

音波の干渉を目で見る ～音波の干渉模様を画像化して観察～

熊本県立熊本北高等学校 大野 滋, 犬童 紀応
本校理数科 瀬戸口 瑞穂, 西嶋 美里, 廣末 沙紀, 前田 百合子, 山村 秋沙

1. はじめに

音波も水面波のように干渉するが、音の強弱は耳で確かめるかマイクで拾いオシロスコープで確かめる必要がある。しかし、水面波のように干渉模様を目で確かめることができない。そこで、スピーカーから出た音波を干渉させ、その干渉のようすを画像として観察しようと試みた。この試みは本校理数科の課題研究の一環として、生徒たちを中心に行われたものであるが、容易に授業での演示が可能と思えたので、その内容についてここで紹介させていただく。

2. 測定の原理

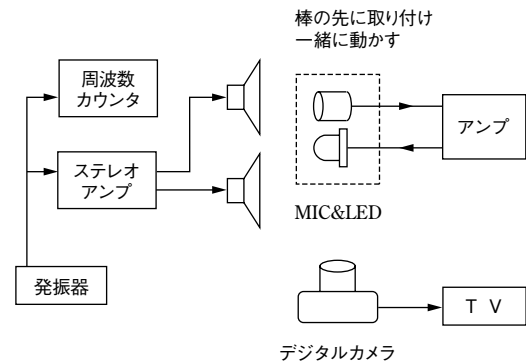


図1 測定のようす

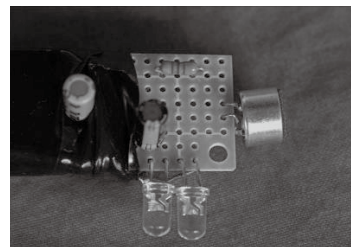


図2 マイクとLED

図1のように、発振器で発生させた正弦波をオーディオ用のアンプで増幅してスピーカーを鳴らす。

図2に示した小さいマイク(コンデンサーマイク)で音波を拾い、アンプで増幅してLEDを光らせる。LED用のアンプは小出力でよく、スピーカーの代わりにLEDを接続する。このとき2つのLEDはたがいに極性を逆にして並列接続し、アンプとの間には25Ωの抵抗を直列に入れる。このマイクとLEDとを一緒に取り付けた棒を動かすことで、その地点の音波の強弱が光の強弱となって表れる。これを、数十秒間シャッターを開放したデジタルカメラで撮影し、テレビ画面に表示する。

今回用いたアンプやスピーカーは、学校にあったものを使用し、LEDとマイク(イーケイジャパン, AP-207とNT-5)はキットを購入した。

3. 実験結果と考察

(1) 定常波の観察

ア) スピーカーの極性が同じとき

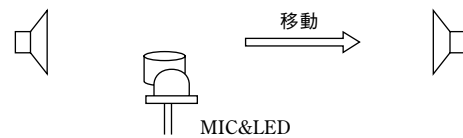


図3 定常波を測定するようす

図3のように2つのスピーカーを向かい合わせて配置し、同じ振動数の音波を発すると、この間に定常波が生じる。この間を、マイクとLEDを取り付けた棒を一定の速さで移動させることで、できている定常波のようすを観察することができる。振動数が1000Hzのときのようすが図4である。



図4 1000Hzの定常波

スピーカー間の中央部が強められ、その両側に弱められた部分が存在している。この実験の演示は容

易であり、縦波の定常波の強めあう部分と弱めあう部分を視覚的に見せることができる。また、弱められている間の距離が1/2波長になっていることは、両スピーカー間の距離とこの写真から確認できる。

しかし、両スピーカーからの距離の差が3/2波長の点がこの写真には写っていない。これはスピーカーからの距離に差があるので、減衰のため両スピーカーから届く音量が等しくならず完全に打ち消しあっていないことが原因である。そこで、きれいな写真を撮るためには左右のスピーカーからマイクに入る音量が同じになるように、棒の移動に合わせて左右のスピーカーの音量を調整する必要がある。音量を調節して振動数を2000Hz, 3000Hz, 4000Hzと変えて得られた画像は図5のようになる。

