

簡易ドップラーボールの作製

溝上 忠彦

「ドップラー効果」の授業の導入で演示する市販の実験器具として、「ドップラーロケット」、「ドップラーブザーボール」等があるが、いずれも高価であり、手軽に購入できるものではない。そこで、教室内でドップラー効果を体感させるために安価で手軽に利用できる「ドップラーボール」を自作したので作製方法と実験器具の検証結果について報告する。

[キーワード] ドップラー効果 音源 音の変化 振動数 自作教材 安価で手軽

はじめに

ドップラー効果は高等学校物理の波動分野で扱われている。主な教科書では、救急車のサイレンが人に近付くときと遠ざかるときで音の高さが変化することが、単元の導入で記載されている。生徒もドップラー効果の現象は日常生活で体験しており、現象そのものには親しみがある。

しかし、ドップラー効果の現象を教室で演示実験するには、振り回したり投げたりできる「移動する音源」が必要である。市販されているドップラー効果の実験装置は高価で、1万円以上で販売されているものが多く、安易に購入することはできない。その結果、音源装置がないと理論の説明と演習で授業が終わってしまうことが多い。

そこで、この単元で少しでも授業中に実験ができるようにしたいと考え、安価で手軽に利用できるように音源と容器について工夫を重ね、「ドップラーボール」を自作した。

1 ドップラー効果の原理について

音源が動いたり観測者が動いたりしたときに、音の振動数が変化して聞こえる現象を、音のドップラー効果という。

音速を V 、音源の振動数を f 、音源の速さを v とすると、音源の前方の波長 λ_1 は

$$\lambda_1 = (V - v) / f$$

で表され、音源が動かないときの波長 λ より短くなる。また、音源の前方にいる観測者が聞く音の振動数 f_1 は

$$f_1 = V / \lambda_1 = f \cdot V / (V - v)$$

で表され、音源の速さが大きいほど、観測者が聞く音の振動数が大きくなるのがわかる。

また、観測者が聞く音の振動数 f_1 と音源の振動数 f の差 Δf は、

$$\Delta f = f_1 - f = f \cdot v / (V - v)$$

で表され、音源の振動数が大きい高い音ほど Δf が大きくなるため、振動数の変化が聞き取りやすくなる。

2 市販の実験装置について

教材販売会社で販売されている、ドップラー効果を演示する実験装置について紹介する。

(1) ドップラーロケット (図1)

この装置は、音源の入った「ロケット」にロープを2本通し、2人でロープの端を持ち、一方が2本のロープを開き、他方が2本のロープを閉じることによってロケットを移動させるしくみになっている。ロープの間を移動するので、落としたりぶついたりして壊すことはなく、装置自体は壊れにくい。2人が2本のロープを操作するタイミングが合わないとロケットが2人の間で止まってしまうことが多い。ロケットを移動させるのに慣れが必要である。音源の振動数は低めで、音の変化がわかりにくいところ

がある。

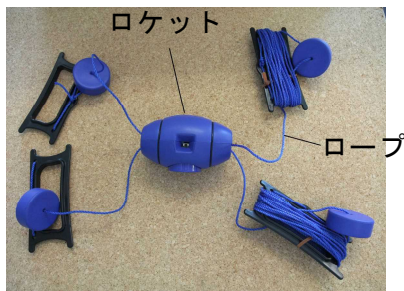


図1 ドップラーロケット

(2) ドップラーおんさ (図2)

音のドップラー効果によるうなりを教室等で簡単に実験するためのおんさである。うなりを観測しやすいようにおんさの固有振動数を高くしている(2000Hz)。おんさを壁の前で動かすと、おんさから直接きた音と、壁で反射してきた音の振動数の差によって生じる「うなり」を聞くことができる。純音なので、振動数の変化は聞き取りやすい。



図2 ドップラーおんさ

(3) ドップラーブザーボール (図3)

球形の容器の中に音源(電子ブザー)が入っており、先端にひもがついている。スイッチを入れ、音を鳴らしながら、ひもをもって音源を円運動させると、音源が近付くときと遠ざかるときで、音の高さ(振動数)が異なることを確認する装置である。重量は約185gであり、野球の硬式球(約140g)より重く、振り回すには重く感じる。長所は音の高さを変えられる所である。外側はプラスチックだが、落としても割れ

