

## 黒板実験「音波の干渉」

神奈川県立厚木高等学校 水上 慶文

### 1. はじめに

音波の干渉(入射波と反射波による定常波、気柱の共鳴、二つの円形音波による干渉)の様子を授業中に黒板上で明確に提示できる演示実験を紹介する。

原理を表す図の上でマイクを動かすことで音波の干渉が理論通りになっていることをダイレクトに示せるため、数式を使わなくても原理を容易に説明できる。また、黒板上で板書とともに演示することで生徒に「教科書や問題集の図が動き出す」ように感じさせ、「授業を聴けば物理の教科書や問題が分かる。難しい問題も教科書をじっくり読めば解ける。」という信頼感を持たせることができる。

誰でも手軽に実現できるように、木工作+市販の器具+無料で得られるソフトで実験を組み立てた。

### 2. 器具の説明と信号の流れ

#### 2.1 信号の流れ(各実験に共通)

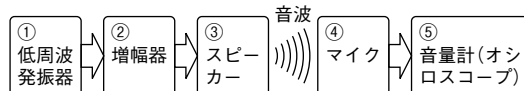


図1 信号の流れ

#### 2.2 おもな器具の説明

##### ① 低周波発振器

振動数をデジタル表示できるタイプが良い。ここでは「パソコン+発振器ソフト」を利用した。「理科ねっとわーく(<http://www.rikanet.jst.go.jp/>)」の中の「映像と音声分析・合成ソフトで学ぶ『音・波動教育用デジタル教材』」にある「はつね(発音)」(無料、画面は図2)



図2 発振器ソフトの画面

##### ② 増幅器

オーディオアンプを使用した。(BOSE1705 II (20W×2), 売価23,000円)

##### ③ スピーカー

以下a~cの3種類を用意した(図3)。aとbは12mm厚の板をL字型に組んだものにスピーカーを取り付ける。底面にはマグネットシート(板磁石)を貼って黒板に設置する。配置の自由度を高めるためにコードは2mにした。

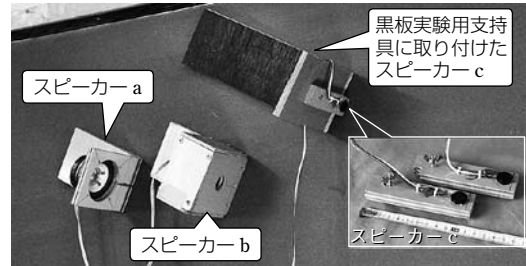


図3 3種類のスピーカー

スピーカーa(1個): 板にスピーカーを取り付けただけのもの。音の定常波や気柱の共鳴で使用する。

スピーカーb(2個): 波長10cmの音波が球面波となるように、開口部の直径を2.5cmとし、後方に音が出ないように開口部以外を板で覆った。

スピーカーc(2個): 圧電スピーカー(秋月通商で通販、2個1組で100円)を板に両面テープで貼り付ける。振動数が3~5kHzの範囲なら波形が歪まず、二つの円形音波による干渉の演示だけでなく十分に使える。安価で製作も簡単なので紹介する。⑨の黒板実験用支持具にビスと蝶ナットで取り付ける。

##### ④ マイクとマイク用延長コード(2m)(図4)

マイクa: パソコン用マイク(900円程度)の裏側に磁石を取り付ける。マイクの先端に赤いビニー

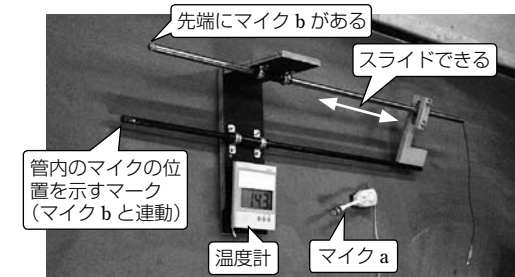


図4 2種類のマイクと温度計

ルテープを巻いて位置を認識しやすいようにした。マイクb: 管内の定常波の様子を観察する。ネクタイピン用マイク(ソニーECM-PC50, 2,500円)を外径約12mm、長さ約90cmの金属パイプの先端に取り付ける。これとマイクの先端位置を示す棒を「コ」の字形に組む。これらをL字形に組んだ板+塩ビパイプで支え、スライドできるようにした。

