにする。ただし、スピーカーとアクリル管を直接接触させると、アクリル管が破損するおそれがあるので、今回はスピーカーの先に図 2-1、図 2-2 のような筒を取り付けて、音を逃がさないように工夫した。また、アクリル管の端にはビニルテープなどを巻き付けて補強をしておくといよい。



【図 2-1】



【図 2-2】

(3) 低周波発信器の振動数を変化させて、共鳴するところを探す。音量は、スピーカーを壊さないよう気を付けながら、できるだけ大きくするとビーズがよく振動し観測しやすい。

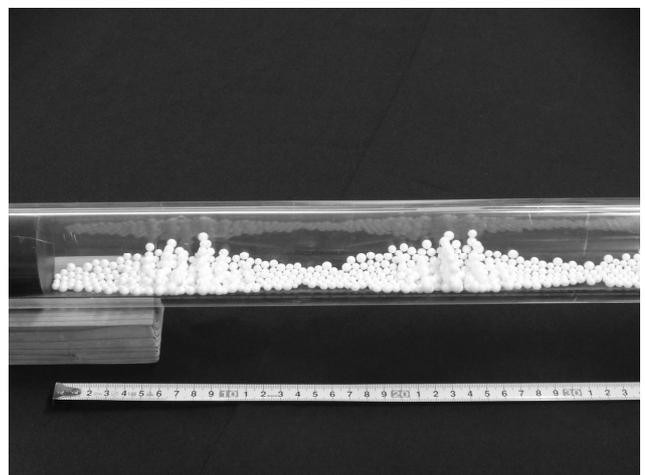
5 発泡ビーズを用いた実験の結果

(1) 発泡ビーズの振動

図 3-1 は、管内に定在波ができている状態である。空気が大きく振動する腹にはビーズが集まり、振動しながら小高くなる。節のところはビーズが疎になる。管の左側はゴム栓でふさがれているので定在波の節になる。定在波の腹と腹、節と節の間隔は半波長であるから、図 3-2 のようにしてこれらを測定することによって波長 λ を求め、 $V = f \cdot \lambda$ の式から音速を求めるなど、気柱の振動を可視化するだけでなく、学習を発展させ深めることも可能である。



【図 3-1】



【図 3-2】

(2) 生徒の感想

- ・ 振動数を変えていったら、発泡ビーズがヒュッと動いておもしろかった。
- ・ 共鳴してうるさいときには、あんな空気の振動があったんだと実感できた。
- ・ ビーズがぷるぷるしてかわいかった。

等

6 ニクロム線を用いた気柱の共鳴の可視化

さらに、発展例として、ガラス管内でニクロム線を赤熱させ、このニクロム線の色の変化により気柱の振動の様子を可視化する実験を紹介する。ニクロム線には周期的なはっきりとした明暗が現れるので見た目にも美しく、腹と節の判断もしやすい。また非常に大きな音を出して共鳴させるので、ダイナミックな実験でもある。生徒の意欲や興味・関心を高めることにも役立つと考えられる。

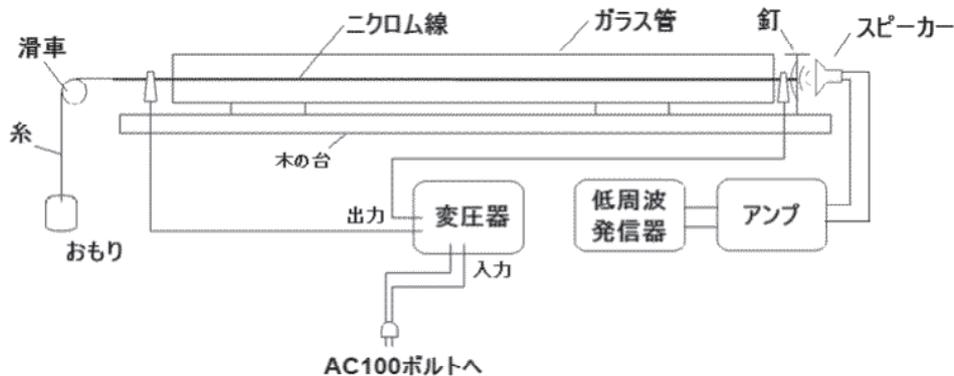
◇準備物

低周波発信器、アンプ、スピーカー、ニクロム線（径 0.50mm を使用）、リード線 6 本、変圧器（スライダック）、ガラス管（長さ約 150cm、外径 40mm、厚さ 2.0mm を使用）
スタンド 2 台、釘（ニクロム線を固定する）、滑車、たこ糸、おもり（約 500g）、C 型クランプ

◇実験の手順

（1）実験装置について

図 4 のように実験装置を準備した。



【図 4】

図 5 は、実際に図 4 の回路を組んだ様子の写真である。低周波発信器とアンプ、スピーカーをつなぎ、気柱を共鳴させる仕組みは発泡ビーズの実験と同様である。先述の実験と異なる点は、管中に発泡ビーズを入れる代わりに、管の中心軸を通るようにニクロム線を張り、それに電流を流して赤熱させることである。このとき、管も高温になるので、アクリル管ではなくガラス管を用いた。

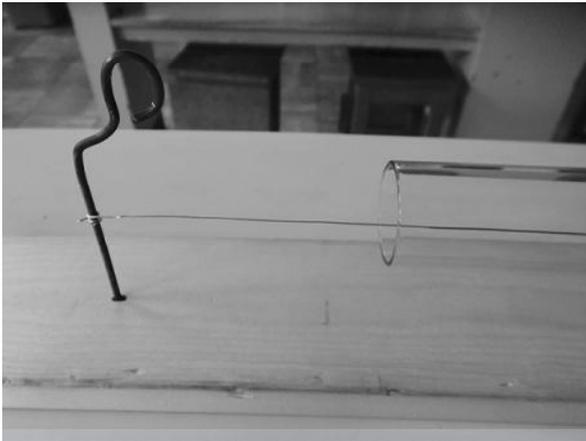
※注意※ 赤熱したニクロム線がガラス管に触れていなくても、ガラス管やその周囲は非常に高温になるので、やけどなどに十分注意しなければならない。また、ガラス管にリード線や他の物が触れないよう気を付けるようにする。



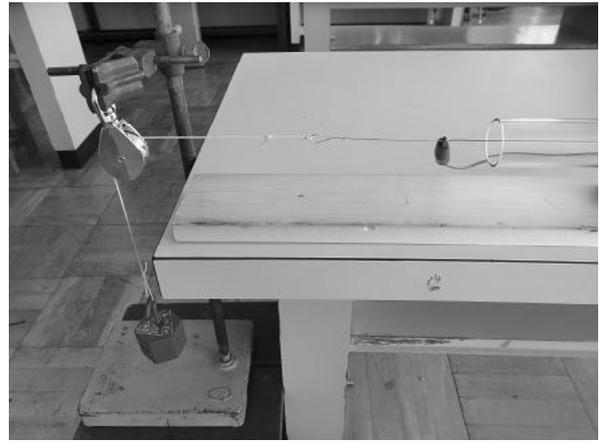
【図 5】

(2) ニクロム線の張りを一定に保つ工夫について

赤熱したニクロム線は、線膨張によって長さが変化する。この実験を行う上では、ニクロム線がたるまないようにする工夫が必要である。



【図 6】



【図 7】

最初は、図6のように、ギターの弦を巻き取るようなペグ式で実験を行った。それでも実験自体は上手くいったが、ニクロム線が高温になってたるむたびに、ペグを回して張りを保ち、電流を流すのを止めてニクロム線が縮むたびに緩める必要があった。このような調整を頻繁にしなければならなかったため、赤熱させたニクロム線の状態変化にあまり集中できなかった。

いろいろ試してみた結果、最終的には図7に示した形が最良であった。ニクロム線にたこ糸をつなぎ、滑車を介しておもりを取り付けるという方法である。ニクロム線が伸び縮みしても一定の張りを保つことができるため、張力の調整が不要になり、ニクロム線の観察に集中できるようになった。

