

京都教育大学
平成二十五年度修士論文

高校物理波動分野における誤概念克服のための教材開発

教育学研究科
教科教育専攻 理科教育専修
古結 尚

指導教員：沖花 彰
指導教員：谷口 和成

目次

第1章 はじめに.....	4
第2章 本研究の背景.....	6
2.1 概念調査について	6
2.2 実践について	6
2.2.1 実践について	6
2.2.2 Interactive Lecture Demonstrations について	6
2.3 授業の評価について	8
2.4 日本の高校物理波動分野のカリキュラムについて	9
2.5 Wave Diagnostic Test について	11
2.6 Activity-Based Tutorials における波動分野の教材について	12
第3章 波動分野における概念調査.....	13
3.1 作成した波動概念調査（その1）	13
3.2 作成した波動概念調査（その2）	15
3.3 波動概念調査の結果.....	16
3.3.1 大学生の結果	16
3.3.2 高校生の結果	19
第4章 波動分野誤概念克服のための教材開発	23
4.1 速さの教材開発	23
4.2 重ね合わせの教材開発	25
4.2.1 重ね合わせの教材開発（その1）	25
4.2.2 重ね合わせの教材開発（その2）	27
4.3 位相の教材開発	29
4.3.1 位相の教材開発（その1）	29
4.3.2 位相の教材開発（その2）	31
4.3.3 位相の教材開発（その3）	32
第5章 波動分野誤概念克服のための教材実践と評価	33
5.1 大学における実践	33
5.1.1 展開1－速さ	33
5.1.2 展開2－重ね合わせ	36

5.1.3 展開 3－位相	36
5.1.4 授業評価	38
5.2 高校における実践	40
5.2.1 展開 1－速さ	41
4.2.2 展開 2－位相	44
5.2.3 展開 3－重ね合わせ	46
5.2.4 授業評価	48
第6章 おわりに	55
引用文献	56
謝辞	58
付録	i
A 概念調査	i
A.1 概念調査（その1）	i
A.2 概念調査（その2）	v
B 開発教材	ix
B.1 速さ	ix
B.2 重ね合わせ	x
B.2.1 重ね合わせ（その1）	x
B.2.2 重ね合わせ（その2）	xii
B.3 位相	xiv
B.3.1 位相（その1）	xiv
B.3.2 位相（その2）	xvi
B.3.3 位相（その3）	xviii
C 指導案	xx
C.1 大学生対象	xx
C.2 高校生対象（速さ）	xxxi
C.3 高校生対象（位相）	xxxv
C.4 高校生対象（重ね合わせ）	xl
D 研究活動の一覧	xliv

第1章 はじめに

日本における高校物理の授業では、一斉講義形式で行われることが多く、内容としては原理から公式を導き、その後問題演習を行うことが多い。このような方法では、問題を解く能力は養われるが、概念的な理解が定着できていないことも多い。最近では内村浩がその著書 [1]で「子どもたちが学校で学ぶ知識というのは、主に学校での学習場面という閉じた世界の中で構成され、しかもその知識を現実世界の中で実際に用いるというシミュレーションすら行われなことが多いいです。その結果、学校で学んだことは、知識の断片となりやすく、それらは学校でのテスト問題という条件下でしか思い出されないのです。」と述べている。学校で学んだことが断片化されることなく、概念的な理解につながる必要がある。

概念が定着しない一因として、生徒自身が学習前に持っている概念が、授業を受けても変容しないことが挙げられる。生徒の持つ特徴的な概念は、例えば、電流回路においては、「電池が定電流電源である」という考え方が知られている [2]。これは、電池は定電圧電源であり、抵抗の接続の仕方によって回路全体に流れる電流の大きさが変わるという正しい概念と異なる。また、力学においては、Motion Implies Force (MIF)誤概念というのが知られている [3] (図 1)。これは、「力の向きが運動の向きと一致する」という考え方であり、常に下向き一定の力がはたらくという正しい概念と異なる。

このような特徴的な概念は、通常授業を行っても変容が見られることが難しい。日本の高校生に対して行った調査 [4]では、力学の MIF 誤概念について尋ねている、コインにはたらく力の問題を正しく答えられたのは一般的な講義形式の授業後でも

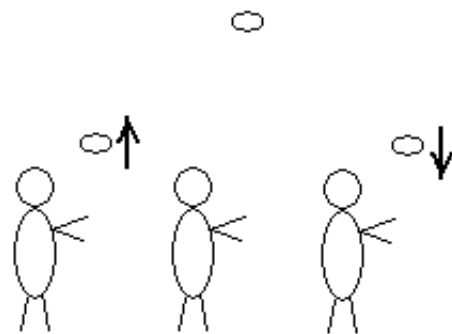


図 1 MIF 誤概念

1%~7%であり、授業の前後でほとんど変化が見られなかった。さらに、MIF 誤概念を選択した生徒の割合は授業後に増えた高校が多く、誤概念から脱却できない。これは通常授業の方法に課題があるのではと感じるところが報告されている。

概念を定着させるためには、生徒自身が自分の持つ概念と照らしあわせて捉え直す（認知的葛藤）を起こさせるような授業づくりが必要である。米国の Physics Education Research (PER)で、さまざまな教材が開発されている [5]。PER の研究では、力学や電気回路、光学の分野では研究が進んでいるが、他の分野についてはそれほど研究が進んでい

ない。波動分野の概念調査については、Wittmann が Wave Diagnostic Test (WDT)を作成している [6]。内容は、パルス波どうしの重ね合わせ、波の速度、音波である。1つのパルス波の波については、生徒が「粒子パルスメンタルモデル」を持っていると提唱している。しかし Wittmann の概念調査では波動分野の全ての内容が含まれているわけではなく、周期的な波や、位相の内容についてはどのような考え方を持っているか研究がなされていない。また、概念定着のための教材については PER が Activity-Based Tutorials [7]の中で波動分野の教材を作成しているが、少人数のグループに分かれて行う演習形式でスタッフも複数人必要であり、高校物理の現場でそのまま扱うことは難しい。さらに、教材の内容としては重ね合わせに関する概念定着を狙いにした教材になっているが、波の速さについては粒子パルスメンタルモデルを念頭に置いた構成になっているが、狙いが多少間接的になっている。また、位相の概念定着について用いられる教材はあまり知られていない。

日本の高校物理の内容において、波の分野の位相は学習範囲であるが、理解が難しい。位相とは、波の振動の進み具合のことであるが、時刻と位置の両方に関係している物理量であり、ある時刻における位置と位相の関係と、ある位置における時刻と位相の関係を理解することが必要になる。概念としては、位置的な変化である「波形の移動」と、時間的な変化である「各点の振動」を正しく理解することが大切であるが、「各点の振動」を比較することは大変難しい。

そこで本研究の目的は、高校物理波動分野において、概念の定着を図ることである。そのためまず、生徒がどのような概念を持つかを調査し、概念の克服のための教材を開発することである。実際の研究では、1年目に作成した概念調査によって生徒がどのような概念を持つかを大学生と高校生に調査した。それに基づいて、2年目に概念の克服のための教材を開発し、大学生と高校生に実践を行った。実践の評価には、1年目に作成した概念調査を用い、1年目の結果と比較した。本論文では、2章で研究の背景について述べる。作成した概念調査について、3章で述べる。さらに、概念調査でわかった生徒の概念の克服のために開発した教材について、4章で述べる。実際に大学と高校で実践を行い、その評価を作成した概念調査で行ったことを5章で述べる。

第2章 本研究の背景

2.1 概念調査について

生徒がどのような概念をもっているかに関する研究は、力学、電気回路、光学分野でたくさんなされている。概念調査としては、FCI (Force Concept Inventory) [8] , FMCE (Force and Motion Conceptual Evaluation) [9] (力学) , ECCE (Electric Circuit Conceptual Evaluation) (電気回路) , LOCE (Lens and Optics Conceptual Evaluation) (光学) などが作成されている。特徴的な誤概念としては、力学では図 1 の MIF 誤概念というのがよく知られている。また、物質の運動を考える上で、水平方向の運動、斜面の運動、鉛直方向の運動を別々に捉える傾向があるということも示されている。

2.2 実践について

2.2.1 実践について

前節で明らかになった誤概念を克服するための教材はいくつも開発されている。アメリカ Physics Education Research (PER)では、大学初年次学生向けの教材が開発されている [10] [11] [12]。また、理学部以外の学生や教員向けの教材も開発されている [13]。これらは、対象が大学生であるため、高校物理の内容は既習であることを前提にしている。内容の構成については、正しい概念と異なる考え方を持ちやすい内容について、実験を進めるうちに認知的葛藤を起こさせるように構成されている。

また、認知的葛藤を起こさせるような授業としては、日本でも、仮説実験授業 [14]、玉田方式 [15]、のぼりおり [16]等が開発されている。さらに、認知形式（シエマ）に対する葛藤を起こさせるプログラムは、Cognitive Acceleration through Science Education (CASE)などがある [17]。

2.2.2 Interactive Lecture Demonstrations について

今回教材開発を行う上で大きく関係している Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)について述べる。ILDs は、PER によって開発された大人数講義向けの教材である。演示する者は1人である。ILDs の授業方式は、まず、教材として授業中に記入するための予想シートと結果シートが生徒に渡される。予想シートは授業の終わりに提出させ、結果シートは持ち帰らせる。

各分野に対して演示実験がいくつか用意されており、各演示実験の流れは表 1 のように、個人で予想シートに予想を書く。その後、いくつか予想を出しあい、その後演示者が結果

を見せる。生徒に結果を確かめさせた後、結果シートに結果を書く。個人で記述した予想を出しあうことにより、社会的構築が行われる。

表 1 ILD の各演示実験の流れ

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・ 行う演示実験を、データを取らずにやってみせながら説明する。・ 学生に、自分自身の予想を立てさせ、それを予想シートに書き込むように求める。・ 学生に、その結果について近くの人と話し合わせて、意見の一致が得られた予想を予想シートに書かせる。・ ボードにいろいろな予想を書いて、クラス討論を行う。・ 演示実験を行い、データを取り、学生に結果を自分の結果シートに書き写させる。・ なぜ得られた答が理にかなっていない、他の答に問題があるのかを考察する短いクラス討論を行う。 |
|--|

また、個人で考えた予想が、他の人の予想とどのような関係にあるのかを見るために、クリッカーという装置を用いる場合がある。これは、各個人に番号のついた装置が与えられ、各個人が選択したものをパソコンで集約し、選択肢の分布をプロジェクターで表示するというものである。クリッカーを用いることにより、自分の予想を相対的に捉えることができる。

本研究で ILDs を参考にした理由は、日本の高校物理の授業では、教員 1 人のみで授業を担当し、助手や補助者に入ってもらえるような環境は難しいという点である。また、ILDs を高校生のような初学者を対象に実践する場合、定式化や公式のような一般的な関係性を確認するような問いがとくに設けられていないという点が課題である。これは、そもそも ILDs の対象が大学生で物理既習者であるため、定式化や公式について改めて一般化するということが必要ないからである。

2.3 授業の評価について

授業の評価については、授業前（プレテスト）と授業後（ポストテスト）に概念調査を行い、Hake の提唱した normalized gain（ゲイン） g [18]によって行われる。

$$g = \frac{\text{post} - \text{pre}}{1 - \text{pre}}$$

ここで、pre とはプレテストの正答率、post とはポストテストの正答率である。授業を受けてポストテストで全員正答する可能性があるが、このゲインは、プレテストからポストテストで正答率が上昇する可能性のある最大値に対して、実際に正答率が上昇した値の割合を表す。Hake の調査により、既得学力が異なるグループ間での教育効果を比較する一つの方法になり得ることを示唆している¹。

¹ プレテストよりポストテストの正答率が下がる場合ゲインの値はマイナスになるが、このときの値の解釈については明示されていない。

2.4 日本の高校物理波動分野のカリキュラムについて

日本の高等学校学習指導要領理科「物理基礎」波動分野では、表 2 のような内容と取り

表 3 高校「物理基礎」波の学習指導要領

イ 波
(7) 波の性質
波の性質について、直線上に伝わる場合を中心に理解すること。
(内容の取り扱い)
…内容については、作図を用いる方法を中心に扱うこと。また、定在波も扱い、縦波や横波にも触れること。…

扱いを掲げている [19]。高校では波動方程式は発展の内容であり、作図を用いる方法を中心に理解することが挙げられている。また、具体的な内容については、表 3 のようであり、一般的な波について、ある程度の時間をかけて教えている。波はイメージをきちんと捉える必要があり、概念的にも難しいものである。

表 2 高校「物理基礎」波の学習内容

とくに、位相は高校物理の範囲であるが、理解が難しい。位相とは、波の振動の進み具合のことであるが、時刻と位置の両方に関係している物理量であり（図 2）、ある時刻における位置と位相の関係と、ある位置における時刻と位相の関係を理解することが必要になる。概念としては、位置的な変化である「波形の移動」と、時間的な変化である「各点の振動」を正しく理解することが大切であるが、「各点の振動」を比較することは大変難しい。

- | |
|--------------------------------|
| 1 波の伝わり方 |
| A 波とは |
| B 波形の移動と媒質の振動 |
| C 周期的な波 |
| 等速円運動と単振動、単振動と正弦波、波の位相、同位相と逆位相 |
| D 横波と縦波 |
| 縦波の表し方 |
| 2 波の性質 |
| A 波の独立性と重ね合わせの原理 |
| B 定常波 |
| C 自由端反射と固定端反射 |
| 正弦波の反射 |

このように，波は現象として視覚的に捉えることが可能なので，授業で学習する前の段階でも一定のイメージや概念を持っていると考えられる。以上のような観点から，波動分野を学習する際，生徒がどのような概念を持っているかをきちんと把握し，その上で波の概念を定着させる手法を正しく用いることが必要であると考えられる。

