

物理の波動と二体問題の探究活動の事例

江本博明

はじめに

高等学校では、平成6年度から新しい学習指導要領が実施されている。今回の改訂に当たって、理科では、観察・実験を一層充実させるとともに、探究活動や課題研究がそれぞれの科目の内容の一部として位置付けられた。自然の事象・現象に対して関心を高め、探究活動を行い、探究の過程を通して科学の方法を身に付け、論理的な思考力や判断力などを高めることを求めている。

生徒に興味・関心をもたせ、観察・実験に興味深いものにするためには、できるだけ身近な素材を教材とすることが大切である。

そこで、本研究では、まず探究活動の在り方について考察し、身近な素材や生徒自身を教材とする工夫と、それを探究活動に生かす方法を提示する。

1 探究活動の在り方

新しい学習指導要領では、「物理ⅠB」の四つの大項目（運動、エネルギー、波動、電流と電子）の中にそれぞれ探究活動が位置付けられている。

従来の実験は教師主導型が多く、必要に応じてそのつど実施され、生徒が工夫するところはほとんど無かった。これに対して、探究活動は、一つの大項目の学習の最終段階で実施し、そのテーマは大項目に示された内容に関連したものとなる。また、実験計画の段階から生徒が参加し、3～6時間かけて実施するものであり、生徒自らが工夫することや討論することが求められている。

この探究活動を通して、生徒は科学の方法（探究の技法）を習得したり、自然を主体的・積極的に調べようとする態度が育成される。

しかし、「物理Ⅱ」の課題研究と比較すると、教師の指導が占める割合は大きい。このため、教師はいろいろな探究活動を用意しておいて、生徒に選択させるなど工夫することが求められている。

このように考えると、探究活動には次のような条件が必要であろう。

- ・生徒が興味や関心のもてる内容であること
- ・生徒の能力や適性にあった内容であること
- ・既に学習した内容であること
- ・充実感や成就感が得られること
- ・書き込み主体でない実験報告書を作成すること
- ・正課の授業の中で実施すること

本研究では、波動、運動の二つの大項目の探究活動について提示する。ただし、運動については、二体問題をあつかった。

2 波動に関する教材の工夫

(1) 波動を説明する装置

波動は時間 t と位置 x の関数であり、一般的には $y = f(t, x)$ と表される。「物理ⅠB」で扱う波動の式は、 A を振幅、 T を周期、 λ を波長として

$$y = A \sin 2\pi (t/T \pm x/\lambda) \dots\dots ①$$

である。この式は波動が二つの変数により決まる関数であることを示しており、数式としてはそれほど難しくはないが、実際の現象に即して理解するのは少々難しい。

①は、単振動を表す式

$$y = A \sin 2\pi t/T \dots\dots ②$$

と、正弦波の波形を表す式

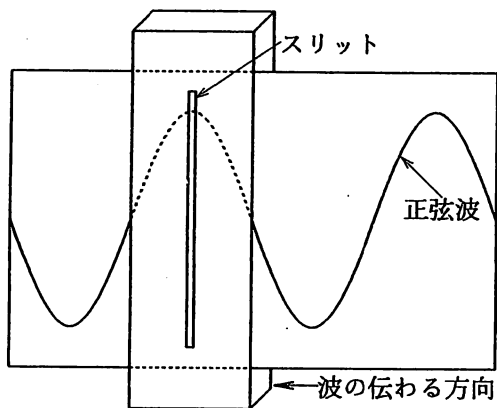
$$y = A \sin 2\pi x/\lambda \dots\dots ③$$

を一つにしたものである。②は、①の $x = 0$ のときの式であり、波動としては媒質の単振動を示している。③は、①の $t = 0$ のときの式であり、正弦波の波形を示している。②、③それぞれ単独では比較的理解しやすいが、波動ではこの二つを同時に考えなければならないので、それだけ難しくなる。

そこで、これを生徒にできるだけ直感的に理解させる方法を考えた。図1のような波動を説明する簡単な装置で理解を助けるのである。この装置は、段ボール

紙などにスリットを作り、ボール紙に描いた正弦波を波の伝わる方向に移動させるものである。移動する正弦波をスリットをとおして見れば、媒質が単振動していることがわかる。つまり、スリットから見た媒質の運動が②で表され、ボール紙に描いた正弦波が③で表されていることになる。

