

## 1 はじめに

波動分野においては「波の基本的性質」と「音」や「光」を学習する。波は私たちにとって身近な現象であり、生徒にとって波は見慣れたものであるとともに、音のうなりや共鳴、光の反射や屈折など身近な生活の中にも興味深い現象がいくつもある。また、生徒は音楽や洋服の色などに敏感に反応し、興味を示している。しかし、生徒へのアンケート結果で「分かる・おもしろい」と答えた生徒の割合は、波動分野よりも力学分野や電気分野の方が多かった。波動分野については、「目に見えないので分かりにくい」、「日常生活にあまり関係ない」などの意見が多く書かれており、波動分野への興味・関心は低く、生徒にとっては分かりにくい分野であるようだ。実生活における興味・関心の高さと授業における理解度の低さ、この隔たりを埋めたいと考えた。

波動分野の授業では、視覚的に波の特性を印象づけるため水波投影装置やウェーブマシンなどの大型の装置を用いて説明することが多い。これらの装置は大型のため主に演示実験となり、生徒の中には教師が行う実験を眺めているだけで、積極性が感じられないこともあった。さらに、見る位置や角度により、演示が効果的に観察できない生徒も多数いることが分かった。このようなことが、波動分野の学習を分かりにくくし、興味・関心を低くしている原因の一つであると考えられる。生徒一人一人が実験し、波の現象を自分の目の前で見て観察することができれば、興味・関心が高まり、理解も深まるはずである。そこで、すべての生徒に波の現象を自分自身で観察させるため、2～3人の少人数で行う実験を多く設定し、更に自作した実験器具を用いることで、体験を伴った理解ができるように工夫しようと考えた。

また、生徒が日常生活と学習内容とのつながりを実感できるように、波について身近な自然現象や生活に利用されているものを授業中の話題とするのも効果があると考えられる。

以上より、波動分野において日常生活との関連性を重視しつつ、生徒自身による実験器具の作製と、それを用いた実験・観察ができるような小型の実験器具の開発やその活用方法の研究を行う。なお、器具作製については、少人数による実験を行うことから必要数が多くなるため、材料が安価であること、加工が比較的簡単に行えることを留意する。

## 2 研究方法

### (1) 生徒の実態把握

物理の各分野について、アンケートを行い、生徒の理解度を調べる。

### (2) 器具の開発や活用方法

ア 簡易波形モデルを用いた実験

イ 簡易ウェーブマシンを用いた実験

ウ バットを用いた水波の観察

エ 目玉クリップを用いた共振実験

### (3) 授業での実践と有効性

授業で自作実験器具を使用し、その有効性を確かめる。

### 3 研究内容

#### (1) 生徒の実態把握

昨年度からの学習内容の定着が測れるよう、各物理分野の基本原則・公式を問うアンケートを実施した。アンケートの対象者は3年物理選択者31名である。

表1 事前アンケート結果1

		アンケート対象者 物理Ⅱ選択者31名					
		好き	やや好き	どちらでもない	やや嫌い	嫌い	
◎以下の質問に答えてください。(教科書などで調べる必要はありません。)							
1 理科と物理全般について							
(1)	他の教科と比べて理科が好きですか。その理由も述べてください。	19%	71%	3%	3%	3%	
(2)	他の科目と比べて物理が好きですか。その理由も述べてください。	10%	55%	32%	3%	0%	
2 力学(速さ, 落下運動, 力, 摩擦, 運動方程式, 仕事, エネルギー)							
(3)	速さの公式を答えてください。	94%	6%	0%	正答 誤答 一部正答		
(4)	加速度の公式を答えてください。	77%	23%	0%			
(5)	初速度V <sub>0</sub> で鉛直下向きに投げたとき、t秒後の速度を表す公式を答えてください。	65%	35%	0%			
(6)	初速度V <sub>0</sub> で鉛直上向きに投げたとき、t秒後の高さを表す公式を答えてください。	52%	48%	0%			
(7)	フックの法則(ばね)を表す公式を答えてください。	84%	16%	0%			
(8)	アルキメデスの原理を答えてください。	10%	90%	0%			
(9)	摩擦を表す公式を答えてください。	68%	32%	0%			
(10)	止まっている物体と動いている物体ではどちらが摩擦力は大きいか。	35%	65%	0%			
(11)	物体にいくつかの力が働いている場合、力がつりあう条件を2つ答えてください。	13%	71%	16%			
(12)	運動(ニュートン)の3法則を答えてください。	10%	87%	3%			
(13)	運動方程式を答えてください。	87%	13%	0%			
(14)	仕事の公式を答えてください。	55%	45%	0%			
(15)	仕事率の公式を答えてください。	52%	48%	0%			
(16)	運動エネルギーを求める式を答えてください。	77%	23%	0%			
(17)	重力による位置エネルギーを求める式を答えてください。	81%	19%	0%			
(18)	弾性力による位置エネルギーを求める式を答えてください。	71%	29%	0%			
		平均	58%	41%	1%		
3 熱力学(熱, 温度, 気体の法則)							
(19)	物質の三態を答えてください。	97%	3%	0%	正答 誤答 一部正答		
(20)	摂氏0°は絶対温度ではいくらか。	68%	13%	19%			
(21)	1カロリーは何ジュールか。答えてください。	42%	58%	0%			
(22)	比熱とは何か。説明してください。	26%	68%	6%			
(23)	ボイルの法則・シャルルの法則を表す式をそれぞれ答えてください。	48%	35%	16%			
(24)	熱力学の第1法則を表す式を答えてください。	10%	90%	0%			
(25)	熱力学の第2法則を説明してください。	6%	94%	0%			
		平均	42%	52%	6%		
4 波動(波, 音波, 光波)							
(26)	波の速さvを表す公式を答えてください。	87%	13%	0%	正答 誤答 一部正答		
(27)	正弦波の時刻tにおける変位yを表す式を答えてください。	13%	87%	0%			
(28)	横波と縦波の違いを答えてください。	35%	65%	0%			
(29)	気温t[°C]のときの音の速さを表す式を答えてください。	32%	68%	0%			
(30)	ドップラー効果による振動数を求める式を答えてください。	35%	65%	0%			
(31)	光の速さを答えてください。	35%	65%	0%			
(32)	屈折の法則を表す式を答えてください。	48%	52%	0%			
(33)	レンズの公式を表す式を答えてください。	52%	48%	0%			
(34)	図1において明るくなる条件を式で答えてください。	23%	77%	0%			
(35)	図2において明るくなる条件を式で答えてください。	19%	81%	0%			
(36)	図3において明るくなる条件を式で答えてください。	6%	94%	0%			
(37)	図4において明るくなる条件を式で答えてください。	10%	90%	0%			
(38)	図5において明るくなる条件を式で答えてください。	6%	94%	0%			
		平均	31%	69%	0%		