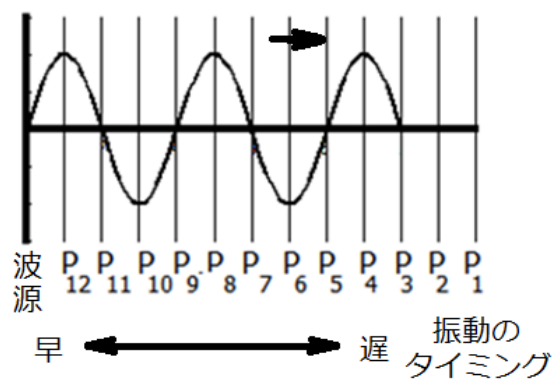


図 2 波の位相

2.5 Wave Diagnostic Test について

波動分野の概念調査については、Wittmann が Wave Diagnostic Test (WDT)を作成している [6]。内容は、パルス波どうしの重ね合わせ、波の速度、音波である。1つの波束の波については、生徒が表 4 のような粒子パルスメンタルモデルを持っていると提唱している。Wittmann の概念調査には、周期的な波や、位相の内容は含まれていない。

表 4 粒子パルスメンタルモデル

粒子のふるまい	粒子パルスメンタルモデル	波動のふるまい
強く投げると速くなる	腕を速く振るとパルス波が速くなる	波の速さは媒質のみによる
小さい物体ほど簡単に速く投げられる	小さいパルス波ほど速いものが作れる	パルス波の大きさや作られ方は速さと無関係
運動を考えると、質量中心を考える(例:トラジェクトリ)	重ね合わせを考えると、パルス波のピークのみ考慮する	波の性質を記述する場合、波全体を考慮する(例:重ね合わせ)
物体は衝突し、運動の向きを変える	パルス波は衝突し、消えるか減る	波は永久的な影響を与えずに通る

また、WDT の音波の問題では、「高くて小さい音」と「低くて大きい音」の速さを比較する設問になっており、「高さや大きさが速さに影響するが、相殺して同じ速度になる」と考えると、考え方が間違っているのに結果的に正解になってしまい、問題文の正当性に疑問があると思われる。

2.6 Activity-Based Tutorials における波動分野の教材について

Activity-Based Tutorials とは、Activity-Based Physics プロジェクトの一環として PER の作成した少人数生徒向けの演習のための教材である。スタッフは学生 15 名につき 1 名であり、演習の授業のために複数のスタッフが必要である。この Activity-Based Tutorials は、以下のような想定に基づいた演習である。

- ・概念に関する学習がコース全体（講義、宿題、学生実験）にわたって組み込まれており、演習だけが概念発達のための唯一の機会ではない。
- ・定量的な問題を解くことは、その授業にとって重要な目標である。
- ・演習では適切にコンピュータ・ツールを使用する。

以上のように、概念定着を念頭に置いて作成した教材であり、波動分野の各内容においては以下のような構成になっている。

速さについては、ばねの上を伝わるパルス波のうち、いくつか形の異なる波形（振幅や波長）の波を比較して、どのようにばねを持つ手の振り方を変えたかを尋ねる。次に、伸ばしたばねと元の長さのばねの上を伝わる波を比較する。最後に、波の速さと関係する変数と、波の速さに影響しない変数について尋ねる。以上のような流れで速さについての演習が構成されているが、張力と速さの関係については直線的に考えられるような質問になっているが、波源の振幅や振動数については波形から類推した上で議論するような構成になっており、直接波源の振幅や振動数と速さの関係について尋ねておらず、間接的な議論に留まっている。であるからして、「腕を速く振るとパルス波が速くなる」という粒子パルスメンタルモデルが引き出されない可能性があると思われる。

重ね合わせについては、2つのパルス波がちょうど中央までやってくる少し前と少し後についての波形の形を尋ねており、粒子パルスメンタルモデルの「パルス波は衝突し、消えるか減る」を狙った問いになっている（図 3）。

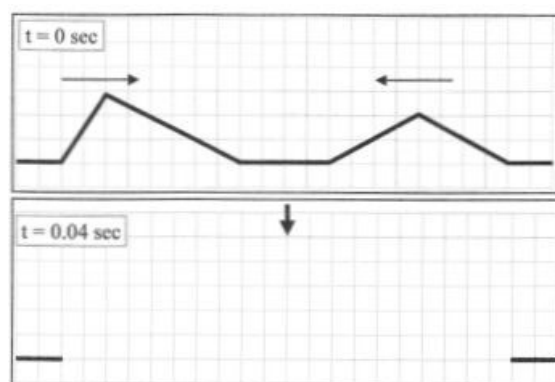


図 3 重ね合わせの教材

第3章 波動分野における概念調査

3.1 作成した波動概念調査（その1）

周期的な波や位相を含む新たな波動概念調査を作成した。問題数は9問である。位相に関する問題として、まず、パルス波が移動するにつれて、ある点Pの高さが時間的にどのように変化するかを尋ねた（図4）。問3ではひもの上のパルス波について尋ね、問4ではグラフで尋ねた。これは、異なる文脈で尋ねることによって、生徒の理解が異なるかどうかを見るためである。

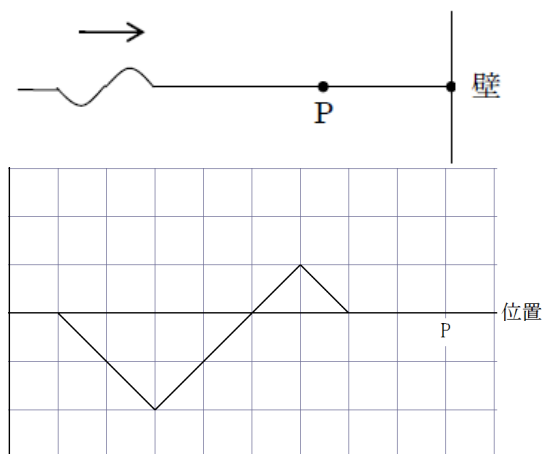


図4 位相の問題（上:問3, 下:問4）

次に、周期的な波の位相について質問した（図5）。位相は、各点の振動の進み具合を示すものなので、そのポイントを把握しているかどうかを問う問題にした。具体的には、周期的な波が波源から伝わっていくときに、各点A, B, Cの振動し始める時刻、振動の回数、振動する時間の長さについての関係を尋ねた。問5ではひもの上の波について、自由記述方式で尋ねた。問6-9では、水面波について、多岐選択肢方式で尋ねた。こちらも、文脈や答え方の違いで、生徒の理解が異なるかどうかを確かめるためである。

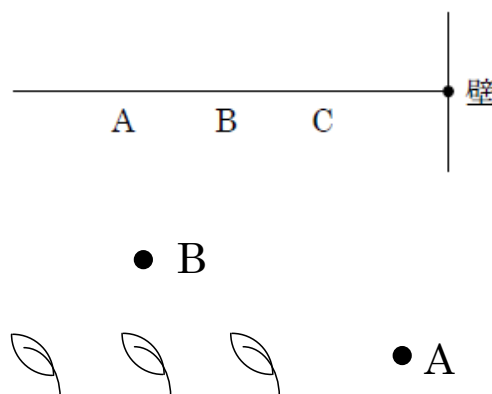


図5 連続的な波の位相の問題
（上:問5, 下:問6-9）

作成した波動概念調査では、他に、WDTの音速の正当性を確かめる問題（表5）と、粒子パルスメンタルモデルを確認するための重ね合わせの問題（図6）も含めた。

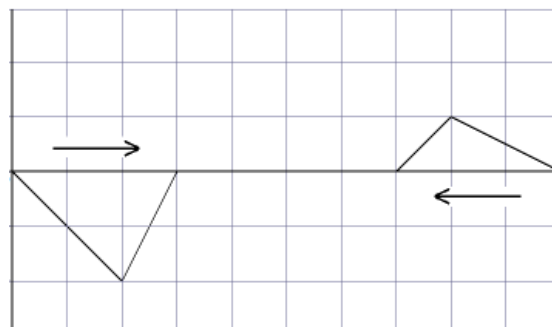


図6 重ね合わせの問題（問1）

表 5 音波の問題 (問 2)

A 君が遠くに離れた B 君に向かって、以下の各問いにあるような声で呼びかける。B 君に声が届くまでの時間の関係について、最も適切なものを以下の(a)~(c)から選べ。

(1) 高い声と低い声で呼びかけるとき、高い声に比べて、低い声が届くまでの時間は
() 自信度

(2) 大きい声と小さい声で呼びかけるとき、大きい声に比べて、小さい声が届くまでの時間は
() 自信度

(3) 高くて小さい声と、低くて大きい声で呼びかけるとき、高くて小さい声に比べて、低くて大きい声が届くまでの時間は
() 自信度

(4) 高くて大きい声と、低くて小さい声で呼びかけるとき、高くて大きい声に比べて、低くて小さい声が届くまでの時間は
() 自信度

(a)長い	(b)短い	(c)同じ
-------	-------	-------

さらに、各設問にはどの程度自信をもって解答したかを表す「自信度」を4段階で尋ねた。これは、自身を持って答えても間違えてしまうという誤概念特有の傾向を引き出すためである。

また、問 5-9 を問うときには、図 7 のように実際の物を見せながら調査を行った。実物が準備できない場合でも、写真を用意し、どのような状況なのかがわかるようにした。ただし、実際の物で波を起こして尋ねるのではなく、あくまでも質問の状況を把握する助けるために実物を見せた。



図 7 連続的な波の位相の問題を問う際に用いた実物

作成した概念調査を行いながら，変更した部分がある。音速の問題では速さが変わらない状況しか尋ねていないので，速さと関係する物理量について尋ねる問題が必要だと思った。また，周期的な位相についてはいくつも尋ねたが，選択肢で尋ねたほうが答えやすいと思い，問題を精選した。

3.2 作成した波動概念調査（その2）

概念調査（その1）を実施した上で，（その2）を作成した。（その2）の問題数は6問である。速さについて，速さと関係する物理量について尋ねる問題として，ひもの上の波の速さを速くするためにはどうしたらいいかを尋ねた（図8）。また，周期的な位相については，（その1）の問5を省略し，さらに，問6-9で点A, Bを波源とする2種類の水面波を尋ねていたものを，点A1種類のみの質問にした。



図8 速さの問題（問1）

3.3 波動概念調査の結果

今後開発する教材が、通常授業と比べて効果があるかどうかを確かめるために、通常の講義形式の授業方法で教えた生徒に対して、概念調査を実施した。対象は、高校 2 年生に対して、授業前 3 クラス 128 名、授業後 3 クラス 127 名であった。また、既習者の大学生がどのような概念を持つのかを調べるために、大学学部生 45 名に対して、大学の授業時に調査を行った。大学生は教育大学の物理学を受講している学生である。高校の時に物理学を学んだ学生もいれば、学んでいない学生もいる。調査時期は、高校生は波動分野の通常授業前後 2 回であり、大学生は授業時に 1 回である。調査結果を分析すると、物理の波動分野を未習の生徒・学生には、特徴的な誤答が見つかった。大学生、高校生の結果をそれぞれ述べる。

3.3.1 大学生の結果

対象は、大学学部生 45 名に対して、大学の授業時に調査を行った。大学生は教育大学の物理学を受講している学生である。

速さについては、大きさと高さが相殺すると考える生徒が多いことがわかった（図 9）。Wittmann の WDT の質問では、「高くて小さい声」と「低くて大きい声」を比較して尋ねているが、この質問だと考え方が間違っているのに正解してしまう可能性があることがわかった。

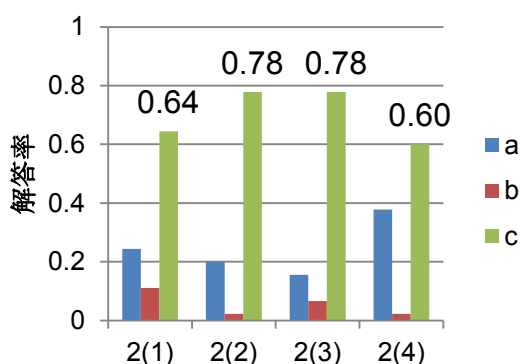


図 9 速さの解答の分布

重ね合わせの解答の分布は表 6 のようになった。具体的な解答の例は表 6 のようであり、波の高さを運動量のように考えて、物体の衝突と同じように考えてしまう誤答が授業前でも授業後でも見られた。また、解答の中にはピークが 2 つあるものが見られたが、これは粒子パルスメンタルモデルで提唱されている「質量中心を考える」ということと同様の考え方であるとみなすことができる。

表 6 重ね合わせの解答の分布

正解	重ねあわせなし	運動量的	2 ピーク
0.34	0.11	0.11	0.09

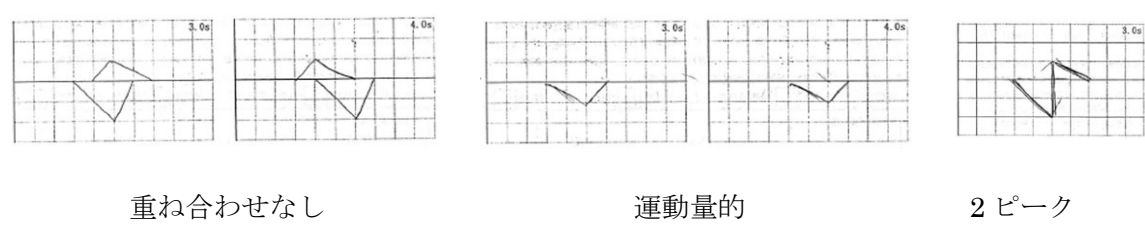


図 10 重ね合わせの解答の例

波の位相に関しては、図 11 のように、1 つのパルス波の波が通過しただけなのに、波が通過した後の点が連続的に振動すると答える生徒が一定の割合見られた(表 7)。これは、生徒がひもの上を伝わる波を考えると、日常的な経験から周期的な振動をイメージするためだと思われる。