図1 波動を説明する装置



(2) 波のダンス

波動のあらましが理解できた後で、生徒一人一人が各媒質になって、生徒数人で波を描き、波のダンスをすることを通して、波動とは何かを理解する方法を提示したい。

波には横波と縦波があり、波の伝わる方向に対して垂直方向に媒質が振動するのが横波であり、波の伝わる方向と平行に媒質が振動するのが縦波である。最近、野球やサッカーなどではウェーブを起こして応援したりしているが、これは横波であると言える。このウェーブをもう少し厳密にすれば、物理で扱う横波ができる。

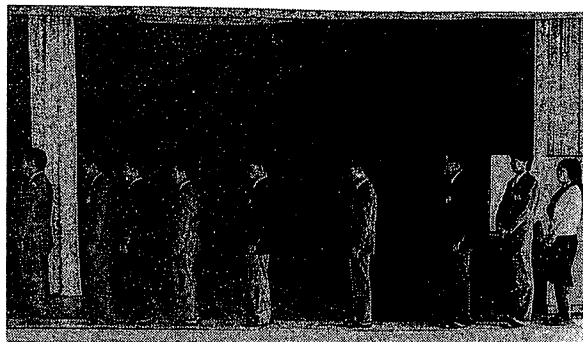
まず、生徒は一列縦隊に等間隔で並ぶ。その後、生徒各人は最初の位置で上下運動だけをする。ただし、前の人より少し遅れて後ろの人は上下運動をするものとする。つまり、生徒が媒質になるのである。生徒は上下運動ししかないのに、波は伝わっていく。このことから媒質の運動は、波の伝わる方向に対して垂直に振動する単振動であることがよくわかる。

また、ある瞬間に運動を止め、運動をしている生徒を滑らかに線で結ぶと、図2のようにある瞬間の波形になっていることがわかる。

図2 横波のダンス



図3 縦波のダンス



次に、縦波であるが、横波と同じように生徒は等間隔に一列に並び、この位置を振動の中心として前後にのみ一歩程度ずつ運動し続ける。ただし、前後の運動は前の人より少し遅れて運動をするようにする。やはり、生徒が各媒質になっている。これを見ると縦波の媒質の運動がよくわかり、媒質は波の伝わる方向、すなわち、前後にのみ単振動をしていることが理解できる。

また、横波のときと同様にある瞬間に生徒の運動を止めると、図3のように、疎な部分と密な部分ができしており、縦波が疎密波であることがわかる。

(3) 手作りのウェーブマシン

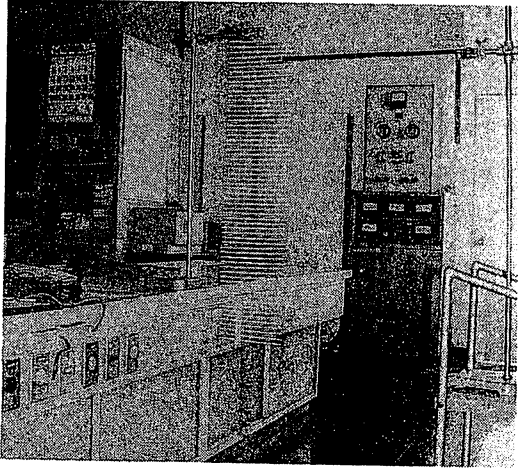
セロファンテープと割箸などを使って、図4のような簡単なウェーブマシン（波動実験器）を作った。これを使って、ウェーブマシンの伝わる波の速さを測定した。

ア) ウェーブマシンの製作

用意する物

セロファンテープ、割っておいた割箸、竹串、ストロー、おもり、5mm方眼紙

図4 割箸のウェーブマシン



製作方法

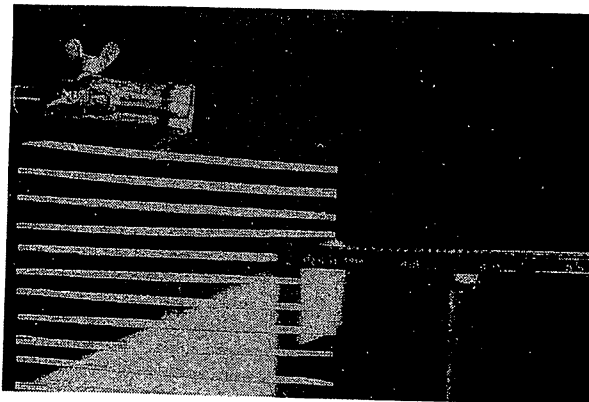
- 62本の割箸を、15mm毎にセロファンテープに貼り付ける。このとき、5mm方眼紙上で貼り付けると便利である。
- 割箸を貼り付けたセロファンテープをスタンドに固定してぶら下げる。
- セロファンテープの下におもりを付ける。スタンドの先端からおもりまでの長さは、1000mmとする。
- 割箸の代わりに、竹串、ストローを使って、同じものを作る。