## 物理実態調査

アンケート対象者 物理Ⅱ選択者31名

#### 1 理科と物理全般について

- (1) 他の教科と比べて理科が好きですか。その理由も述べてください。
- (2) 他の科目と比べて物理が好きですか。その理由も述べてください。

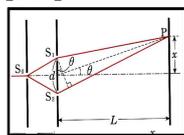
	好き	やや好き	どちらでもない	やや嫌い	嫌い
(1)	19%	71%	3%	3%	3%
(2)	10%	55%	32%	3%	0%

#### 2 力学(速さ, 落下運動, 力, 摩擦, 運動方程式, 仕事, エネルギー)

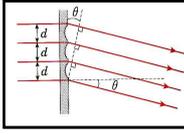
- (3) 速さの公式を答えてください。
- (4) 加速度の公式を答えてください。
- (5) 初速度V<sub>0</sub>で鉛直下向きに投げたとき、t秒後の速度を表す公式を答えてください。
- (6) 初速度V<sub>0</sub>で鉛直上向きに投げたとき、t秒後の高さを表す公式を答えてください。
- (7) フックの法則(ばね)を表す公式を答えてください。
- (8) アルキメデスの原理を答えてください。
- (9) 摩擦を表す公式を答えてください。
- (10) 止まっている物体と動いている物体ではどちらが摩擦力は大きいか。
- (11) 物体にいくつかの力が働いている場合、力がつりあう条件を2つ答えてください。
- (12) 運動(ニュートン)の3法則を答えてください。
- (13) 運動方程式を答えてください。
- (14) 仕事の公式を答えてください。
- (15) 仕事率の公式を答えてください。
- (16) 運動エネルギーを求める式を答えてください。
- (17) 重力による位置エネルギーを求める式を答えてください。
- (18) 弾性力による位置エネルギーを求める式を答えてください。

	正答	誤答	一部正答
(3)	94%	6%	0%
(4)	77%	23%	0%
(5)	65%	35%	0%
(6)	52%	48%	0%
(7)	84%	16%	0%
(8)	10%	90%	0%
(9)	68%	32%	0%
(10)	35%	65%	0%
(11)	13%	71%	16%
(12)	10%	87%	3%
(13)	87%	13%	0%
(14)	55%	45%	0%
(15)	52%	48%	0%
(16)	77%	23%	0%
(17)	81%	19%	0%
(18)	71%	29%	0%
平均	58%	41%	1%

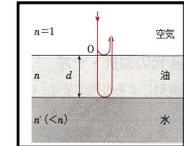
【図1】



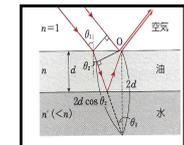
【図2】



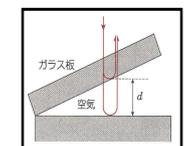
【図3】



【図4】



【図5】



	正答	誤答	一部正答
(19)	97%	3%	0%
(20)	68%	13%	19%
(21)	42%	58%	0%
(22)	26%	68%	6%
(23)	48%	35%	16%
(24)	10%	90%	0%
(25)	6%	94%	0%
平均	42%	52%	6%

	正答	誤答	一部正答
(26)	87%	13%	0%
(27)	13%	87%	0%
(28)	35%	65%	0%
(29)	32%	68%	0%
(30)	35%	65%	0%
(31)	35%	65%	0%
(32)	48%	52%	0%
(33)	52%	48%	0%
(34)	23%	77%	0%
(35)	19%	81%	0%
(36)	6%	94%	0%
(37)	10%	90%	0%
(38)	6%	94%	0%
平均	31%	69%	0%

5 電気(電流とエネルギー)

- (39) オームの法則を表す式を答えてください。  
 (40) 電場Eを表す式を答えてください。  
 (41) 電力を表す式を答えてください。  
 (42) ジュール熱を表す式を答えてください。  
 (43) キルヒホッフの第1法則を説明してください。  
 (44) キルヒホッフの第2法則を説明してください。  
 (45) 右ねじの法則を説明してください。  
 (46) フレミングの左手の法則を説明してください。  
 (47) 電磁誘導について説明してください。

