



目 的

「波動」は生徒の興味・関心が低く、知識の定着が難しい単位であるうえ、教科書に音波のドップラー効果について有効な生徒実験が取り上げられていないのが現状である。

小型電子ブザーを搭載した滑走体を力学滑走台上で走らせ、音のドップラー効果を定量的に確認させ、生徒の興味・関心を喚起し知識の定着を図ることを目的とした。

概 要

図1に示した装置を用いて、以下の方法で実験を行う。

- ①一定の振動数の音を発するブザーを搭載した滑走体を力学滑走台上で走らせる。
- ②ブザーの音を静止したマイクで受け、パソコンで音声信号を記録し、振動数を測定する。音源が静止しているときと動いているときの振動数を求める。
- ③滑走体の速度は、簡易速度測定装置「ピースピ」を用いて測定する。
- ④ドップラー効果の式から導き出された音速と、気温から計算された音速とを比較し、測定の不確かさを検討する。

なお、今回振動数を測定するために用いたソフトは、ナリカ社製「パーソナルアデステーション まなぼっと」である。

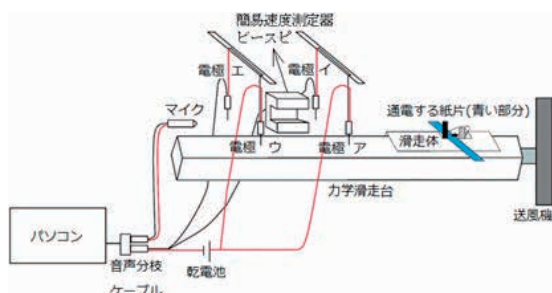


図1 実験の概要

教材・教具の製作方法

I. 材料

- ・モールド樹脂L型アングル 25 mm×25 mm×180 mm
- ・PET 樹脂シート 1枚
- ・小型電子ブザー 株式会社 村田製作所 (muRata) PKB24SPCH36012 2~20 V
振動数 約 3.6×10^3 Hz
- ・ボタン電池 (maxell CR1616 3.0 V) 4個
- ・通電用アルミ箔を張った簡易速度測定器反応紙片
- ・スイッチ

II. 作製方法

図2のようにモールド樹脂L型アングル (25 mm × 25 mm × 1000 mm) を長さ180 mmに切り、簡易速度測定器反応紙片、ブザー、ボタン電池、スイッチを取り付ける。このとき、簡易速度測定器反応紙片は通電するように表面にアルミ箔を張り付ける。

滑走体の質量が大きいと、滑走体は送風機からの空気圧で浮上して力学滑走台上を走行できない。ボタン電池を4個直列に繋いでブザーの動作電圧を確保しながら、全体の質量を約40 gと軽量化した。写真1は力学滑走台上に載せた滑走体を、写真2は小型ブザーとボタン電池部を示す。

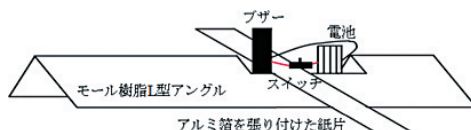


図2 滑走体



写真1 力学滑走台上の滑走体

* はうら けんじ 愛媛県立吉田高等学校 教頭 〒799-3794 愛媛県宇和島市吉田町北小路甲10 ☎(0895)52-0565



写真2 滑走体に乗せたブザー・電池部分

Ⅲ. 滑走体の速度の測定場所と振動数を測定する場所を一致させる工夫

ドップラー効果の式を定量的に調べるためには、滑走体の速度の測定場所と振動数を測定する場所を一致させなければならない。そこで次のように工夫した。

- ①簡易速度測定器の前後2か所に電極（図1のア～エ）を置く。滑走体が通過した時、滑走体に搭載した通電する紙片（図1の青い部分）が電極アとイ、電極ウとエに同時に接するように配置する。
- ②音声分岐ケーブルを用いてマイクと電極を並列に接続しパソコンのマイク端子に接続する。

滑走体の通電する紙片が電極に接していないときには、図1のように、パソコンにはマイクからの音声信号のみ入力される。

図3のように滑走体の通電する紙片が電極に接したときには、写真3の赤丸で囲んだように、パソコンにはマイクからの音声信号と電極からの電圧が加算されて表示される。滑走体は、この2か所の赤丸の間で簡易速度測定器を通過する。