(3) 変圧器（スライダック）の扱いについて



【図 8-1】

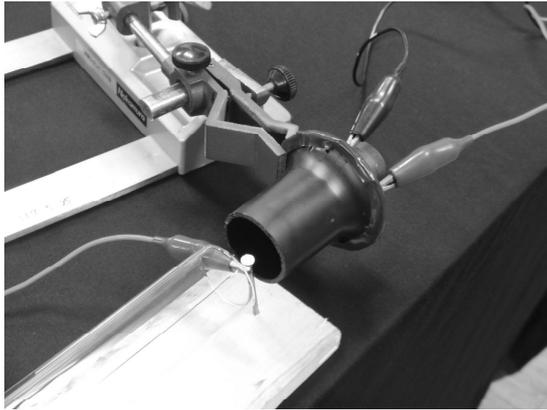


【図 8-2】

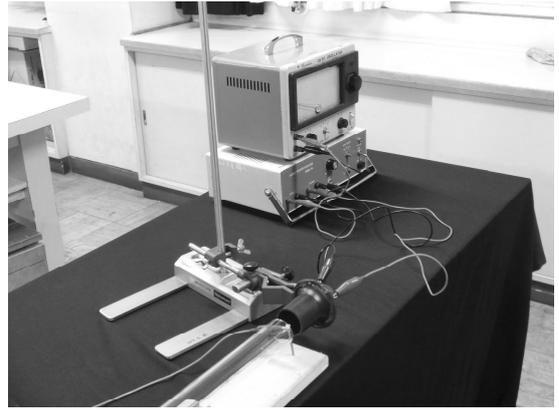
※注意※

- ・はじめに電圧調整つまみが0Vになっていることを確認して接続する。【図 8-1】
- ・OUTPUT（出力）側からニクロム線の両端に接続し、INPUT（入力）側をコンセント AC100V に接続する。接続する端子を間違えないようによく確認する。【図 8-2】
- ・プラグをコンセントに差し込んだまま、INPUT 側の端子をつないだり外したりすると、電圧調整つまみが0Vの位置にあっても、ショートする危険性が高いので十分に注意する。
- ・感電や、やけどの危険性があるので、端子部分や接続部分には手を触れないようにする。

(4) スピーカーと低周波発信器



【図 9】



【図 10】

図 9 は、スピーカー付近の写真である。できるだけスピーカーはガラス管に近づけるようにしたいが、ニクロム線やガラス管は高温になっているのでやけどに注意する。特に、スピーカーを近づけるガラス管の口は、空気の振動で破損する可能性が高いので、ビニルテープを巻くなどして危険防止に努める必要がある。(写真は撮影のためにテープ等は巻いていない。)

図 10 の低周波発信器のつまみを回して、気柱が共鳴する周波数を探すが、共鳴する周波数を探すのに手間取ると、ニクロム線を長時間加熱することにもなり危険度が増す。ここでは 8 倍振動をさせようと考えて、あらかじめ発する音の周波数を次のように考えて計算しておいた。

管の両端は開口端であったから、8 倍振動の場合 1.5m の管に 4 波長あることになる。波長を λ とすると、 $4\lambda = 1.5\text{m}$ だから、 $\lambda = 0.375\text{m}$ (ただし、開口端補正は無視している。)

室温が 25.0°C であったので、音速の公式： $V = 331.5 + 0.6t$ より、 $V = 346.5\text{m/s}$

$$V = f\lambda \text{ より } f = \frac{V}{\lambda} = \frac{346.5 \text{ m/s}}{0.375 \text{ m}} = 924 \text{ Hz}$$

ただし、使用した低周波発信器はかなり古く、指し示す周波数の信頼度はかなり低かったので、あくまで 924Hz を一つの目安として共鳴する周波数を探した。

(5) 実験結果

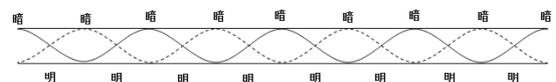
◇明暗の縞模様



【図 11-1】



【図 11-2】



【図 11-3】

ニクロム線に 30 ～ 40V の電圧をかけて一度赤熱させてから、少しずつ電圧を下げていき、わずかに赤くなっているのが確認できる程度に調整する。この状態で、スピーカーから音波を送ると、ニクロム線に図 11-1、図 11-2 に示したような明暗の縞模様が現れる。図 11-1、図 11-2 は、ともに同じ共鳴状態の画像であり、デジタルカメラの撮影モードを変えて撮影したものである。図 11-1 は夜景人物モード、図 11-2 はフラッシュを使わずに普通に撮影したものである。部屋は暗くしてあるので、肉眼で見えるのは図 11-2 に近い。

これらの写真からも分かるように、明るく見える場所が 8 か所あり、その間に暗くなっているところがある。空気が大きく振動する腹では赤熱されたニクロム線が冷やされ暗く見え、空気が振動しない節では冷やされずに明るく見える。今回の実験に使用したガラス管は、両端が開いた状態の開管として用いたので、両端が定在波の腹（目には暗く見える）であることが確認できる。

図 11-3 は、この場合に発生していると考えられる定在波を模式的に示したものである。実験で見られた明暗の縞模様は、このような腹と節の並びと考えられる。発泡ビーズを用いた実験では、ゴム栓をした管口（閉口端）が節になるのに対して、この実験では管口（開口端）が腹になっていることに注意したい。

(6) 生徒の感想

- ・きれいだけどうるさかった。耳がまだキーンとしている。
- ・すごく不思議。なんで??
- ・ちょっと驚いた。すごい!

同様の感想が他多数あった。

《参考文献》

いきいき物理わくわく実験 改訂版 1 愛知・岐阜物理サークル [編著] (日本評論社)

事例 2 生徒実験「音波の反射と、音速の測定」

1 実験の概要

まず、実験を行う前にアンケート（資料 1）を生徒に対して行った。次の図 1 は、152 人の生徒を対象に行ったアンケート集計結果である。

	閉口端での反射		開口端での反射	
Yes	150 人	98.7%	4 人	2.6%
No	2 人	1.3%	147 人	96.7%
計	152 人		152 人	

【図 1】

この結果から、ほとんどの生徒が「閉口端では音波が反射する」と考えたのに対して、「開口端でも音波が反射する」と考えたのは 2.6%しかいないことが分かった。生徒たちの多くは「開口端で音波が反射する」というイメージをもっていないことが裏付けられた。

「気柱の振動」の授業では、音波は閉口端ならびに開口端で反射し、さらにまた反対側の端で反射を繰り返すことで定在波ができ共鳴することを学ぶ。しかし、大部分の生徒が、開口端で音波が反射するということに違和感をもつということが考えられる。

この実験では、雨どい（豎樋：屋根の端で集めた雨水を、地上に流すために鉛直方向に設置する筒状のもの）にパルス状の音波を入射させて、反射の様子をパソコンのオシロソフトを用いて観察する。また、この実験からは、比較的簡易に音速の値を測定できるので、それも併せて紹介する。

2 ねらい

本当に気柱の閉口端および開口端で音波は反射するのかを確認してみる。さらに、音速の測定も行い、理論式と比較する。

3 準備物

プラスチック製の雨どい（豎樋）

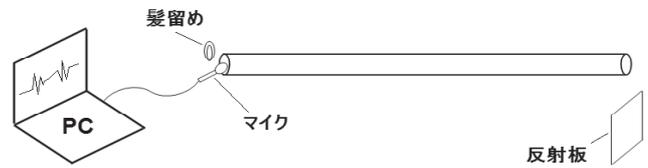
（使用したものは長さ 180.30 cm、内径 58.75mm のもの）、
パソコン用マイク、デジタル温度計、反射板、パソコン、
音源用の髪留め（図 2 参照）



【図 2】



【図 3】



【図 4】

観測する音は、ごく短い時間に発せられるものでないと観測が難しい。実験を繰り返す中で山と谷が 2～3 個の波形となる音が望ましいことが分かった。スナップをプチッとほめてみたり、割り箸や爪楊枝をポキッと折ってみたり、気泡の付いた緩衝材シート（エアークッション）の気泡をプチッと潰してみたりいくつか試したところ、パチッととまる髪留めから発せられた音が一番適していたので音源とした。図 2 に示した髪留めは 4 個で 100 円だった。実験装置の様子を図 3 に示し、その模式図を図 4 に示した。

今回、使用したオシロスコープソフト「振駆郎（しんくろう）」は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）運営の「理科ねっとわーく」からダウンロードしたものである。このソフトは、マイクから入力された音をリアルタイムに波形として表示するオシロスコープ機能だけでなく、入力された音を録音して任意の時刻間の波形データを取り出して表示する機能があり、反射波の波形観察や音速を測定することができる。

