

物理基礎「波」

～探究活動を念頭に置いた授業設計～

東京学芸大学附属高等学校
西村壘太

※授業は昨年度、東京学芸大学附属国際中等教育学校で実施

発表内容

- 授業の概要
- 探究活動の前の授業
- 探究活動の概要
- 生徒の成果物とその評価の例
- まとめ

実験デザインを主体とした授業設計

教科書通りに実験し、決まった結論にたどり着くのではない。

生徒自身が考え、判断していく。失敗して、遠回りすることもある。「探究の過程」を行き来する。結果的に生徒の資質・能力の育成につながり、正しい判断に導く。

探究していく中で科学的理論の理解不足を感じたら、生徒自らが知識や概念を獲得していけばよい。私たち教員は、教えるのではなく、生徒を探究の道程に導くのである。

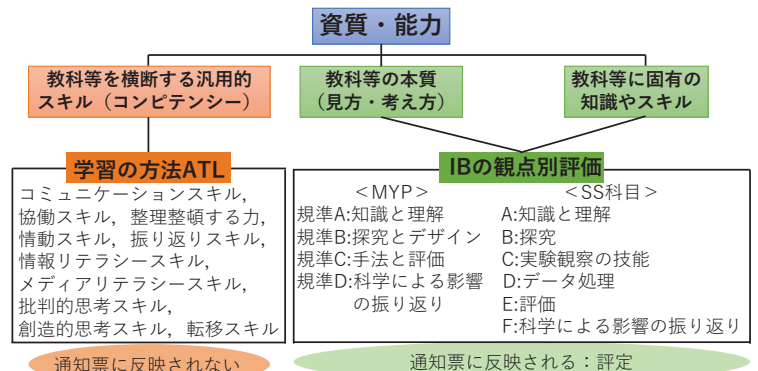
東京学芸大学附属国際中等教育学校: TGUISS実験デザイン集 国際バカロレアの趣旨に基づく探究的な理科授業, サンプルセス, (2020).

アドバイスいただきたいこと

- これから発表する物理基礎の波の授業が、前ページの授業設計に合致したものかどうか。
- 合致していないとすれば、何をどうすればより良く改善できるか。
- 例えば、波の単元で、他にどのような課題設定が考えられるか。
- (発表中、随時) 波の通常授業部分についてのアドバイス



本校理科としてどのように資質・能力を整理しているか



ルーブリックを用いた観点別評価

例) MYP規準B：探究とデザイン

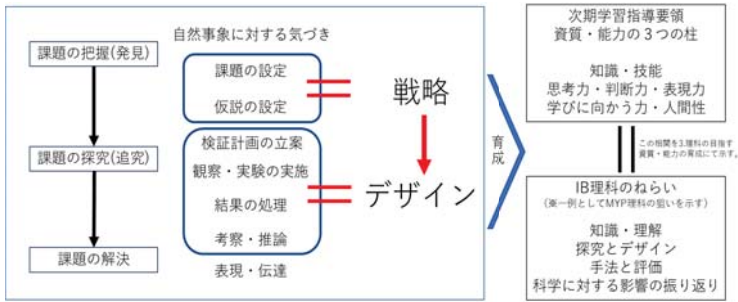
	ISS.1 (1年次)	ISS.2 (2年次)	ISS.3 (3年次)	ISS.4 (4年次)
0	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。
1-2	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な予測を導く。 II. 実験について準備する。 III. 完全な材料、方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な予測を導く。 II. 実験について準備する。 III. 完全な材料、方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な予測を導く。 II. 実験について準備する。 III. 完全な材料、方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験を準備する。 III. 適切な材料、方法をデザインする。
3-4	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。 科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な予測を導く。 II. 実験について準備する。 III. 完全な材料、方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。
5-6	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。 科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な予測を導く。 II. 実験について準備する。 III. 完全な材料、方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。
7-8	この要領以下の内容を理解し、実践し、思いやりのある態度で学ぶことができる。 科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 検証可能な予測を導く。 II. 実験について準備する。 III. 完全な材料、方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。	科学的研究によって検証する問題とは問題について述べる。 I. 科学的理論を用いて、検証可能な仮説の検証を導く。 II. 実験の準備方法を記述する。適切なデータ収集方法を記述する。 III. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。 IV. 適切な材料、設備を選択するための完全な方法をデザインする。