表 7 位相の解答の分布

正解	反転	連続
0.51	0.09	0.09

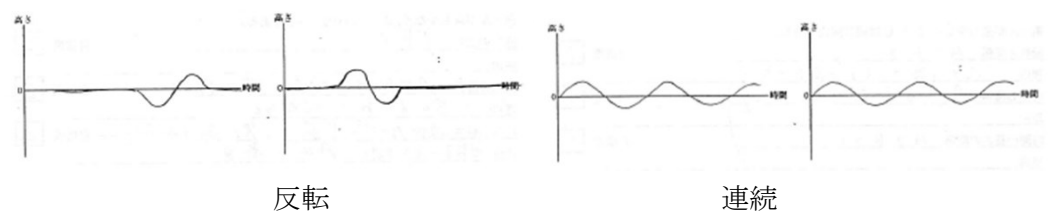


図 11 位相の解答の例

連続波の位相に関しては、波の伝播を空間的に正しく捉え、「 $A < B < C$ 」の順に波が伝わると正しく答えた割合が高い一方で、各点における波の位相については回数を比較すると「 $A > B > C$ 」と正しく答えた割合が低く、どの位置でも回数が「同じ」、つまり位相が同じであるという誤答が少なからずあるということがわかった（図 12）。このことは、既習者でも同じ傾向があった。学生は、波が領域全体に渡ると波全体を一つの物体としてみなしていると考えられる。これは、パルス波に関する粒子パルスメンタルモデルを、連続波に拡張したものだと考えることができる。

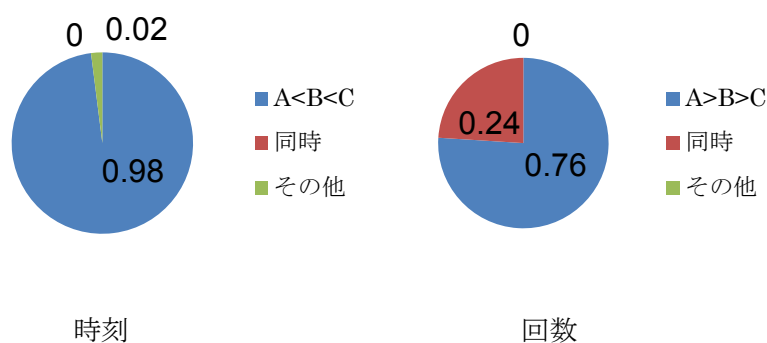


図 12 位相の解答の分布

3.3.2 高校生の結果

対象は、通常授業の形式で必修物理を学ぶ高校 2 年生に対して、授業前 3 クラス 128 名、授業後 3 クラス 127 名であった。調査時期は、高校生は波動分野の通常授業前後 2 回である。

速さの解答は、図 13 のような分布になった。プレテストでは、(3)と(4)で高さと振動数の組み合わせを逆にして尋ねた場合、正解「c:同じ」と答えた割合が大きく異なることがわかる。これは、「高さ」と振動数が相殺して速さが同じになる」と考える傾向が大きいということである。

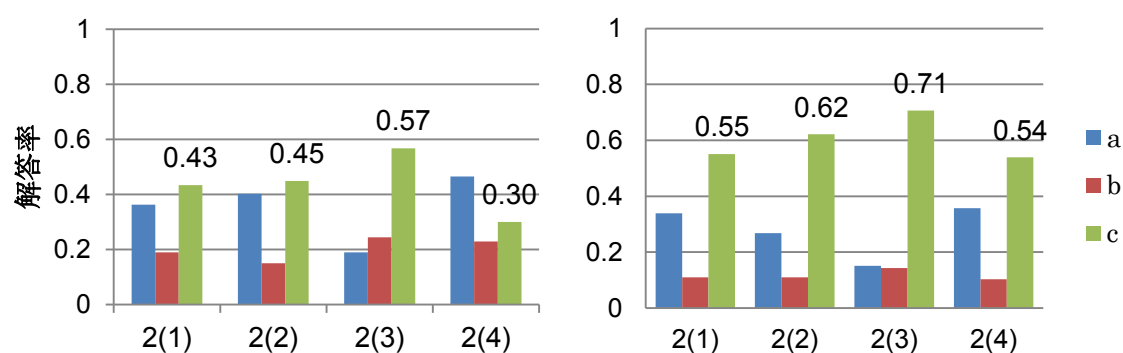


図 13 速さの解答の分布 (左：プレ、右：ポスト)

重ね合わせの解答は、表 8 のような分布になった。大学生と比べると、高校生はどのように重ね合わせをすればよいかわからない生徒が多いのが特徴的である。

表 8 重ね合わせの解答の分布

	正解	重ね合わせなし	運動量的	2 ピーク
プレ	0.06	0.55	0.10	0.06
ポスト	0.54	0.08	0.04	0.23

位相の解答については、表 9 のような分布になった。プレテストでは、連続的に振動すると思う生徒が大学生よりも多いことがわかった。

表 9 位相の解答の分布

	正解	反転	連続
プレ	0.20	0.07	0.38
ポスト	0.54	0.05	0.13

連続的な波の位相の解答については、図 14 のような分布になった。プレテストでもポストテストでも、「波の移動」を考える時刻に関する正解「時刻が $A < B < C$ の順」を答える割合が高い一方で、「各点の振動」を考える回数や時間に関する正解「 $A > B > C$ の順」を答える割合が低い。また、誤概念である「同じ」と答える割合がプレテストからポストテストになっても変化がないことが特徴的である。

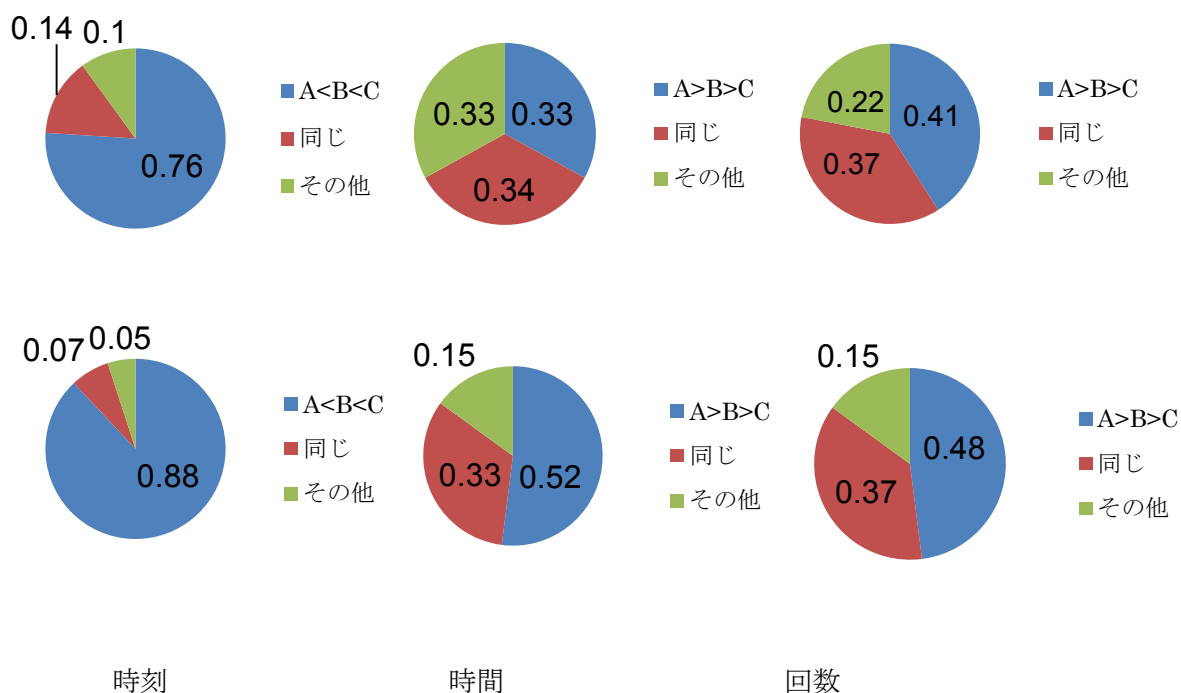


図 14 位相の解答の分布 (上 : プレ, 下 : ポスト)

通常の講義形式の授業を行う前後のプレテストとポストテストの結果から、講義形式の授業が概念定着にどの程度効果があるかを見るために、ゲインの値をそれぞれの内容について見ていく。

速さについての生徒の概念の変容は図 15 のようになった。(1)-(4)の各問いを比較すると、プレやポストの正答率の値は異なるが、ゲインの値はそれほど変わらないのが特徴的である。

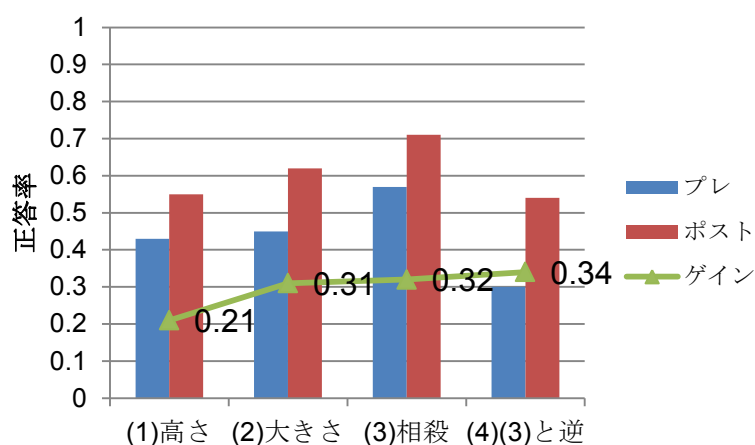


図 15 生徒の変容 (速さ)

重ね合わせについての生徒の概念の変容は図 16 のようになった。重ね合わせは、学習する前には重ね合わせをすることができず、学習すると重ね合わせができるようになる生徒が多いため、ゲインの値が高いと思われる。

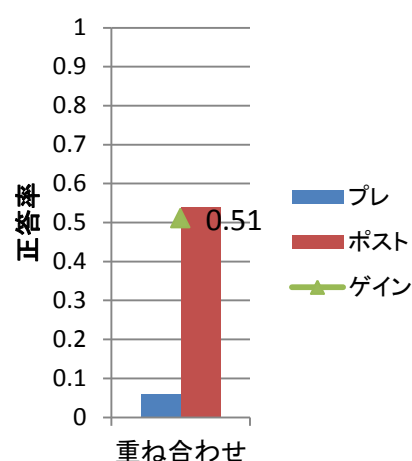


図 16 生徒の変容 (重ね合わせ)

位相についての生徒の概念の変容は図 17 のようになった。時刻についてはゲインの値が高いが、回数や時間はそれほど高くはないことがわかる。これは、回数や時間について理解することが難しいためだと思われる。

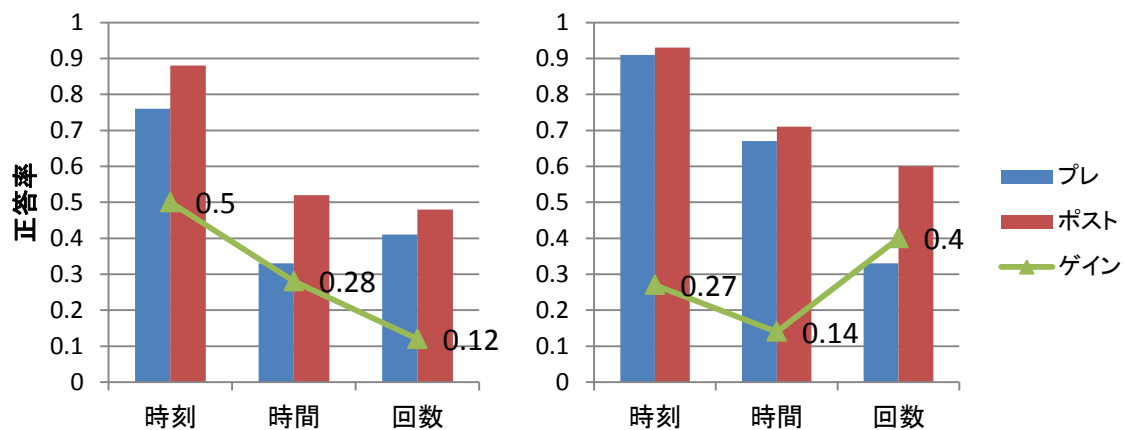


図 17 生徒の変容 (位相) (左：全体，右：自信あり)

これらの生徒・学生の理解を踏まえて、誤概念を克服するような授業カリキュラムの開発を行う。

第4章 波動分野誤概念克服のための教材開発

上述の概念調査の結果，わかった点をふまえ，誤概念を克服するための教材開発を行った。授業方法や資料はILDsを参考に作成した。また，大学生に対して実践を行った後，高校生に対して実践を行ったが，初学者に対してそのまま用いると，葛藤が少ないことが明らかになった。そこで，元々一般化を振り返る部分が設けられていないILDsに，1つの項目として一般化を行う振り返りを追加するという改善を行った。

4.1 速さの教材開発

速さにおいては，プラスチックバネを用いた。図18のように教卓の上でバネの一端を手で持って振動させた。他端を固定すると反射する波が大きくなってわかりづらくなった。そこで，バネにリングを付け，そのリングを棒に通して，バネがある程度



図18 速さの教材（プラスチックバネ）

自由に動くようにしたところ，反射波は小さくなりわかりやすくなった。また，教卓の上で振動させたため後ろの生徒からは見えづらくなったため，見やすくするために実体投影機を用いて，スクリーンに写し出した。