ないようにはなっていない。



図3 ドップラーブザーボール

3 装置の作製について

(1) 音源について

まず、単3電池を用いた音源を作製した。その後、いくつかの問題点を改善するためにボタン電池を用いた音源を作製した(図4)。

① 単3電池を用いた音源

単3電池1個用電池ホルダーの両端子に電子ブザー(DC1.5V~)を半田付けし、電池を入れて音を鳴らすようにした。

この音源は電池が衝撃により外れやすい、割れた音に聞こえるなどいくつかの問題点があった。

② ボタン電池を用いた音源

①の音源の問題点を解決するために電池とブザーを換えた。換えたブザーの電圧は3V必要だったので電池をCR2032ボタン電池に変更し、ボタン電池のホルダーには電源ボードキットを利用した。これにより、装置を小型化することができ、電池の外れやすさもかなり解消された。また、ブザーの音が高く、割れていないため、聞き取りやすくなった。

(2) 緩衝材(クッション)について(図5, 6)



図4 作製した音源(左が①, 右が②)

音源を中に入れて投げるための緩衝材（クッション）を数種類作製し、比較した。

① スポンジ2個

スポンジ2個で音源をはさみ、輪ゴムで固定する。スポンジは購入しやすく、音源をはさみやすい長所はあるが、輪ゴムで固定しているだけなので、中の音源が衝撃によりずれる。また、落下時に側面から落ちると、衝撃により音源の電池が外れることもある。

② バススポンジ

バススポンジ（16cm×8cm×5cm）の中に切り込みを入れ、音源を入れたものである。バススポンジは購入しやすく、音源をはさみやすい。比較的衝撃に強いので音源の破損の可能性は低い、軽くて大きいので速く投げにくい。



図5 スポンジの容器（左が①，右が②）

③ ラグビーボール型のクッション

フェルトのラグビーボールの中に音源を入れる。手のひらサイズなので投げやすい。音源を入れるには縫い目の糸をほどこき、音源の入り口を作らねばならないため手間がかかる。ここでは、入り口をふさぐのにマジックテープを使用した。また、衝撃に対する強さはスポンジほどではなく、つかむときにやさしくつかむ必要がある。

④ サッカーボール型のクッション

サッカーボールのクッション中に音源を入れる。ハンドボール程の大きさと投げやすい。衝撃に対する強さは③のラグビーボールよりは強いが、受けるときにはやさしくつかむ必要がある。音源を入れるには縫い目の糸をほどこき、音源の入り口を作らねばならないため手間がかかる。

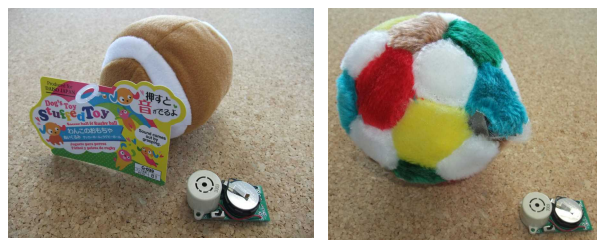


図6 ラグビーボールのクッション（左）とサッカーボールのクッション（右）

4 装置を使った演示について

今回作製した音源を用いて演示実験を行った。

(1) 緩衝材を変えた演示実験の検証

4種類の緩衝材にそれぞれ②の音源を入れてできるだけ回転しないように投げた。投げる前と投げて飛んでいるときの音を聞き比べると高さや音色が変化しているように聞こえた。比較的速く投げられる①のスポンジ2個で音源をはさんだものと、③のラグビーボールの中に音源を入れたものは音の変化が大きく聞き取れた。耐久性では、②のバススポンジが最も高く、他は多少不安がみられた。ラグビーボールとサッカーボールについてはフェルトのわたをさらに詰めると耐久性が増した。投げ方については、教室内の演示実験を想定し、5～6m先に届くようにした。スポンジやラグビーボールではドリルのようなスピンがかかると聞こえ方が変わるので、できるだけ回転しないように投げるようにした。

(2) FFTソフトによる実験結果

音の周波数の変化を調べるためのソフト「サウンドモニターソフト FFT Wave」を用いて音の振動数の変化を観測した。図7はマイク上で音源を左右に振ったとき、図8はサッカーボールのクッションの中に音源を入れて投げたときである。グラフの縦軸は振動数（下に行くほど高い）、横軸は時間である。表示されている振動数の範囲は3000～4000Hzであり、音源の振動数は3400Hz程度である。図7では音源がマイクに近付いたときに振動数が上がり、遠ざかった