	正答	誤答	一部正答
(39)	97%	3%	0%
(40)	32%	68%	0%
(41)	71%	29%	0%
(42)	39%	61%	0%
(43)	52%	48%	0%
(44)	32%	68%	0%
(45)	48%	52%	0%
(46)	65%	35%	0%
(47)	32%	68%	0%
平均	52%	48%	0%

6 各分野を比較して

- (48) 上記の物理分野のうち、一番得意な分野とその理由を述べてください。  
 (49) 上記の物理分野のうち、一番苦手な分野とその理由を述べてください。  
 (50) 上記の物理分野のうち、一番おもしろいと思う分野とその理由を述べてください。  
 (51) 上記の物理分野のうち、一番つまらないと思う分野とその理由を述べてください。

	力学	熱力学	波動	電気	その他
(48)	45%	16%	6%	29%	3%
(49)	10%	10%	61%	6%	13%
(50)	29%	10%	10%	35%	16%
(51)	3%	13%	55%	6%	23%

表2 事前アンケート結果2

[ 回答記述例 ]

1 (1) 理科が好きか嫌いかの理由

- 好 き：実験が好き・理論的に考えることができる・この世の現象の仕組みを知りたい  
 と思うから・理科が得意だから・身近な出来事の疑問点が解決される・実験結果  
 を考察するのが好きだから・日常生活に結びついた内容だから・生活に役立つ  
 知識だから・努力に見合った点数が取れるから  
 嫌 い：正直あまり興味がない・テストで点が取れない・計算が難しい

(2) 物理が好きか嫌いかの理由

- 好 き：答えがきれいに出てくる・おもしろい・ゲーム感覚で問題に取り組める・数学  
 が好きだから・公式を覚えれば数値を入れるだけで答えが出せる・現象が頭に  
 浮かぶと楽しい・日常の不思議な現象の仕組みが解明される  
 嫌 い：計算が難しいところが嫌い・公式が複雑

6 (48) (50) 各分野の好きな(得意な)理由

- 力 学：一番練習したから・ベクトルを使えばわかる・問題パターンを習得すれば楽・  
 イメージしやすい・運動方程式を利用するのが楽しい・公式を使いこなすところ・  
 日常に関わりがある  
 熱力学：化学でやっていたから  
 波 動：明るくなったり暗くなったりするところ  
 電 気：理解しやすい・中学のときから得意・回路づくりが好き・興味がある・実験が  
 おもしろい・計算が難しくない・役に立つ

(49) (51) 各分野の嫌いな(苦手な)理由

- 力 学：公式が覚えられない・どの公式を使ったらよいかわからない・  
 熱力学：よくわからない・化学が苦手だから・興味がわからない  
 波 動：イメージが浮かばない・明暗条件の理屈が理解できない・何となく難しく感じ  
 る・動きが実感できない・想像しにくい・ややこしい・だから何って感じ・何  
 を言っているのかわからない・普段使うことがない

表1に各設問の回答の割合を、表2に理由を問う設問の記述例をあげた。アンケート対象者が理系物理選択者のため、理科も物理も好きであるという生徒が多数を占める。

しかし、理科好き、物理好きが多いにもかかわらず全般的に学習内容の定着が低いのが残念である。また、物理Iの分野ごとの正解率を比べてみると、それぞれ設問数や難易度に差はあるものの力学分野と電気分野の定着が高く、波動分野の定着が極端に低くなっている。また同時に苦手意識を持っている生徒も多く、その具体的理由の代表的なものは、「イメージしにくい」というものであった。

## (2) 器具の開発や活用方法

波を身近なものに感じさせ、その現象を印象づけさせるため、授業において生徒2～3人で実験できるような器具を選び、その活用方法を研究する。

器具については、1クラス10～20個必要となってくるため、できるだけ教員の負担を軽くし、実験しやすいようにするために次の点に留意した。

- ・一般的に手に入りやすいものであること。
- ・安価であること。
- ・授業の事前準備に時間がかからないこと。
- ・器具の作製に時間がかかりすぎて実験・観察・考察の時間がなくならないよう、手早く作製できること。
- ・生徒でも簡単に行うことができること。

### ア 簡易波形モデルを用いた実験

(ア) 波の振幅（音の強さ）、波長、周期をイメージする

#### a 材料

6 cm幅と8 cm幅の台紙、アルミ線（針金）約1 m [40円/m]

台紙は段ボールを2枚重ねて貼り合わせたものである。また、アルミ線は軽く柔らかく扱いやすい。径は2.5mmが適当であり、太い方がカーブが滑らかである。さらに、使用後布で数回しごくとはぼ直線に戻すことができ、何度も波形を作り直すことができる。怪我の予防のため、両端をビニルテープで巻いておく。

#### b 手順

- ① アルミ線を台紙に巻き付ける。このとき、きつく巻かずに緩く巻く（図1）。
- ② 台紙を抜き取り、アルミ線をジャバラを広げるように展開する（図2）。  
※注意 両端を持ってそのまま広げると、折り目が付いてしまう。
- ③ 机の上に置き、上から押さえて、できるだけ平らにする。



図1 アルミ線を台紙に巻いた状態

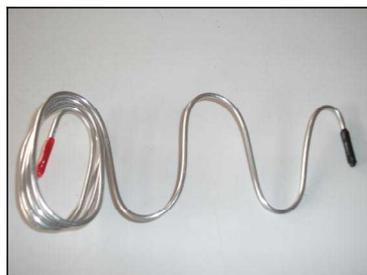


図2 アルミ線の展開

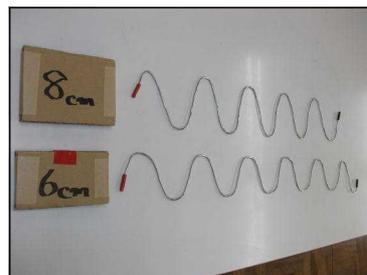


図3 8 cm幅と6 cm幅

- ④ 幅の違う台紙を用いて振幅の異なる波形モデルをつくり (図3), 波長, 振幅を測定する。波長を測定する際, どこからどこまでを測ればよいかを考えさせることにより, 周期を理解することができる。

