



富山大学教育学部／富山県
(業績分担者) 福井県立藤島高等学校

月 僧 秀 弥*
鈴 木 聡 史**

目 的

令和4年度から新学習指導要領のもとでの授業が始まり、高等学校の理科授業でも探究的学習を重視するようになり、これまで以上に観察・実験が重要になっている¹⁾。生徒が主体的に実験を行うようになると、新たな器具の購入や準備を行う必要があり、各分野において取り組みやすい実験装置の開発が必要となっている。

従来の気柱共鳴装置の課題として、①音叉を利用して実験することが多いが、他グループの音が邪魔になり、実験を理科室から出て行うなど実施方法に工夫が必要であること、②従来の装置では、水溜を上下させて管の長さを決めるため、閉管の実験は可能であるが、開管の実験はできないこと、③器具が高価で演示実験で行われることが多いこと、などが挙げられる。

これらの課題を解決するため、安価に作製できる気柱共鳴装置を考案し、授業実践を行い、その効果を確認した。

概 要

本研究で開発した気柱共鳴装置は、手に入れやすい材料を用い、安価に作製できるため、ペアやグループで実験するための器具の準備が容易である。また、音源としてGIGAスクール構想により導入されたタブレットや生徒のスマートフォンに接続したイヤホンを用いるため、1つの教室で、多くのグループが実験することが可能になる。ゴム栓を用いて閉管にしているため、ゴム栓を外せば、従来の装置ではできなかった、開管の実験も可能になる²⁾。

実験操作は管の口で音を鳴らしたとき共鳴して音が大きくなる2つの点の間の距離を測ることであるため、実験の理解が容易である。また、未知の周波数の音源を用いた場合、周波数を求めるための実験ともなる。既知の周波数の音源を用いた場合は、音速を求める実験として行うことができる。以下では、未知の周波数の音源を用いた実践を記述した。

教材・教具の製作方法

I. 気柱共鳴装置の材料

塩化ビニルパイプ (外径 31 mm・内径 25 mm、長さは後述する)、透明クリアファイル (A4 または A3)、定規柄のマスキングテープ、ゴム栓 (8 号)、パイプカッター、両面テープ (幅 10 mm 程度)。

II. 簡易気柱共鳴装置

1. 簡易気柱共鳴装置の作製

作製した装置は、太い管の中に細い管を入れる入れ子式である。次の手順で作製する。細い管として塩化ビニルパイプを利用し、太い管として巻いた透明クリアファイルを利用して作製する。作製後の簡易気柱共鳴装置 (組立前) を写真1に示す。閉管として用いる場合、塩化ビニルパイプの管口にゴム栓を取り付け、透明クリアファイルで作製した管に出し入れする構造として使用する。

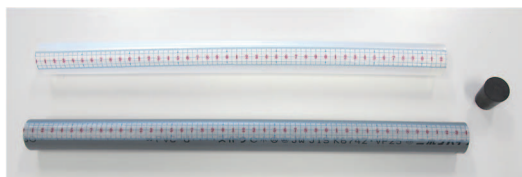


写真1 完成した簡易気柱共鳴装置 (組立前)
上段: 透明クリアファイルを用い作製した管
下段: 塩化ビニルパイプにマスキングテープを貼付

作製手順は以下の通りである。

- ①使用する透明クリアファイルの長さと同じ程度の長さになるように、塩化ビニルパイプを切る (長さは後述)。
- ②透明クリアファイルを、接着部分で切り開き、使用したいサイズにする。
- ③切り開いた透明クリアファイル長辺の端に、両面テープを貼る。
- ④塩化ビニルパイプに切り開いた透明クリアファイルを巻き付け、スムーズに動く太さに調整したら、両