ときに振動数が下がっていることがわかる。図8は、マイクの位置から音源を投げ、マイクから離れるときの音の振動数を観測したものである。投げた後の音では振動数の帯域が広がっていることがわかる。実際に音を聞くと、低く聞こえると感じた人もいれば、いくつかの音が重なって聞こえると感じた人もいた。人により感じ方は様々であった。

おわりに

室内で音源を移動させたときに聞こえる音を

耳で聞くと、外で救急車が通り過ぎたときのような聞こえ方とは同じようにならない。これは、室内では直接音だけでなく壁からの反射音による影響も無視できないのではないと思われる。また、装置の強度や形状、投げ方、受け方等、演示するときを生じる問題点についても検証を重ねたい。

今後も装置の工夫、改良を重ね、自作教材として安価で手軽に使える装置を開発していきたいと考えている。

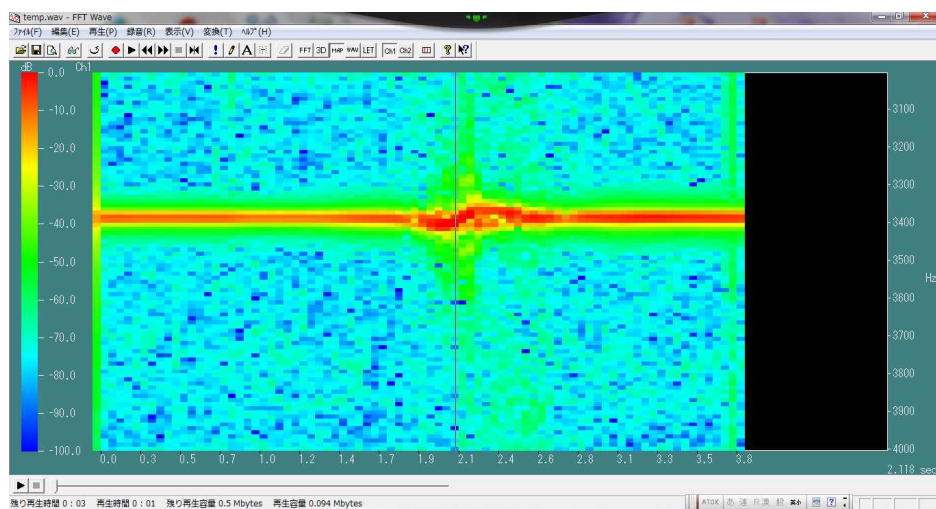


図7 音源を振った場合

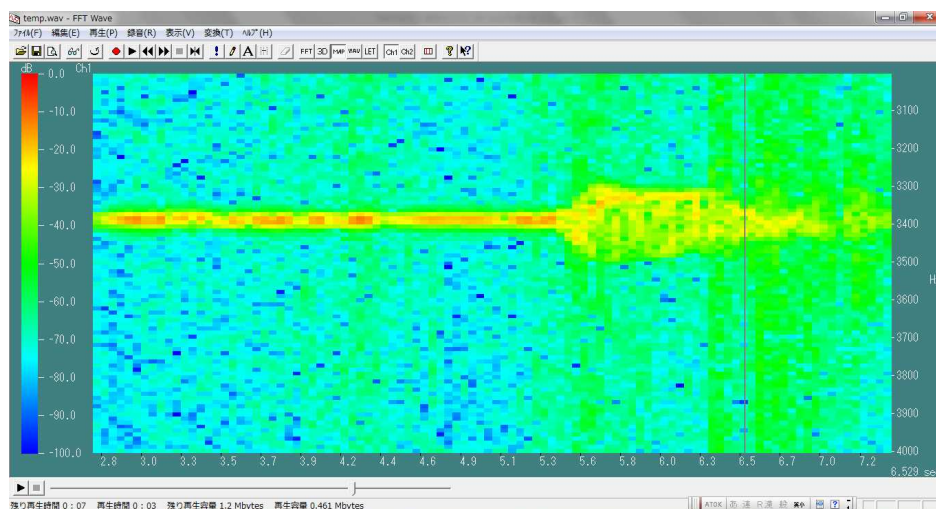


図8 サッカーボールのクッションに音源を入れて投げた場合

(みぞかみ ただひこ 物理研究班)

溝上忠彦