※「理科ねっとわーく」の URL → <http://www.rikanet.jst.go.jp/>

（ただし、フリーソフトのダウンロードなどには、登録《無料》が必要である。）

4 実験の手順

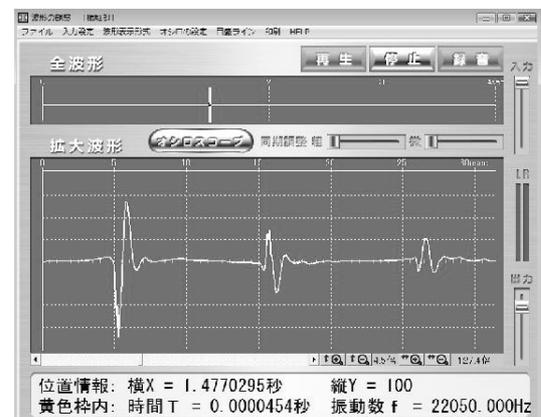
- (1) パソコンにマイクを接続し、オシロスコープソフト「振駆郎」を立ち上げておく。
- (2) マイクを気柱の端に固定する。
- (3) 髪留めをマイク付近でパチンと鳴らし、オシロスコープソフトの録音機能で記録する。
- (4) 何度か繰り返し、波形が比較的是っきり見られるものを保存し解析する。

5 実験結果

(1) 閉口端での反射実験

気柱の端を反射板で塞ぎ、閉端にして実験を行った。このときの室温は 26.2℃であった。

図 5 の、一番左の大きく振れているのが直接音の波形、そのすぐ右が一度目の反射音の波形、そのまた右が二度目の反射音の波形となる。閉口端でよく反射していること分かる。さらによく波形を観察すると、反射するたびに山と谷がひっくり返っており、固定端反射では位相が逆になることが分かる。

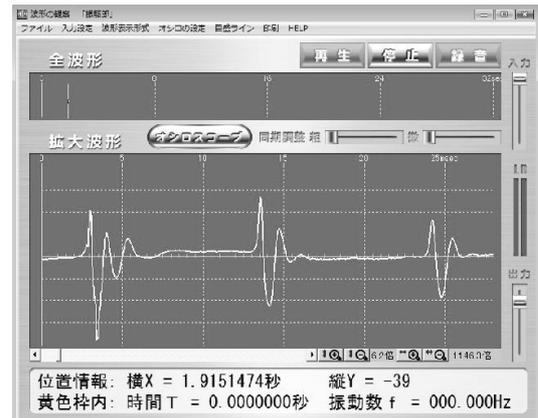


【図 5】

(2) 開口端での反射実験

反射板を外し、開口端にして実験を行った。このときの室温は 25.6℃であった。

図 6 は、図 5 と同様に直接音と一度目と二度目の反射音の波形を示したものである。このように開口端でも音波がよく反射していることが分かる。波形からも、閉口端と同じ程度に繰り返しよく反射していることも分かる。さらによく波形を観察すると、今度は山が山で、谷が谷で反射しており、自由端反射では位相が変化しないことが分かる。



【図 6】

(3) 音速の測定

《閉口端の場合》

図 7 は、図 5 の直接音と一度目の反射音の波形を拡大したものである。表示範囲を変えたことで、縦と横の縮尺は変更されている。

オシロスコープソフト「振駆郎」では、このように範囲を指定することで、その範囲の時間間隔を表示することができる。位相が逆転していることに注意して、二つのパルスの対応する山と谷、谷と山が観測された時間間隔を計測することによって、音波が閉口端で反射して戻ってくるまでの時間を求め、その平均値を出した。それらをまとめたものが下の表である。



【図 7】

番号	直接波→反射波	時間間隔[10 ⁻³ s]
①	谷から山	10.45
②	山から谷	10.39
③	谷から山	10.34
平均値		10.39

この結果から音速 V を求めると、管の長さが 180.30cm なので、往復の距離は、 $360.60\text{cm} = 3.6060\text{m}$ であり、往復時間の平均値は $10.39 \times 10^{-3} \text{ s}$ だから

$$V = \frac{3.6060 \text{ m}}{10.39 \times 10^{-3} \text{ s}} = 347.1 \text{ m/s} \text{ となる。}$$

一方、気温 $t[^\circ\text{C}]$ の空気中を伝わる音速 $V[\text{m/s}]$ については、 $V = 331.5 + 0.6t$ の公式が成り立つことが知られている。この公式から、気温 26.2℃における音速を求めると、

$$V_{\text{(理論値)}} = 331.5 + 0.6 \times 26.2 = 347.3 \text{ m/s} \text{ となる。}$$

これらの値から、今回の実験で測定された音速 V の値の相対誤差を求めると、

$$\text{相対誤差}[\%] = \left| \frac{V - V_{\text{(理論値)}}}{V_{\text{(理論値)}}} \right| \times 100 = \left| \frac{347.1 - 347.3}{347.3} \right| \times 100 = 0.05758 \% \text{ となった。}$$

《開口端の場合》

図6の波形を、図7と同様に拡大して、範囲を指定することによって音波が往復する時間の平均値をもとめたところ、 $10.59 \times 10^{-3} \text{ s}$ であった。この結果から、閉口端の場合と同様に音速 V を求めると、

$$V = \frac{3.6060 \text{ m}}{10.59 \times 10^{-3} \text{ s}} = 340.5 \text{ m/s} \text{ となった。}$$

一方、音速の公式から、気温 $25.6 \text{ }^\circ\text{C}$ における音速を求めると、

$$V_{\text{(理論値)}} = 331.5 + 0.6 \times 25.6 = 346.9 \text{ m/s} \text{ となる。}$$

この場合の相対誤差を求めると、

$$\text{相対誤差}[\%] = \left| \frac{V - V_{\text{(理論値)}}}{V_{\text{(理論値)}}} \right| \times 100 = \left| \frac{340.5 - 346.9}{346.9} \right| \times 100 = 1.845 \% \text{ となった。}$$

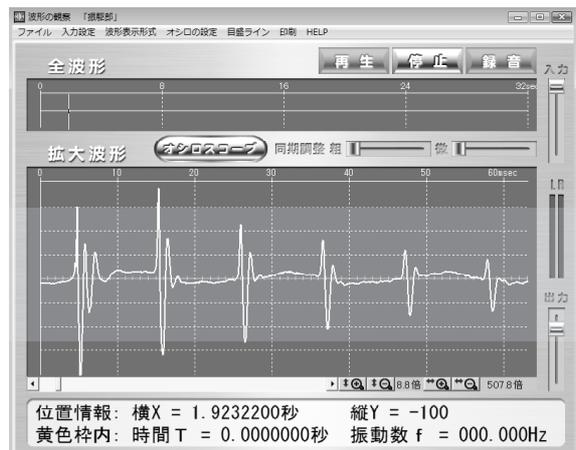
先ほどの閉口端の場合と比べて、誤差が大きくなったのは、開口端補正を無視したためであると考えられる。「開口端補正」とは、開口端における反射において音波が反射するとき、実際には、管口の位置からやや外側にずれた位置ではね返るために生じるずれの値で、管口の位置から測った音波の反射点までの距離を指す。

(4) 開口端補正について

開口端での反射の実験の結果では、開口端補正を無視したため誤差が大きくなってしまった。そこで、この実験結果から、逆に開口端補正の大まかな値を求めることにする。

図8は、図6と同じ $25.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 開口端反射のデータである。図に現れている波形は、左から順に、直接音、1回目の反射音、2回目の反射音、3回目の反射音、4回目の反射音・・・のものである。開口端補正を求めるために、1回目の反射音から5回目の反射音までの波形を用いて、音波の往復時間を求める。

1回目から2回目、2回目から3回目・・・の波形について、それぞれ対応する山と山、谷と谷の時間間隔を計測し、その平均値を求めた。それをまとめたものが下の表である。



【図8】

	1回目→2回目	2回目→3回目	3回目→4回目	4回目→5回目
①山から山	10.57 ミリ秒	10.57 ミリ秒	10.59 ミリ秒	10.63 ミリ秒
②谷から谷	10.61 ミリ秒	10.63 ミリ秒	10.63 ミリ秒	10.63 ミリ秒
③山から山	10.66 ミリ秒	10.66 ミリ秒	10.66 ミリ秒	10.57 ミリ秒
平均値	10.62 ミリ秒			