演示実験1では，表10のように，ばねの伸びを変えて波源を振動させるとき，波の速さはどうなるかを予想させ，その理由を書かせた。

表10 速さの教材

<u>演示実験1</u> ばねを上下に1回動かしてできる波を考える。ばねをあまり伸ばさないで振動させるときに比べて，伸ばして振動させるときは，波の速さはどうなるか予想し，その理由を述べよ。

演示実験 2 と 3 では、表 11 のように波源の手の動かし方のうち、大きさとすばやさの組み合わせを変えて尋ねた。具体的には、演示実験 2 では、「大きくすばやく」と「小さくゆっくり」を比較し、演示実験 3 では「小さくすばやく」と「大きくゆっくり」を比較した。このように、組み合わせで尋ねた理由は、Wittmann の WDT の調査結果を分析した際、「振幅や振動数の影響が相殺して結果的に速さが変わらない」という意見が少なからずあったため、その点を明確にするためである。また、目で見えて比較することが難しいと予想されたため、ビデオ撮影した動画を用意し、2 つの動画を同時にコマ送りで再生することにより、結果を確かめた。

表 11 速さの教材

演示実験 2 ばねを上下に 1 回動かしてできる波を考える。大きくすばやく動かすときに比べて、小さくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想し、その理由を述べよ。

演示実験 3 ばねを上下に 1 回動かしてできる波を考える。小さくすばやく振動させるときに比べて、大きくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想し、その理由を述べよ。

また、速さの授業では、予想が「速くなる」「遅くなる」「同じ」のいずれかに絞れるので、クリッカーを用いて予想の分布を示し、議論をしやすいようにした。

4.2 重ね合わせの教材開発

重ね合わせの予想シートについては、実践を重ねながら演示実験の改善を行った。はじめのその1では内容が重複していたため、その2では内容を変更した。以下に、順に説明していく。

4.2.1 重ね合わせの教材開発（その1）

重ね合わせの教材として、プラスチックバネの上の波を見せることを考えた。図 19 のように、速さで用いた教材と同じものを用いて、波を見せた。



図 19 重ね合わせの教材
(プラスチックバネ)

演示実験1では、波の進み方について「媒質が波の進む方向に移動する」という考え方があるため、その点を正しく理解するために水面波の時間変化を尋ねた。

演示実験2, 3では、図 20 のように、ばねの両端の2か所を同じ方向、または反対方向に弾いてパルス波を作った後、中央での波形を尋ねた。

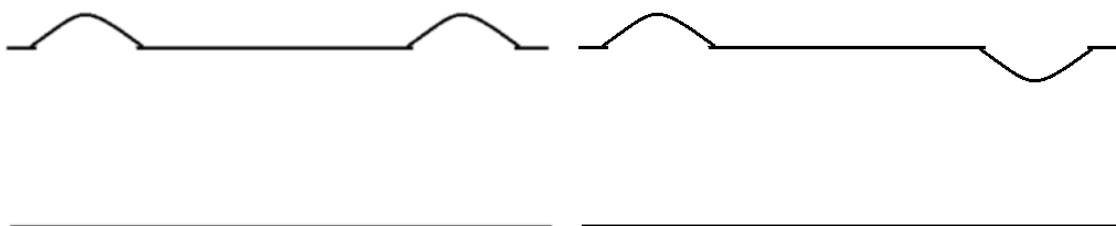


図 20 重ね合わせの教材（その1）

演示実験4，5では，異なる文脈で尋ねることを意識し，図21のようにウェーブマシン上のパルス波の重ね合わせを尋ねた。波が重なった時の波形を確認するために，ビデオ撮影した動画を準備した。

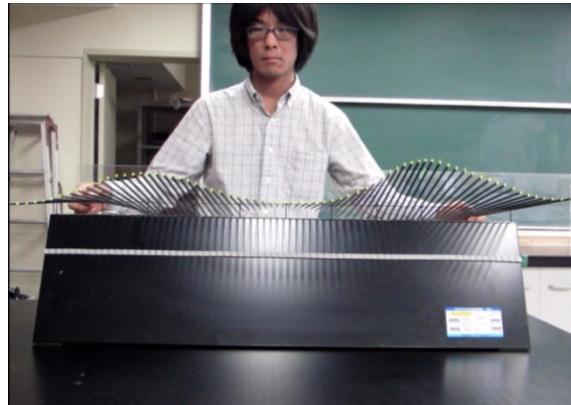


図 21 重ね合わせの教材（ウェーブマシン）

実際に実践したところ，文脈は異なるが全く同じ内容であったため，実践が冗長であった。また，波形の様子を議論したところ，ちょうど重なる直前や直後が論点になった。そこで，その2の教材では以下のように変更した。

4.2.2 重ね合わせの教材開発（その2）

その2の教材では，細長い水槽の中の水面波を見せることを考えた。図 22 のような細長い水槽を用いて，ペットボトルを押し込んでできた水面波を見せた。



図 22 重ね合わせの教材（水面波）

演示実験1では，水面波について「媒質が波の進む方向に移動する」という考え方があ
るため，その点を正しく理解するために水面波の時間変化を尋ねた。

演示実験2，3では，図 23 のように，水面波で振幅が同じパルス波がちょうど重なっ
たときの波形を尋ねた。ビデオ撮影した動画を撮影した。

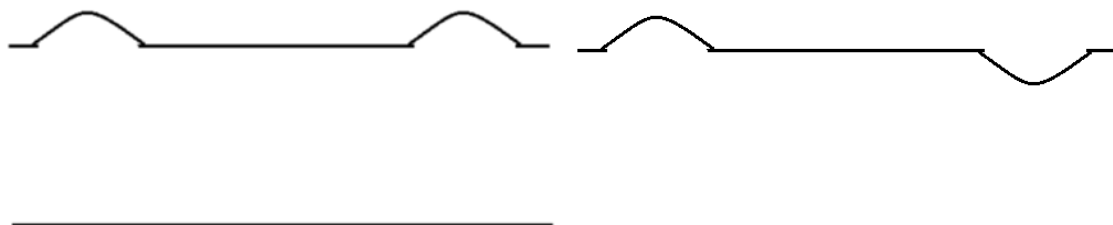


図 23 重ね合わせの教材（その2）

演示実践4，5では図 24 のように，ちょうど重なる直前や直後の波形の様子を尋ねるように変更した。教材は，その1と同様にウェーブマシンを用いた。こちらも，直前や直後の波形を確認するために，動画を準備した。

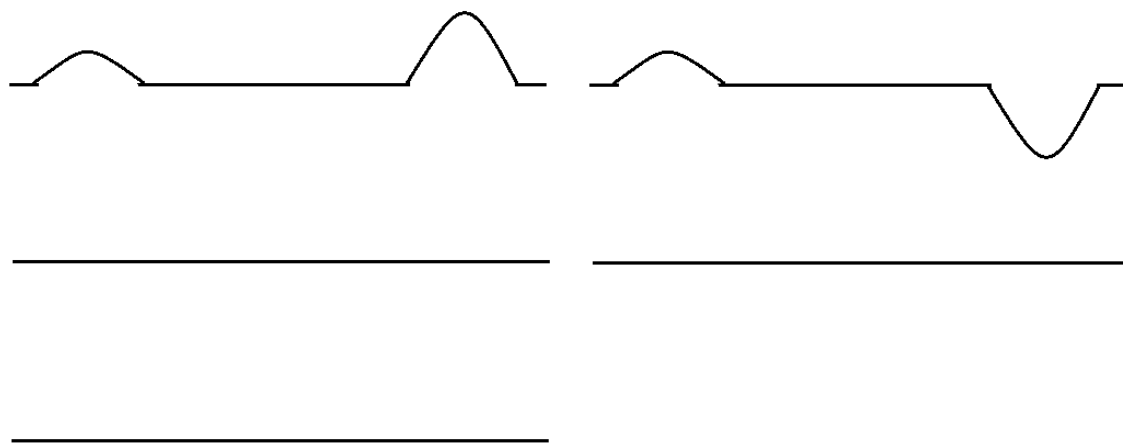


図 24 重ね合わせの教材（その2）

4.3 位相の教材開発

位相の予想シートについては、実践を重ねながら演示実験の改善を行った。はじめの大学生向けの演示実験では、各点の振動について着目して考えさせることが不十分だということがわかった。以下に、順に説明していく。

4.3.1 位相の教材開発（その１）

位相の教材は、ウェーブマシンと水面波を用いることを考えた。ウェーブマシンでは、図 25 のように 3 つの印を等間隔につけ、振動し始めたときと静止したときを尋ねた。

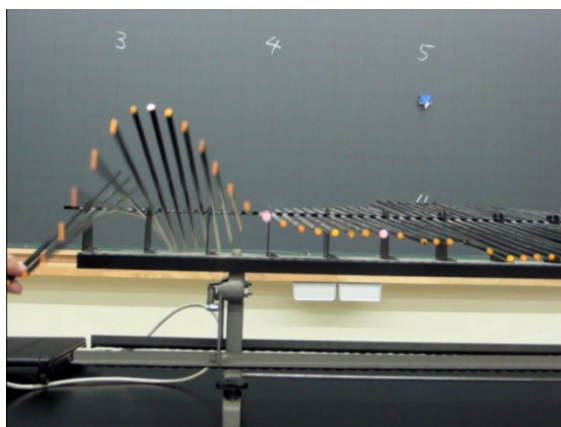


図 25 位相の教材（ウェーブマシン）

演示実験 1，2 では、ウェーブマシンにおける周期的な波の振動し始めと静止したときの各点の様子を尋ねた。わかりづらいときにコマ送りで確認するために、ビデオ撮影した動画を用意した。

表 12 位相の教材（その１）

<u>演示実験 1</u> ウェーブマシンに等間隔に 3 つの印をつけて、振動させる。波長は左と右の印の距離より少し長いとする。上方向に振動させ始めたところ、左の印が初めて最も上方向に変位した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。次に、真ん中の印が最も上方向に変位した。このとき、左、右の印の様子を描きなさい。 <u>演示実験 2</u> ウェーブマシンに等間隔に 3 つの印をつけて、振動させる。振動を上に変位させてから止めたところ、左の印が静止した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。次に、真ん中の印が静止した。このとき、左、右の印の様子を描きなさい。

演示実験 4, 5 では, 図 26 のように水面に発泡スチロールの浮きを等間隔に浮かべ, 水面波における周期的な波の振動し始めと静止したときの各点の様子を尋ねた。わかりづらいときのために, ビデオ撮影した動画を準備した。

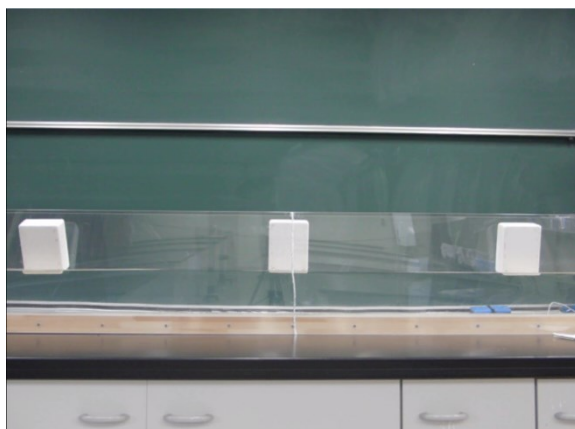


図 26 位相の教材 (水面波)

表 13 位相の教材 (その 1)

演示実験 4 水面に等間隔に浮きを 3 つ浮かべて, 振動させる。波長は 2 つの浮きの距離ぐらいとする。上方向に振動させ始めたところ, 左の浮きが初めて最も上方向に変位した。このとき, 真ん中, 右の浮きの様子を描きなさい。その後, 左の浮きが再び最も上方向に変位した。このとき, 真ん中, 右の印の様子を描きなさい。

演示実験 5 水面に等間隔に浮きを 3 つ浮かべて, 振動させる。波長は 2 つの浮きの距離ぐらいとする。振動を止めたところ, 左の浮きが上方向に振動した後, 静止した。このとき, 真ん中, 右の浮きの様子を描きなさい。次に 1 回振動した時間の後, 真ん中, 右の浮きの様子を描きなさい。

位相を理解するためには, 「波形の移動」と「各点の振動」の関係を理解することが重要であるが, この教材を実践したところ, 「各点の振動」を考えることがなされていないことが浮き彫りになった。そこで, その 2 の教材では以下のように変更した。

4.3.2 位相の教材開発（その2）

その1の教材では「各点の振動」について明示的に質問する演示実験がなかったため、その2の実践では表14のように変更した。

表 14 位相の教材（その2）

演示実験3 ウェーブマシンに等間隔に3つの印をつけて、振動させる。波長は左右の印の距離より少し長いとする。上方向に振動させ始めたところ、左の印が半周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印がさらに半周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。

演示実験4 ウェーブマシンに等間隔に3つの印をつけて、振動させている。波長は左右の印の距離より少し長いとする。振動を上に変位させてから止めた。左の印が静止してから半周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印が静止してからさらに半周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。

このように変更した教材を用いて1クラスで実践を行ったところ、演示実験3、4ではほとんどの領域で変位がゼロになってしまい、違いがわかりづらかった。そこで、他の3クラスでは以下のように変更した。

4.3.3 位相の教材開発（その3）

その3では、考え方が異なると予想の波形がはっきりと区別がつくように、時刻を $1/4$ 周期後にした。

表 15 位相の教材（その3）

演示実験 3 ウェーブマシンに等間隔に3つの印をつけて、振動させる。波長は左右の印の距離より少し長いとする。上方向に振動させ始めたところ、左の印が $1/4$ 周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印がさらに $1/4$ 周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。