*げっそう ひでや 富山大学教育学部

准教授 〒930-8555 富山県富山市五福 3190 番地

☎(076)445-6295 E-mail gesso@edu.u-toyama.ac.jp

**すずき さとし 福井県立藤島高等学校 教諭

面テープの剥離紙を剥がし、クリアファイルを貼り付け、透明な筒にする。

- ⑤筒にした透明クリアファイルの接合部分の上から、端を 0 mm に合わせたマスキングテープを貼る。
- ⑥塩化ビニルパイプの端にも、端を 0 mm に合わせたマスキングテープを貼る。閉管の気柱共鳴装置として使用する場合は、塩化ビニルパイプの管口にゴム栓 (8 号) を取り付けける。

2. 実験の方法

塩化ビニルパイプの一方にゴム栓を付けて透明な筒に入れると、閉管の気柱共鳴装置となる。装置の使用法を図 1 に示す。閉管の実験の場合には、塩ビ管の一方にゴム栓をする。開管の実験の場合には、ゴム栓を外して使用する。

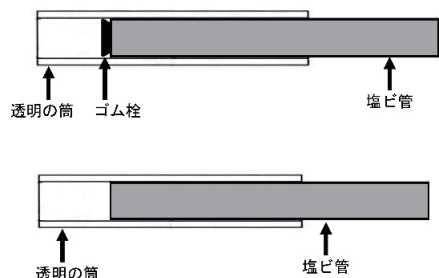


図1 簡易気柱共鳴装置の構造

上図：閉管の装置 下図：開管の装置

音源にはタブレットやパソコン、スマートフォンに接続したイヤホンを用いる。イヤホンを装置の透明クリアファイルの筒の側に固定し、装置を操作する測定者が聞こえる程度の小さな音を出す。塩化ビニルパイプを持ち、管の長さを次第に長くしながら音が大きく聞こえる長さを測定する。

音源については以下のようにした。生徒が実験しやすいように生徒に求めさせる音は、録音してファイルを Google Classroom に置いたり、YouTube 上に置き QR コードで利用しやすくしたりするなどして何度も聞き返すことができるよう工夫した。

3. 原理

閉管の場合、気柱の長さが最も短い状態から徐々に気柱の長さを長くしていくと、最初に、基本振動で音が共鳴し音が大きく聞こえる。次に、3 倍振動で共鳴し大きく聞こえる。この場合の閉管の気柱の固有振動 (横波表示) は図 2 のように表される。この基本振動の時の気柱の長さ と 3 倍振動の時の気柱の長さを測定し、その値を用いて音の周波数を求めることができる。

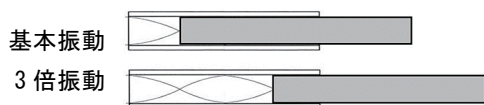


図2 閉管の音が大きくなる音の波

測定結果から音の周波数を求める方法は以下の通りである。

音の波長 λ [m]、周波数 f [Hz]、音速 V [m/s] の関係は、次式で表される。

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (1)$$

音速 V [m/s] は、温度 t [°C] の時、次の近似式で表される。

$$V = 331.5 + 0.6 t \quad (2)$$

閉管の場合、音が大きく聞こえる基本振動の時の管の長さを L_1 [m]、3 倍振動の時の管の長さを L_2 [m] とした場合の、周波数 f [Hz]、音速 V [m/s] の間には(3)に示すように、

$$f = \frac{V}{2(L_2 - L_1)} \quad (3)$$

の関係が成り立つ。このことから、音が大きくなる 2 つの長さを測定し、(3)式を用いることで音の周波数を求めることができる。

本教材では、クリアファイルの長さによって塩化ビニルパイプの長さを決めている。測定できる最も長い管長は、図 2 から分かるように、波長の 3/4 となる。そのため用いるクリアファイルの長さによって求められる周波数が変わる。クリアファイルは、A3、A4 のものが市販されているので、それぞれを用いた時に求められる周波数は、表 1 のようになる。

表1 用いるクリアファイルと測定できる周波数

クリアファイルの 長辺の長さ	閉管	開管
A4 横 (310 mm)	859 Hz より 高い音	859~1144 Hz
A3 横 (420 mm)	608 Hz より 高い音	608~810 Hz
A3 を開いて使用 (620 mm)	411 Hz より 高い音	411~823 Hz