いま、開口端補正を a [m] とすると、管の長さが L [m] ならば、往復での音波の移動距離は、 $2L + 4a$ [m] であるから、音速を V [m/s]、音波の往復時間を T [s] とすると

$$V = \frac{2L + 4a}{T} \text{ となるので、} a = \frac{VT - 2L}{4} \text{ となる。}$$

この式に、 $V = 346.9 \text{ m/s}$ 、 $T = 10.62 \times 10^{-3} \text{ s}$ 、 $L = 1.803 \text{ m}$ を代入すると、
$$a = \frac{VT - 2L}{4} = \frac{346.9 \times (10.62 \times 10^{-3}) - 2 \times 1.803}{4} = 0.01952\text{m}$$
となり、開口端補正は1.95cmと計算される。

(5) 生徒の感想等 (一部)

- ・自分が予想していたものとは違い、開口端の時でも音がはね返ってくるというのが分かったし、普段自分たちが思い込んでいる事は、必ずしも当たっているとは限らないというのが分かった。
- ・自分のイメージで決めつけていたことがくつがえって、改めて実験の面白さを感じた。
- ・自分が思っていた結果ではなくてびっくりしました。他にも人の思い込みで、本当は違う結果があるのではないかと思った。
- ・まさか自分の考えが間違っていたとは…。つつぬけの管なのにはね返ってきたことにとっても驚いた。
- ・直感的なものが合っていたことにびっくりした。はね返ってくる波の形は、閉口端と開口端で逆になるのにおもしろみを感じた。こういったように、実験を通して何かやるのはおもしろいと思うし、よく分かると思う。パソコンを使ってやったので、今の技術はすごいなと思った。

《参考文献等》

●参考にした WEB ページ

啓林館ユーザーの広場 物理 I 改訂版 探究活動 音の反射における疎密の変化と音速の測定
http://www.keirinkan.com/kori/kori_physics/kori_physics_1_kaitei/contents/ph-1/4-bu/t4-1.htm

●資料

資料 1 事前アンケート

資料 2 実験プリント

資料 1 事前アンケート

Q1. 今ここに、図のような閉管（片方の端が閉じている管）がある。



質問

「上の図のように、左の開いた端で音を出したら、逆側の閉じた端で反射して戻ってくる。」
「Yes」か「No」に丸を付けて答えよう。

Yes • No

※どうしてそう考えたのか、理由を書こう。

(今回の事例実践時には、この自由記述欄はなかった。)

Q2. 今ここに、図のような開管（両方の端が開いている管）がある。



質問

「上の図のように、左の開いた端で音を出したら、逆側の開いた端で反射して戻ってくる。」
「Yes」か「No」に丸を付けて答えよう。

Yes • No

※どうしてそう考えたのか、理由を書こう。

(今回の事例実践時には、この自由記述欄はなかった。)

実験プリント ①音の反射を調べる ②音速を調べる

平成 年 月 日()

年 科 番 名 前: _____

■目的

- (1) 気柱の開口端と閉口端で、音波が反射するかどうかを調べる。
- (2) 実験結果から音速を求め、 $V = 331.5 + 0.6t$ から得られる値と比較する。

■準備

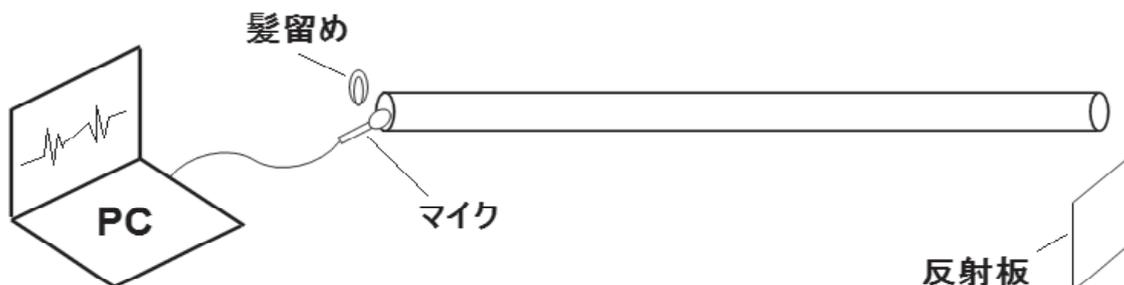
- (1) 気柱(プラスチック製の雨どい、使用するものは長さ 180.30cm、内径 58.75mm)
- (2) PC 用マイク
- (3) デジタル温度計
- (4) 反射板
- (5) パソコン
- (6) パチッととまる髪留め(音源とする)

■予測

- (1) 閉口端で音波は反射するだろうか。
- (2) 開口端で音波は反射するだろうか。
- (3) 音波が気柱内を伝わり、反対側の管口で反射して戻ってくるまでの時間を調べることにより、音速を求めることができるだろうか。

■手順

- (1) PC にマイクを接続し、「オシロスコープソフト振駆郎」を立ち上げておく。
- (2) マイクを管の端に固定する。
- (3) 髪留め(音源)をマイク付近でパチンと鳴らし、オシロスコープソフトの録音機能で記録する。
- (4) 何度か繰り返し、波形が比較的是っきり見られるものを保存し解析する。



■結果

①音の反射について、○をつけて答えましょう。

- 閉口端で音波は反射 した。 ・ しなかった。
- 開口端で音波は反射 した。 ・ しなかった。

②音速について

開口端反射の実験で測定した、音波の往復時間平均

山から山	秒
谷から谷	秒
山から谷	秒
平均	秒

音波の往復距離 $180.30\text{cm} \times 2 = 360.60\text{cm} \rightarrow 3.6060\text{m}$

これらより、音速 V は

$$V = \frac{3.6060 \text{ m}}{\text{ s }} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s} \quad \leftarrow \text{測定値}$$

※ 気温 $t[^\circ\text{C}]$ における音速 $V[\text{m/s}]$ を求める理論式 $V = 331.5 + 0.6t$

室温は、 $\underline{\hspace{2cm}}$ $^\circ\text{C}$ なので、

$$\text{音速 } V = 331.5 + 0.6 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ }^\circ\text{C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s} \quad \leftarrow \text{理論値}$$

③誤差の計算

$$\text{誤差} = \left| \frac{\text{測定値} - \text{理論値}}{\text{理論値}} \right| \times 100 \text{ [\%]} \quad \text{この式を用いて誤差を求めてみよう。}$$

～実験の感想～

5 思考力・判断力・表現力等を育成する授業の展開例

今回の学習指導要領の改訂においては、思考力・判断力・表現力等を育成すること、とりわけ言語活動の充実が求められている。そこで、言語活動を通して、生徒の思考力・判断力・表現力等を育成する授業の展開例を紹介する。

事例3 討論を重視した授業「第1宇宙速度」

1 授業の概要

この授業を行う前に、生徒は物体の落下運動について、自由落下、鉛直投射、水平投射、斜方投射を学習している。本時では、地球を周回するために必要な最小の初速度「第1宇宙速度」について考察させる。第1宇宙速度の値は、万有引力を受けて円運動をする場合について考察して導くのが一般的であるが、本時では、水平投射で学習した知識と、地球の大きさの値を活用することによって導く。授業の形態としては、教師の質問に対して6人程度のグループごとに話し合いの機会をもたせ、回答していくことによって考察を深めていくという手法をとった。