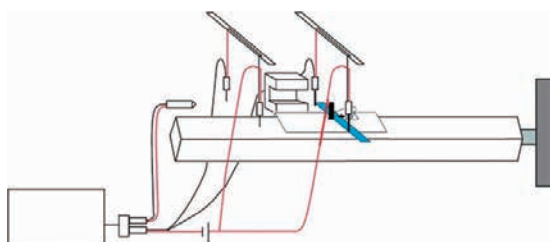


図3 滑走体の通電する紙片が電極に接したとき

学習指導方法

I. 予備実験

実験結果を次に示す。

写真3はパソコンの測定画面を示す。横軸は経過時間、縦軸は記録された電圧である。赤丸で囲んだ部分では他の部分より信号電圧が高くなり、滑走体に搭載した通電する紙片が電極ア・イおよび電極ウ・エに触れた時を示している。今回電極ア・イと電極ウ・エは

約 12.5 cm 離して設置している。一方、簡易速度測定器で測定した速度は 1.96 m/s であり、また、写真3の2か所の赤丸の時間差は約 0.067 s であることから、電極間の距離は約 13 cm と算出される。これは、設置距離 12.5 cm と矛盾しない。写真4と写真5は写真3の時間軸を拡大した図である。音声信号と電気信号が加算されて観測されている。写真4は滑走体の通電する紙片が電極ア・イと接したとき、写真5は電極ウ・エと接したときである。

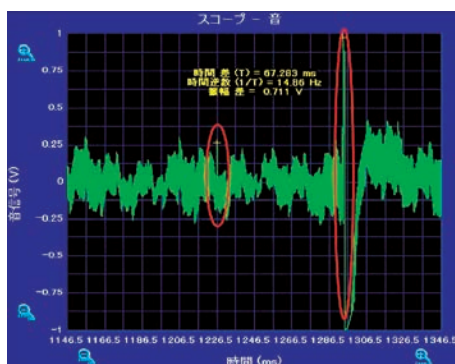


写真3 測定電圧の時間変化

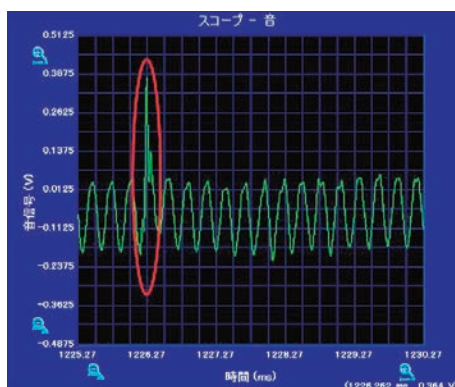


写真4 滑走体が電極ア・イを通過した前後の測定電圧の時間変化

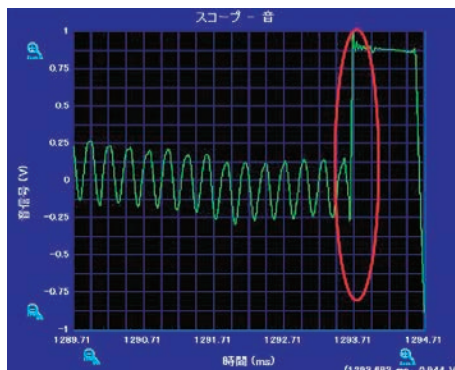


写真5 滑走体が電極ウ・エを通過した前後の測定電圧の時間変化

時間軸を拡大して6周期の振動数を測定した。滑走体が電極ウ・エを通過する直前の音波信号を写真6に示す。電極ア・イと電極ウ・エ間の5か所で振動数を測定し平均して、滑走体が動いているときの振動数とした。実験結果を表1に示す。気温 t での音速 V は、 $V = 331.5 \text{ m/s} + 0.6 \text{ m/(s} \cdot ^\circ\text{C)} t$ から求めた。