※2m程度のマイク用延長コードを使うと配置の自由度が増す。また、パソコンのマイク入力端子の感度が低い場合はマイクアンプ(audio-technica AT-MA2, 売価5,000円など)が必要である。

⑤ オシロスコープ: 音量計として使う。ここでは「パソコン+オシロソフト」の方式とし、ソフトは①の発振器と同じコンテンツの中にある「しんくろう(振駆郎)」を利用した。(画面は図5)

※この方式にすると、『①発振器+⑤オシロスコープ(音量計)』の機能をパソコン1台でまかなえる。さらにマイクやアンプとの接続も市販の接続コードが使えるため、特別な工作が不要である。

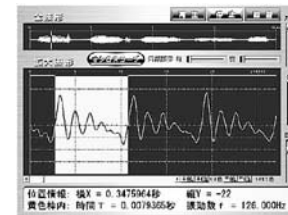


図5 オシロソフトの画面

##### ⑥ 温度計(図4)

$v = 331.5 + 0.6t$ の公式を用いて正確な音速を求める。デジタル式で表示が大きいものを探した。

##### ⑦ 原理図

必要な図を描画ソフトで作成し、A3判の紙に印刷してラミネートコーティングした。ホワイトボード用マーカーで書き込めば、何度でも使える。また、マグネットシートで黒板に貼り付ける。

##### ⑧ 気柱共鳴用塩ビパイプ(図6)

口径90mmφ長さ約50cmの塩ビパイプを、「コ」の字型に組んでマグネットシートを貼った木枠に取り付け、黒板に設置して使用する。一端に蓋をすれば閉管になる。

##### ⑨ 黒板実験用支持具(図7)

厚さ12mm、10cm×30cmと10cm×15cmの板をL字型に組み、長い方の板にマグネットシートを貼り付ける。1kg程度のものを支えることができる。反射板やスピーカーcを黒板上に設置する際に利用する。