演示実験 4 ウェーブマシンに等間隔に3つの印をつけて、振動させている。波長は左右の印の距離より少し長いとする。振動を上に変位させてから止めた。左の印が静止してから $1/4$ 周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印が静止してからさらに $1/4$ 周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。

第5章 波動分野誤概念克服のための教材実践と評価

前章で述べた開発教材を用いて、大学、高校で実践を行った。それぞれの実践と評価を述べる。

5.1 大学における実践

内容は、速さ、重ね合わせ、位相である。形式は、ILD に倣い、予想、結果シートを作成した。班分けは、FMCE, ECCE の成績によって行った。議論を促すための装置として、クリッカー（速さのみ）、iPad を使用した。対象学部生は、京都教育大学物理学基礎実験受講者の 25 名と 30 名のクラスである。いずれのクラスも、高校物理既習者と未習者が混在している。なお、初めに、振幅、波長、周期、振動数などの用語のおさらいをした。

5.1.1 展開 1－速さ

演示実験 1 では、議論前の予想では「速くなる」が多かった。



図 27 演示実験 1：予想の分布（左：議論前，右：議論後）

各班でまとめた意見を尋ねると、「ピンと張った方が速くなりそう」という意見が出た。その上で、他の班に意見を尋ねると、「張力が強いと戻ろうとする力が強くなり、速くなる」という張力と復元力との関係を説明する意見が出た。この説明には説得力があった（図 26）。

その議論の効果もあり、議論後に「速くなる」と答えた割合が増加した。

速くなる
ピンと張った方が速くなりそう

速くなると考えた。

理由
張力が強いと元に戻ろうとする力が強くなるから？

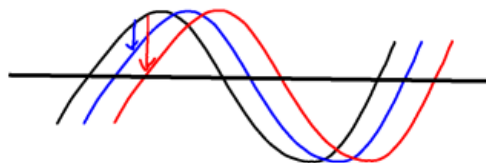


図 28 演示実験 1：班の説明

演示実験2では、議論前には「遅くなる」「同じ」「速くなる」の順に予想が分かれた（図29）。



図 29 演示実験：予想の分布（左：議論前，右：議論後）

各班の意見を尋ねたところ、図 30 のように、振幅と振動数が速さに「依存する」という意見と「依存しない」という意見の両方が出たが、どちらの意見の方が正しいかというところまで一致点が見られなかった。

また、波源の振幅や振動数を変化させることによって、波形や波長が変化するかしないかが論点になった。波形や波長の変化は、速さが変わるかわからないかによって異なるのだが、速さが変化すると考えているのか変化しないと考えているのかが曖昧なまま、班同士の議論を行っていた。こちらの意図していたところとは論点がずれて

しまい、あまり速さについての議論ができなかったことは反省点である。しかしながら、波形や波長に関心が向いたこと自体は、波を理解する際に空間的な把握に目が向けられる傾向があることがわかり、有意義であった。

議論後の予想では、「同じ」と答えた割合が増加した。

遅くなる
・ゆっくり動かすと上下の運動が遅くなり、結果遅くなる。

同じである
・横向きに力の変化がない
・復元力のみが関係する
・波＝媒質の振動なので媒質そのものが変化していないため。

同時刻、発生した波において、波形は速度に関係があるのか？

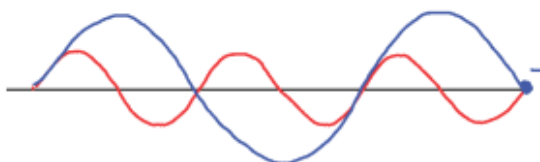


図 30 演示実験2：班の説明

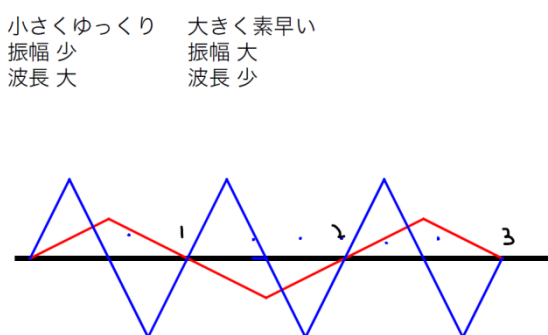
演示実験3では、予想が「遅くなる」と「同じ」に分かれた（図31）。



図31 演示実験3：予想の分布（左：議論前，右：議論後）

各班の意見を尋ねたところ、演示実験2の結果が「同じ」であったことと、2のときと組み合わせが逆であるということから、「遅くなる」という意見があった。他の班の意見としては、音波との類推から速さは同じという意見が出た（図32）。

それによって、議論後の予想では「同じ」と答える割合が多少大きくなったが、「遅くなる」という予想もある程度多かった。



音波の速さ... 気圧等で変化

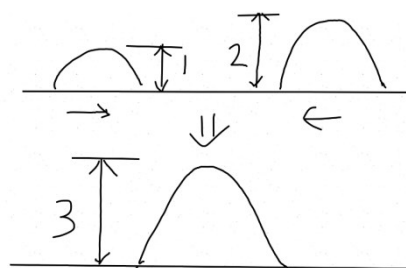
↓
波の速さは
媒体の状態が決まる??
↓
振動の状態では
かわらない??

図32 速さ演示実験3の説明

5.1.2 展開2－重ね合わせ

演示実験4では、完全に重なったときの予想は全員できた。班で出された意見では、図33のように、その前後の波形について議論になった。具体的には山が3つできるかどうかという点であり、議論して深めていくと教育的意味があるとは思われるが、意図していた点から論点がずれてしまった。

この演示実験では、2つのパルス波がちょうど中央に来る少し前の時刻のときの波形しか議論できなかった。しかし、2つのパルス波が中央に来る少し後の時刻のときの波形を尋ねないと、「パルス波は衝突し、消えるか減る」という粒子パルスメンタルモデルが引き出せないことが反省点である。



2つの波を足した大きさ

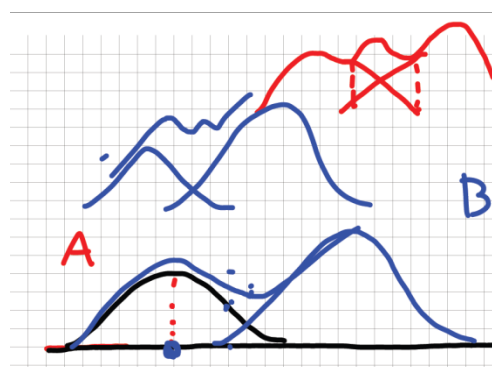


図33 演示実験4：班の説明

5.1.3 展開3－位相

演示実験1では、予想シートでは、図34のように、振動し始めなのに、すでに右が振動していると答えた学生がいたが、班での解答では正解していた(図35)。これは、概念調査の結果通りの間違いが出され、それが修正されたものだと考えられる。班の予想は、波長の説明を正しくできなかったため、波長を間違えて捉えて議論してしまった班があった。それ以外は、どの班も正しい予想であった。

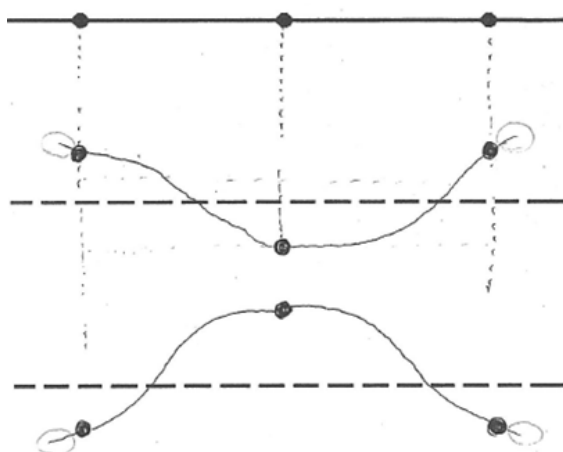


図34 演示実験1：予想シート

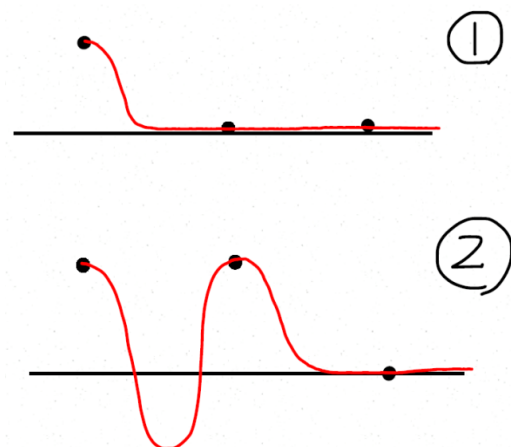


図 35 演示実験 1 : 班の予想

演示実験 2 では、図 36 のように正しく予想する班がほとんどであった。これは、演示実験 1 での議論を踏まえて、連続波が静止するときの様子を捉えることができたためだと思われる。

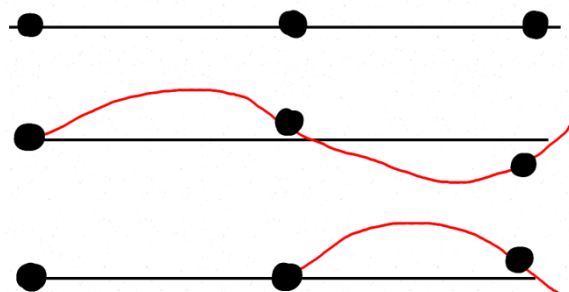


図 36 演示実験 2 : 班の予想

演示実験 4 では、ほとんどの班の予想が正しかったが、まだ典型的な間違い方をする予想も見られた (図 37)。

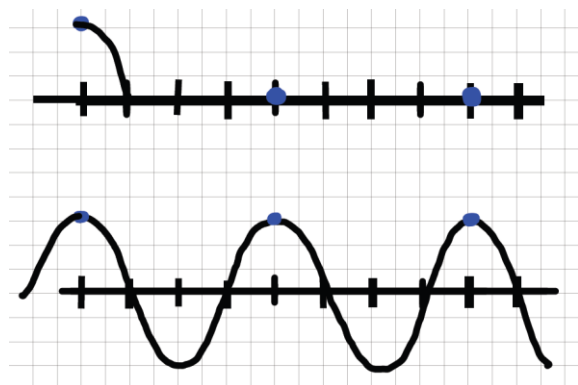


図 37 演示実験 4 : 班の予想

位相の実践を総括すると、位相のうち「波形の移動」に着目して議論することはできたが、「各点の振動」に着目することはほとんどなかった。そのため、この一連の演示実験を行っても、「各点の振動」に関する概念は引き出すことができないという結論になった。そこで、高校の実践では、「各点の振動」に着目するような演示実験に変更することにした。

5.1.4 授業評価

プレ、ポスト概念調査の結果から、速さについての生徒の概念の変容は図 38 のようになった。高校での通常授業におけるゲインに比べると、同程度の値であった。

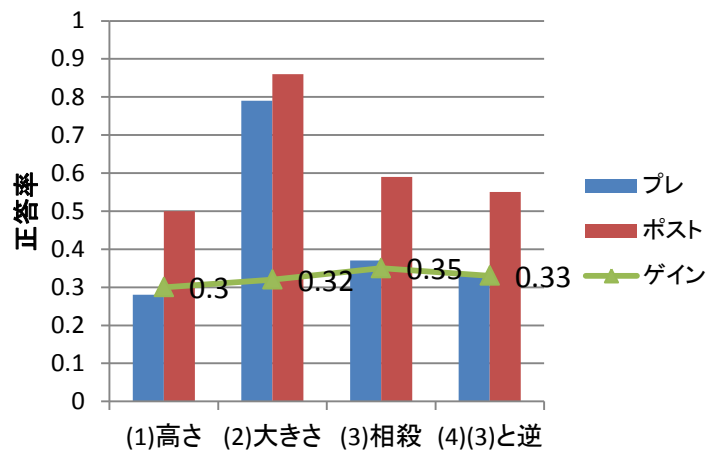


図 38 生徒の変容（速さ）

重ね合わせについての生徒の概念の変容は、図 39 のようになった。高校生の通常授業に比べると小さいが、これは大学生の実践では狙い通りのポイントで議論できるようにうまく教材が作成できなかったことが一つの要因だと考えられる。

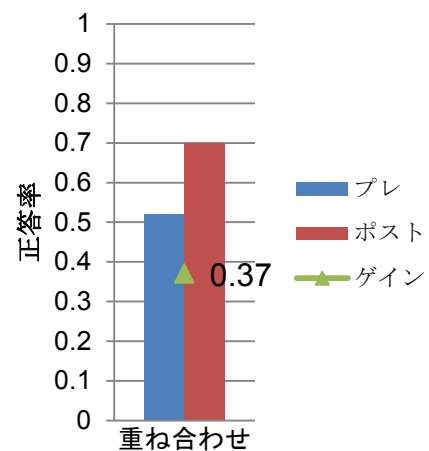


図 39 生徒の変容（重ね合わせ）

位相についての生徒の概念の変容は、図 40 の左のようになった。同程度かそれより少し高い値であった。自信度で自信があると答えたもののゲインをとると、図 40 の右のようになり、大きな値となった。自信のある者がしっかり理解している定着の度合いが高くなったことがわかった。（時刻のゲインについて、全体についてはマイナス、自信ありについては定義ができないが、グラフの都合上 0 としている。）時刻のゲインがマイナスになっていることについては理解が曖昧であることを示しているが、プレテストもポストテストも正答率が約 9 割と高い値を示していて、理解度は高いと考えられる。

