

気柱共鳴実験から音の速さに気付かせる

西澤啓之（奈良学園登美ヶ丘高等学校）

あらまし

本校では高校2年生から文理選択が行われるので、高校1年生の「物理基礎」の授業では、理系の「物理」選択を考えている生徒から物理の履修が最後の文系希望の生徒までいる。だからこそ、「物理基礎」では、自然現象の法則に気付かせ理解することの喜びを感じさせたい。また、物理現象と物理に関する公式を考えさせ、さらに、理系の「物理」選択を希望する生徒には実験する面白さを味わわせたい。そのための「物理基礎」の実験の1つとして、制限時間を設けて班ごとに実験課題を達成させる方法を実践している。

キーワード

気柱共鳴装置、定常波、開口端補正、二酸化炭素、HFC-152a（1,1-ジフルオロエタン）、温度計

1 はじめに

「物理基礎」の教科書では、音波の分野のはじめに、音の速さ $V=331.5+0.6t$ (t [°C]: 空気中の温度) の式が掲載されている。この式を用いた問題演習に慣れてしまい、331.5になるときは空気中であるという条件を忘れてしまう生徒が多い。気柱共鳴実験を行うことにより、さまざまな気体によって音の伝わる速さが異なることを実感させたい。

2 目的

図1のような気柱共鳴装置（UCHIDA）を用いて、閉管の内部に生じる定常波による共鳴現象を利用して、音発信器の振動数を測定させる。その後、開口端補正を求めた班から、気柱内を空気ではなく、密度の異なる二酸化炭素やHFC-152aを用いて、同じような実験を繰り返させる。実験結果がどうなるかを、班ごとに予想させる。

授業時間は50分間で、5分で実験説明をし、45分で班ごとに実験を行わせる。45分の制限時間を設け、班ごとにレポートを書かせ、班の協力体制が必要であることを告げる。また、多くの実験課題をこなすことが良いのではなく、慎重に実験を行いデータを分析することが重要であることを認識させる。



図1

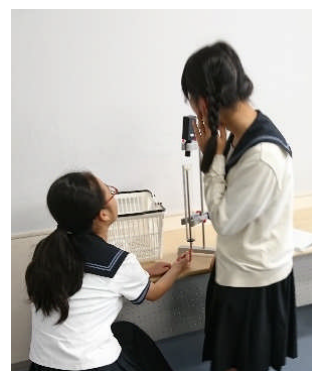
3 方法

- ① 気柱共鳴の実験を行い、気柱内に生じる定常波の波長 λ [m] と音発信器の振動数 f [Hz] を求めさせる。
- ② 閉管にできる音波の定常波について理解を

深め、開口端補正 Δl [m] を求めさせる。

- ③ ①, ②を計算した班は教員に報告させる。

- ④ 音発信器の振動数の測定値と、あらかじめ教員が調べておいた振動数を比較し、誤差5%以内ならば実験⑤に進ませる。



- ⑤ 誤差5%以内におさまった班に、二酸化炭素またはHFC-152aのガス缶のいずれか1つを渡す。
- ⑥ 空気中での実験と同様に、気柱共鳴装置を鉛直に固定する。気柱内に気体を封入して空気を追い出す。その際、それぞれの気体は無色無臭であるので、気柱内には多めに封入する。
- ⑦ ピストンを下げて測定するのではなく、ピストンは上昇させながら共鳴点を測定する。授業時間内に終わるため、1回だけの測定とする。
- ⑧ 実験①～④で得た振動数 f [Hz] を真の値として、気体中の音速を求めさせる。

4 結果

実験①～④までは、1クラス8班とも終了し、誤差は5%以内におさまった。いずれの班も5回以上は実験を行い、平均値を求めさせた。その結果は、割愛する。実験に慣れていない生徒が多く、教員が実験方法について丁寧に指導を行った。すべての班で進み具合が異なるので、教員1人でも8班を十分に回ることができた。8班のうち5班は制限時間内に実験⑤に進むことができた。その結果を次