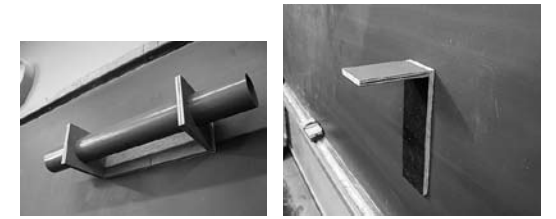


図6 気柱共鳴用塩ビパイプ 図7 黒板実験用支持具

### 3. 実験と授業

#### 3.1 固定端での入射音と反射音による定常波、節や腹における疎密変化、マイクの性質

この3点を次の手順で同時に学習する。

① (プリント作業)波長λの入射波と固定端における反射波によって生じる定常波を描く。その結果、固定端は節、そこからλ/2間隔で節が現れることがわかる。

(図8)黒板上にスピーカーa・反射板・5cm間隔の線を引いた原理図をセットし、プリントの答として定常波をホワイトボードマーカーで描く。

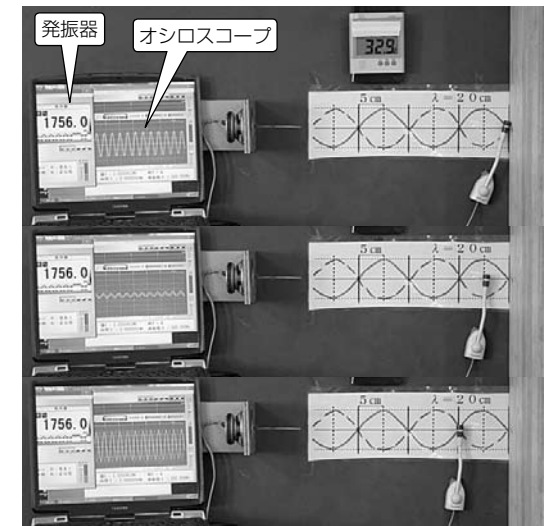


図8 固定端における定常波

② (プリント作業)疎密波による定常波では、疎密の変化が節で最大・腹で最小になることを導く。

③ (教師の言葉)「マイクは空気のスチ密の変化を検出するので、オシロスコープに接続すれば、節で振幅が極大、腹で極小になる。実際に見てみよう。」

④ (実験)温度計で気温t[°C]を確認し→スピーカーから波長λ=20cm(振動数 $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{331.5 + 0.6t}{0.2}$

[Hz])の音を出す。(図8ではt=32.9°Cなので、f≒1756Hzになる)→マイクaを動かしてオシロスコープの振幅が節で極大、腹で極小であること

を確認する。

### 3.2 自由端での入射音と反射音による定常波

- ① (プリント)自由端に生じる定常波を作図する。  
→自由端は腹
- ② (図9)器具(スピーカー a, 塩ビパイプ, マイク b, 原理図)を配置し, 管内に波長 20cm の音波を送る。腹(極小)の位置を特定してから原理図を貼り, 図 10 のようにプリントの答を描く。→マイク b を動かして答の通り(オシロスコープの振幅が腹で小, 節で大)になっていることを示す。なお, 腹が開口端より外に出ている(開口端補正が生じている)ことも確認できる。

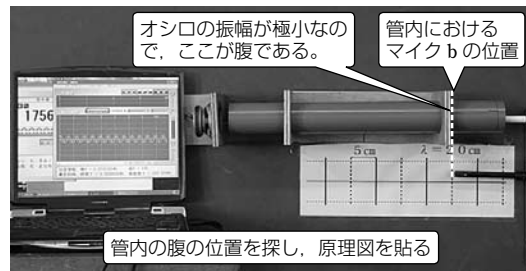


図9 自由端に生じる定常波を確認する実験

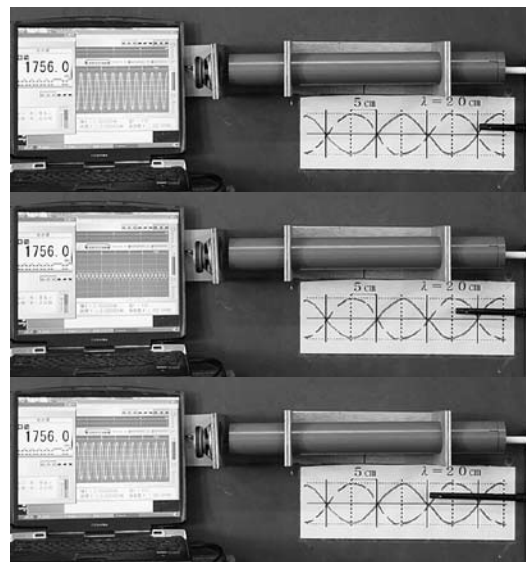


図10 オシロの振幅は腹で極小, 節で極大

### 3.3 開管内の気柱共鳴に関する演示

- ① 共鳴振動数を測定する: 図 11 のように器具を配置し, スピーカーから小さい音を出す。振動数を高くしていき, 共鳴して音が大きく響きオシロスコープの振幅が極大になるときの振動数(基本振動数  $f_1$ )を測定する。さらに振動数を高くしていくと一旦音は小さくなるが, 2 倍振動数  $2f_1$  に