2 本時の展開

題 目	第1宇宙速度		
指導内容及び 配当時間	1 速度 …………… (3時間) 2 加速度 …………… (2時間) 3 落体の運動 …………… (2時間) 4 物体の運動に関する探究活動 …………… (2時間：本時はその1時間目)		
本時の目標	<ul style="list-style-type: none"> これまでの知識などを活用して、自分の考えをまとめ、考察を深める。 グループ内で話し合い、他人の意見を聞き入れたり、自分の意見を表現したりする。 		
指導上の留意点	生徒の反応の様子などをよく観察しながら、適宜、ヒントを与え、生徒の興味・関心を引き出すようにする。また、ヒントを与えすぎて、思考する場面を奪わないように工夫する。		
準 備	YES・NO カード		
階 層	学 習 内 容	指 導 上 の 留 意 点	評 価
導 入	10分	<ul style="list-style-type: none"> 前時までの学習内容の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 水平投射の公式と、水平方向及び、鉛直方向の物体の運動の性質について理解できていることを確認する。
展 開	30分	<ul style="list-style-type: none"> 質問1 「初速度が1m/sの水平投射について」 質問2 「初速度を大きくした場合について」 	<ul style="list-style-type: none"> グループで話し合わせ、互いの考えをよく聞き、意見をまとめさせる。 水平投射の公式が正しく理解され、数値を代入して計算ができることをよく確認する。
			<ul style="list-style-type: none"> ○水平投射の公式を理解している。(知識・理解) ○条件を変えたときの運動の変化の様子について、自ら考え、表現している。(思考・判断・表現)

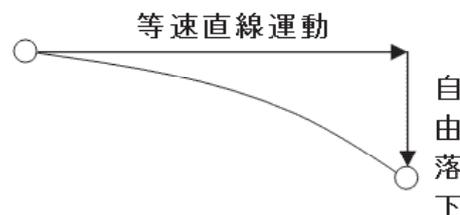
	<ul style="list-style-type: none"> ・質問3 「初速度を極限まで大きくした場合について①」 ・質問4 「質問3の答は本当に正しいのか」 ・質問5 「初速度を極限まで大きくした場合について②」 ・質問6 「地球を回り続けるための最小の初速度について」 	<ul style="list-style-type: none"> ・初速度を大きくしていったときの物体の運動の様子を、生徒がイメージしやすいようにうまく情景描写をする。 ・地球が球形であることに気付かせる。 ・ある大きさ以上の初速度を与えると、地面に落下しない可能性があることに気付かせるとともに、そうなる最小の初速度をつけた場合、地面との距離が一定に保たれることを確認する。 ・地球の大きさを与え、求める値がどのような条件式によって表されるかを考えさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○意欲的に意見交換をしている。 (関心・意欲・態度) ○科学的に考察を深めている。 (思考・判断・表現) ○論理的に考察を深めている。 (思考・判断・表現) ◎考察を深め、数式で表している。 (思考・判断・表現) 	
まとめ	10分	<ul style="list-style-type: none"> ・第1宇宙速度についてまとめる。 ・第2宇宙速度、第3宇宙速度についても紹介する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・理論値を紹介する。 ・あまり深入りせずに、話題として取り上げる程度にとどめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○第1宇宙速度について理解している。 (知識・理解)

3 実際の授業の様子と、生徒の反応

※6～7人のグループをつくる。

質問 前時の復習。水平投射の運動で、水平方向・鉛直方向に、それぞれ、物体がどのような動きをするか覚えていますか？

→ 「水平方向には等速直線運動、鉛直方向には自由落下と同様の運動をする」ことを思い出させる。

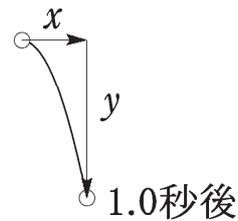


※いくつか質問をするので、質問に対してグループで相談し、答えるように伝える。そう答えた理由も発表できるように話し合うことを伝える。また、班の代表に、「YES・NOカード」を渡しておく。必要に応じて、それを表示することによって班の意見を発表させる。

(以下、質問に (YES/NO) の表示があるものについては、YES か NO の二者選択で回答を求めた。)

※初めは、「地球を一周することができる水平方向の初速度」などとは言わず、気楽な感じで話を進めた。(それぞれの質問にある図を、全て板書した訳ではなかった。)

質問① 初速度 1.0m/s で水平投射された物体が、1.0 秒後に到達する水平到達距離 x と落下距離 y を求めよ。



→ はじめは分からない班も見られたが、最終的にはすべての班が正しい答を導くことができた。

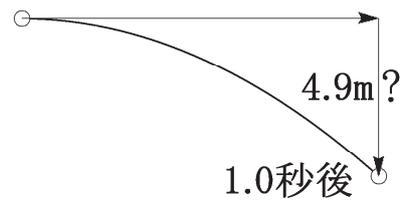
正答：水平到達距離 x …… 1.0m
落下距離 y ………… 4.9m

質問② 初速度の大きさを 10m/s にしても、1 秒後の落下距離は 4.9m である。(YES/NO)

→ 初めは NO を表示した班が 2 班あった。話合いの結果、最終的には全班が YES になった。

正答：YES

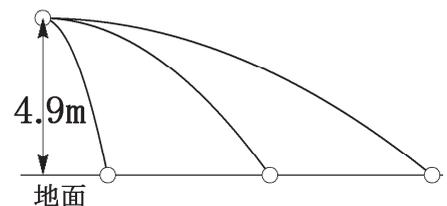
※このとき、「鉛直方向の落下距離って、どんな式で計算できるんだっけ？」とヒントを出したことによって、すべての班が鉛直方向の落下距離が、水平方向の初速度の大きさとは関係なく決まることにつながった。



質問③ 4.9m の高さから物体を水平投射した場合、初速度をどれほど大きくしても、関係なく 1 秒後には物体は地面に達する。(YES/NO)

→ 全部の班が YES と答えた。

正答：YES ?



※ここで、次の質問をした。

質問④ 質問③の答えは、本当に YES なのか？

→ 何人かの生徒は「ん？」とか「あれ？」と考え出した。その後、NO と答える生徒が数名出始めたので、なぜ NO なのかを他の生徒も考え出した。しかし、すぐに「地球は丸いから NO だよ」という発言があったので、「あ～そっか」と話がまとまったようだった。

正答：NO

質問⑤ 初速度を、とつても大きくしたら物体はどのような運動をするか。

→ 「地面に達しない」「宇宙に飛び出す」などと答えた。

正答：ある大きさの初速度より小さいと、地球に落下する。逆にそれよりも大きな初速度をつけると、地球を飛び出して宇宙に達する。

※「では…、」と前置きをして、

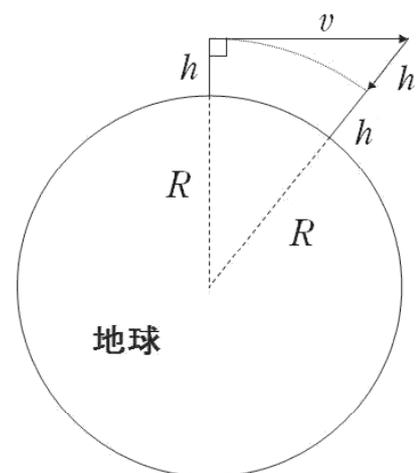
質問⑥ 4.9m の高さから物体を水平投射した場合、1.0 秒後にも地面からの高さが 4.9m の位置に物体があることも考えられる。(YES/NO)

→ YES と答えた班（個人も）が多かった。

正答：YES

※それでは、そうなるような初速度の大きさ v を求めてみよう。

「求める条件を数式や図に表すことはできますか？」と質問をして取り組ませたが、厳しいようだった。そこで、右に示した図をかいて、ヒントを出した。



※ここで、「なるほど」という感じだったので、「このように投げ出したら、1秒後に初めと同じ高さにあるわけだから、このまま地球を一周してしまうのでは！」と伝えると、「おお！すごい！」「本当に？」などという声が聞こえた。

※式を立てることは難しそうだったので、ここからは解説をしながら進んだ。なお、計算には電卓の使用も認めた。そうすることで、計算が苦手な生徒もやる気が出るようだった。

解説 「高さ h の点から初速度 v で水平に投げ出された物体が、1秒後も高さ h である」という条件を、地球の半径を R として式で表すと、

$$\begin{aligned}v^2 &= (R + 2h)^2 - (R + h)^2 \\v^2 &= R^2 + 4Rh + 4h^2 - R^2 - 2Rh - h^2 \\v^2 &= 2Rh + 3h^2 \\v &= \sqrt{2Rh + 3h^2}\end{aligned}$$

これに、 $R = 6400 \times 10^3 \text{ m}$ 、 $h = 4.9 \text{ m}$ を代入して計算させた。

その結果、 $v = 7919.6 \cdots \text{ m/s} \doteq 7.9 \text{ km/s}$

正答 : 7.9 km/s

※この初速度の大きさを「第1宇宙速度」ということを説明し、地球の重力圏からの脱出速度である「第2宇宙速度」や、太陽系からの脱出速度である「第3宇宙速度」についても軽く触れた。