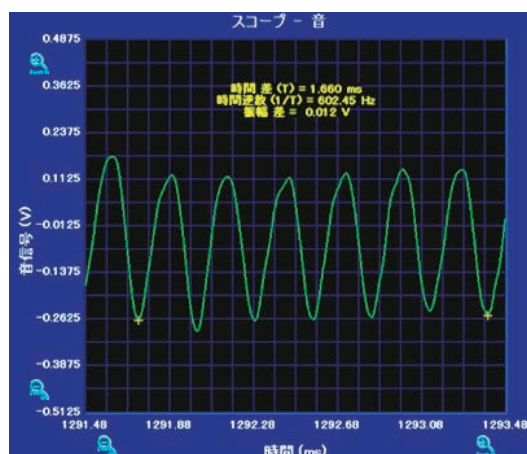


写真6 電極ウ・エを通過する直前の拡大画面

表1 予備実験の結果

		6周期振動数 (Hz)	振動数 (Hz)
1回	運動時	602.45	3614.7
	静止時	598.45	3590.7
2回	運動時	601.11	3606.7
	静止時	598.45	3590.7
3回	運動時	602.45	3614.7
	静止時	599.78	3598.7
4回	運動時	603.79	3622.7
	静止時	599.78	3598.7
5回	運動時	603.79	3622.7
	静止時	599.78	3598.7
平均	運動時	602.718	3616.3
	静止時	599.25	3595.5

ただし、この時の気温は26.2℃、簡易速度測定器の読みは1.96 m/sであった。

ドップラー効果の式に当てはめると、

- 運動時の振動数の予想値 3615.9 Hz
- 運動時の振動数の測定値 3616.3 Hz
- 予想値と測定値の差の絶対値 0.41 Hz
- 測定値から予想される物体の速度 2.01 m/s
- 測定速度の相対不確かさ 2.6 %

今回の実験では、ドップラー効果の式から導き出される音の振動数は3615.9 Hzである。測定値 3616.3 Hz

との差が0.41 Hzと小さく、ドップラー効果の式を確認することができた。物体の速度を式から導き出し、測定値と比較して不確かさを求めることも行った。音速、静止時の振動数から導き出した滑走体の速度は2.01 m/sで、簡易速度測定器による測定値1.96 m/sに非常に近い値となり、相対不確かさは2.6 %であった。

高校生の実験としては高い精度でドップラー効果の式を検証することができる。

II. 実践事例

以前の勤務校（愛媛県立八幡浜高等学校）では、2・3年生の理系クラスで物理を選択履修しており、2年生の年度末までに「波動」の単元を終了していた。そこで、平成27年度・28年度に2・3学期の授業で生徒実験・解析を実施した。また、平成27年度には、自然科学部の生徒研究で「音のドップラー効果についての研究」として3名の生徒を指導した。生徒はその研究を「第53回愛媛県児童生徒理科研究作品」と「第14回神奈川大学 全国高校生理科・科学論文大賞」に応募した。児童生徒理科研究作品では、努力賞を受賞した。

平成27・28年度とも理系2クラスのうち1クラスで授業内実験を行った。生徒26～30人を6班に分け、生徒実験を実施し解析させた。実験装置が1台しかないため、実験を実施した次の時間にデータ解析を行い、授業2時間を用いて実施した。

ただし、平成27・28年度は改良する前の実験装置を用いた。改良する前と後では次の点が異なる。

- ①生徒実験では「まなぼっと」のソフトが生徒人数分用意できなかったため、フリーソフト「振駆郎」を用いた。「振駆郎」は「まなぼっと」より測定時間間隔が長いので、50周期の経過時間を測定し、その逆数を50倍して振動数を求めさせた。
- ②測定用のパソコンにはマイクのみ接続し、滑走体に載せた電極は接続していない。そのため、速度の測定位置と振動数の測定位置は必ずしも一致していない。ただし、滑走体が1.4 m進むときの速度変化は5～8 %である。簡易速度測定器の設置位置は静止する手前の40 cm程度の位置であり、滑走体の長さを考慮すると、簡易速度測定器の読みとの違いは1～2 %程度以内であったと推定できる。