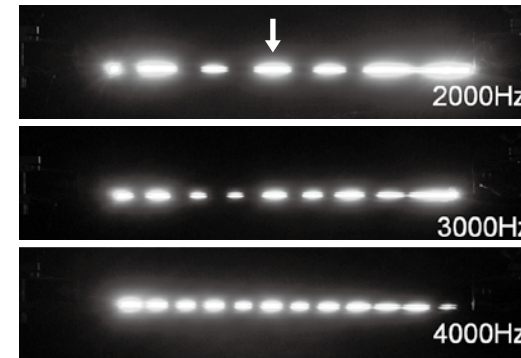


図5 2000Hz, 3000Hz, 4000Hzの定常波

いずれも中央部(矢印)が強めあっていて、波長が短くなると強めあっている区間がせまくなっている。

なお、この実験では不思議な現象に気づいた。その一例を図6に示す。矢印で示した点は何度撮影しても他の明るい点より極端に暗くなった。特に、3000Hzのとき、この傾向が顕著に表れた。この現象は床、壁や天井からの反射波が影響していたと考えられる。

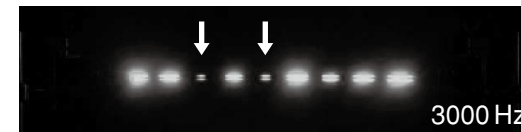


図6 3000Hzの定常波

イ) スピーカーの極性が逆のとき

片方のスピーカーとアンプとの接続の正負を逆にして、一方から「疎」が出たとき他方からは「密」が出るようにすると以下のようなようになる。

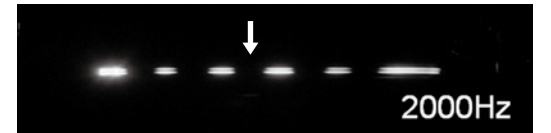


図7 極性を逆にした2000Hzの定常波

図7は一例で、振動数が2000Hzの場合である。中央部(矢印)が弱めあいてその両側が強めあっていて、前述の同位相のときは逆になっていることが確かめられる。

(2) 干渉模様の観察

ア) 同位相のとき

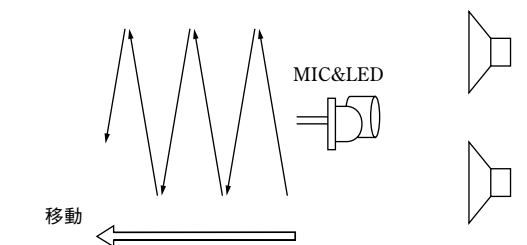


図8 干渉模様の測定のようす

図8のようにスピーカーを縦に並べて同位相の音波を発生させる。スピーカーの前面を、マイクとLEDを付けた棒を上下に動かしながら後退して、音波の干渉による強弱の分布を調べる。

この実験では、一定の速さで棒を上下しながら一定の速さで後退するのは困難なので、きれいな写真を撮るために、図9のように棒を上下する役割の人は台車に乗せたイスに座り、もう一人がゆっくりと台車を一定の速さで動かすことにした。