なると再び共鳴し, オシロの振幅も極大になる。同様に 3 倍振動数  $3f_1$  を測定する。

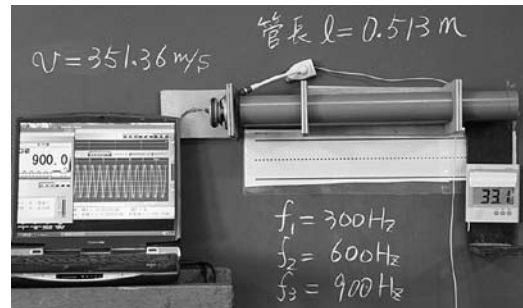


図11 開管の共鳴振動数を測定する

- ② (図 12)3 倍振動のとき, マイクを b に替えて管内の腹の位置(オシロの振幅が極小)を探して管内の定常波を描く。

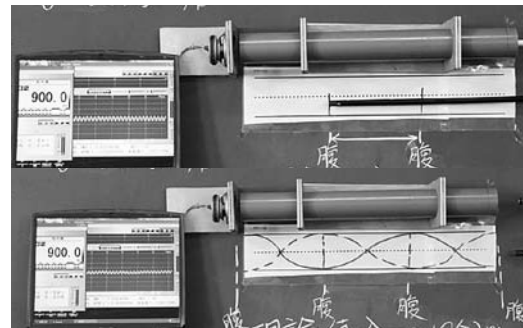


図12 腹の位置を探して定常波を描く

- ③ (図 13)マイク b をスライドさせて, 内部の様子が描いた図の通りになっていることを確認する。(オシロの振幅は節で極大, 腹で極小)

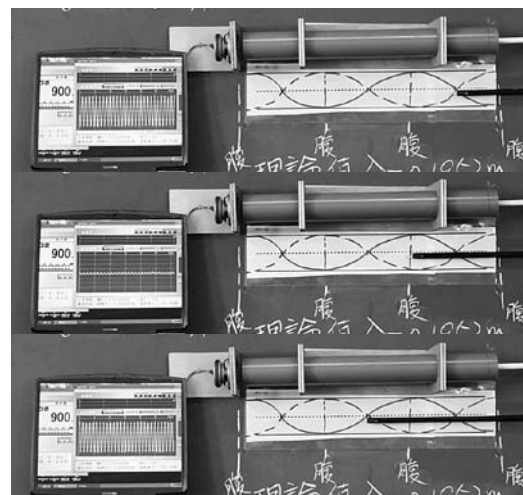


図13 節と腹が図の通りであることを確認する

### 3.4 閉管内の気柱共鳴に関する演示

- ① 共鳴振動数を測定する(図 14): 塩ビ管に蓋をし

て閉管とし, 共鳴振動数  $f_1, f_2, f_3$  を測定する。

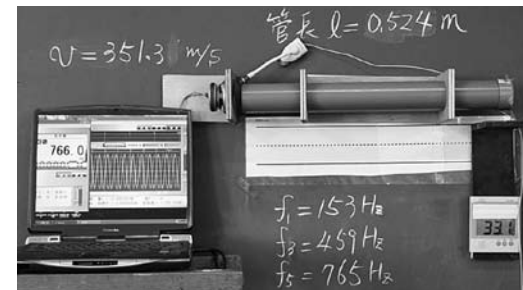


図14 閉管の共鳴振動数を測定する

- ② (図 15)蓋をマイク b を通す穴付きのものに取り替え, マイクを b に替える。前節と同様に腹の位置を決めてから管内の定常波を描き, 内部の様子が理論通りであることを確認する。