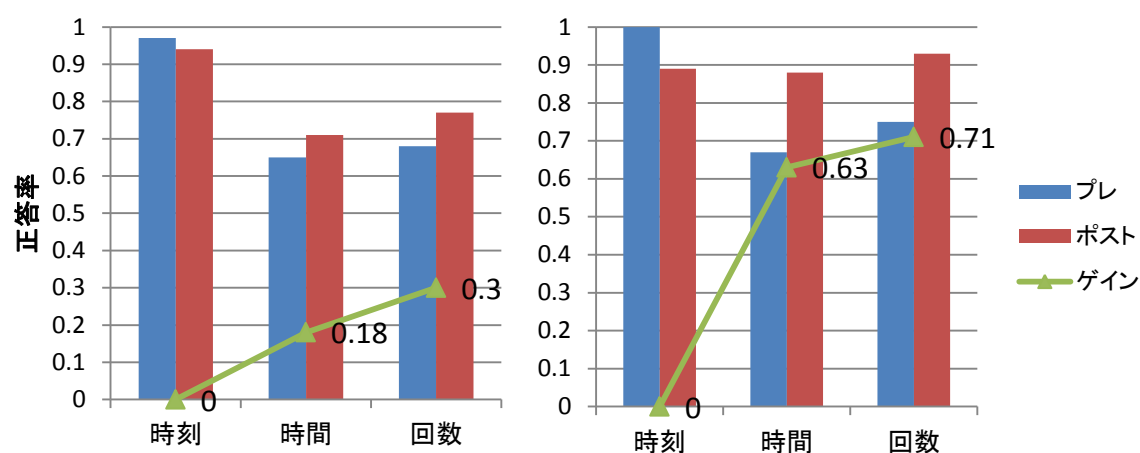


図 40 生徒の変容（位相）（左：全体，右：自信あり）

大学生の生徒の変容をまとめると、速さや重ね合わせについてはゲインが大きく、効果的であることがわかった。位相については、ゲインがそれほど小さくなく、狙い通りの議論ができなかった可能性がある。波の移動と各点の振動の関係を尋ねるところに焦点をあてた演示実験ができなかったと反省した。

概念調査の結果にもとづいた教材を作成し、実践した。調査で現れた間違いが、実践にも現れ、修正できた。課題としては、論点を解消できるような教材に改善する点である。変更点としては、それぞれの分野について、わかったことを出しあうようにさせた。これは、メタ認知させることが初学者にとって重要であることがわかったからである。

5.2 高校における実践

通常授業では、一般的な波の分野を6時間で行う。一方、今回の実践では、4時間を用いてILD形式の実践を行い、さらにプレポスト概念調査と通常授業を含め計10時間で行った。実践の流れとしては、速さ、位相については先に授業で内容を学んでからILD形式の実践を行った。重ね合わせについては、授業で学ぶ前にILD形式の実践を行った。通常授業と今回の実践の授業時間の比較は、表16のようである。対象生徒は「物理基礎」を必修科目として設置している高校2年生4クラス計181名である。

表 16 実践のカリキュラム

通常授業	今回の実践
1 波，円運動，単振動	1 プレ概念調査，波
2 位相，縦波	2 円運動，単振動
3 縦波②，重ね合わせ	3 速さILD
4 定常波	4 位相，縦波
5 反射	5 位相ILD
6 周期的な波の反射	6 重ね合わせILD
	7 縦波②，重ね合わせ，定常波
	8 反射
	9 ポスト概念調査
	10 周期的な波の反射

5.2.1 展開1－速さ

速さのILD形式の実践を行う前の授業で、振幅、波長、周期、振動数などについて学習した。

各演示実験の流れは、個人で予想シートに予想を書かせる。クリッカーで予想を尋ねる。班で議論して、ホワイトボードに答えをまとめ、理由を述べる。クリッカーで尋ねる。演示実験で確認し、結果シートに書かせる。

演示実験1のクリッカーの結果は図41のようであった。議論前には遅くなる、同じという解答があったが、議論した後は速くなるという結果になった。これは、ホワイトボードでの議論が効果的だったと思われる。

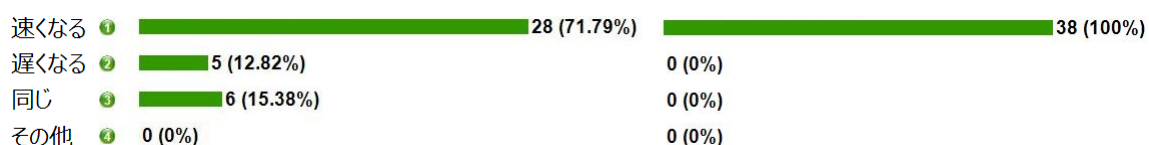


図 41 演示実験1：予想の分布（左：議論前，右：議論後）

ホワイトボードで出された理由は、「元に戻ろうとする力が大きくなる」や図42のように、速さが速くなる理由まで記述していた班もあった。最も議論が活発なクラスでは、正しく記述できていた班が3班あり、さらにすべての班で張力が上がっていることを挙げていた。

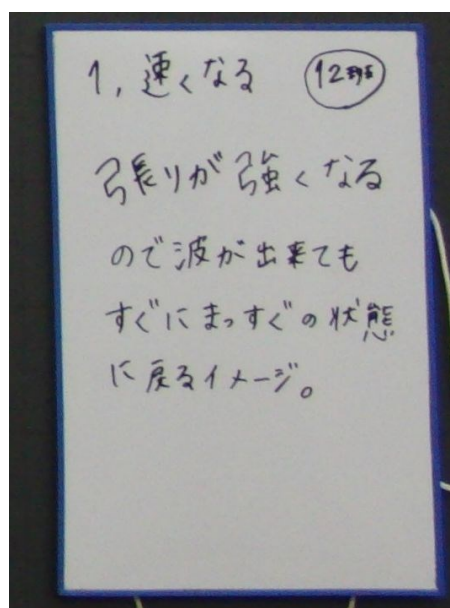


図 42 演示実験1：班の予想とその理由

演示実験 2 では、遅くなると予想する生徒が議論後に多くなった。これは、振幅や振動数が速さに関係するという考えが、議論の結果増えたためだと思われる。

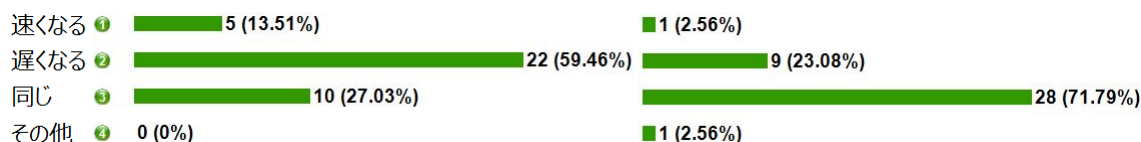


図 43 演示実験 2：予想の分布（左：議論前，右：議論後）

ホワイトボードでは、「同じ」が 6 班、「遅くなる」が 5 班、「速くなる」が 1 班であった。「遅くなる」と答えた理由としては、図 44 の「伝える力が大きいと、波が速くなる」というふうな、粒子パルスメンタルモデルを支持する理由が出てきた。「同じ」と答えた班の理由でも、相殺するという考え方の班もあり、その考え方の班は、振幅や振動数が速さに関係するという考え方に立っている。

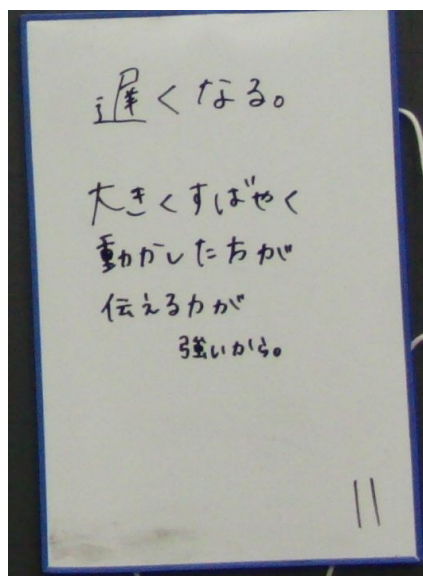


図 44 演示実験 2：班の予想とその理由

演示実験 3 では、予想は「遅くなる」と「同じ」に分かれた（図 45）。相殺して「同じ」になるという考え方と、演示実験 2 と組み合わせが反対になったので「遅くなる」と考えた生徒が多くいたためだと思われる。

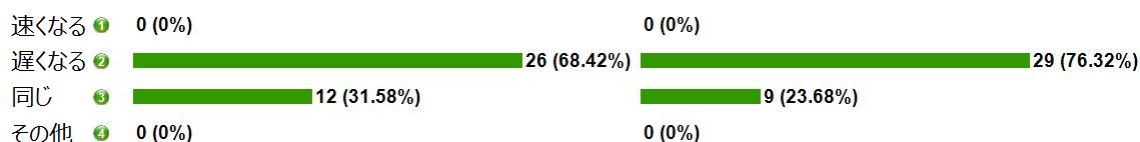


図 45 演示実験 3：予想の分布（左：議論前，右：議論後）

ホワイトボードでの班の予想は、「遅くなる」が10班、「同じ」が2班であった。

「遅くなる」という予想の理由としては、図46の左のように、演示実験2と逆の組み合わせだという考え方に立っているものが見られた。また、「同じ」という理由としては、「高い声も大きい声も伝わる速さは同じだから」と、正しい理由を

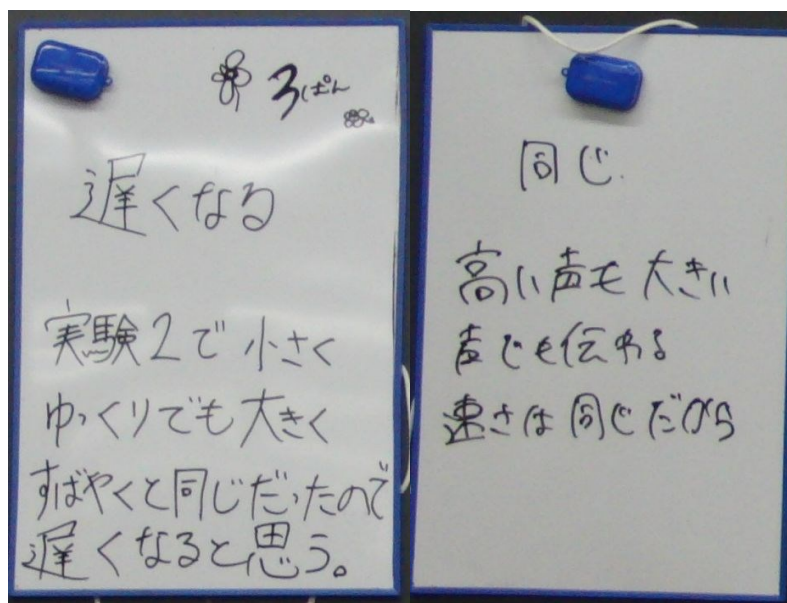


図46 演示実験3：班の予想とその理由

挙げている班もいた。このように類似性を用いて正しい理由を挙げた班があったクラスは1クラスしかなく、この1クラスが他の演示実験でも議論が活発であった。

議論後のクリッカーで正しい解答の割合が増加することはなく、反対に「遅くなる」の割合が増加した。

4として、一般化を行う振り返りを尋ねた。図47のように「ばねの伸び」と答えた班が8班、「張りの強さ」や「引っ張る力」と答えた班が3班いた。演示実験2や3で間違えて予想した班も、一般化を行う振り返りによって、正しい概念を答えたと考えられる。

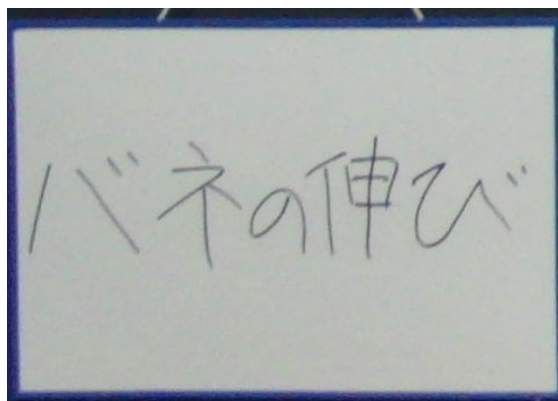


図47 4：一般化を行う振り返り

演示実験1～4の展開を総括すると、演示実験2, 3では一般化ができていなかったが、4の一般化による振り返りによって、演示実験2, 3の意味が理解できるようになった。このことは、初学者にとって一般化の作業を行うことがいかに重要かがわかる。

4.2.2 展開2－位相

位相のILD形式の実践を行う前の授業で、位相について学習した。

流れは、個人で予想シートに予想を書かせる。班で議論して、ホワイトボードに答えをまとめ、理由を述べる。演示実験で確認し、結果シートに書かせる。

演示実験1では、図48のように、波がまだ左の印までしか到達していないにもかかわらず、右の印が振動している予想を書く班が8班あった。

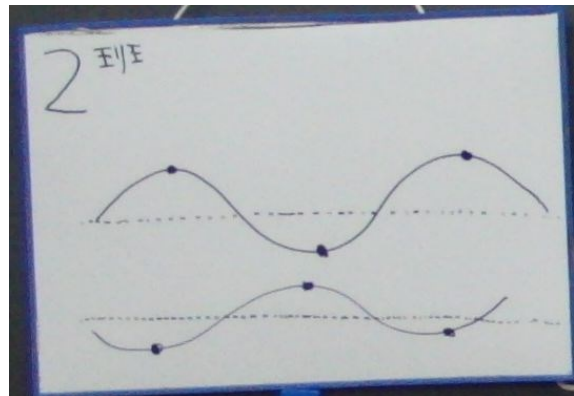


図 48 演示実験1：班の予想

演示実験2では、図49のように各点の振動を正しく把握できていた班が多かった。

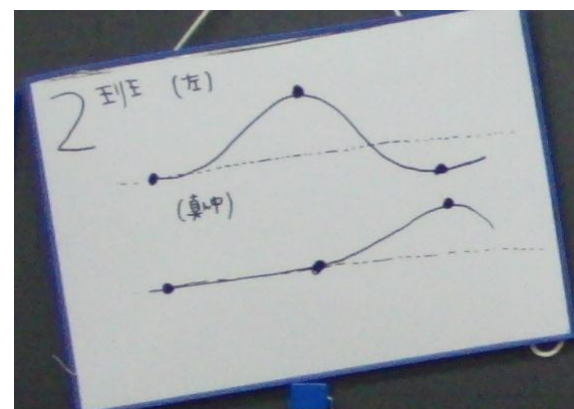


図 49 演示実験2：班の予想

演示実験3では、演示実験1を踏まえて、全ての点が振動すると答えた班は少なかった（1班のみ）。しかし、図50のように左の印より左側が静止していると答えた班が5班いた。これは、周期的に振動していることを正しく把握できなかったものと思われる。

