

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
	- 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。	- 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。	- 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。	- 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	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 第2部 物理現象とエネルギー 第1章 熱 第2章 波 1 波の伝わり方 …………… (3時間) 2 波の性質 …………… (3時間) 3 音波 …………… (2時間) 4 音源の振動 …………… (3時間) 5 音に関する探究活動 …………… (1時間) 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	(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	波の伝わり方 ・波とは ・正弦波 ・横波と縦波	- 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。	発問
2								波の基本的性質について理解している。	小テスト
3									

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。	◎			波形の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。

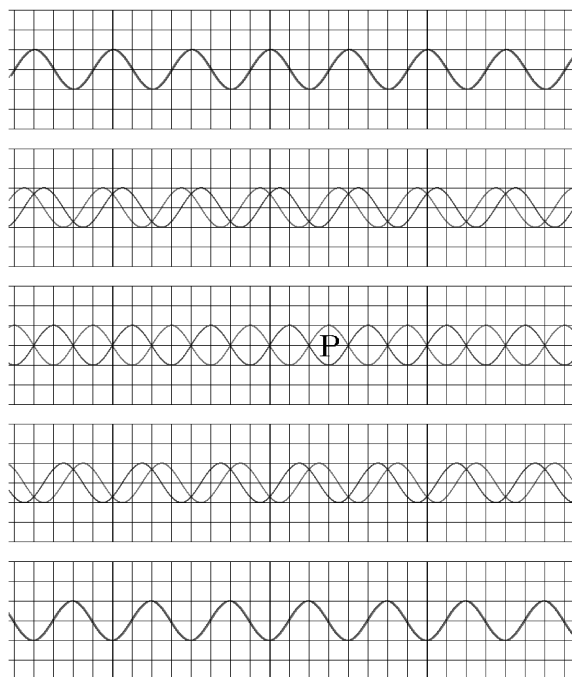
正弦波については、波の式が発展的な内容であることに注意が必要である。波動の現象を数学的に扱っていく方法もあるが、「物理基礎」としては数学的にあまり深入りしない方が望ましい。一方、波の位相 (phase) については、反射時の位相の変化などについて説明する上でも、きちんと扱った方がよいと思われる部分である。はじめに簡単に等速円運動の基本的なイメージをつくった上で、単振動について軽く触れて、正弦波について説明をするとよい。位相という量は、教師としては教えずらく、生徒にとっては理解しづらいものであるが、元来は「月の満ち欠けの状態と位置関係の様子を表す」言葉であり、まさに、振動の状態を円運動の回転角と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