本校における探究的な理科授業

	本校での対象生徒	内容
MYP	1~4年全員	各学年において、すべての生徒は、評価規準B（探究とデザイン）および評価規準C（手法と評価）に対して評価される科学的探究を独力で完了させなければならない。
DP	5, 6年でDPを選択した生徒	内部評価課題(IA)として科学的探究を実施し、レポートを提出する。5つの評価規準(主体的な取り組み、探究分析、評価、コミュニケーション)によって、レポートが評価される。生徒に教師と率先して話し、アドバイスをもらうよう指導。教師は草稿を一度読み、口頭または文章で指導（編集、推敲はNG）。
SS理科	5, 6年一般プログラム生	MYPおよびDP両方の特徴を生かし、各科目において科学的探究を実施するとともに、それを評価するための評価規準を本校独自に設定。

評価規準の観点「探究」⇒必然的に「探究的な理科授業」へ
(目標と評価の一体化)

本校における探究的な理科授業



SS物理基礎

- 対象：5年生（高校2年生相当）一般プログラム生
- 単位数：2単位
- 教科書：実教出版 物理基礎 新訂版
- 授業形式：ピア・インストラクション型授業、生徒実験

1年間の学習内容（予定）

学期	主な学習内容	総合的評価課題（観点）
1	力と運動	テスト (A) 【実験】 力と質量と加速度 (C,D,E)
2	熱、波・音	テスト (A) 【実験】 音速の測定 (B,C,D,E)
3	力学的エネルギー 電気回路 放射線	テスト (A) 【レポ】 エネルギー家計簿 (F)

目で見える現象を対象に、「科学の方法」の獲得を目指す。

五感で感じる現象を物理的に定義し、検証可能にする。

五感で感じられない現象を、新たな物理量やモデルを構築することで検証可能にする。

※上記以外の実験や小テスト、振り返りも適宜行う（形成的評価）

2学期の大まかな流れ

授業時数	内容	キーワード
1 (本日)	オリエンテーション	
3~9	熱 (教育実習生の授業)	温度、熱、比熱、熱力学第一法則、など
10~15	波の性質、音	波長、振幅、周期、速さ重ね合わせ、など
2, 16~20	探究：音速の測定	音速

五感で感じる現象を物理的に定義し、検証可能にする。

<総括的評価課題>
音速の測定

• スケジュール

授業内容等	1組	2組	3組	4組
調査	9月9日	9月9日	9月9日	9月9日
熱、波の授業	9月10日～11月19日			
実験、ポスター製作	11月25日	11月25日	11月25日	11月20日
	11月26日	11月26日	11月28日	11月25日
	12月2日	12月2日	12月2日	11月27日
中間報告会	12月3日	12月3日	12月5日	12月2日
実験、ポスター製作	12月9日	12月9日	12月9日	12月4日
期末テスト	12月10日～12月13日			

- 成果物：ポスター（A3一枚+補足資料A4一枚）
- 〆切：2020年1月7日（火）PDFをメール提出(メールアドレス)
…ということで2学期の通知表に載る成績は、「**期末テストのみ**」です…

波の授業の単元指導

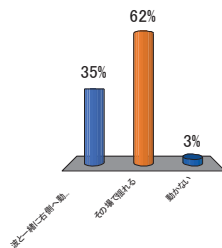
1. 波とは何か
2. 波が出会うとどうなるか
3. 弦楽器の仕組みとは
4. 音波とは（音の三要素の実験）
5. 管楽器の仕組みとは（気柱共鳴の実験）
6. 管楽器の仕組みとは（気柱共鳴の実験分析）
7. ~11. 探究：音速の測定