図9 実際の測定のようす

振動数を 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz と変えて得られた画像が図 10 である。

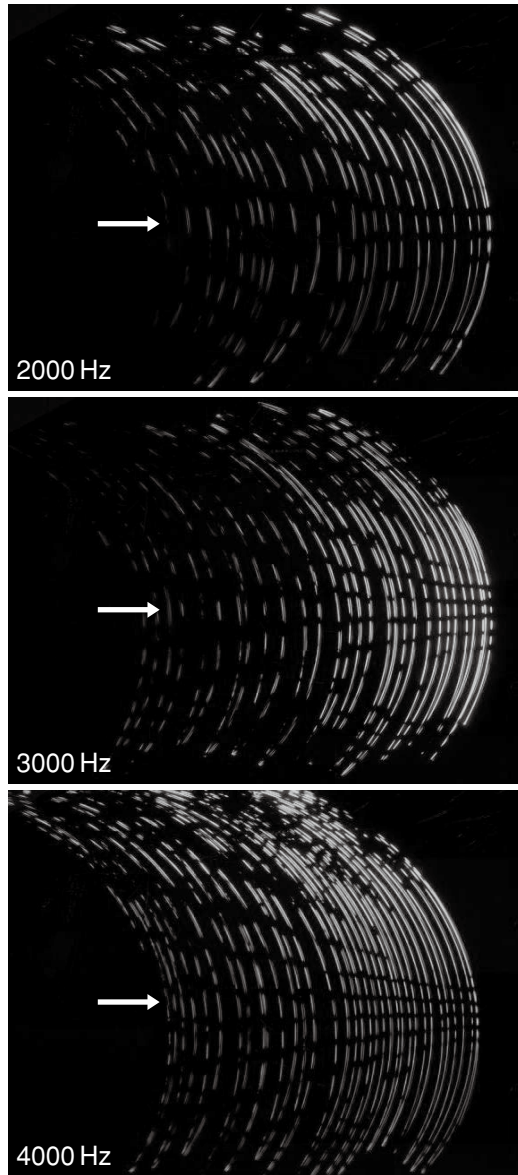


図 10 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz の干渉模様

いずれの画像もスピーカーから等距離になる垂直二等分線上が強めあい(矢印), その上下に弱めあっている部分や強めあっている部分が曲線状に分布している。振動数を高めると, この曲線の数が増加するのがわかる。

この干渉模様を見せるためには写真を撮る必要があるが, 強弱の分布を見せるだけなら容易に演示することが可能である。

イ) 逆位相のとき

片方のスピーカーのアンプとの接続の正負を逆にするので, スピーカーの動きを逆にしていたがいに位相が 180° 異なる音波を発生させて干渉させることができる。

図 11 はその一例で 4000Hz の画像である。

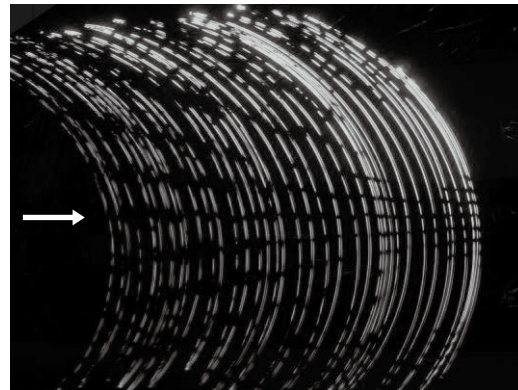


図 11 極性を逆にした 4000Hz の干渉模様

両スピーカーを結ぶ直線の垂直二等分線上(矢印)は弱めあい, その上下に強めあっている部分が曲線状に分布していて, 前述の同位相で音波が出ているときとは干渉のようすが反対になっていることが写真からわかる。

ウ) スピーカーに対して垂直な平面上の音波の強弱

図 12 のように, スピーカーを上下に取り付け, 同位相で動作させてその前方 30cm の X-Y 平面上の音波の強弱を調べる。マイクと LED の付いた棒を, X-Y 平面上を上下させながら X 軸の負の向きに移動させる。