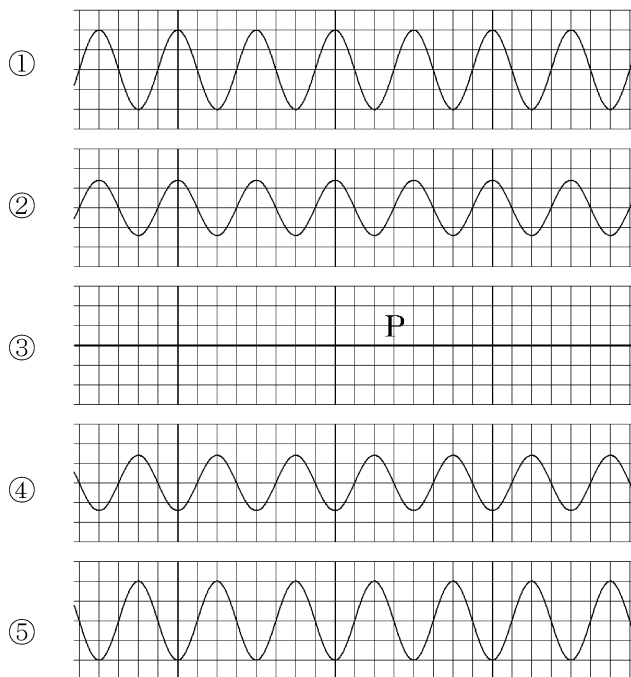
②「波の性質」の内容における留意点

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。

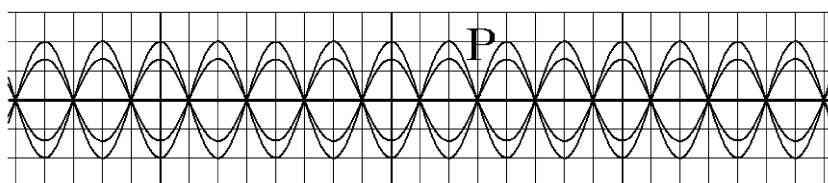
定在波については、「定常波」という言い方も一般的である。ウェーブマシンなどで観察させると効果的である。定在波を図示する際に、両方向からやってくる（重なる前の）進行波の波形と、これらが重なった結果生じる定在波の波形とが区別できない生徒をよく目にする。具体的には、下の図1のように二つの進行波が重なった結果、合成波の波形は図2のようになる。図2をまとめて、図3のような定在波ができるという表し方をしたとき、図3と図1の①の区別がつけられない生徒がいる。このとき、図1の③で、点Pのように山と谷が重なっている場所は、定在波の節であることに注意が必要である。



【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

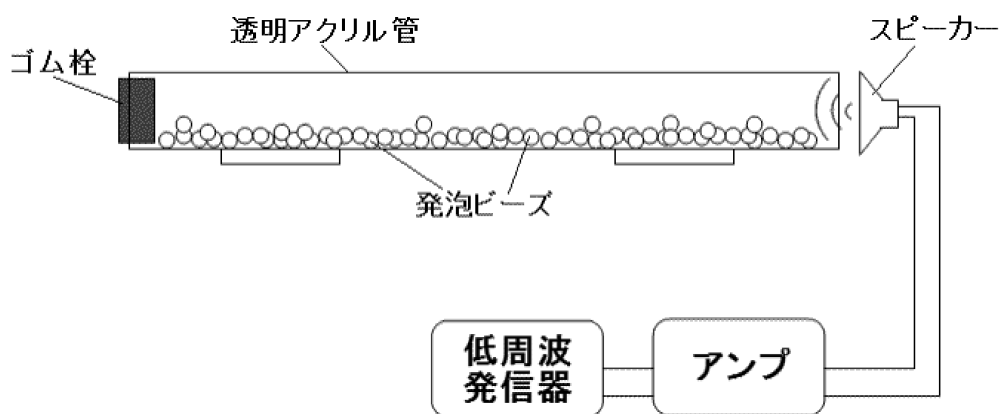
気柱にできる定在波（定常波）を可視化することにより、音波の共鳴現象に関する理解を深める。