4 生徒の感想

- ・いつもの授業よりおもしろかった。
- ・友達と相談できるので、自信を持って答えられた。
- ・第一宇宙速度っていうのがかっこいいと思う。 等

5 考察

初めは、右下の図をヒントとして与えて考えさせた。しかし、「地面に触れている感じ」がしたからか、あまり理解が進まなかった。

また、下のような近似を用いて説明をしたが、これも、生徒には難しかったようであった。

右の図から、 R 、 v 、 h の関係式を立てると、

$$(R + h)^2 = R^2 + v^2$$

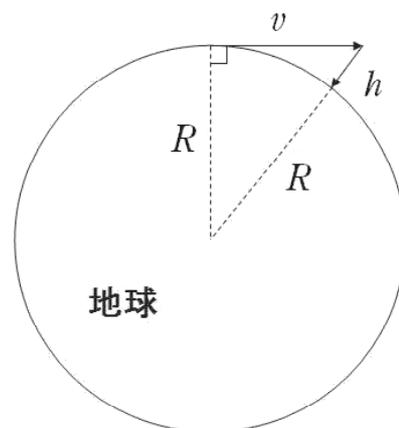
$$v^2 = (R + h)^2 - R^2$$

$$v^2 = 2Rh + h^2$$

よって、
$$v = \sqrt{2Rh + h^2}$$

ここで、 $R \gg h$ より、 $2Rh$ に比べて h^2 は非常に小さいため無視すると、

$$v \doteq \sqrt{2Rh}$$



できれば、このような近似について説明を加える方が望ましいと思うが、生徒の理解度によっては近似などをあえて持ち込まず、電卓で値を計算することに専念させた方がよい場合もあると考える。

また、 $2Rh$ に比べて h^2 や $3h^2$ が非常に小さくて無視することができることを、電卓を用いて計算させて直接確かめさせてもよい。

$$\sqrt{2Rh + 3h^2} = 7.91960 \cdots \text{ km}$$

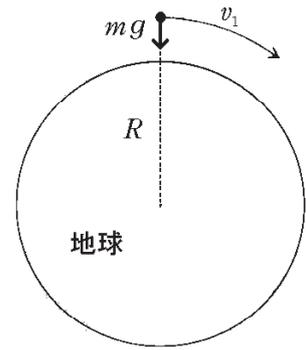
$$\sqrt{2Rh + h^2} = 7.91959 \cdots \text{ km}$$

$$\sqrt{2Rh} = 7.91959 \cdots \text{ km}$$

【参考】 「宇宙速度」について

「宇宙速度」について簡単に補足をする。

第1宇宙速度は、「水平に初速度を付けて投げ出した物体が、地面に落下せずに地表面すれすれを周回して円運動するための最小初速度の大きさ」である。ただし、地球は理想的な球体であると見なし、地表面の凹凸や大気による影響は無視する。また、地表面における重力加速度の大きさ g は、一定であるとする。



地球の半径を R 、物体の質量を m 、第1宇宙速度を v_1 とすると、一般的には、物体が受ける重力を向心力として、地球の周囲を円運動するための条件式から、 v_1 は次のように求められる。

物体が受ける重力（地球から受ける万有引力）の大きさは mg である。これを向心力として、速さ v_1 で等速円運動をするとき、次の等式が成り立つ。

$$mg = m \frac{v_1^2}{R}$$

$$\begin{aligned} \text{この式から、} v_1 \text{ を求めると、} v_1 &= \sqrt{gR} = \sqrt{9.8\text{m/s}^2 \times (6.4 \times 10^6 \text{m})} \doteq 7.9 \times 10^3 \text{m/s} \\ &= 7.9\text{km/s} \end{aligned}$$

本事例では、1秒間に自由落下で落下する距離 h が、 $\frac{1}{2} g \cdot (1\text{s})^2 = 4.9\text{m}$ となることを用いて、第1宇宙速度を $v_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{2hR}$ と置き換えて計算している。このような工夫により、新科目「物理」（現行の「物理Ⅱ」）を履修していない生徒に対しても、第1宇宙速度を話題として取り上げることが可能になった。

参考までに、第2宇宙速度、第3宇宙速度についても軽く触れておきたい。

第2宇宙速度は、「地表面から初速度を付けて投げ出した物体が、地球の重力圏から飛び出して、再び地球の戻って来なくなるための最小の初速度の大きさ」であり、「脱出速度」と呼ばれることもある。この場合も、大気の影響は考えない。力学的エネルギー保存の法則から求められる。地球の重力圏を振り切って無限遠に達するためには、地表面における位置エネルギー（負の値である）を埋めるだけの運動エネルギーをもてばよいから、第2宇宙速度を v_2 とおくと、

$$\frac{1}{2} m v_2^2 - G \frac{Mm}{R} = 0 \quad \dots \dots \dots (*)$$

となる。ここで、 G は万有引力定数、 M は地球の質量であり、 $GM = gR^2$ の関係式が成り立つ。以上のことから、 $v_2 = \sqrt{2gR} \doteq 11.2\text{km/s}$ が導かれる。詳しくは現行の「物理Ⅱ」の教科書等を参照されたい。

第3宇宙速度は、「地表面から初速度を付けて投げ出した物体が、地球の重力圏から飛び出して、さらに太陽の重力圏からも飛び出して、再び太陽系に戻って来なくなるための最小の初速度の大きさ」である。地球の位置から、太陽の重力圏を脱出するために必要な初速度の大きさの最小値は、第2宇宙速度と同様の考え方で求めることができ、その値は太陽から見ておおよそ 42.3km/s になる。しかし、地球はもともと 30km/s 程度の速さで公転しているから、公転と同じ向きに地球に対して 12.3km/s の初速を付けてやればよいことになる。ところが、この速さで地表から投げ出しても、地球からの引力によって減速されるため、太陽の重力圏から脱出することはできない。そこで、地球の重力圏から脱出したとき（地球から見ると十分遠いが、太陽系全体から考えるとまだそれほど地球から離れていないとき）に 12.3km/s の速さで運動すればよいということになる。これらのことから地表で付けるべき初速度の大きさ、つまり第3宇宙速度を計算すると、おおよそ 16.7km/s ということになる。

6 物理実験ワンポイントアドバイス

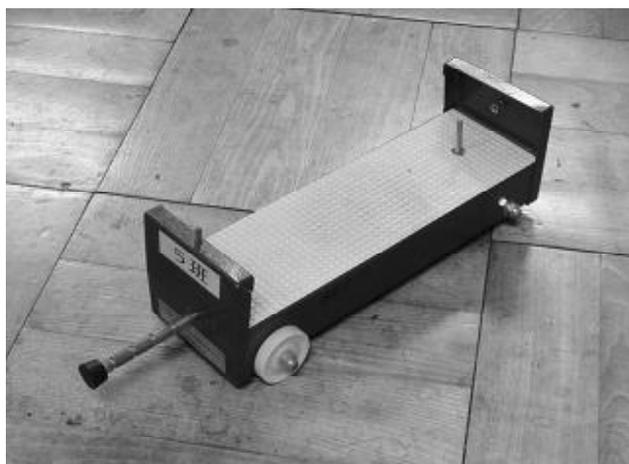
「百聞は一見にしかず」ということわざにあるとおり、実験で実際の現象を見せることは、どんなに詳しい説明をするよりも、はるかに深い理解を生徒たちにさせることができる。また、教師にとっても、実験の準備や考察などを通して、物理現象の奥深さに改めて気付かされることも多い。

その一方で、実験の準備や実施には多くの時間が費やされるため、実験をするよりも「授業を先に進める」ことを優先させたり、実験よりも問題演習を重視したり、コンピュータのシミュレーションで代用したりと、様々な理由で実験から遠ざかっているケースも多い。