※ クリアファイルは A4、A3 サイズの紙より少し大きいため、長辺の長さは製品により微妙に差がある。

使用する塩化ビニルパイプの長さは、このクリアファイルの長さと同じ程度の長さとなる (作製の際には、塩化ビニルパイプを出し入れしやすいうように、塩化ビニルパイプをクリアファイルより 10 mm 程度長くして作製した)。

表 1 の A4 横、A3 横では、クリアファイルの 2 辺を切り開き、1 枚のシートを使用した。A3 を開いて使用の場合には、A3 クリアファイルの短辺を切り、クリアファイルを開いて使用し、作製する。

開管の場合も、実験方法は閉管の場合と同じである。気柱の長さが最も短い状態から徐々に長くしていくと、音が共鳴し最初に大きく聞こえる音が基本振動、次に大きく聞こえる位置が 2 倍振動である。この場合の開管の気柱の固有振動 (横波表示) は図 3 のように表される。

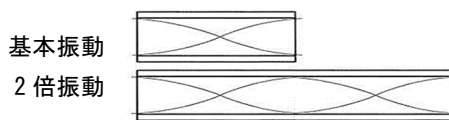


図3 開管の音が大きくなる音の波

開管の基本振動の時の管の長さを ℓ_1 [m]、2倍振動の時の管の長さを ℓ_2 [m] とすると、周波数 f [Hz]、音速 V [m/s] の関係は閉管の場合と同様に (4) のようになる。

$$f = \frac{V}{2(\ell_2 - \ell_1)} \quad (4)$$

このように、気柱共鳴装置を閉管、開管として使用した両方の場合において、筒をスライドさせて管の長さを長くしていき共鳴して音の大きさが大きくなる時を測定することで、音の周波数を求められることができる。

学習指導方法

I. 授業での実践

2023年1月に、福井県立藤島高等学校1年生「物理基礎」履修者に対し、気柱共鳴の学習後に、生徒に周波数が分からない音を「謎音」として示し、本教材を用いて「謎音」の周波数を求める学習を提示した。生徒は4人班で取り組んだ。授業の概要を表2に示す。

表2 授業の概要

内容・時間	生徒の活動
準備・説明 (15分)	・導入、原理・実践操作の確認
実験計画・実験 (25分)	・実験計画を立てる ・簡易気柱共鳴装置を用い「謎音」を調べ、周波数を求める
まとめ・片付け (10分)	・実験のまとめと振り返り

生徒は次のように装置を操作した。

- ①各班に Google Classroom で割り当てられた音源の振動数「謎音」を求めることを目的として示す。
- ②気柱共鳴管の管口にイヤホンを固定し謎音を鳴らす。
- ③管の長さを調整し、音が大きく聞こえる基本振動による共鳴を探す。
- ④管の長さを調整し、3倍振動による共鳴を探す。
- ⑤基本振動と3倍振動の管の長さの差から波長を求める。
- ⑥気温と音速関係から音速を計算する。
- ⑦音波の波長と音速、振動数の関係から謎音の振動数を計算する。
- ⑧謎音の答え合わせを行い、音階ド (523 Hz)、

レ (587 Hz)、ミ (659 Hz)、ソ (784 Hz) のいずれかが配布されていたことを伝え、測定結果と比較を行う。閉管で実験を行う様子を写真2に示す。生徒はパイプに耳を近づけ音を聞きながら、パイプの長さを調節している。音源の音を小さくしているため、共鳴した音は班員のみ聞こえる大きさとなっている。