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

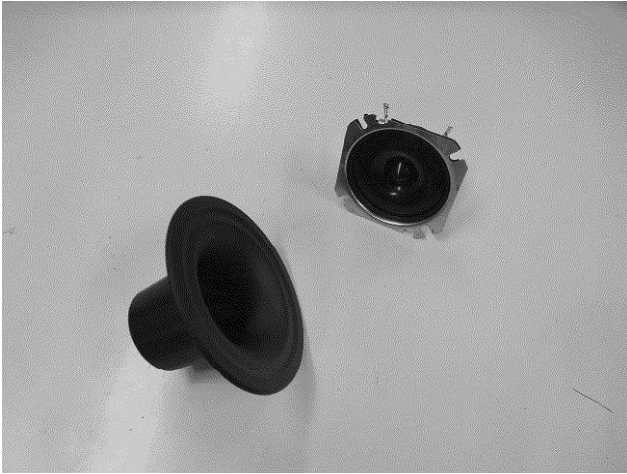
4 発泡ビーズを用いた実験の手順

- (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。

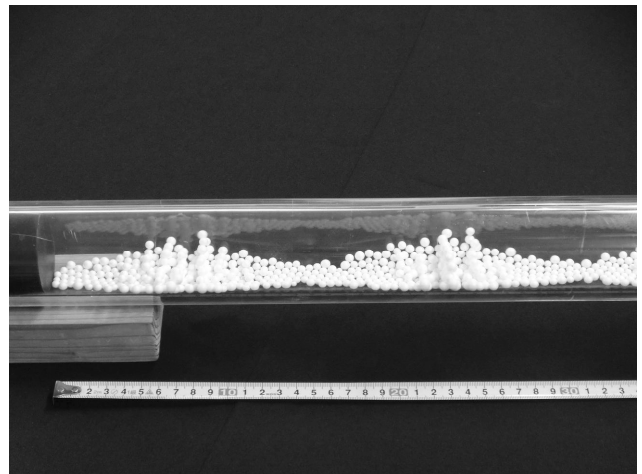
5 発泡ビーズを用いた実験の結果

(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。

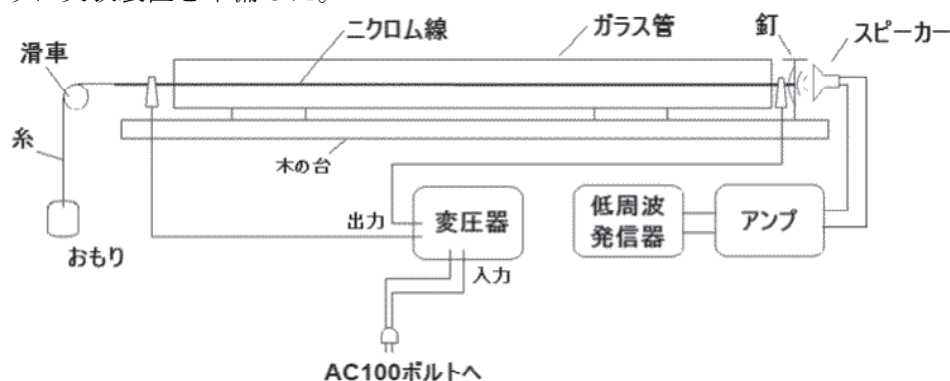
◇準備物

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。

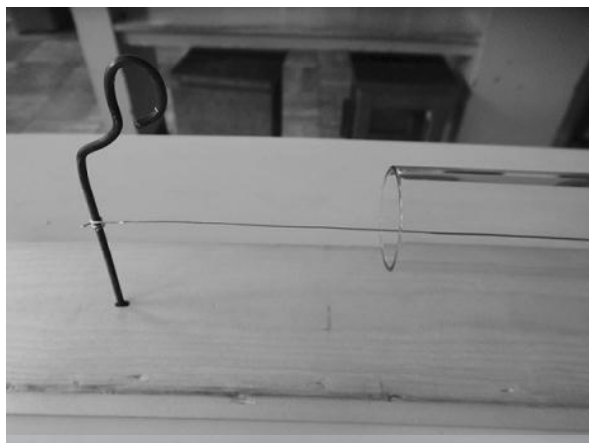
※注意※ 赤熱したニクロム線がガラス管に触れていなくても、ガラス管やその周囲は非常に高温になるので、やけどなどに十分注意しなければならない。また、ガラス管にリード線や他の物が触れないよう気を付けるようにする。



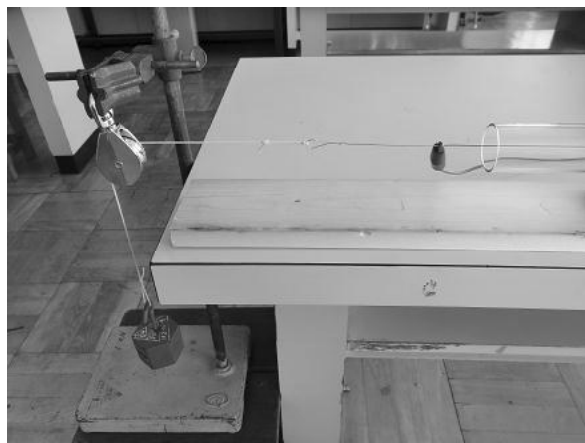
【図 5】

(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】

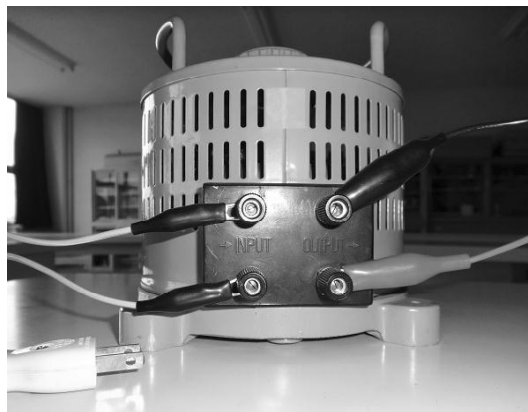
最初は、図 6 のように、ギターの弦を巻き取るようなペグ式で実験を行った。それでも実験自体は上手くいったが、ニクロム線が高温になってたむたびに、ペグを回して張りを保ち、電流を流すのを止めてニクロム線が縮むたびに緩める必要があった。このような調整を頻繁にしなければならなかったため、赤熱させたニクロム線の状態変化にあまり集中できなかった。