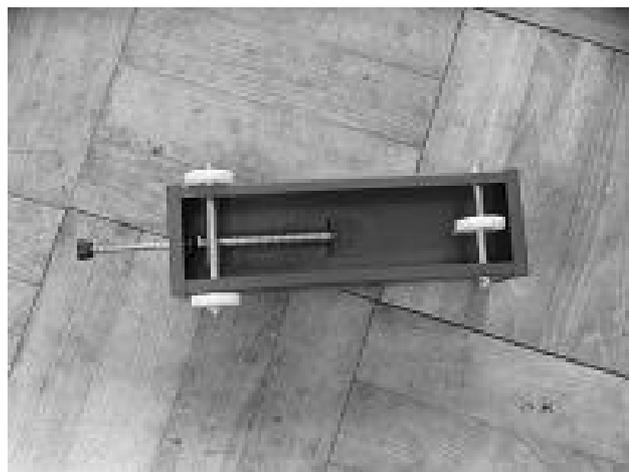
新しい学習指導要領では、「基礎を付した科目」を3科目履修させるなどして、科学の幅広い範囲を学習することが求められているが、その分、物理を専門としない教師が「物理基礎」を担当するケースが増加するものと思われる。そこで、このようなケースを念頭におき、物理を専門としない先生にも参考になりそうな演示の例をいくつか取り上げて紹介する。物理準備室にある実験器具を少しでも活用していただくための、いささかの参考になれば幸いである。

事例4 手軽に実験を行うための工夫

◇力学台車



【図1】



【図2】

図1・図2に示したような力学台車は、力学の分野には欠かせない主要実験器具である。

車体の質量は、500 g や 1 kg など、扱いやすい数値になるように作られていることが多く、2台の台車を重ねたり、おもりを載せたりすることによって、適宜、質量を調整して実験する。車輪部分は本体に比べて軽くつくられており、回転部にはベアリングが組み込まれているので、非常にスムーズに回転できるようになっている。

力学台車を使用できる場面はたいへん多く、例えば、斜面上を運動させて、斜面の傾きと加速度の関係を求めたり、力学的エネルギーの保存を調べたりする場合に有効である。しかし、力学台車は、おもちゃの車などに比べると重いため、扱いづらい。演示をするような場合でも、おもちゃの車の方が生徒受けもよく、わざわざ力学台車を持ち出す必要もなさそうであるが、実は重くつくられているのには訳がある。

例えば、「力学的エネルギーの保存」を検証する場合、問題演習などでよく見かけるように、斜面

上に小球を置き、はじめの高さと最下部に達したときの速さを測定して力学的エネルギーを計算してみると、「保存する」とは言えないくらいに、意外と大きなずれが生じてしまう。とくに、まっすぐ運動させようとしてレール上で小球を転がすと、そのずれはますます大きくなってしまふ。その原因を「摩擦の影響」と考えたくなるが、実はそうではない。

物体の回転エネルギーは高校物理の範囲外であり、生徒に詳しく教える必要はないが、教師としては知っておくべき基本的な知識である。一般に慣性モーメント I の物体が角速度 ω で回転しているとき、 $\frac{1}{2}I\omega^2$ の回転エネルギーをもつ。ここで、慣性モーメントとは、回転の軸に対して、物体がどの程度回転しづらいかを表す量で、物体の質量や形、大きさなどによって決まるものである。

例えば、密度が一定の球の場合、半径を r 、質量を m とすると、中心を通る軸に対する慣性モーメントは $\frac{2}{5}mr^2$ である。角速度 ω は単位時間当たりの回転角であり、半径 r の球が平面上を速さ v で転がっている場合、 $v = r\omega$ の関係がある。したがって、平面上を転がる球の運動エネルギーは、並進運動（移動）の $\frac{1}{2}mv^2$ と、回転運動（ころがり）の $\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{5}mv^2$ を足し合わせたものになり、 $\frac{7}{10}mv^2$ が、全運動エネルギーとなる。この値と、はじめにもっていた位置エネルギーを比べてみると、よい一致を示すことが多い。つまり、“誤差”の原因は、摩擦ではなく、回転エネルギーを考慮しなかったことにある。このことは、均質な球体であれば、球の質量や半径によらずに成り立つ。

以上のような理由から「力学的エネルギーの保存を検証する実験」として、教科書などでは振り子を用いる実験が紹介されていることが多い。振り子ならば回転部が生じないからである。しかし、生徒にとっては、やはり問題演習等でなじみのある斜面上の物体の運動で力学的エネルギー保存を検証したいのではないだろうか。そういう場合に、力学台車を用いるのは一つの方法である。力学台車の場合は、本体の質量に比べて車輪部分が軽いため、本体の移動による運動エネルギーと比べて、車輪の回転によるエネルギーが無視できるほど小さいからである。ただし、車輪部にほこりがたまっていたりすると摩擦等による誤差が大きくなってしまふので、ベアリングの部分に潤滑剤を塗布するなどして、十分なめらかに車輪が回転するように整備しておくことが重要である。

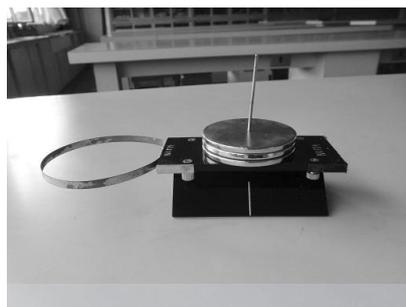
◇力学滑走台（エアトラック）



【図3】



【図4】



【図5】

図3、図4のような力学滑走台は、空気の利用して図5のような滑走体を浮かし、摩擦が働かない場合の物体の運動を観測観察する実験器具である。わずかに浮いた滑走体がエアホッケーのパックのように等速直線運動をする様子は、普段なかなか見られない現象であり感動的でもある。うまく調整すれば、3分以上は往復運動を続ける。等速直線運動のみならず、傾斜をつけることで等加速度直線運動の実験もできる。「物理基礎」の内容からは外れるが、運動量保存や衝突・分裂の実験に用いることも多い。運動を解析する際には、デジタルカメラで撮影をするとよい。図4に示したのはエアトラックを支える台であり、ここに付いているねじで高さを調整して使用する。授業で用いる場合には、直前にきちんと水平になるように調節しておくことが重要である。

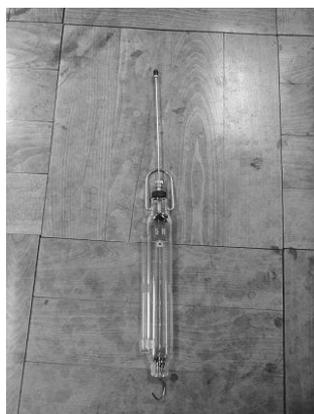
汚れやほこりが付くと、摩擦が大きくなり、理想的な運動結果が得られなくなるので、使用後はほこりや汚れをきちんと落として乾燥させてから箱等に入れて保管するようにする。長くて大きくかさばる物なので、実験器具用の棚の上などに置かれることが多いが、ほこりが入り込まないように、大きめのビニル袋や新聞紙などで包んで保管するようにするとよい。

滑走体については、図5のようにおもりを付けて質量を調節できるタイプのももある。取り外し可能な円形のばねが付属していることが多いが、非常に変形しやすく、錆びやすいものなので専用容器に入れて保存することが望ましい。もし、専用の容器が紛失しているような場合でも、他の実験器具と一緒に引き出しなどに入れるのではなく、専用の箱を設けて保管するとよい。

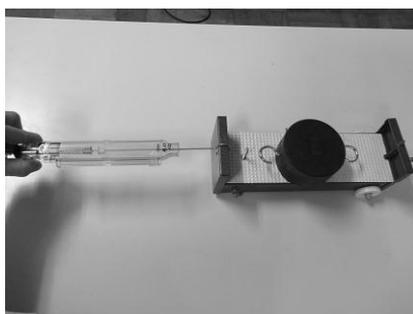
◇押し引きばねはかり

ばねはかりは、一般に引っ張る力を測定するものであるが、中には押す力も測定できるものがあり、「押し引きばねはかり」(図6)と言われ、特に力学の場面で多く活用することができる。一定の力で力学台車等を押し引きするときや、最大摩擦力や動摩擦力の測定にも活用できる。

図7は左に向かって台車を引いているところで、図8は右に向かって台車を押しているところである。写真では見にくいですが、どちらも、約2 Nを指し示している。



【図6】



【図7】



【図8】

◇真空ポンプ

図9のような真空ポンプを使うと、容器内を減圧することができるので、空気抵抗が少ない状態で、重さや形状の違う物体を自由落下させ、観察することができる。また真空中での音の伝わり方の実験や大気圧の確認実験等、多くの単元で活用することができる。