写真2 実験中の様子

II. 実践結果

生徒が使用したワークシートの例を図4に示す。

生徒が実験計画を立て、その後実験を実施した。今回は、全ての班が閉管での実験を行った。

生徒が測定して求めた測定値から計算で求めた周波数と求める謎音の周波数、ずれとして測定値/謎音の割合を表3に示した。

班によって差はあるが、元の音に対して 84.1～110.7%の値を求めることができていたことが分かる。

本実験の結果から、多くの班にとって本装置を用いた測定により周波数の測定が可能であったと判断した。正しい周波数の値を聞いた生徒には、正しい値を得られなかったことに対し、どこにその原因があるか考える様子や、元の周波数に対して近い周波数を求めることができていたことが分かり、結果に満足している様子も見られた。

スマートフォンの騒音計アプリを使用するグループもあったが、周りの音も影響するため、教室で行う場合、人が聞いた方が正確な測定となっていたようである。

図4 ワークシートの例

また、日頃から楽器を演奏する生徒は音の高さを正確に聞くことに慣れているようで、実験を手早く行って測定し、比較的正しい周波数を求めることができていた。

以上のことから、本装置を用いた気柱共鳴の実験を行うことで、生徒は気柱共鳴の現象に興味を持ち理解を深めることができると考えている。

表3 測定結果とずれ

班	謎音 (Hz)	測定値 (Hz)	測定値／謎音の 割合(%)
1	523	550.6	105.3 %
2	523	439.6	84.1 %
3	523	537	102.7 %
4	587	591	100.7 %
5	587	600.9	102.4 %
6	659	658.3	99.9 %
7	659	729.6	110.7 %
8	784	787	100.4 %
9	784	836.8	106.7 %

実践効果

気柱共鳴の現象は、実際に実験すると、原理が分かっていても不思議に感じる生徒が多い。授業の後感想では、「開口端補正に関して、最初説明を聞いただけでは全然イメージできなかったけど、実際に実験をやってみると、その存在が感じられて理解できた。」「今回の実験で、開口端補正の存在を実感することができました。」「授業で習ったときは理解が浅くとても説明できるものでもなかったが実験を通して理解を深めることができた。」「教科書を読んだり授業を受けて、気柱共鳴の仕組みや気柱共鳴管を利用した振動数の求め方がいまいよく分かっていなかったけど、今回実際に実験することで詳しく知ることができた。」と記述していることから、実験を行うことで、気柱共鳴の現象の理解を深めていたことが分かる。「今回の実験を行ったことで、気柱内での共鳴がどのようなものなのかということがよくわかり、普段の生活の中でのこと（お風呂での波、部屋の隅で声が響く、など）でも、どうしてそれが起きているのかということに考えが向くようになったと思う。」のように、物理現象を生活と関連付けて考えることができたと感じている記述もあり、生徒が自ら手を動かして実験を行う重要性を感じる記述である。

以上のことから次のように結論付けた。

- ・本教材を用い、実験計画を自ら立案するなど探究的に取り組み、実験室内で同時に9班が波長を測定する実験を行うことができた。
- ・実験結果を用い計算を行うことで、周波数を求めることができた。講義を受けただけではイメージしづらい内容であるが、実験を通し気柱共鳴の現象の理解を深めることができた。
- ・物理の実験は、生活との関連が弱く、机上の学習になりがちであるが、本教材を用い音や波について生

活と関連付けることができてるのは、単純な構造の装置を使い、身近で見られる現象と関連付けやすいためだと考えられる。

その他補遺事項

大学で行った中高の理科教員免許取得を目指す学生を対象に行っている教育法の講義では、開管での実験を行った。写真3に学生が実験を行っている様子を示した。

音源は、学生のスマートフォンを用いた。スマートフォンに接続したイヤホンを、管の一方で学生が持っている。管の長さを調節する学生が、管のもう一方の端に耳を近づけて音を聞いている。耳を管の端に近づけて音を聞くため、比較的小さな音量でも測定が可能である。



写真3 開管で実験を行う様子

参考文献

- 1) 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編 平成30年7月。
- 2) 月僧秀弥，葛生伸，成行泰裕：応用物理教育，46，69-75（2022）。