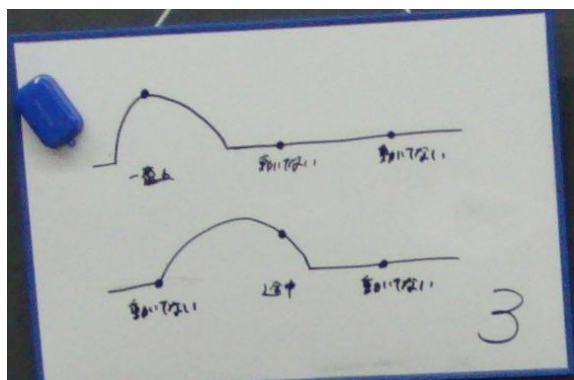


図 50 演示実験3：班の予想

演示実験4では、図51のように正しく答えられた班が6班あった。しかし、静止してから1/4周期後を尋ねているのだが、静止した瞬間を答えた班が3班あった。

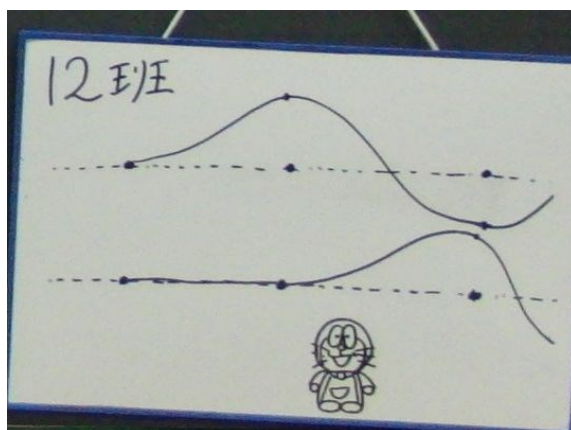


図 51 演示実験4：班の予想

5で一般化を行う振り返りを尋ねたが、「波の移動と各点の振動はどのような関係にあるか」という抽象的な尋ね方をしたところ、こちらが意図した答え方をした班は1班だけであった（図52）。他のクラスでは、「どれだけ波が移動すると、どれだけ振動するか」と、より具体的な質問を行った。すると、こちらが意図した答え方をした班が多くなった。

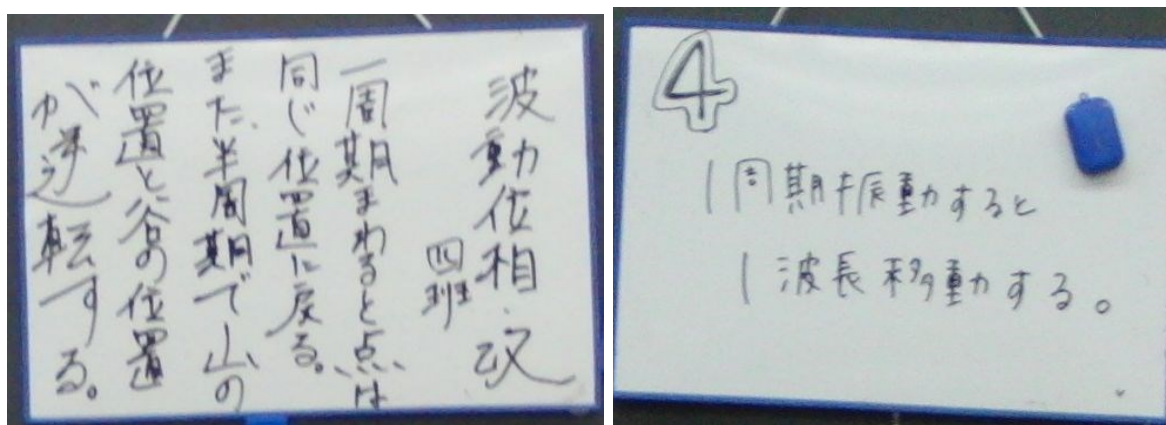


図 52 5：一般化を行う振り返り

演示実験1～5の実践を総括すると、一般化の振り返りによって「波形の移動」と「各点の振動」の関連性という位相の概念を理解できたといえる。

5.2.3 展開3－重ね合わせ

重ね合わせのILD形式の実践については、授業では前もって学習せずに行った。

流れは、個人で予想シートに予想を書かせる。班で議論して、ホワイトボードに答えをまとめ、理由を述べる。演示実験で確認し、結果シートに書かせる。

演示実験4，5を同時に尋ねた。ほとんどの班は正しい答えを書いた。波が先から伸びるような答えを書いた班もあった（図53）。また、演示実験5については、運動量的に差の分だけの波ができると答えた班もあった。

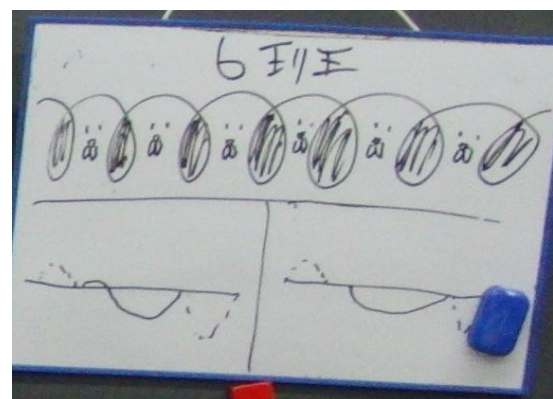
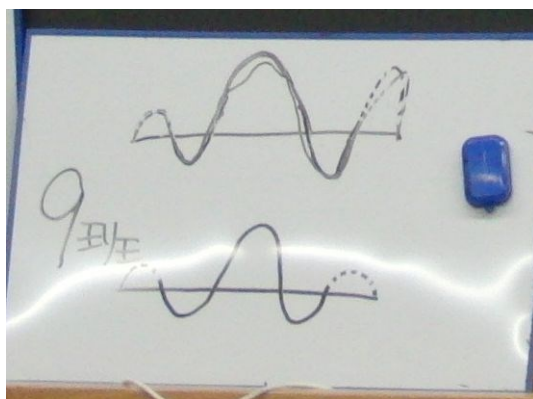
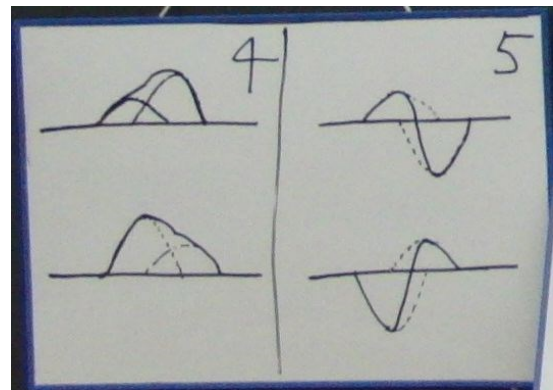


図 53 演示実験4，5：班の予想

6で一般化を行う振り返りを尋ねたところ、多くの班は変位について答えたが、波の独立性について答えた班もあった（図 54）。いずれも正しい記述を挙げていた。

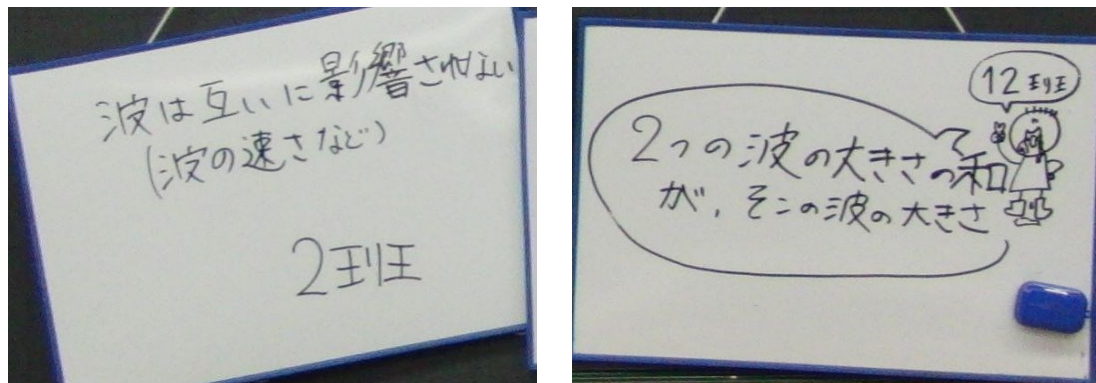


図 54 6：一般化を行う振り返り

演示実験4～6の実践を総括すると、重ね合わせの原理の内容を前もって学習せずに実践を行ったが、一般化の振り返りによって正しい概念が定着できたと言える。

5.2.4 授業評価

プレ、ポスト概念調査の結果から、速さについての生徒の概念の変容は図 55 のようになった。ゲインの値を 2012 年と比較すると図 56 のようになり、通常授業に比べるとゲインの値が高くなった。これは、今回の授業で概念の定着が良くなったと考えられる。

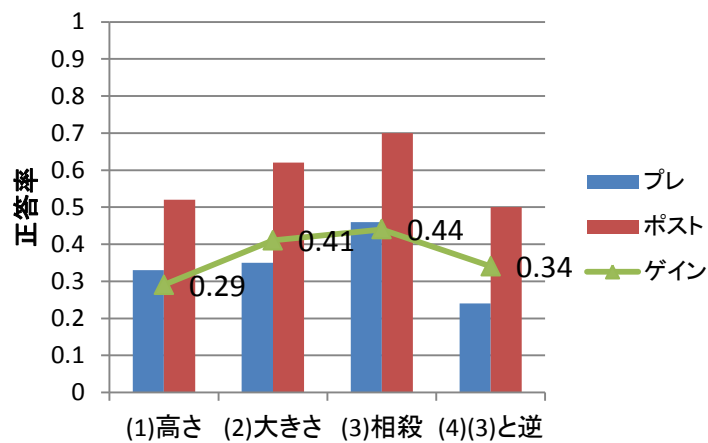


図 55 生徒の変容（速さ）

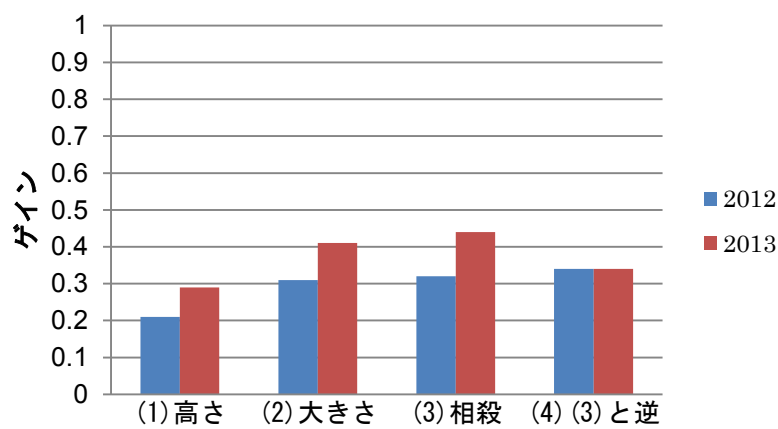


図 56 ゲインの比較（速さ）

重ね合わせについての生徒の概念の変容は図 57 のようになった。ゲインの値を 2012 年度に行った通常授業に比べると図 58 のように多少低くなっているが、ゲインの値は高く、概念の定着ができていると言える。

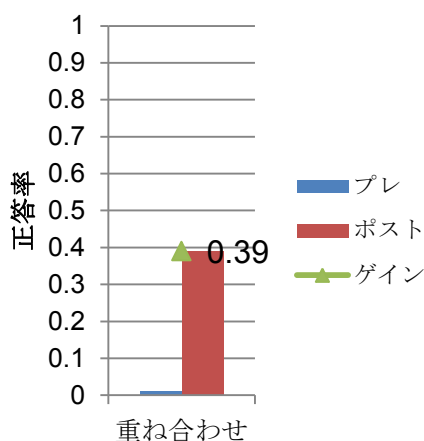


図 57 生徒の変容（重ね合わせ）

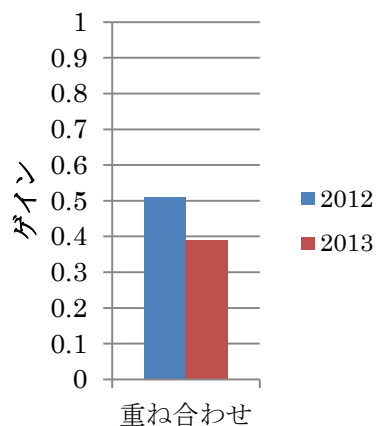


図 58 ゲインの比較（重ね合わせ）

位相についての生徒の概念の変容は図 59 のようになった。時刻については大きくなったが、回数についてはそれほど効果がなかったように思われた。もう少し詳しく見ていくと、解答の自信度が高いものでゲインを比較してみると、図 60 のようにいずれも通常授業に比べて高い値であった。このことは、自身を持って答えた生徒のうち実際に正解しているものの割合が高いということなので、定着が進んでいるといえる。