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】

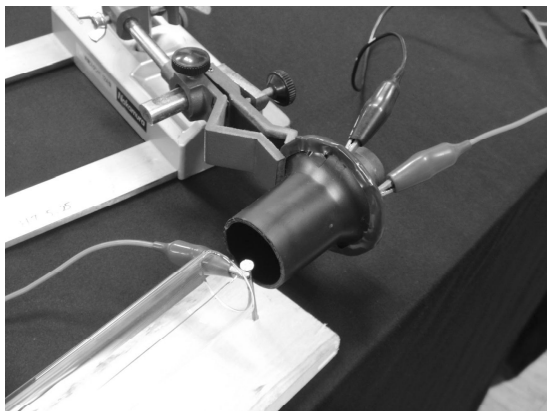


【図 8-2】

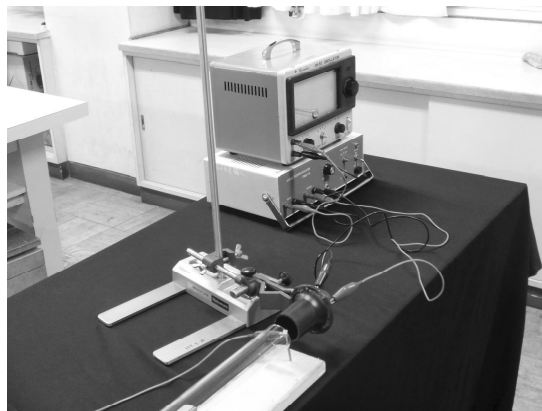
※注意※

- ・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

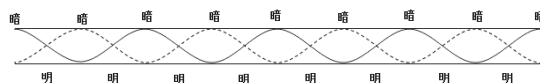
◇明暗の縞模様



【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もので、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	
Y e s	150 人	98.7%	4 人	2.6%
N o	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（**縦樋**：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（**縦樋**）

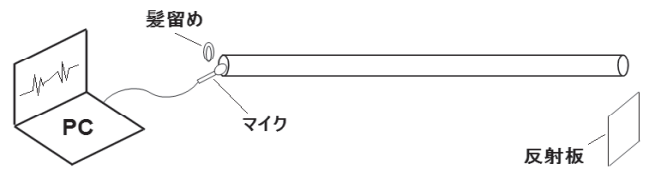
（使用したものは長さ 180.30 cm、内径 58.75mm のもの）、
パソコン用マイク、デジタル温度計、反射板、パソコン、
音源用の髪留め（図 2 参照）



【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はめてみたり、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

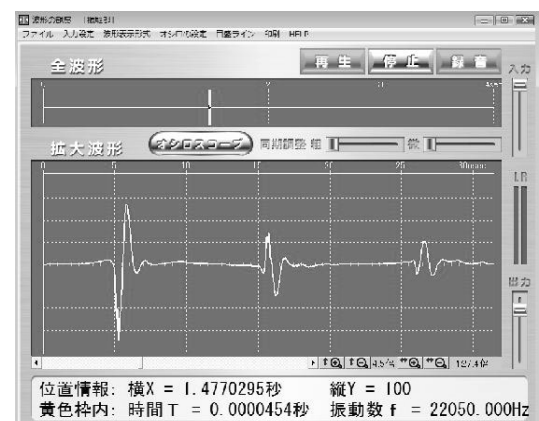
- （1）パソコンにマイクを接続し、オシロスコープソフト「振駆郎」を立ち上げておく。
- （2）マイクを気柱の端に固定する。
- （3）髪留めをマイク付近でパチンと鳴らし、オシロスコープソフトの録音機能で記録する。
- （4）何度か繰り返し、波形が比較的是っきり見られるものを保存し解析する。

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が分かる。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。