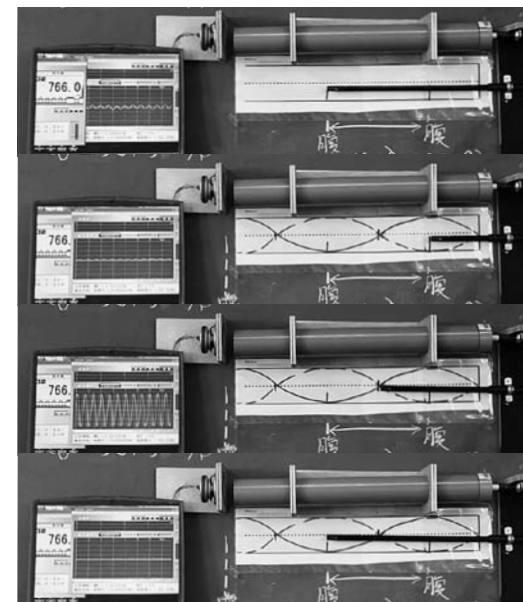


図15 節と腹が図の通りであることを確認する

### 3.5 二つの円形音波による干渉の説明と演示

- ① (図 16)温度計, スピーカー c×2 又は b×2 と原理図( $\lambda=10\text{cm}$  の音波を表す二組の同心円群, 中心間隔  $d=20\text{cm}$ )を黒板に貼る。

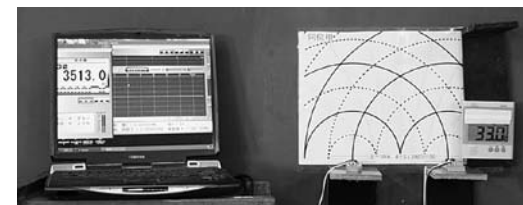


図16 同位相の円形音波の干渉を演示する

- ② (図 17)プリントに節線と強め合う線(本稿では『腹線』と呼ぶ)を作図させ, 模範解答として原理

図に節線と腹線を描く。

- ③ 続いて二つのスピーカーから波長 10cm, 同位相の円形音波を出し, マイク a を動かして干渉の様子が図の通りになっていることを確認する。

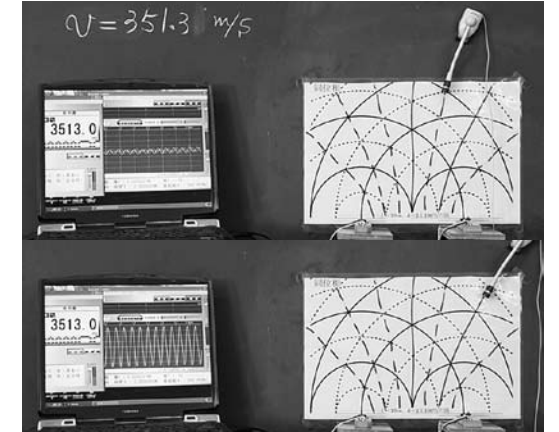


図17 理論の確認(同位相)

- ④ (図 18)次に二つの音を逆位相(二つのスピーカー結線を互いに逆極性にする)にし, 原理図も逆位相のものに取り替える。

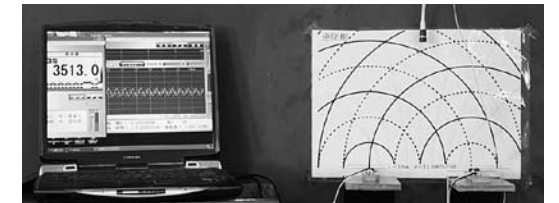


図18 逆位相の円形音波の干渉を演示する

- ⑤ (図 19)プリントに節線と腹線を作図させ, 模範解答を原理図に描く。(腹線と節線が同位相の場合と逆になる。)マイク a を動かして干渉の様子が図の通りになっていることを確認する。

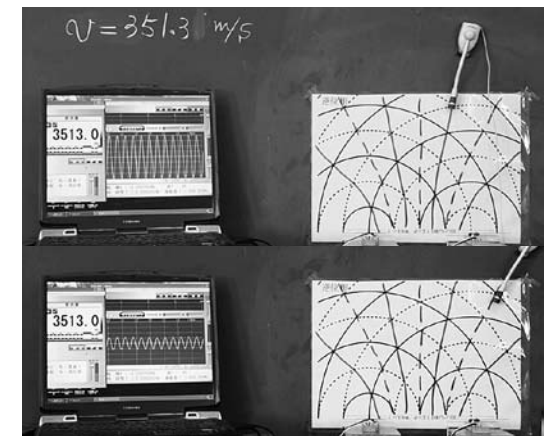


図19 理論の確認(逆位相)