1. 波とは何か



長方形の容器に水を張り、水面に小さな発泡スチロール球を浮かべる。左側の水を揺らし、波を起こす。波が来たとき、発泡スチロール球はどうか？

1. 波と一緒に右側へ動いていく
2. その場で揺れる
3. 動かない



ウェーブマシンで作った波の観察

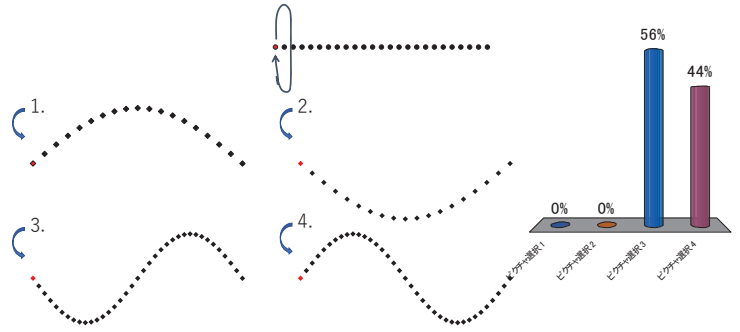
ウェーブマシン全体では、いかにも波の形が平行移動していくように見えるが、1本1本の棒に着目すれば（**その場で上下に振動している**）ことがわかる。

つまり波とは（**振動が周囲に伝わる**）現象である。

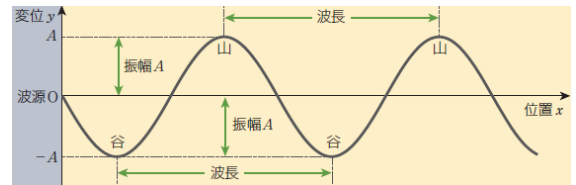
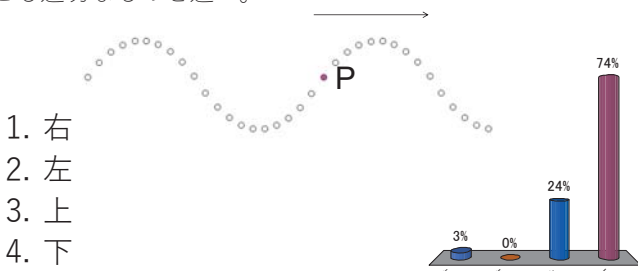
波を発生させるものを（**波源**）

波を伝えるものを（**媒質**）

ウェーブマシンで、左端の媒質を矢印のように振動させて生じる波として、適当なものを選び。



下図はある時刻における、**右へ進む横波**の様子を表したものである。媒質Pはこのときどちらの向きに動いているか。もっとも適切なものを選び。



波形の最も高いところ…**山**

波形の最も低いところ…**谷**

変位の最大値…**振幅 A**

Amplitude

波1つ分の長さ…**波長 λ**

※振動数と周期の関係

媒質が1回振動するのにかかる時間…**周期 T** (Time)
 1秒間に媒質が振動する回数…**振動数 f** (frequency)

1回振動するのに0.20秒かかる
 ↓
 周期
 ↓
 1秒間の振動の回数は5回
 ↓
 振動数

振動数と周期の関係は？

$$f = \frac{1}{T}$$

①媒質が1回振動するごとに **1** 個作られる
 →波は λ た 進む：

②媒質が1回振動するのにかかる時間は T である：**時間**

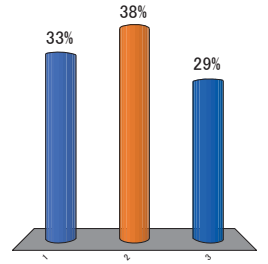
①・②より、波の伝わる速さ v は

$$\text{速さ } v = \frac{\text{キヨリ}}{\text{時間}} = \frac{\text{波長 } \lambda}{\text{周期 } T} = \text{波長 } \lambda \times \text{振動数 } f$$

