

授業実践

音響分野に関する演示実験装置の開発

—音響定常波観測装置と音響浮上装置—

小松原学園小松原高等学校教諭 吉村 時郎

はじめに

本校は埼玉県さいたま市にある、普通科と工業科からなる総合高校である。普通科では物理Ⅰ・Ⅱを選択でき、工業科では物理Ⅰを必修としている。本校工業科を始め専修高校での物理の授業実践は、進学コースでの受験指導とは違った意味で、生徒の興味を引くためにいろいろな工夫が必要である。今回は、平成3年から現在にかけて授業で実践してきた演示実験装置の中で、生徒の反応が特によく、現象への科学的理解の深まった2例について報告する。

1. 音響定常波観測装置

物理を学ぶ高校生にとって波動は多くの生徒が苦手意識を持つ分野である。特に音波は目に見えないこともあり、現象の物理的理解よりも公式の暗記に終始しがちである。そこで、音波の共振現象の波形を直接観察でき、生徒の理解と興味を引く装置を目指し、開発した。

1.1. 研究目的

これまでの音響分野における市販実験装置は、縦笛式共鳴装置など共鳴現象を対象にしたものが主流であり、これらは、共鳴現象の理解には役立つが、波形や音圧状態など音波を構成する因子を説明するときにやや不備があった。そこで、波形や内部音圧を観測でき、教室内での演示性に優れた低騒音な装置をめざした。

1.2. 装置概要

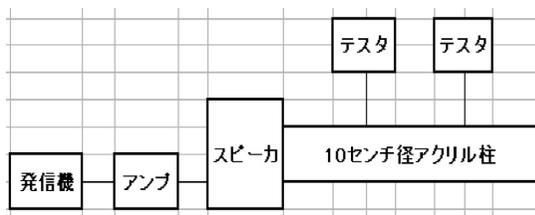


図1 装置概略図

本装置は『クントの実験』を応用したものであり概要は次の通りである。発信器より出た正弦波はアンプにより増幅され、スピーカーに送られる。スピーカーから出た音波は10センチ径、1メートル長のアクリル管内に定常波を作る。管内には2ミリ径の発泡スチロール球が一様にまかれており、定常波ができると、その影響により節から腹にかけて山の形に並ぶ。スピーカーとアクリル管の接合部は音漏れの無いように粘土で目張りがある。アクリル管には穴があけてあり、コンデンサーマイクとテスターにより内部の音圧状態が判るようになっている。概略図は図1の通りである。

1.3. 演示実験

本演示実験は次の事象の確認を行う。

- ① 入力周波数を変えると波形はどうなるか。
- ② 固定端反射と自由端反射の違い。
- ③ 定常波の腹と節での音圧測定と媒質粒子（空気構成気体分子）の運動状態との関係。

1.4. 結果と考察

実験①から③（結果図は図2から図6）を通し、次の事項が確認できた。

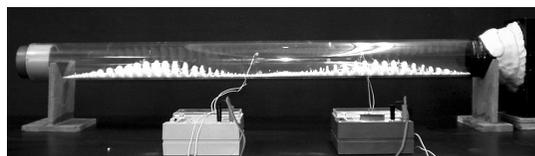


図2 固定端反射 1波長

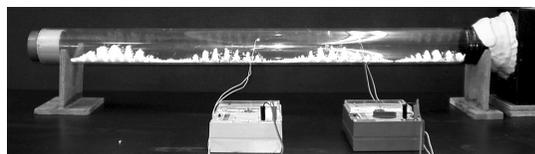


図3 固定端反射 2波長

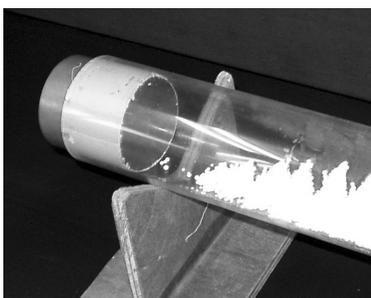


図4 固定端 銅柱 10cm 径



図5 自由端 ガーゼ

① 入力波の振動数が基本振動数の整数倍で高くなるに従い、できる定常波の山の数が増える。(図2, 図3)

② 固定端では入射波と反射波の位相が π ずれていることから、媒質粒子の変位が無く、節ができています。自由端では位相のずれがなく、端から少しはなれたところに腹の中心ができてることが判る。(図4, 図5)

腹の中心部分と節の中心部の音圧測定を行うと、腹では音圧の変化は見られないが、節ではコンデンサの抵抗値が大きく変化する。(図6)。以上の結果から、発泡スチロールの状態を観測すると音響定常波は次のようにまとめられる。

③ 発泡スチロール球は節から腹の部分に縞状に並び、山を作る。腹では媒質である空気が激しく振動し、節では空気の振動は見られない。

また、音圧を腹と節と比べると、腹の音圧は0に近く、節の音圧は最大になっている。これは、音波が媒質粒子の運動とそれにより発生した音圧の変化量から構成されていることを示している。