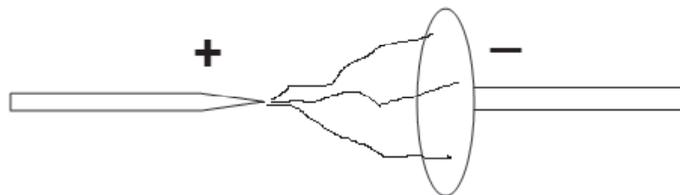
- 1 吸気口と排気口をよく確認し、吸気口を減圧したい容器につなぐ。排気口のキャップは外しておく。
- 2 容器のコックが開いていることを確認し、真空ポンプのスイッチを入れ減圧を始める。
- 3 停止させるときは、ポンプ内のオイルが逆流し容器内に入ってしまうことを防ぐために、真空ポンプのスイッチをすぐに切らず、まず減圧した容器のコックを閉めてから真空ポンプのスイッチを切るようにする。



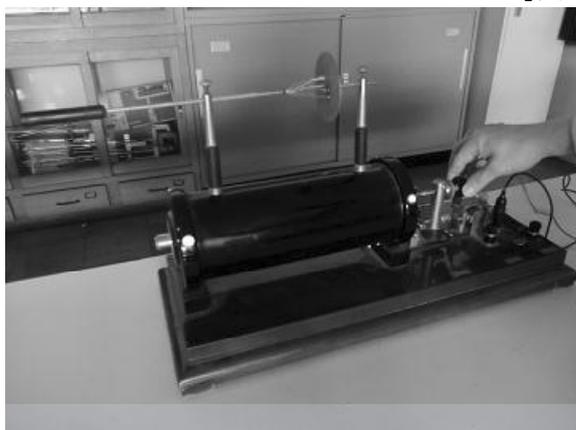
【図9】

◇誘導コイル

図 10 のように針状電極を＋に、円盤状電極を－にすると、バチバチという音とともに図 11 のような火花放電が見られる。＋－を逆にすると、放電現象がはっきりとは見られない。図 12 のように、クルックス管（電極をつけた高真空のガラス管）などをつないで、真空放電や陰極線の観察を行う際などの高圧電源に用いる。



【図 10】



【図 11】



【図 12】

1 次コイルと 2 次コイルを備えており、電磁誘導により 2 次コイルに高電圧を発生させる。

古い型のものでは 6 V 程度の直流電圧を入力して数 A の電流を流すが、最近のものは電子回路で 1 次コイルに流す電流を制御する無接点式で、AC 100V で動作させるものが多い。どちらも 2 次コイルには非常に高電圧が発生するので十分注意が必要である。近くに伝導性のものを置かないようにし、絶縁台に乗って実験をすることが望ましい。また、クルックス管に接続して、陰極線などを観察する場合、有害な X 線が発生するので、注意が必要である。クルックス管の実験では、陰極の影が現れる「陽極側」を生徒に向けないように留意すべきである。実験はできるだけ手短に行い、生徒をあまり近づけさせないようにして観察させることが必要である。

古い型のは接点式と呼ばれ、接点で 1 次コイルに流れる電流を断続的に入切する。接点をねじ等で調節するのだが、これが上手くいかず電源電圧を上げすぎてしまうと 1 次コイルに電流が流れ過ぎて、破損する可能性があるので注意が必要である。

《参考にした WEB ページ》

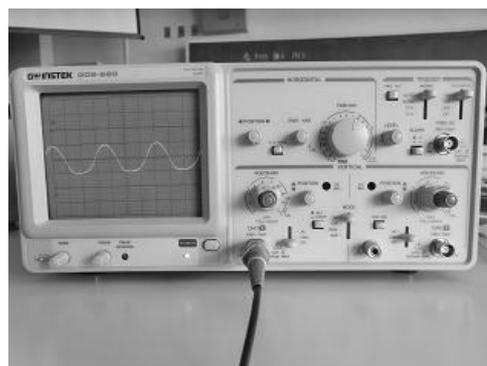
佐賀県教育センター URL

http://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/h16/01anzennarika/shiryou/01butsuri.pdf

http://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/h19/h19anzennarika/top.htm

◇オシロスコープ

オシロスコープ図 13 は、電圧の時間的変化をブラウン管に映し出す装置である。測定しようとするものを電圧の形、つまり電気信号に変えられれば、それを波形として観測することができる。例えば、マイクで音を電気信号に変え波形を画面に映して、観察したり周期から振動数を求めたりすることができる。教科書などにも使い方が紹介されている場合もあるが、まず付属のマニュアルを参考にするとよい。見た目の複雑さや、案内表示が英語で書かれていたり、さらに英語の略字だったりすることで敬遠されがちだが、案外シンプルな機器であり、使い方もインターネット等で数多く紹介されている。



【図 13】

画面は縦軸が電圧を、横軸が時間を表す。図 13 の機種では、縦に 8 マス、横に 10 マスとなっている。この 1 マスを“division”といい、“div”と省略される。電圧は Volts/div つまみで、時間は TIME/div つまみで 1 マス (div) あたりの電圧と時間を調整できる。

例えば、Volts/div つまみを 10mV/div (ミリボルト毎ディビジョン) に合わせたときは、1 マスが 10mV を表し、画面には縦に 8 マスあるので、最大で 80mV まで表示ができることになる。また、TIME/div つまみを 10ms/div (ミリ秒毎ディビジョン) に合わせれば、1 マスが 10ms を表し、横に 10 マスあるので最大で 100ms (0.1 秒) 間の変化まで表示できるということになる。

表示された波を、縦位置 POSITION つまみと横位置 POSITION つまみを使って、見やすい位置に移動させ電圧や時間を読む。なお、目盛りの読みを定量的に扱いたい場合には、それぞれのつまみの中央に付いている微調整つまみ (variable) を校正 (CAL) の位置に合わせないと正しい数値にならないので注意が必要である。

《参考にした WEB ページ》

秋田工業高等専門学校 URL

<http://akita-nct.jp/~itok/oscilloscope/oscilloscope-text.pdf>

◇ウェーブマシン (波動実験器)

固定端および自由端における反射、強め合いと弱め合い (干渉)、独立性、定在波 (定常波) など、横波の動きや性質を実際に見ることができる。生徒には一見、何に用いる実験器具か分からないことが多いが、いざウェーブマシンによる波を目にするととても興味をひく。実際に生徒に触れさせたいところだが、器具の作りがデリケートなこともあり細心の注意が必要である。すだれ部分は、一度ゆがんでしまうと、修復することはほぼ不可能で、高価な部品を購入しなければいけなくなる。波形は、刻一刻と変化するものなので、デジタルカメラで連写したものや動画のスロー再生を用いると効果的である。



【図 14】

なお、ウェーブマシンには図 14 のような水平すだれ式 (シャイブ式) と、たくさんの振り子を並べた形をしているマッハ式がある。シャイブ式の方が「いかにも波らしい」波動を見せることができるが、マッハ式であれば縦波も示すことができる。

図 14 は、右端をスタンドで固定して、固定端反射の実験をしているところである。

◇デジタルカメラの活用（高速連写機能を用いて）

最近のデジタルカメラの中には、1秒間に30フレームを超える高速連写機能を備えているものがあり、ビデオカメラで撮影したものをコマ送りで示すよりも、高速度で鮮明な画像を撮影することができる。このような機能を利用して撮影した写真を何枚も重ねてパラパラ漫画のようにすると、アナログなアニメーションをつくることができる。また、JPEG 画像なので合成写真をつくるなどの加工を比較的容易に行うことができる。図 15 は、斜面上を転がる小球の運動を、固定カメラで撮影したものであり、図 16 はこれらを合成したものである。



【図 15】



【図 16】

◇平成23年度高等学校における教科指導の充実 研究協力委員・研究委員
(理科〔物理領域〕)

研究協力委員

栃木県立真岡工業高等学校 教諭 中川幸彦

研究委員

栃木県総合教育センター 研修部 指導主事 岩瀬英二郎

高等学校における教科指導の充実
理 科 《物理領域》
「物理基礎」における指導展開例

発 行 平成24年3月
栃木県総合教育センター 研究調査部
〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070
TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303
URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>