実験では、各班の生徒は滑走体を1回走行させ、滑走体の速度測定と、振駆郎のデータ保存を行った。なお、振駆郎の測定画面はプロジェクターで投影し、全員で確認した。実験の次の時間に、情報処理室で生徒一人に1台のパソコンを与え、実験のデータを読み込ませて実験解析を行わせた。生徒が振駆郎を操作するのが初めてであったことと、50周期の時間を測定しなければならないため、時間を少し長めに設定した。一人5回測定し平均をとることで振動数を求めるよう指示した。ただし、パソコンの操作に慣れていないため、3回の測定で終わった生徒もいた。

計算の時間を短くするためExcelを用いて解析を行わせた。写真7は生徒実験と実験解析の様子である。



写真7 生徒実験と実験解析の写真

生徒実験の12班の最終的な結果は次のとおりである。滑走体の速度の実測値（簡易速度測定器の読み）と、実験で得られた振動数と音速の式から求めた滑走体の速度の計算値を比較して不確かさを求めた。ただし、[相対不確かさ] = ([速度計算値] - [簡易速度測定器の読み]) / [簡易速度測定器の読み] の絶対値である。

(1) 平成27年度の結果

○簡易速度測定器	2.67 m/s	計算値	2.77 m/s
相対不確かさ	3.7 %		
○簡易速度測定器	2.65 m/s	計算値	2.49 m/s
相対不確かさ	6.1 %		
○簡易速度測定器	1.96 m/s	計算値	2.04 m/s
相対不確かさ	4.0 %		
○簡易速度測定器	1.63 m/s	計算値	1.84 m/s
相対不確かさ	13.1 %		
○簡易速度測定器	1.74 m/s	計算値	1.95 m/s
相対不確かさ	12.3 %		
○簡易速度測定器	1.00 m/s	計算値	1.04 m/s
相対不確かさ	3.7 %		

(2) 平成28年度の結果

○簡易速度測定器	1.63 m/s	計算値	1.71 m/s
相対不確かさ	4.7 %		
○簡易速度測定器	1.13 m/s	計算値	1.12 m/s
相対不確かさ	0.7 %		
○簡易速度測定器	1.69 m/s	計算値	1.68 m/s
相対不確かさ	0.6 %		
○簡易速度測定器	2.01 m/s	計算値	2.01 m/s
相対不確かさ	0.8 %		
○簡易速度測定器	1.14 m/s	計算値	1.12 m/s
相対不確かさ	1.5 %		
○簡易速度測定器	1.78 m/s	計算値	1.82 m/s
相対不確かさ	1.1 %		

ほとんどの班が相対不確かさ5.0 %以内の実験結果となり、高校生の実験としては十分な結果が得られ、ドップラー効果の式が成り立っていることが確認できた。なお、平成27・28年度の生徒実験では、ドップラー効果の式から求められる振動数の変化量と測定結果から求められる振動数の変化量を比較し、生徒に不確かさを求めさせたが、どちらの計算方法でも不確かさの値に大きな違いはなかった。

実践効果

I. 生徒の感想

実験レポートにあった生徒の感想に次のようなものがあった。実験に対して肯定的な感想が多かった。

- ・とても正確な値になったので、成功した良い実験であったと思います。
- ・ドップラー効果について、教科書で見ただけでなく、実体験を通して覚えることができました。
- ・今回の実験結果から、静止時と動いている時で振動数が異なり、近づくときに高く聞こえることが分かった。
- ・ドップラー効果が数値に現れ理論値通りの結果が得られ、誤差も小さかったので、変化をしっかりと感じることができました。
- ・パソコンを使って実験をしたのは初めてだった。自分たちでデータを取ってそれを自分たちでパソコンを使って分析したので楽しかった。

II. 予想される教育効果

予想される教育効果として以下の点が挙げられる。

- ・ドップラー効果を確認させることが容易である。
- ・コンピューターを用いることによって興味・関心を喚起することができる。
- ・音のドップラー効果の式を定量的に小さな不確かさで確かめられる。
- ・プロジェクターを用いて演示実験として実施することでデータを共有できる。

その他補遺事項

実験にあたっては、できるだけ電子ブザー以外の音が生じないようにすることが重要である。力学滑走台に空気を送るための送風機もできるだけ静かなものを用いる。

音声分岐ケーブルはアナログーステレオを用いる。

音速が約340 m/s、滑走体の速度が2 m/s程度であるため、測定回数を多くするほうがよい。