2. 波が出会うとどうなるか

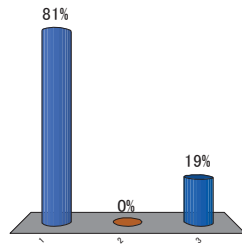
左右から波を送って、波が出会った後、どうなるか。

1. はねかえる
(自分の波が自分の所へ返る)
2. ほぼ消える(消滅)
3. 波がすりぬける
(相手の波が自分の所へ来る)



(実験結果) 左右から波を送って、波が出会った後、どうなっていたか？

1. はねかえる
(自分の波が自分の所へ返る)
2. ほぼ消える(消滅)
3. 波がすりぬける
(相手の波が自分の所へ来る)



実験を考える

波が出会うと

はねかえる?? すりぬける??

決着を着けるためには、
どのような実験をすればいいだろうか??

みんなの考え

- 波の大小を変えてぶつける
- 一方を山、他方を谷にする

☆波の独立性

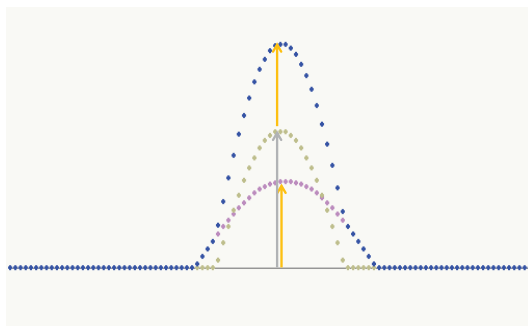
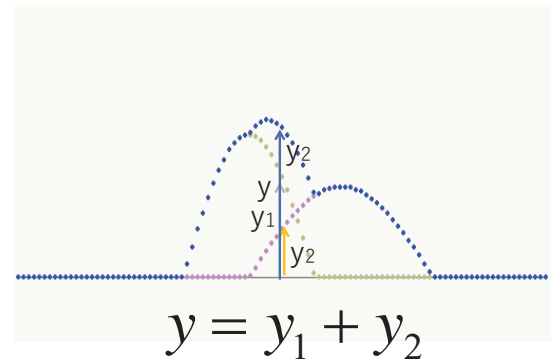
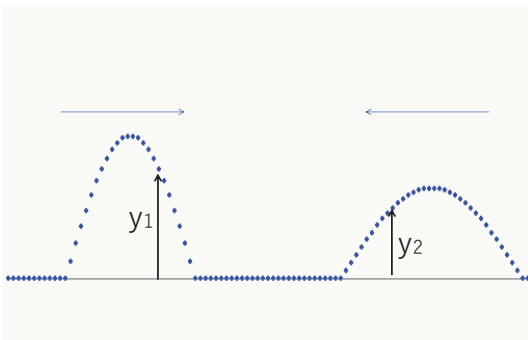
- 2つの波が出会うとき、たがいに他の波の進行を妨げたり、他の波に影響を与えたりすることはない。

波が出会っている最中は??

☆波の重ね合わせ

- 2つの波が出会った場所における変位 y は、それぞれの波が単独で伝わる時の変位 y_1 、 y_2 の和になっていることがわかる。

$$y = y_1 + y_2$$



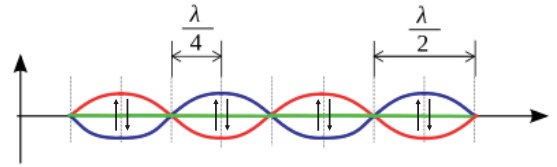
重ね合わされるそれぞれの波の変位

$$y = y_1 + y_2$$

波が重なり合っできる波（合成波）の変位

定常波のシミュレーション

つるまきばねの両端から①(同じ波長)・②(同じ振幅)の波を送り続けると、大きく振動している③(腹)と、あまり振動していない④(節)ができて、右にも左にも進まない波ができる。このような波を⑤(定常波)という。