(イ) 波の速さ・波長・振動数の関係をイメージする

a 材料

(ア) で作った波形モデル1本, スリット  
スリットは切れ込みを入れた紙をブックエンドに  
貼り付けたもの。教科書やノートに挟んでもよい。

b 手順

- ① 1周期分(山から山)動かすと, スリット部  
で上下に1往復していることを確認する(図4)。
- ② 波形モデルを速く動かしたときとゆっくり動  
かしたときのスリットを通過する山の数の違いを観察する。
- ③ 1秒間にスリットを通過する山の数が振動数であることを説明し, 1秒間に波形モデル  
が動いた距離(=速さ)を波長で割ると振動数が求められることを理解させる。

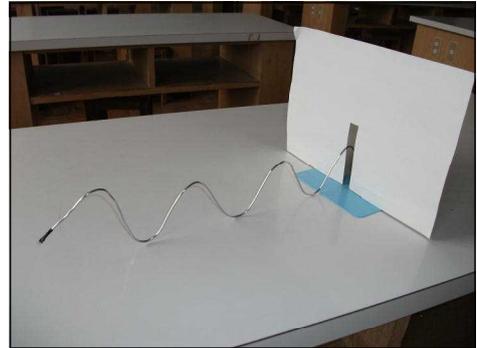


図4 スリット

c 関連事項

音波の速さが変化すると, 音の高さ(振動数)が変化する。例えばヘリウムガスを吸う  
と声の高さが高くなるのは, ヘリウム中の音速が約3倍だからである。

(ウ) 波の干渉をイメージする

a 材料

アルミ線2本, 発泡スチロールレンガ [Kレンガ,  
120円/個], 50cm程度の紙テープ (ここでは記録  
タイマー用テープを使用), スリット (なくてもよ  
い)

b 手順

- ① 振幅6cmで波形モデルを2つ作り, 波長が同  
じになるように調節する。
- ② Kレンガの両端に波形モデルを差し込み, 山  
と山が重なるよう中央で交差させる。交差して  
いる針金部分に印をつけておくと観察しやすい。
- ③ 紙テープを交差部分の下にセロハンテープで  
固定する。
- ④ 交差部分の真下に印をつける。この地点は  
同じ位相になり, 波が強くなる(光波であれば  
明るくなる)ことを確認する(図5, 図6)。
- ⑤ 2本の針金を動かしテープ上で山と山が重なる  
他の地点を探し, テープに印をつける。
- ⑥ スリットとの距離が1波長分ずれていることを確認する(図7)。

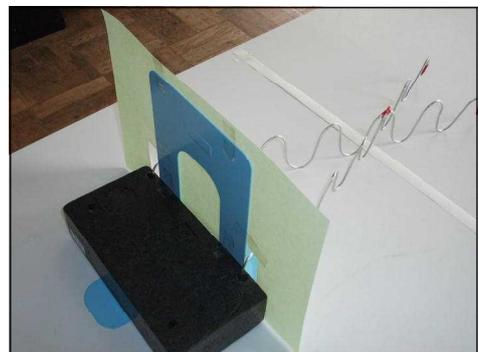


図5 波の干渉①

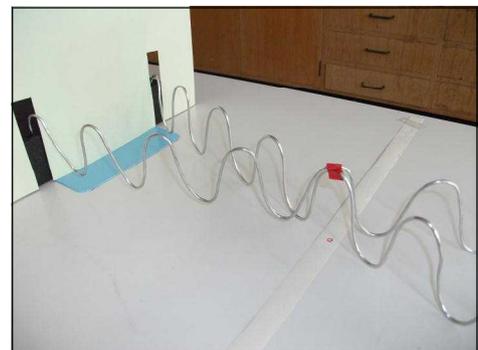


図6 波の干渉②

- ⑦ 距離の差が波長の整数倍のところでは同位相となり、波が強め合うことを確認する。
- ⑧ 同様に山と谷が重なる部分を探し、その地点では逆位相になり、波が弱め合うことを確認する（図8）。
- ⑨ 以上のことから、距離の差が波長の整数倍では強め合い、波長の整数倍+半波長では弱め合うことを確認する。（光波の場合は、明暗条件となる。）

