

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**）

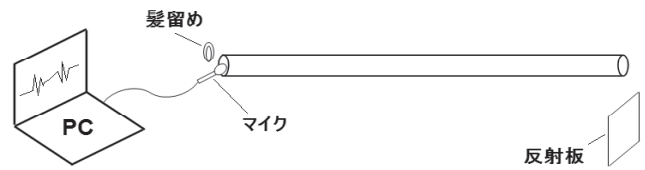
（使用したものは長さ 180.30 cm、内径 58.75mm のもの）、
パソコン用マイク、デジタル温度計、反射板、パソコン、
音源用の髪留め（図 2 参照）



【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

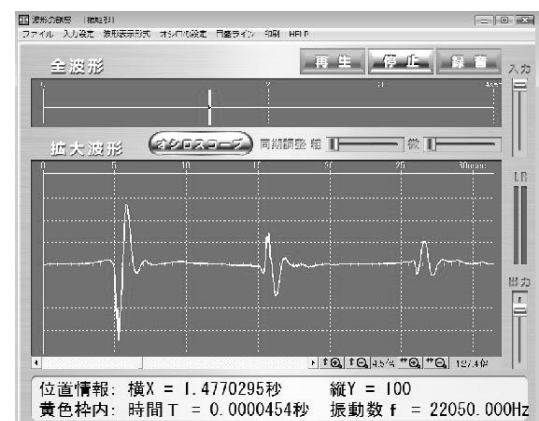
- （1）パソコンにマイクを接続し、オシロスコープソフト「振駆郎」を立ち上げておく。
- （2）マイクを気柱の端に固定する。
- （3）髪留めをマイク付近でパチンと鳴らし、オシロスコープソフトの録音機能で記録する。
- （4）何度か繰り返し、波形が比較的是っきり見られるものを保存し解析する。

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。

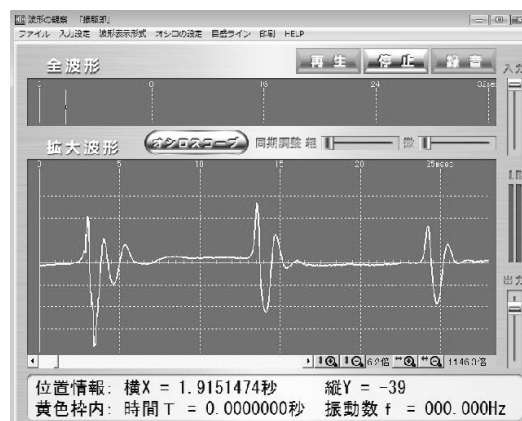


【図 5】

(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。



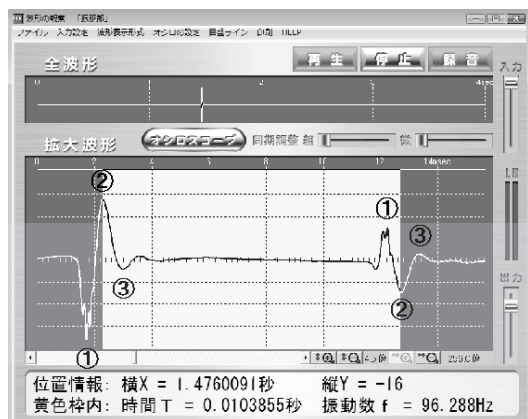
【図 6】

(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、

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

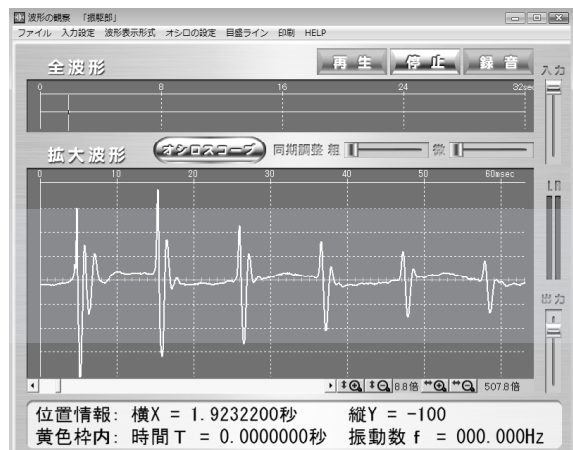
先ほどの閉口端の場合と比べて、誤差が大きくなったのは、開口端補正を無視したためであると考えられる。「開口端補正」とは、開口端における反射において音波が反射するとき、実際には、管口の位置からやや外側にずれた位置ではね返るために生じるずれの値で、管口の位置から測った音波の反射点までの距離を指す。

(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

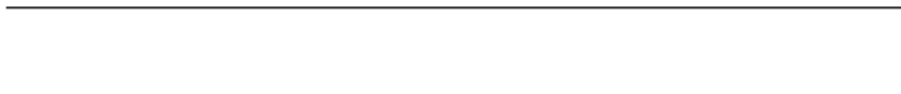
● 資料

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

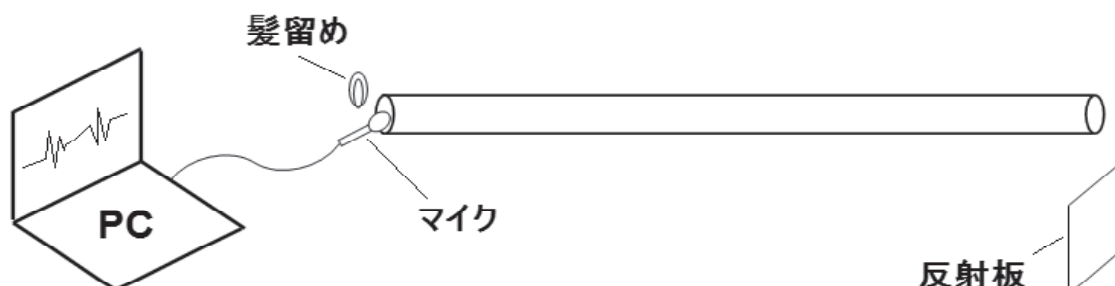
- (1) 気柱(プラスチック製の雨どい、使用するものは長さ 180.30cm、内径 58.75mm)
- (2) PC 用マイク
- (3) デジタル温度計
- (4) 反射板
- (5) パソコン
- (6) パチッととまる髪留め(音源とする)

■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～