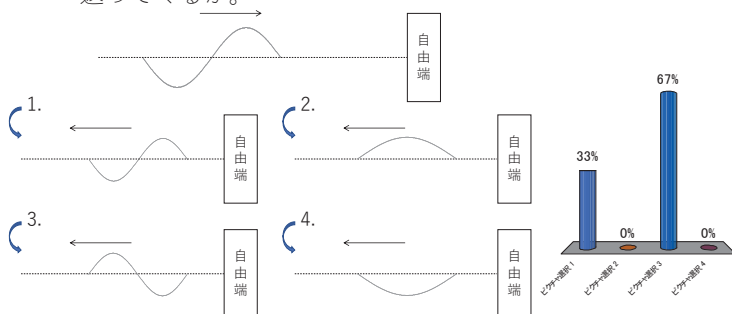
(予想)
ウェーブマシンで山のパルス波を送ると、反射するか？

1. 山で返ってくる
2. 谷で返ってくる
3. 反射しない
4. その他

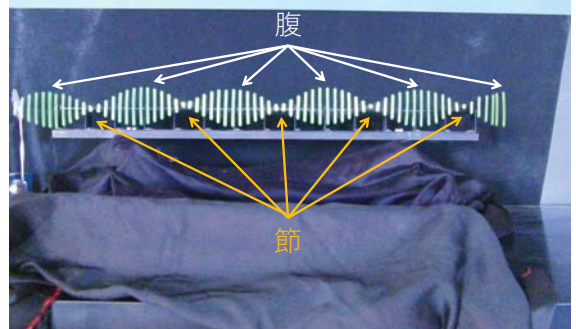
<実験結果のまとめ>

- 「自由端反射」
 - 端の媒質が自由に動ける
 - 山で送った波は山で、谷で送った波は谷で返ってくる。
- 「固定端反射」
 - 端の媒質が固定されている
 - 山で送った波は谷で、谷で送った波は山で返ってくる。

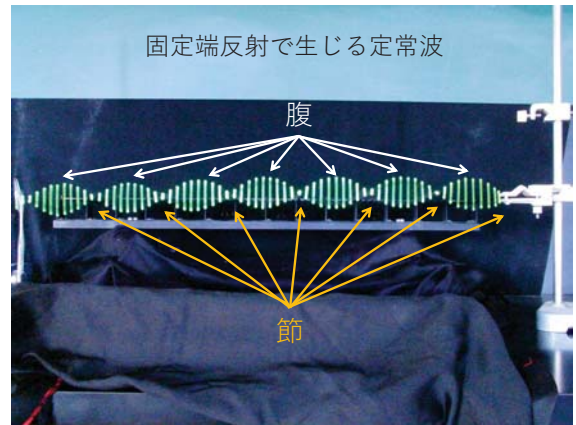
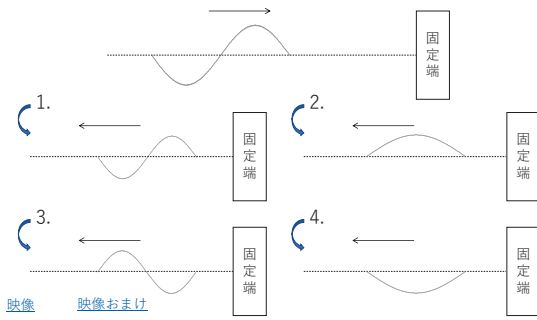
下図のような波が自由端反射すると、どのような波が返ってくるか。