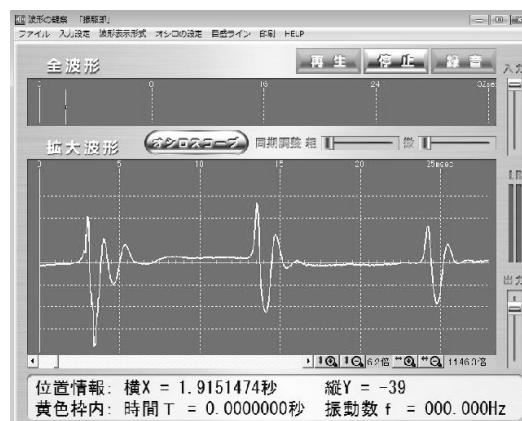


【図 5】

(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。



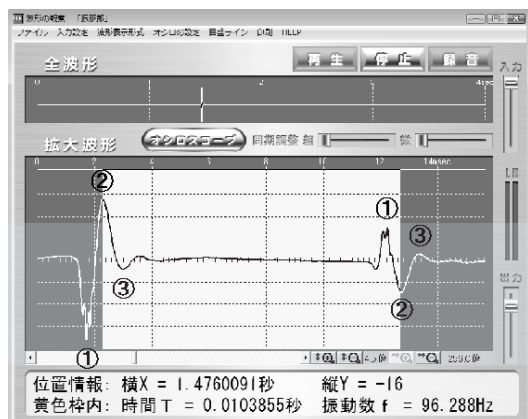
【図 6】

(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 $t[^\circ\text{C}]$ の空气中を伝わる音速 $V[\text{m/s}]$ 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°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、

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

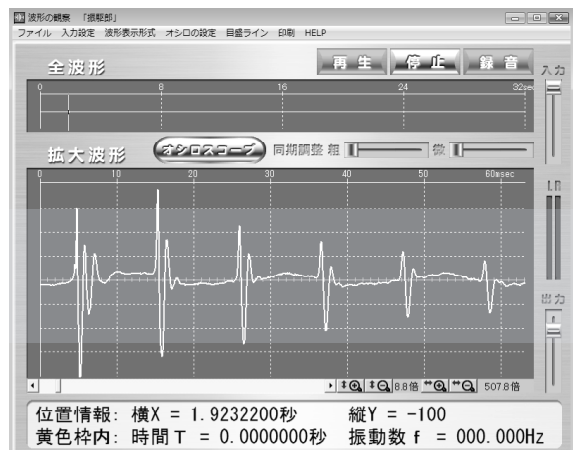
先ほどの閉口端の場合と比べて、誤差が大きくなったのは、開口端補正を無視したためであると考えられる。「開口端補正」とは、開口端における反射において音波が反射するとき、実際には、管口の位置からやや外側にずれた位置ではね返るために生じるずれの値で、管口の位置から測った音波の反射点までの距離を指す。

(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°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 $a[\text{m}]$ とすると、管の長さが $L[\text{m}]$ ならば、往復での音波の移動距離は、 $2L + 4a[\text{m}]$ であるから、音速を $V[\text{m/s}]$ 、音波の往復時間を $T[\text{s}]$ 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、本当は違っている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

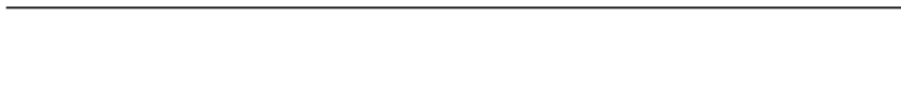
●資料

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

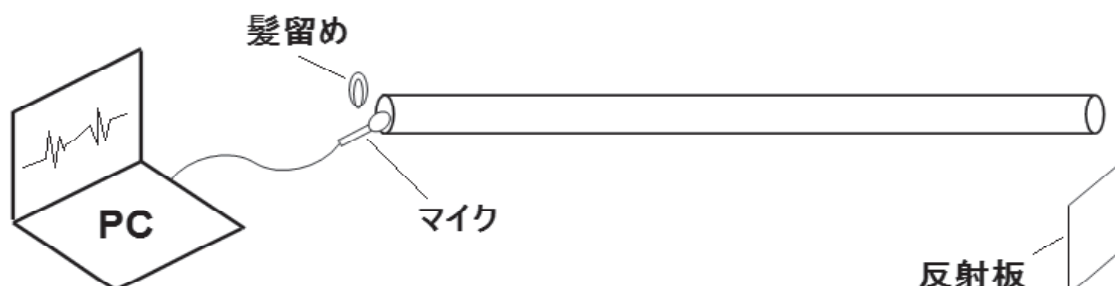
- (1) 気柱(プラスチック製の雨どい、使用するものは長さ 180.30cm、内径 58.75mm)
- (2) PC 用マイク
- (3) デジタル温度計
- (4) 反射板
- (5) パソコン
- (6) パチッととまる髪留め(音源とする)

■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

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

※ 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、 $\text{ }^\circ\text{C}$ なので、

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

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～