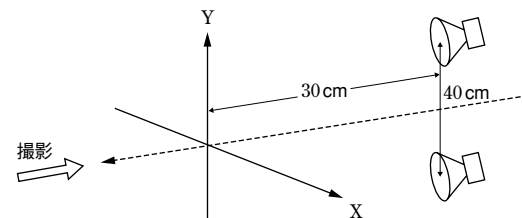


図 12 測定の様子

その結果が図 13 である。上下対称に干渉模様ができている, 両スピーカーから等距離になる X 軸上は強めあっていることがわかる。



図 13 スピーカーと垂直な平面での干渉模様

スピーカーからの距離をいろいろと変えて測定すれば, 強めあう箇所・弱めあう箇所の立体的分布が判明すると考え, 無料の数式処理ソフト (Maxima) とグラフ描画ソフト (gnuplot) による 3 次元の干渉模様を作成した。そのグラフが図 14 である。

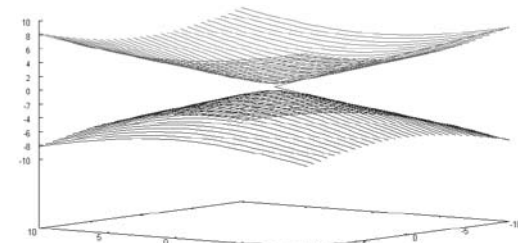


図 14 音の干渉模様の 3 次元表示

図 14 は 3 次元での音波の干渉模様を表したものである。ここでは見やすくするため, 強めあう干渉の面を 2 つしか表示していない。通常高校の教科書に記してある干渉の式は 2 次元での式だが, 3 次元で考えた場合の干渉の式は以下の式となる。

$$\left| \sqrt{x^2 + (y+a)^2 + z^2} - \sqrt{x^2 + (y-a)^2 + z^2} \right| = m\lambda$$

$$(m = 0, 1, 2, \dots)$$

図 13 の画像は上記の式の $z = 30\text{cm}$, $a = 20\text{cm}$ での X-Y 平面の画像となる。撮影の条件を変えることで, 音波が空間で干渉していることを確かめられる。

(3) 床での反射の影響

床近くにスピーカーを置き, 床での反射の影響を調べた結果が図 15 である。

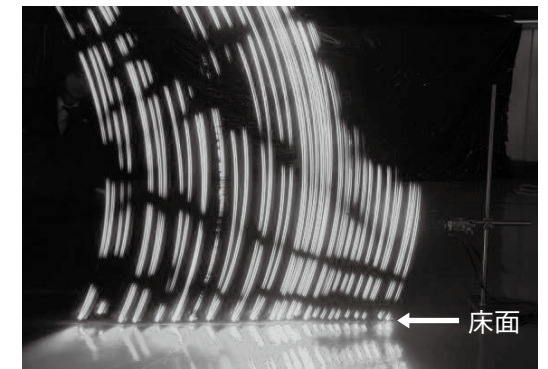


図 15 床での反射波との干渉模様

図 16 のように, あたかも床面と対称な位置にもう一個のスピーカーがあるかのような干渉模様であり, 反射の法則が成りたっていることがわかる。また, 床面のすぐ上では音波が強められていることがわかる。時間があれば, 音波(縦波)の床での反射について考えさせてみるのもおもしろいかもしれない。

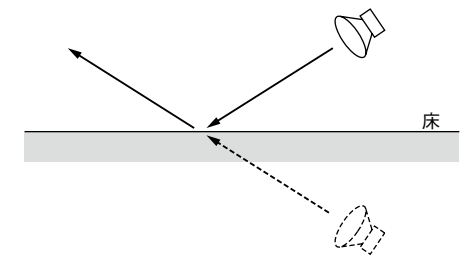


図 16 反射波との干渉の考え方

4. おわりに

音の干渉を視覚的にとらえることにより, 生徒たちはよりわかりやすく・感動的に波の干渉について理解できたのではないと思う。今回の実験を多くの方に行っていただければ幸いです。最後に本実験を行った生徒たちの感想をここに記しておきたいと思う。

- 係全員が協力することで, 最終的に予想以上のきれいな写真が撮れてよかった。
- 反射の影響が少ない場所での実験を行いたいと思った。