イ) 波の伝わる速さの測定

測定条件

- 図5のように差金で振動子を作った。差金の反発力を利用して、上から5番目の割箸を差金でたたいて振動させ、割箸にパルス波を発生させる。

図5 差金の振動子



- 上から15番目の割箸が振動してから、50番目の割箸が振動するまでの時間Tを、ストップウォッチで測定する。
- おもりの質量を、20g、80g、140g、200g、260g、320gと変化させて、時間Tを測定する。
- 割箸の代わりに、竹串、ストローについても同じように測定する。

測定時に注意したこと

- 振幅により波の伝わる速さが変化するおそれがあるため、振動子が5番目の割箸をたたくときの条件を一定にした。とくに、振動前の振動子と5番目の割り箸の距離は常に15mmになるように注意した。
- 測定者には、測定前に何度か練習してもらい、ある程度安定して測定できるようになってから測定した。

測定結果

割箸を用いたときの結果を表1に、竹串を用いたときの結果を表2に、ストローを用いたときの結果を表3に示し、図6と図7にそれらをグラフにしたものを示す。

表1 割箸を用いたときの波の伝わる速さ

おもりの質量	20g	80g	140g	200g	260g	320g	
T(秒)	1回目	2.86	2.33	2.03	1.80	1.61	1.48
	2回目	2.73	2.29	2.03	1.84	1.56	1.47
	3回目	2.72	2.39	1.94	1.74	1.53	1.41
	4回目	2.70	2.35	1.96	1.77	1.63	1.45
	5回目	2.82	2.40	1.96	1.79	1.66	1.52
	平均	2.77	2.35	1.98	1.79	1.60	1.47
速さv(cm/s)	19.0	22.3	26.5	29.3	32.8	35.7	

表2 竹串を用いたときの波の伝わる速さ

おもりの質量	20g	80g	140g	200g	260g	320g	
T(秒)	1回目	1.92	1.26	0.96	0.91	0.83	0.77
	2回目	2.04	1.22	1.08	0.85	0.85	0.76
	3回目	1.94	1.33	1.00	0.96	0.85	0.79
	4回目	2.02	1.31	0.99	0.90	0.93	0.77
	5回目	1.95	1.19	1.07	0.89	0.79	0.81
	平均	1.97	1.26	1.02	0.90	0.85	0.78
速さv(cm/s)	26.6	41.7	51.5	58	62	67	

表3 ストローを用いたときの波の伝わる速さ

おもりの質量	20 g	80 g	140 g	200 g	260 g	320 g	
T(秒)	1回目	1.47	0.89	0.71	0.61	0.51	0.49
	2回目	1.55	0.89	0.71	0.59	0.53	0.45
	3回目	1.46	0.94	0.74	0.58	0.51	0.49
	4回目	1.51	0.92	0.73	0.59	0.53	0.51
	5回目	1.46	0.91	0.73	0.59	0.53	0.44
	平均	1.49	0.91	0.72	0.59	0.52	0.48
速さ v (cm/s)	35.2	58	73	89	101	109	

図6 おもりの質量と波の伝わる速さ

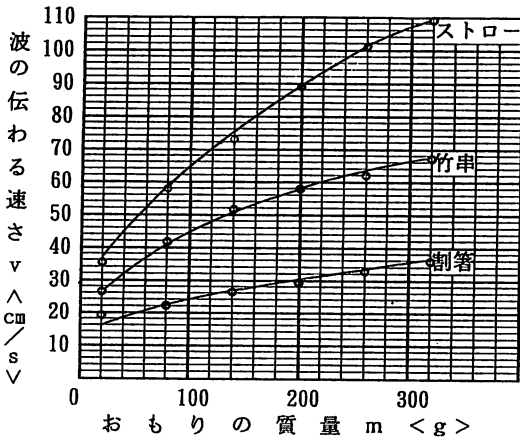
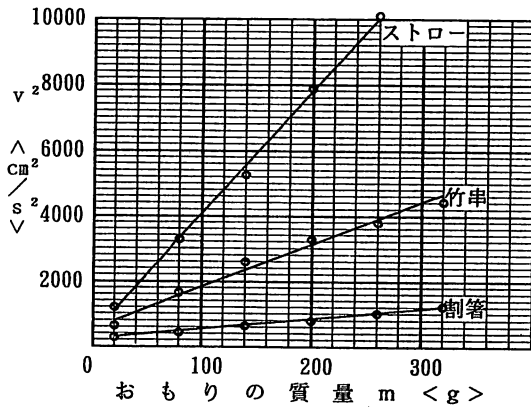