自由端反射で生じる定常波



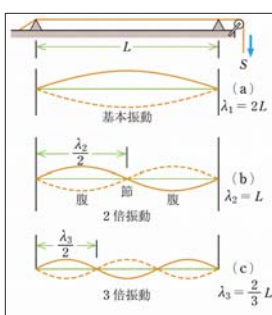
下図のような波が固定端反射すると、どのような波が返ってくるか。



• 演示実験：弦に生じる定常波

3. 弦楽器の仕組みとは

実験1. 定常波ができるときの振動数

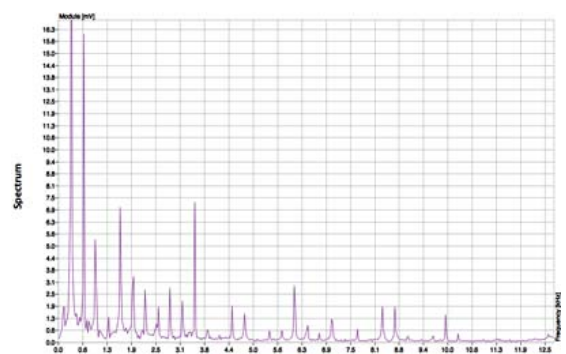


$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

定常波ができるときの波長は、とびとびの値になる。

http://www.mns.kyutech.ac.jp/~kamada/heat_waves1.htm

音色の正体



- 演示実験：正弦波の重ね合わせと音色

弦に伝わる波の速さ

$$v = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

- ギターのチューニング（張力で調整）
- 太い弦ほど低い音が出る（太いと線密度が大きい）

- 演示実験：モノコード

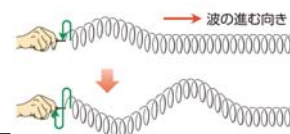
音の高さを決めるもの

- 振動数が大きいほど音は高くなる。
- 弦楽器で高さの違う音を出す方法は3つある。
 1. 弦の太さ
太い弦は低い音，細い弦は高い音
 2. 弦の張力
張力が弱いと低い音，強くと高い音
 3. 弦の長さ
弦が長いと低い音，短いと高い音

4. 音波とは

横波

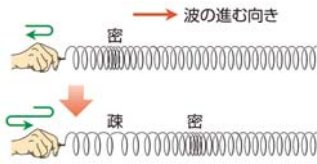
- 横波
媒質の振動方向が，波の進行方向に垂直な波。



- 横波は固
- 液体や気体の中は伝わらない。

縦波

- 縦波（疎密波）
媒質の振動方向が波の進行方向に平行な波。
疎な部分と密な部分とが伝わる。



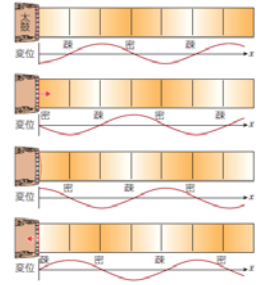
- 固体、液体、気体のいずれの中も伝わる。

波としての音

- 音波
空気の振動方向に沿った向きに伝わる縦波

例) 太鼓の振動と音波
たたくと膜が振動する

膜に接する空気が振動し、
音波として伝わる



縦波（疎密波）を
波形グラフに
変換しよう

省略

問：稲光から5秒後に雷鳴が轟いた。雷鳴までの距離を求めよ。

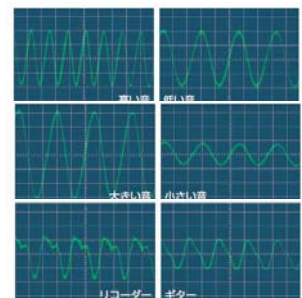
- 音速の式： $V = 331.5 + 0.6t$ (t は温度 $^{\circ}\text{C}$)
- 気温 15°C なので
- $V = 331.5 + 0.6 \times 15 = 340.5\text{m/s}$
- 光速 $c = 3.0 \times 10^8\text{m/s}$ (一瞬で届く！)
- よって距離は $340.5 \times 5 = 1702.5\text{m}$