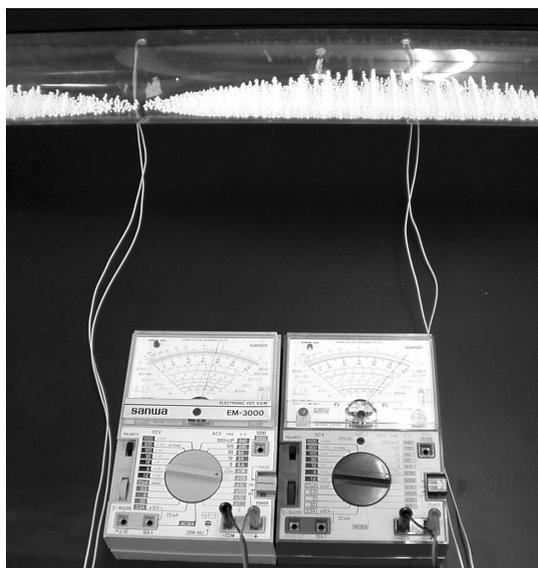


図6 内部音圧の測定

これらを、エネルギーの観点から考えると、腹では媒質(空気)粒子の運動エネルギーが最大であり、音圧の変化は無いため、音圧による位置エネルギーは0である。これに対して節では、媒質(空気)粒子の運動は見られないため、運動エネルギーは0であり、音圧による位置エネルギーは最大である。このことは音響定常波においてベルヌーイの定理が成り立つことを示している。

1.5. 装置作成における改良点と問題克服

クントの実験装置の大型化は多くの方々を取り組んだ分野で、教科書や実験書などにも解説が載っている。しかし、装置の騒音問題、大型スピーカーの必要性、静電気の発生など克服すべき問題も多く、教育現場での実用性としてはどれも満足のいくものではなかった。特に高校物理教科書の教師用解説本には『共鳴装置にスピーカーをつける場合、開口端補正のため管の径に比例した距離を離すこと。』と明記してあり、装置完成の妨げになった。完成までの主な問題点とその対策・改良点は以下の2点である。

① 低出力アンプでの成功と騒音問題

スピーカーとアクリル管はしっかりとつなぎ、粘土で目止めする。スピーカーボックスの背面には3センチ厚の反響板を取り付ける。こうするこ

とで音響エネルギーが管内に閉じ込められ、管内の音響放射圧が高まる。節から、腹に向かって発泡スチロール球が移動するのはこの静圧によるもので、エネルギー密度が高いほど大きくなるからである。(※音響放射圧は、腹を中心に発泡スチロール球が縞状に立ち上がる現象の原因ではない。) また、密閉されることで音漏れも軽減でき、騒音問題は解決された。

② 静電気問題

アクリル管内に発生する静電気で発泡スチロール球が張り付く現象は、市販の静電気除去剤(エレガード)を塗布することで解決した。

1. 6. 授業を通して

授業では開口端の定常波を見せるとき、自由端反射では発泡スチロール球がどうなるか、あらかじめ予想させた。多くの生徒は『発泡スチロールは吹き出される。』と予想したが、結果は予想を裏切り、綺麗に並ぶ定常波にどよめきが起こった。また、本装置により、音波を構成する2つの大きな因子[媒質粒子の変位と音圧の単位時間当たりの変化量]の関係がはっきりと確認でき、生徒が音波に関して科学的理解をしやすくなったと考える。進学理系のクラスではベルヌーイの法則や連続の方程式に簡単に触れ、音響学が流体分野のひとつとして発展してきたことにも触れた。

2. 音響浮上装置

2. 1. 研究目的：音響定常波について学習した後に応用技術の紹介として、近年、宇宙空間でのセラミックス合成などに使われている音響浮上装置を市販のスピーカーを用いて作成した。

2. 2. 装置概要：図7に示すとおりである。

2. 3. 実行結果：最大2.2グラムのピンポン球を長時間、安定浮上させることに成功した。(図8)

まとめ

2つの装置を利用した授業を通し、生徒の音波に対する興味は確実に向上したように思える。生徒はどんな実験でも、現象のはっきり見えるものに興味を抱きやすく、物理嫌いの多い文系クラス

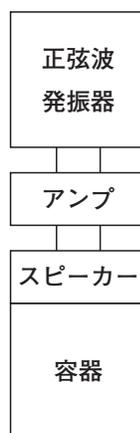


図7 装置概要

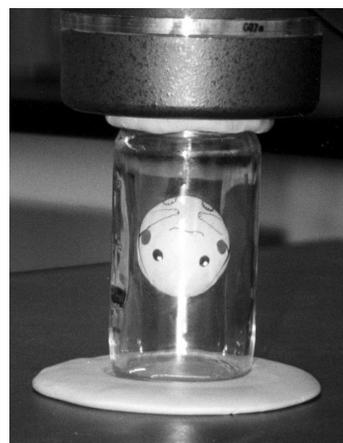


図8 浮上結果

でも好評であった。本装置は構造が簡単で再現しやすく、ぜひ、多くの教育現場で使われることを願っている。

今後の展開

本装置が完成して以来、疑問に考えていることは発泡スチロール球の並ぶひだの幅と山の高さである。媒質の運動が何らかの影響をしていると考えているが、結論付けた論文はない。今後は煙等を入れ、原因を突き止めたい。

参考文献

- 1) 金原寿郎編 一般物理学 第7章波動 裳華房
- 2) 物理学辞典編集委員会編 物理学辞典 クントの実験 培風館
- 3) 理科年表 丸善社

謝辞

本装置完成にあたり、東京理科大学理学部加納誠、柳沢三憲、両先生から多大なるご支援をいただいたことをここで御礼申し上げます。