図7 おもりの質量と波の伝わる速さの二乗



測定の考察

表1～3からわかるように、この測定には再現性がある。

教科書では、弦を伝わる横波の速さは、「速さ v は、弦の張力 S と線密度 ρ により

$$v = \sqrt{S/\rho} \dots\dots\dots ④$$

で表されることが知られている」と記述されている。

図7で示したように、ウェーブマシンの使ったこの実験の結果は、④の式を示唆するものと考えら

れる。なぜなら、張力 S はおもりの重力 mg (g は重力加速度) に係わる量で、 m と v^2 の関係が直線のグラフにのっているからである。ただし、ウェーブマシンのそれは自身に質量があり、鉛直にウェーブマシンの吊り下げているため、 $S=mg$ ではないという問題があるが、ストローではウェーブマシンそれ自身の質量は無視できるほど小さい。

ウ) 探究活動

生徒にウェーブマシンを製作させると様々な工夫をする。例えば、セロファンテープを二重に貼ったり、セロファンテープの代わりに糸を使ったり、割箸の代わりにつまようじを使ったりする。また、 $S=mg$ ではないという問題があると述べたが、そのことの解決のためには、ウェーブマシンの水平にして、測定することも考えられる。

このように、ウェーブマシンを使った実験は、いろいろな工夫ができる余地があり、探究活動に適している教材ではないかと考える。

エ) 定常波と波の反射

図8 ストローのウェーブマシンの定常波



図8のように、ウェーブマシンの端を強制的に振動させて定常波をつくる。このとき、強制振動の振動数とウェーブマシンの固有振動数が一致しなければ、定常波はできない。生徒一人一人が自分のウェーブマシンで実験すれば、このことがよく分かる。

また、波の反射の実験もできる。波の反射には自由端反射と固定端反射とがある。ウェーブマシンの上端を強制振動させパルス波を下端に向けて送る。下端を自由に動けるようにしておけば自由端反射が、固定しておけば固定端反射が観察できる。下端に注目して

観察すれば、入射波と反射波の重なりも観察できる。

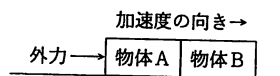
二人一組で実験させ、一人がパルス波を送り、もう一人が下端を観察するようにする。自由端反射のときは、下端で入射波と反射波が重なり、入射波よりも大きな振幅になるのが観察できる。固定端反射のときは、反射により位相が π ずれて、山で入射したパルス波が谷で反射することが観察できる。

3 二体問題に関する教材の工夫

接している二つの物体間にはたらく力の向きは、生徒が分かりにくいことの一つである。しかし、これが理解できれば、作用・反作用の法則はより深く理解できるようになる。さらに、運動方程式も無理なくたてられるようになる。

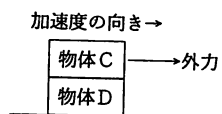
そこで、人の体や身近な素材を用い、接している二つの物体間にはたらく力の向きを、実感として理解させることのできる方法を考えた。

図9は、台上に置かれた二つの物体が



接していて、外力で後ろから押す場合である。このとき、二つの物体にはたらく力は、二つ物体の間にばねがあると仮定すれば分かりやすい。ばねは伸びることなく縮むであろうことが想像できるので、縮んだばねから、物体Aは外力の向きと逆方向に、物体Bは外力の向きにそれぞれ力を受けることが分かる。

しかし、図10のように、二つの物体を



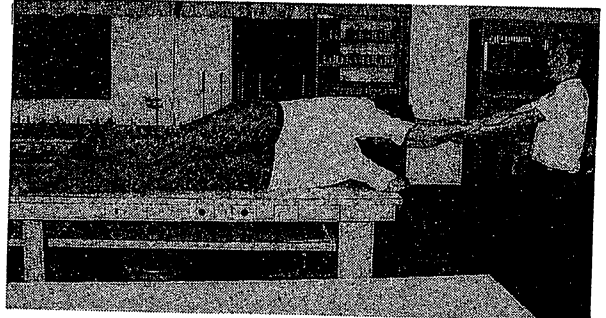
重ねて台上に置き、外力で引く場合は分かりにくい。このとき、物体CとDの間にはたらく力、すなわち、二つの物体にはたらく摩擦力の向きは理解しにくい。そこで、この場合の摩擦力の向きが簡単に分かる方法を提示する。