c 関連事項

コンサートホールや映画館では、干渉により特定の席の音が大きくなったり小さくなったりしないよう、壁面を曲面や凸凹の形状にしている。

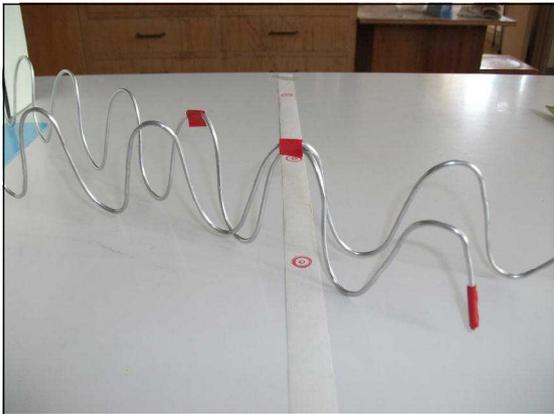


図7 同位相

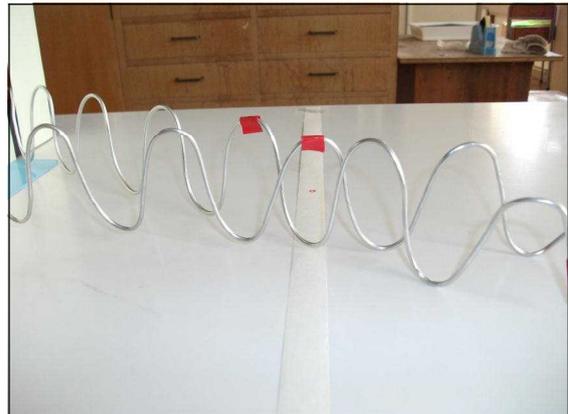


図8 逆位相

イ 簡易ウェーブマシンを用いた実験

演示用のシャイブ式ウェーブマシンは、きれいな波形を作り出し、波の減衰もほとんどなく、反射や波の重ね合わせなどをゆっくり見せることができる。しかし、生徒全員に触れさせることは不可能である。生徒にもいろいろな波を自分の手で発生させ、観察させたいと考えた。ストローを用いた簡易ウェーブマシンを作製は教科書等によく出てくるが、ストローを50~70本使用するかなり大がかりなもので、生徒2人に1つ作製するにはストローも時間もかなり必要になってくる。そこで、効率よく作製するにはどうしたらよいか、また、どんな素材で作ることができるのかを試してみた。

(ア) 簡易ウェーブマシンの作製

a 材料

セロテープ、A4の紙、定規、割り箸、平串〔3円/本〕、ドッグ棒〔2円/本〕、ストロー〔4mm径、6mm径、各1円/本〕各30本程度

b 手順

① 約70cmのセロテープを粘着面を上にして机の上に置き、両端を別のセロテープで固定する。

② センターを合わせるため、中央に線をひいた

A4用紙をセロテープの下に入れ、セロテープと用紙の線が重なるように固定する。

③ ストローを1本だけ、慎重にセンターを合わせてセロテープの粘着面に貼り付ける。

④ 定規をストローの下端に合わせ、台紙と平行に置く。

⑤ 2本目以降のストローを1.5cm間隔で、定規を基準に貼り付けていく（図9）。

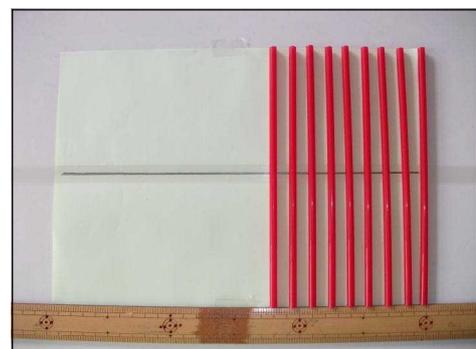


図9 作製過程

このとき、定規を用いるとストローを等間隔で並べやすい。また、ここで注意することは、ストローのセンターに重なるようにセロテープに貼り付けることである。センターがずれていると、椅子に固定したときに傾いてしまって観察しにくくなる。

⑥ 30本すべて貼り付けたら、セロテープの両端を持ち上げ、机の上ののせた椅子の間に、セロテープが上、ストローが下になるように固定する（図10）。

⑦ 他の素材で①～⑥を行い作製する（図11）。



図10 6mm径のストロー

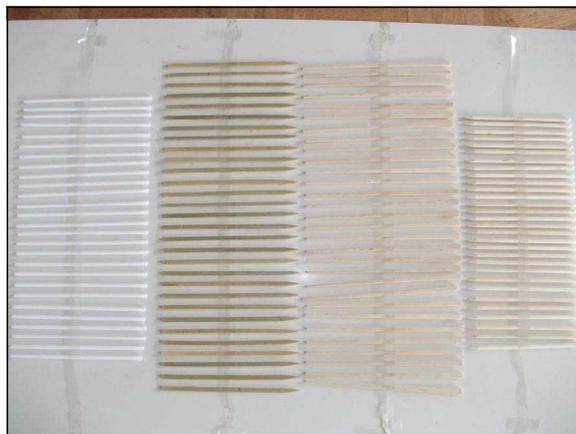


図11 その他の素材(左から4mm径のストロー、平串、割り箸、ドック棒)

### c 結果

均一な棒状のものであれば何でもウェーブマシンを作れる。しかし、形状が均一でない割り箸は波形が乱れやすかった。串は長さが短いため振幅が小さく、やや観察しにくい。木製で曲面のものは粘着力が弱く、激しく振動させると剥がれてしまうこともあった。

観察に一番適していたのは6mm径のストローで、長さも21cmとA4用紙の幅と同じで並べやすく、粘着力もかなり乱暴に扱っても剥がれることはなかった。また、波形もきれいで観察しやすい。

さらに、ストローではクリップを付けて簡単に媒質の質量を変えることができる。そのため、媒質の違いによる波の変化と、異なる媒質の境界面で起きる反射の現象を観察することができる。

ストローウェーブマシンの作製時間は、およそ15分であるのでさまざまな観察が可能である。また、次の時間に実験を持ち越すときでも教室の壁や机の裏に貼り付けて収納できる。新たに作り直すとしても2回目以降は10分以内で作製可能であると考えられる。