の表 1 に示す。また、表 1 から求められる定常波の波長 λ [m] と音速 V [m/s] を表 2 に示す。

班	使用 気体	l_1 [m]	l_2 [m]	l_3 [m]	l_4 [m]	l_5 [m]
1 班	CO ₂	—	0.095	0.160	0.220	—
2 班	CO ₂	—	0.095	0.150	0.214	—
3 班	CO ₂	—	—	0.161	0.212	0.274
4 班	HFC-152a	0.026	0.082	0.135	0.182	0.234
5 班	HFC-152a	0.026	0.070	0.121	0.166	0.222

(表内の—は、測定不能)

表 1

班	波長 λ [m]	実験④で得た f [Hz]	音速 V [m/s]	温度 t [°C]
1 班	0.125	2209	276.1	25.0
2 班	0.119	2281	271.4	25.0
3 班	0.113	2203	248.9	25.0
4 班	0.104	2170	225.7	25.0
5 班	0.098	2200	215.6	23.0

(5 班のみ準備室で行った)

表 2

[参考 1] 媒質中での音の速さ (理科年表 2016)

物質	音速 [m/s]	温度 [°C]
空気 (乾燥)	331.45	0
二酸化炭素	258~268.6	0

[参考 2] HFC-152a

	HFC-152a
化学名	1,1-ジフルオロエタン
化学式	CH ₃ CHF ₂
沸点 [°C]	-24.1
飽和蒸気圧 [MPa, 25°C]	0.60
燃焼範囲 [vol%, 空気中]	4.0~19.6

<使用上の注意>

- ・引火性が非常に大きいので火気に十分注意して、火気のあるところでは絶対に使用しない。
- ・オゾン層を破壊することはない。
- ・人体に向けて使用しない。また、凍傷の恐れがあるので、皮膚にかからないように使用する。

5 まとめ

8 班中、制限時間 (45 分) 内に実験⑧まで終えた班は 5 班あった。そのうち、3 班が二酸化炭素、2 班が HFC-152a を用いて実験を行った。生徒たちは、他の班と競い合いながらも良い結果を得ようと慎重に行い、2 人または 3 人班で行うことでお

互い教え合い、また意見を出し合う活発な実験となった。単なる教科書の実験ではなく、たとえば気体が空気よりも重いか軽いかを考え、気柱への封入の仕方など、随所で生徒たちの工夫が見受けられた。

表 1 からわかるように、二酸化炭素は気柱の開口端付近では測定しにくく、HFC-152a は共鳴する位置がはっきりと聞き分けることができた。このことにより、二酸化炭素よりも HFC-152a の気体の方が気柱共鳴実験に優れていることがわかる。HFC-152a の場合、気体を集中して吹きかけることにより、温度が下がり少し液化して気柱内が気体で満たされやすくなるのではないかと考えられる。その際、気柱内の温度が実験室の気温ではない可能性が高く、今後の課題でもある。HFC-152a は、図 2 のように、エアダスター (サンワサプライ) として売られており、二酸化炭素より安価である。



図 2

また、物理実験としては実験の誤差は 3% 以内におさえたいところである。しかし、「物理基礎」の授業では、同じ実験を繰り返し行うよりも、誤差を 5% 以内として次の実験に挑戦しやすくし、次段階で技術面を習得してもらいたいと考えている。

高校 2 年生で「物理」を選択する生徒には、補足として次のことを伝えた。「音波は、周期的に疎と密を繰り返しながら気体中を伝わる (これは、「物理基礎」の範囲である)。気体分子の運動エネルギーは絶対温度に比例し、温度が等しい場合は質量に依存する。このとき、気体分子の密度が関係し、質量が軽い分子で構成される気体のほうが、音速が大きくなる。」このことが気になった数人の生徒が、放課後、実験室を訪れてきた。今回の気柱共鳴装置は少し短く、ヘリウムの実験には適していないが、波長が長くなることは観測できるので試しにさせてみた。気柱共鳴実験で、ヘリウム中の音速は 930 [m/s] となり、ほぼ年表に近い値が得られた。気になることをすぐに実験する姿勢は非常に大切で、その環境を実験室には常に準備するよう心懸けている。

6 最後に

昨年の 11 月に行われた大学入学共通テスト試行調査の問題を見ると、これまで通りの実験では対応しにくいように感じる。実験を通じて原理や法則を理解させ、考察力も養わせる必要がある。そのために、早いうちから物理現象に興味をもたせられるよう、今後も考えていきたい。