(1) 生徒が演じる場合

図11のように物体CとDを二人の人に置き換えて、別の人が上の人を引っ張るようにする。すると、下の人の背中が頭の方へ引かれ、上の人のお腹は足の方向

へ引かれる。このことは、図11のベルトの位置の移動からも分かる。この結果、実際に演じた人は摩擦力の向きを実感することになる。

図11 演じる場合



この場合の摩擦力も互いに作用と反作用の関係にある。二体問題を理解するときには、このようなことを実感することが必要であろう。

さらに、下の人を引っ張れば、物体Dを引く場合と同じ状態になり、物体Cを引く場合と摩擦力の向きが逆になることが分かり、さらに理解は深まる。

(2) 身近な物を利用する場合

次に、人ではなく身近な物を利用して摩擦力の向きを考える実験をした。使った物は、水でもどした高野豆腐、コンニャク、豆腐である。それぞれの実験結果を図12~14に示す。

図12 水でもどした高野豆腐を使った場合

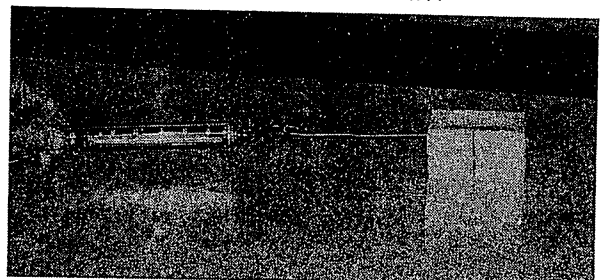


図13 コンニャクを使った場合

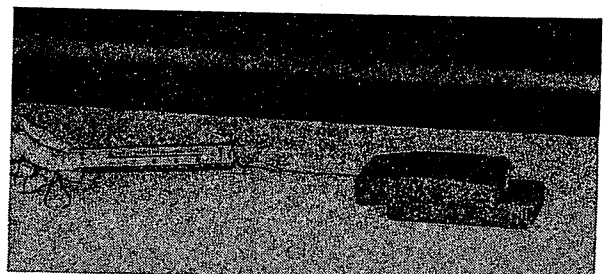
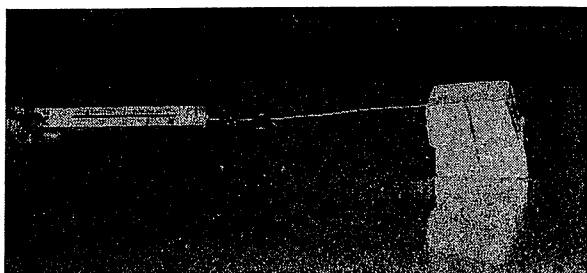


図14 豆腐を使った場合



これらの実験は、力を受けると物体が変形することを利用して摩擦力の向きを理解するものである。そのため、はたらいっている摩擦力の向きが分かるように、それぞれの物体には、ポスターカラーで縦に直線を引いておいた。

図12の高野豆腐の場合は、大きな外力が必要だったがあまり変形しなかったので、摩擦力の向きは明らかにはならなかった。

図13のコンニャクの場合は、二つの間の摩擦力が小さいために、上のコンニャクが滑ってしまった。

図14の豆腐の場合は、柔らかか過ぎてつぶれるのではないかと予想したが、摩擦力の向きが一番よく分かった。

このような簡単な実験でも

- a テーマを選択する
- b 素材を決め、実験の予想をする
- c 実験の予想について討論する
- d 準備して、実験をする
- e 実験結果について討論する

の手順をふむことにより、探究活動として利用できる。

おわりに

本研究は、筆者が高等学校で物理を教えていたときの経験を基に、改めて実験し研究したものである。実験をすれば、身近な素材を利用するアイデアも生まれてくる。教師が工夫することによって、生徒は物理が分かりやすくなり、教える方も教えられる方も楽しくなる。楽しければ、いわゆる理科離れは起きにくくなるだろう。楽しい授業は生徒の関心・意欲を喚起する。また、主体的な探究活動が生徒の思考力・判断力・表現力などの能力を育成し、やがては生きる力を育むことにつながっていく。

本研究において、色々な人にお世話になった。とくに、モデルになってくださった平成7年度5年次高校教員研修講座(B)を受講された理科の先生方や、測定などを手伝ってくださった方々に心からお礼を申し上げます。

参考文献

- ・文部省『高等学校学習指導要領解説(理科編)』1989
- ・文部省『中等教育資料』3月号 1993
- ・啓林館『高等学校物理I B』1994