### (イ) 波の振幅・振動数・反射の観察

#### a 手順

① 端のストローを指で1回はじきパルス波を発生させ、強くはじいた場合と弱くはじいた場合の振幅の変化を観察する。

この実験で、エネルギーが大きいと振幅も大きくなることを確認する。

② 一方の端をはじいてパルス波を発生させ、他端での反射の様子を観察する。

③ はじく方と反対側の端のストローを指で固定し、②を行って違いを観察する。特に、自由端反射と固定端反射の違いを確認する。

④ 両端から同時にストローをはじき、波の衝突を観測する。このとき、山と山、山と谷のように、同位相の場合と逆位相の場合を行う。

- ⑤ ストロー1本だけに注目し、その1本のストローの動きを観察する。媒質は上下に振動しているだけであり、波のエネルギーだけが伝わっていくことを確認する。

c 関連事項

- ・③において、自由端反射では端での振幅が大きくなることを確認させ、岸壁で波が大きく跳ね上がることの理由を説明する。
- ・④において、波に波をぶつけてはじき返すことはできないことを確認させる。しかし、同じ進行方向に逆位相の波を送ることによって波を打ち消すことはできる。その技術を利用したのがヘッドフォンのノイズキャンセリング機能であることを紹介する。
- ・⑤において、水面に浮かんだ物体を波だけで運ぶことはできないことがわかる。では、なぜサーフィンは進むことができるのかを考察させる。

(ウ) 波の速さの観察

a 手順

- ① 椅子の間隔を変えて、セロテープの張力の変化と波の速さの変化を観察する。
- ② 半数のストローの両端にゼムクリップを取り付け（図12）、波の速さの変化を観察する。ここでは、媒質の違いによる速さの変化と、媒質の境界面での波の一部反射を観察する。
- ③ 媒質の違いによる速さの変化と部分反射を観察しにくい場合は、ストローを60本程度に増やし、クリップはストローの半数に取り付け観察するとよい。ただし、ストローの数が増えるとセンターがずれやすいので、より注意して作製する。



図12 ゼムクリップの取り付け

b 関連事項

- ・波の速さは媒質の状態（質量、密度、張力等）によって決まる。光の場合は媒質がなくても伝わる波であるが、屈折率で速さが変わる。
- ・人工的な地震波を利用して、地下深くの地質調査を行っている。地震波が速く伝わるほど密度が大きい（地盤が固い）ことがわかる。
- ・異なる媒質の境界面では、反射が起こる。その例として、雲や牛乳が白く見えるのは色が付いているわけではなく、水滴や油滴との境界面で反射が起きているからである。また、透明な物質に斜めに入射した場合は屈折も同時に起こる。



【演示実験】

- ① ビーカーの中に小さいビーカーを入れ、そこにサラダ油を注ぐ。
- ② ガラスとサラダ油の屈折率がほぼ等しいため、反射が起こらず中のビーカーが見えなくなる（図13）。ここで、物語に出てくる透明になれるマントの仕組みを考察する。



図13 演示実験

## (エ) 定常波の観察

### a 手順

- ① ストローの一端を指で持ち、ゆっくりと揺らし続け、中央のストローだけが動かない波を作る。一定のリズムで手を動かし続けるように指示をする（図14）。

〔節が1つ→基本振動〕

- ② やや速く手を動かし、動かないストローを2本だけにする。

〔節が2つ→2倍振動〕

- ③ 同様に動かないストローを3本だけにする。〔節が3つ→3倍振動〕

- ④ ①～③の波形をスケッチする。

- ⑤ 両端が大きく振動している腹であることを確認する。

この場合は両端が自由端であるが、教科書等の図では、両端が固定端の場合が多く、生徒はそのイメージを強く持っている。①～③を正確にスケッチできていない生徒が多いので、よく観察するよう指示をする。

- ⑥ 手を動かしている範囲（入力する波の振幅）より定常波の振幅が大きくなっていることを確認する。反射波との重ね合わせで、約2倍の振幅になっているはずである。

- ⑦ 追加実験

弦楽器や管楽器では定常波が発生していることを説明する。その後、ストロー笛を作り、口にくわえて音を出しながらストローの先端をハサミで切って短くしていくと、だんだん音は高くなっていく。ストローの中に定常波ができていることをイメージしながら行うとよい。時間があればストロー笛で、ストローに穴を開けたリコーダー型、長さの異なるストローを並べたハーモニカ型、細いストローを差し込み長さ調整のできるトロンボーン型などの楽器づくりを行ってもよい。

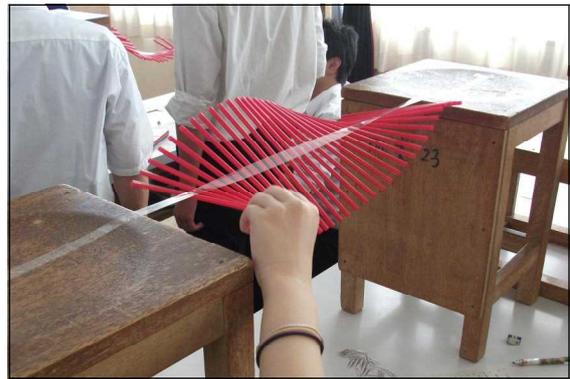


図14 定常波の観察

## ウ バットを用いた水波の観察

波の干渉は、水波投影装置とプロジェクターでスクリーンに写し出して生徒に見せている。波面がきれいに観察でき、干渉縞、屈折、反射なども見せることができる。しかし、スクリーンに投影してみせるため生徒からは実際の水面はよく見えていない。そこで、スクリーンに投影したものの理解を深めるために、事前に生徒実験ができる簡単な装置を使用した。