問：人の可聴域の波長は？

- $v = f\lambda$ より、 $v = 340\text{m/s}$ だから
- $\lambda_{20} = \frac{340}{20} = 17\text{m}$
- $\lambda_{20000} = \frac{340}{20000} = 1.7 \times 10^{-2}\text{m}$
- ちなみに人の声は男性で 100Hz 程度で、女性はその倍くらいなので
- $\lambda_{\text{人の声}} = \frac{340}{100} = 3.4\text{m}$, 1m くらいのオーダー

音の3要素

- 音の高さ
高い音は振動数が大きい
- 音の大きさ
大きい音は振幅が大きい
(同じ音の高さで比べた場合)
- 音色
音色は音の波形の違い



媒質と音の速さ

音は空気以外の気体、液体、固体を媒質としても伝わる

媒質	音速 (m/s)
気体	ヘリウム (0℃) 970
液体	水 (23~27℃) 1500
固体	鉄 5950

※音速は媒質によって異なる。
(一般に、固体>液体>気体)

媒質のない真空中では、音は伝わらない

• 音の三要素の実験をやってみよう

- PCを立ち上げ、
- %Desktop%app%Science%Oscillo.exe
- を開き、「オシロスコープ」をONにする。
- 「あ」とか「い」とか言いながら、「停止」を押し波形を止め、観察する。

61

実験：気柱の共鳴

5~6. 管楽器の仕組みとは

仮説：気柱に定常波ができています

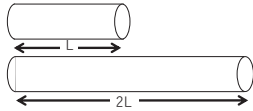
<状況証拠>

- 気柱の長さによって、音の高さが変わった（ギターと同じ）。
- ギターの弦には定常波ができていた。
- 試験管の口を吹いて振動を起こし、それが気柱を伝わっていき、水面と管口で反射を繰り返すのではないか。
→定常波は逆進する波が連続して重ね合わされると作れる。

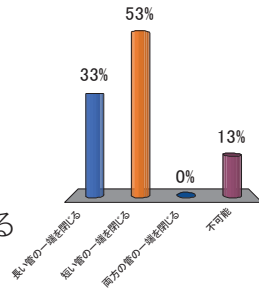
もし気柱に定常波ができていたら…

- 定常波は半波長ごとに節（腹），という周期性がある。
→波長を求めるためには、音速と振動数が必要。
→音速は $V=331.5+0.6t$ で、振動数はオシロスコープで。
- 動画より、定常波の節の部分、最も空気の密度変化が大きい。
→聴診器で聞くと、節で大きな音が聞こえるのでは？
(逆に腹では音は小さくなるのでは？)

管の長さが L と $2L$ の開管がある。2つの管の長さは変えずに、基本振動数が同じになるには？



1. 長い管の一端を閉じる
2. 短い管の一端を閉じる
3. 両方の管の一端を閉じる
4. 不可能



7~11. 探究：音速の測定

実験例

- 音響ストップウォッチ（参考：YPC2020年1月慶應例会）
- メトロノーム
- 大科学実験方式
- 位相差を利用した方法（2018年10月学芸大附高例会）
- 気柱共鳴
- プチプチ反射音
- 音源ON・OFF、雑音カット（うまく言えない…）

気温を変えながら実験する班もあった

探究「音速の測定」中間報告会

- 経過報告（質疑含めて各5分、全部で30分程度）
 - 実験方法、原理、使用した器具
 - 実験結果、考察
 - うまくいかないこと、相談したいこと、教えてほしいこと
- 自分の班に戻り、これからやることを話し合う（残り時間）
- ちなみに西村は、風邪で大きな声が出せません。自分たちでよ〜く話し合ってください。

振り返り

- 単元の最初に課題を提示したことで、授業に目的意識を持ちながら学んでいた。
- 先行研究の方法で、なぜ音速が測定できるのかを、授業と結びつけ、実験デザインに生かしていた。
- 先行研究の追試から始めても、異なる結果が出て混乱していた。料理本実験ではあまり起こらないことである。
- ポスターをレポートのように書いている生徒が多かった。
- さぼっている生徒がほとんどいなかった。