### (ア) 干渉縞の観察

#### a 材料

バット、2 Lのペットボトル容器、錐（千枚通し等）、隙間テープ、ビーカー

#### b 手順

- ① ペットボトル容器の底の両端に、錐で2カ所穴を開ける。穴は小さめにしておいて後から広げて調節するとよい。
- ② バットの内壁に反射波を低減するための隙間テープを貼り付ける。これはガーゼやタオルでもよい。その際水面に対して直角でなく、斜めに取り付けた方が効果が高い。

③ ペットボトルに水を入れポタポタと水滴が落ちるよう穴の大きさを調節する。穴が大きすぎる場合はセロテープでふさいで穴を開け直す。2つの穴から同時に同周期で落ちるのが理想であるが、違って観察は可能である。

④ 水を張ったバットに、水滴を落とす。このとき、ペットボトルのふたを閉め、持った手に力を加え圧をかけて水滴の量を調節する (図15)。

⑤ 波の消えている部分が縞模様になっていることを観察する。暗幕を引いて、薄暗くした方が観察しやすい。肉眼でよくわからないときは、デジタルカメラ (携帯電話のカメラ等) で撮影すると見える場合がある。



図15 干渉縞

干渉縞は水波投影装置で観察できるので、ここでははっきりと見えなくてもよい。生徒が原理を理解し、波が重なっていることを確認できればよい。

#### (イ) 回折の観察

##### a 材料

発泡スチロールレンガ2個、バット、定規

##### b 手順

- ① 発泡スチロールレンガ2個をバットに並べ中央に隙間を作る。
- ② 片側から定規で平行な波を送り、反対側に円形の回折波を観察する (図16)。

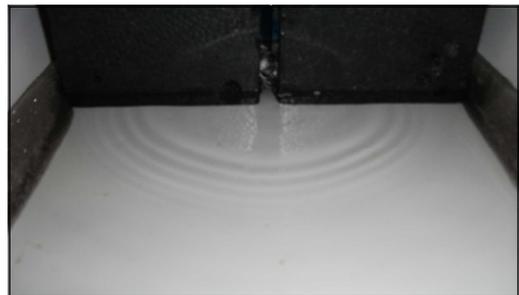


図16 回折

##### c 関連事項

- ・波は波長が大きいほど回折する。よって波長が100m以上のAMラジオ3オは障害物の陰に入っても聞こえるが、波長数10cmのテレビなどの電波は障害物の影響を受けやすい。

#### エ 目玉クリップを用いた共振実験

簡単に作製できて、糸の長さ調整が簡単にできるよう、重りに目玉クリップを用いた。

##### a 材料

3mのナイロン製水糸 [400円/500m]、目玉クリップ [極小7円/個]、ハサミ、定規 (目玉クリップは大きい方が手応えがあってよいが、価格が高くなる。)

##### b 手順

- ① 糸を切る。(45cm×4本, 120cm×1本)
- ② 120cmの糸に45cmの糸を約15cm間隔でしっかり結びつける。
- ③ 重り (目玉クリップ) を45cmの糸に それぞれ上からおよそ10cm, 20cm, 30cm, 40cmの位置に取り付ける。
- ④ 1人の生徒が糸の両端を手に巻き付けて持ち (図17)、もう1人の生徒が揺らしてほしい重りを指定する。糸を持っている生徒は、最小限の動きでその重りが揺れるようにタイミングよく手を動かす。

⑤ ④ができたなら次に揺らす重りを指定する。  
重りが揺れたままの状態での次の重りを揺らす。ここで、物体はそれぞれ固有振動数を持っていることを確認する。

⑥ 4個の重りのうち2個だけ同じ位置に取り付け、動かす。

⑦ 同じ位置の重りの一方だけ、クリップを2つ（質量を2倍）にして揺らしてみる。  
振り子の固有振動数は質量とは無関係であり、重心位置で決まることを確認する。

⑧ ⑦で付けたクリップを外し、すべての重りを静止させる。

⑨ 同じ位置の重りの一方だけを、糸を持っていない生徒が大きく揺らす。このとき、糸を持っている生徒は何もしない。糸は少したるませるように持つ。

⑩ 静止していた他方の重りがだんだんと揺れ出し、波のエネルギーが移動していることを確認する。

⑪ 追加実験：1つの重りを振幅を大きくしたり、小さくしたときの周期を観察する。  
周期は振幅の大きさで変わらない、振り子の等時性を確認する。



図17 共振装置

c 関連事項

- ・耳のうずまき管の中には、長さ約3cmの基底膜があり、入り口から奥へ向かって固有振動数が変化している。基底膜の共振する位置が異なることにより音の高さを感じている。

(3) 授業での実践と有効性

アルミ線と簡易ウェーブマシンを用いて、図18の実験プリントに沿った授業を行った(図19)。

物理「波動」実験プリント 平成23年[ ]月[ ]日 [ ]年[ ]組氏名[ ]

**実験1** (2人1組)  
1 目的 波形モデルを作成し、波の波長、振幅、速さと振動数の関係を確認する。

2 使用器具 台紙(6cm巾→A, 8cm巾→B), アルミ線2本, 定規

3 手順と観察 (1)2本のアルミ線をそれぞれ2つの台紙に巻く。(軽い力で、折り目をつけないように)  
(2)ジャバラを広げるように丁寧に展開する。  
(そのまま引つ張らないこと！)  
(3)両端を持ち、少しだけ広げる。→[AとBの波形モデル完成]  
(4)A, Bそれぞれの振幅を測定する。  
(5)A, Bそれぞれの波長を測定する。  
(6)この波形モデルの端から端が、1秒間でスリットを通過したときの振動数を求めよ。  
(7)波形モデルをもつと速く動かしたとき、振動数はどのように変化するか考察せよ。

	(4)振幅	(5)波長	(6)振動数	(7)変化
A				
B				

(8)以上の結果より、導き出される波の公式を答えよ。

**実験2** (2人1組)  
1 目的 簡易ウェーブマシンを作成し、いろいろな場合の波の伝わり方を観察する。

2 使用器具 セロテープ、定規、A4用紙、ストロー30本、ゼムクリップ20個

3 ウェーブマシンの作成 ①約1mのセロテープを粘着面を上にして机の上に置き、両端を別のセロテープで固定する。  
②中央に線を引いたA4用紙をセロテープの下に入れ、セロテープと用紙の線が重なるように固定する。  
③ストローを1本だけ、慎重にセンターを合わせてセロテープの粘着面に貼り付ける。  
④定規をストローの下端に合わせ、用紙と平行に置く。  
⑤2本目以降のストローを1.5cm間隔で定規を基準に貼り付けていく。  
⑥すべて貼り付いたら、セロテープの両端を持ち上げ、机の上の間に、セロテープが上になるように固定する。  
→ [ウェーブマシンの完成]

4 実験・観察…以下の手順で実験を行い、どんな現象が見られたか観察結果を【 】に正しく記録する。  
(1)端のストローを指ではじいてパルス波を発生させ、強くはじいた場合と弱くはじいた場合の振幅の変化を観察する。  
(2)椅子の間隔を変えてセロテープの張力と波の速さの変化を観察する。  
(3)端のストローでパルス波を発生させ、他端での反射波の様子を観察する。  
(4)はじく方と反対側の端のストローを指で固定し、反射波の様子を観察する。  
(5)両端で同時にパルス波を発生させ、波の衝突を観測する。  
(6)ストロー1本だけを注目し、その1本のストローの動きを観察する。  
(7)ストローの一端を持ってゆっくりと揺らし続け、中央のストロー1本だけが動かない波を作る。(基本振動)横から見た波形をスケッチせよ。  
(8)(7)よりも、やや速く動かし、動かないストローが2本だけにする。(2倍振動)横から見た波形をスケッチせよ。  
(9)一方の端から10本のストローの両端にゼムクリップを取り付け、波を観察する。

**まとめ**  
1 この実験で新しくわかったこと。  
2 わかっていたけれども、理解が深まったこと。  
3 全体を通しての授業の感想

図18 実験プリント

生徒のプリントの「まとめ」欄の記述を一部あげる。  
なお、この実験を行ったのは3年生で、約1年前に波について学習している。



図19 授業の様子

◇この実験で新しくわかったこと。

媒質が違うと、一部の波がはね返ること。・波の衝突ではね返っていると思っていたが、すれ違っていた。

・クリップで重くすると波が遅くなること。

◇わかってはいたけれども、理解が深まったこと。

波の反射を近くで見てよくわかった。・波がイメージしやすくなった。・公式の意味がわかった。・張力を緩めるとゆっくりと進むこと。・自由端と固定端の反射がわかった。

◇全体を通しての授業の感想

作る作業が楽しかった。・波形モデルが簡単に作れた。・自分でウェーブマシンが作れるとは思わなかった。・こんな簡単なもので教科書通りの現象が起きたので感動した。・自分の中で勘違いしているところがあった。・苦手意識があったが、自分でやってみるとおもしろく興味が持てた。・気になったことを自分で実験して確認することができた。

生徒の記述の中で、「つまらない」「やっていることがよくわからない」といった意見が全くなかった。これは、実験器具を自分で手作りし、その器具で実験を行うから、実験の意味を把握し、よりよい結果を出そうと一生懸命だったからである。また、実験器具が自分達だけのものであることから、大胆にいろいろと試していた。これらのことから、自分たちで器具を作製し、自分の手で現象を起こし、目の前で観察することは、生徒の興味・関心を大きく高めていることを生徒の取り組みの様子や感想から実感することができた。

#### 4 おわりに

これまでは、物理における実験はおもに市販の大型の実験装置に頼ることが多かった。特に波動分野においては、音や光の現象をできるだけ大きく派手に演出しようと考えていた。今回、研究の機会を得て、できるだけ少人数で、実験装置の作成から生徒自身で取りまわせる方法を試みた。生徒は単純な装置の組み立てでもプリントをよく読み、集中して作業し、実験観察の場面では、生徒同士でコミュニケーションを取りながら、小さな工夫を加え、試行錯誤を繰り返すなど、大変積極的に取り組む姿が見られた。

この生徒実験では均一な結果がでない場合もあるが、その実験過程において生徒が科学的思考力を最大限に発揮していることを実感できた。また、生徒実験の後で演示実験を行うとより理解が深まるとともに、生徒は実験装置の精密さやその装置を作る技術力の高さにも感動していた。

今回の研究では、波の基本的性質について行ったが、これからは光や音、そして物理のその他の分野においても、安価で簡単に少人数で行える教材・器具の研究を進めていきたい。

最後に、本研究を進めるにあたり、御指導・御助言をいただいた教育庁教育振興部指導課の小芝一臣先生、尾竹良一先生、前指導課の高野義幸先生、本宮照久先生、教科指導員の岡田実先生、秋本行治先生ならびに教科研究員の諸先生方に心よりお礼申し上げます。