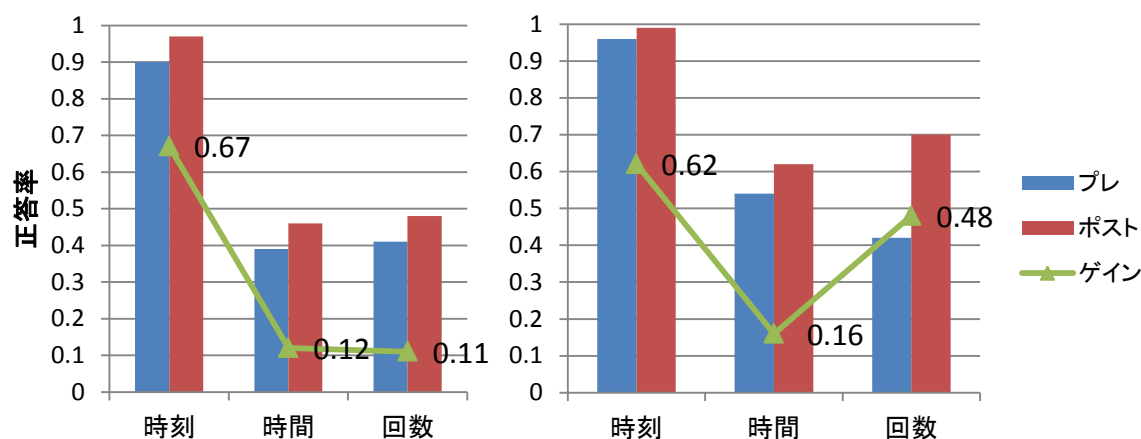


図 59 生徒の変容（位相）（左：全体，右：自信あり）

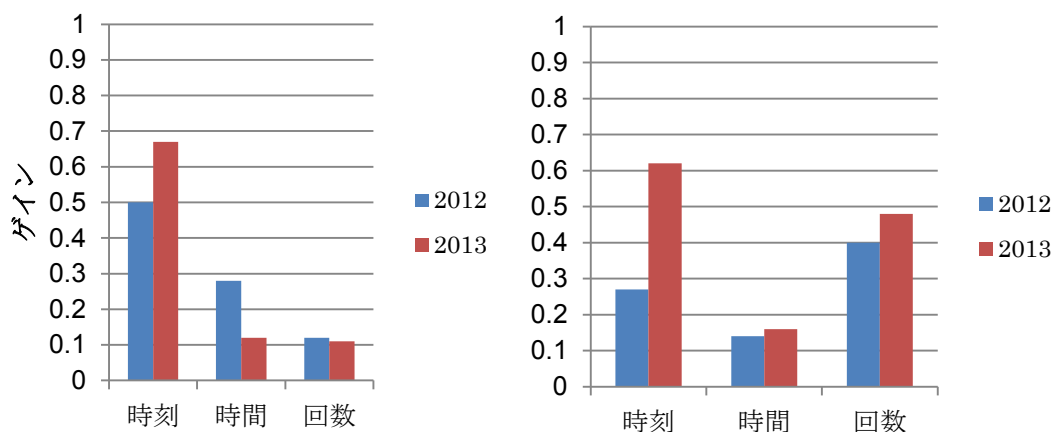


図 60 ゲインの比較（左：全体，右：自信あり）

また、ホワイトボードの解答で正解した班のメンバーについて、ゲインを比較すると図 61 のようになり、回数については全体よりも高い値になることがわかった。しかしながら、時間についてはマイナスの値になってしまった。このことは、班の議論によってホワイトボードで正解にたどり着いたが、それが生徒の理解につながっていない部分があることがわかった。

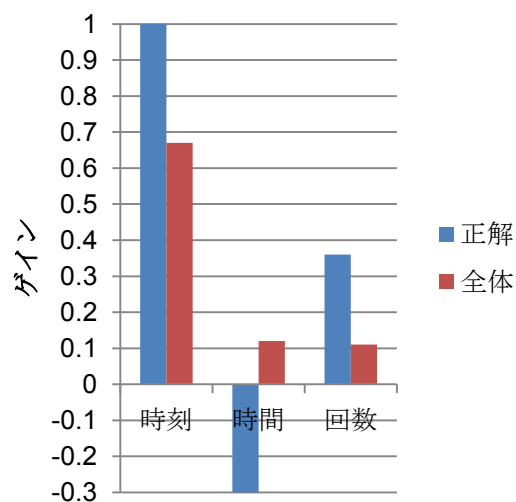


図 61 ホワイトボードでの議論による生徒の変容（位相）

また、図 62 のように、班ごとの予想を出し合って活発に議論できたクラスは、他のクラスよりもゲインが大きかった。また、プレとポストの解答の分布を比較すると図 63 のようになり、時間や回数において誤答の割合が少なくなっており、

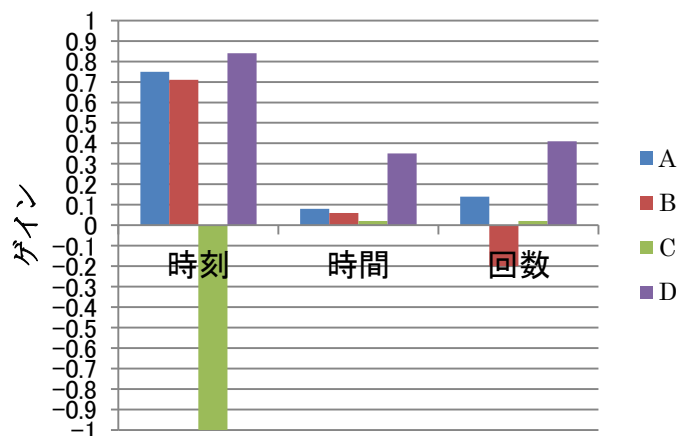


図 62 クラスごとの生徒の変容（位相）

誤概念が減少した分、ゲインが大きくなっていることが明らかになった。

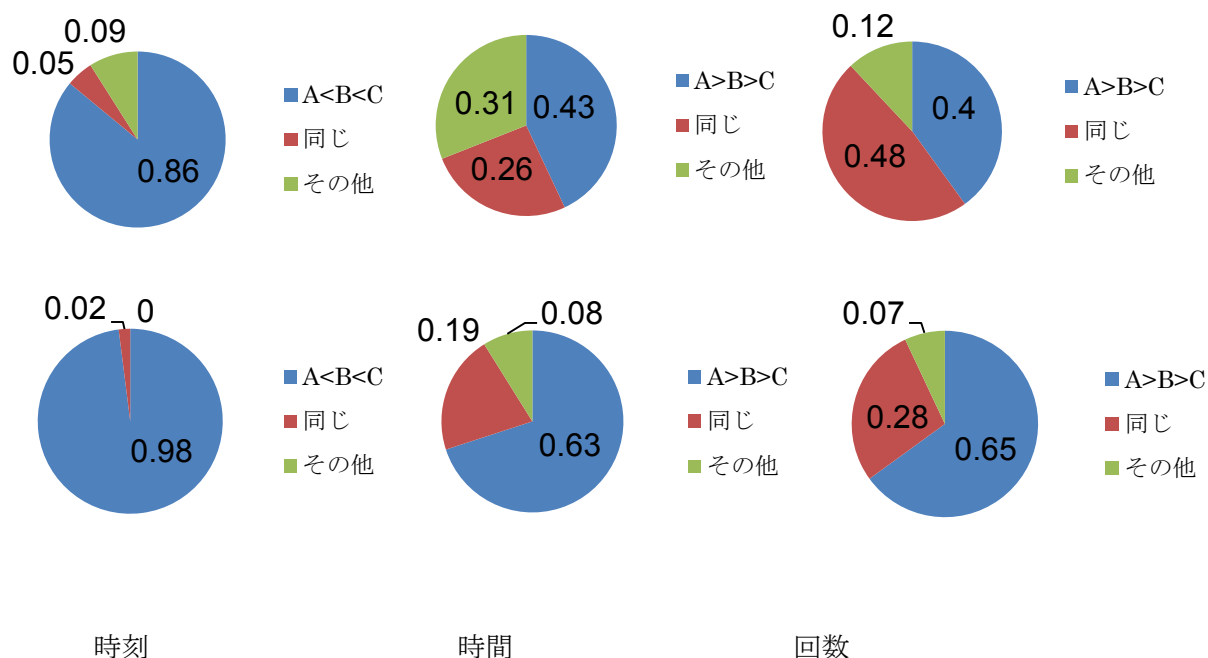


図 63 議論が活発なクラスの位相の解答の分布（上：プレ，下：ポスト）

D 組と成績が同程度に高いクラス(C 組)を比較すると、ホワイトボードでの班の予想の多様性が大きく異なった。速さの演示実験 1 ばねの波の速さについての班予想を比較すると、C 組の予想は図 64 のように、「振幅が小さくなるから」「振れ幅が小さくなるから」「元に戻ろうとする力が強いから」の 3 種類のみが挙げられた。一方で D 組の予想は図 65 のように、「ばねの力が強くなるから」「元に戻ろうとする力が大きくなるから」という意見がそれぞれ 2 班から挙げられているが、他の班は表現が異なり、10 種類の意見が出されている。さらに、ばねの速さを音の類似から説明する班もあり、抽象度の高い予想が挙げられた。班の予想が多様であることとゲインの高さとの関係については、班の予想の種類が多様な D 組は、生徒の議論が班の予想に反映されており、その結果、クラス全体の討論が成り立つ条件が整っており、生徒がどのように正しかったか、あるいは間違っていたかというメタ認知ができたからだと考えられる。また、D 組では抽象度の高い予想も挙げられていて討論の鍵となっていたが、そのような予想がなくてもそれぞれの生徒の議論が班の予想に反映されていれば討論によって十分ゲインが高くなると考えられる。

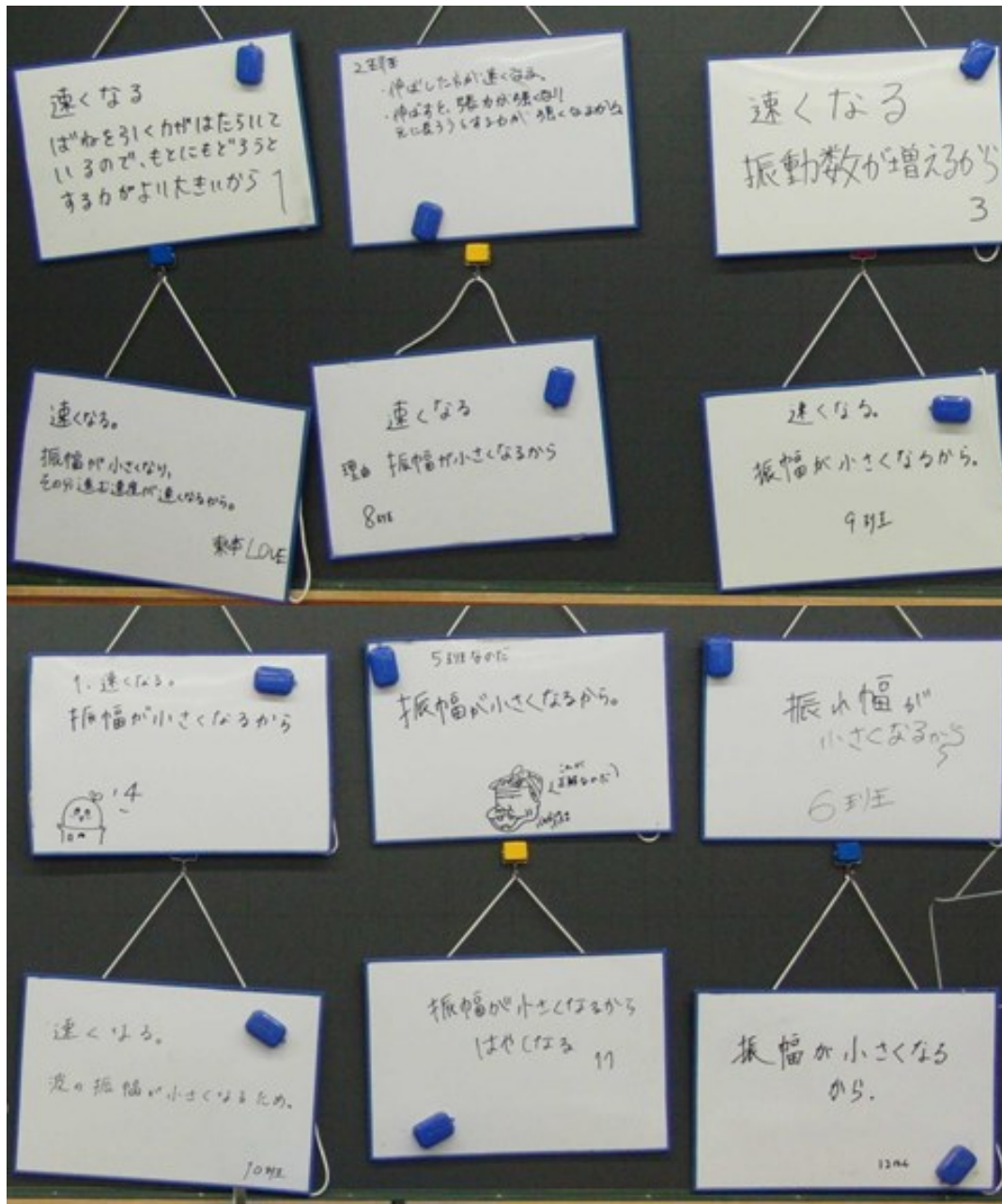


図 64 C組の班の予想 (3種類)

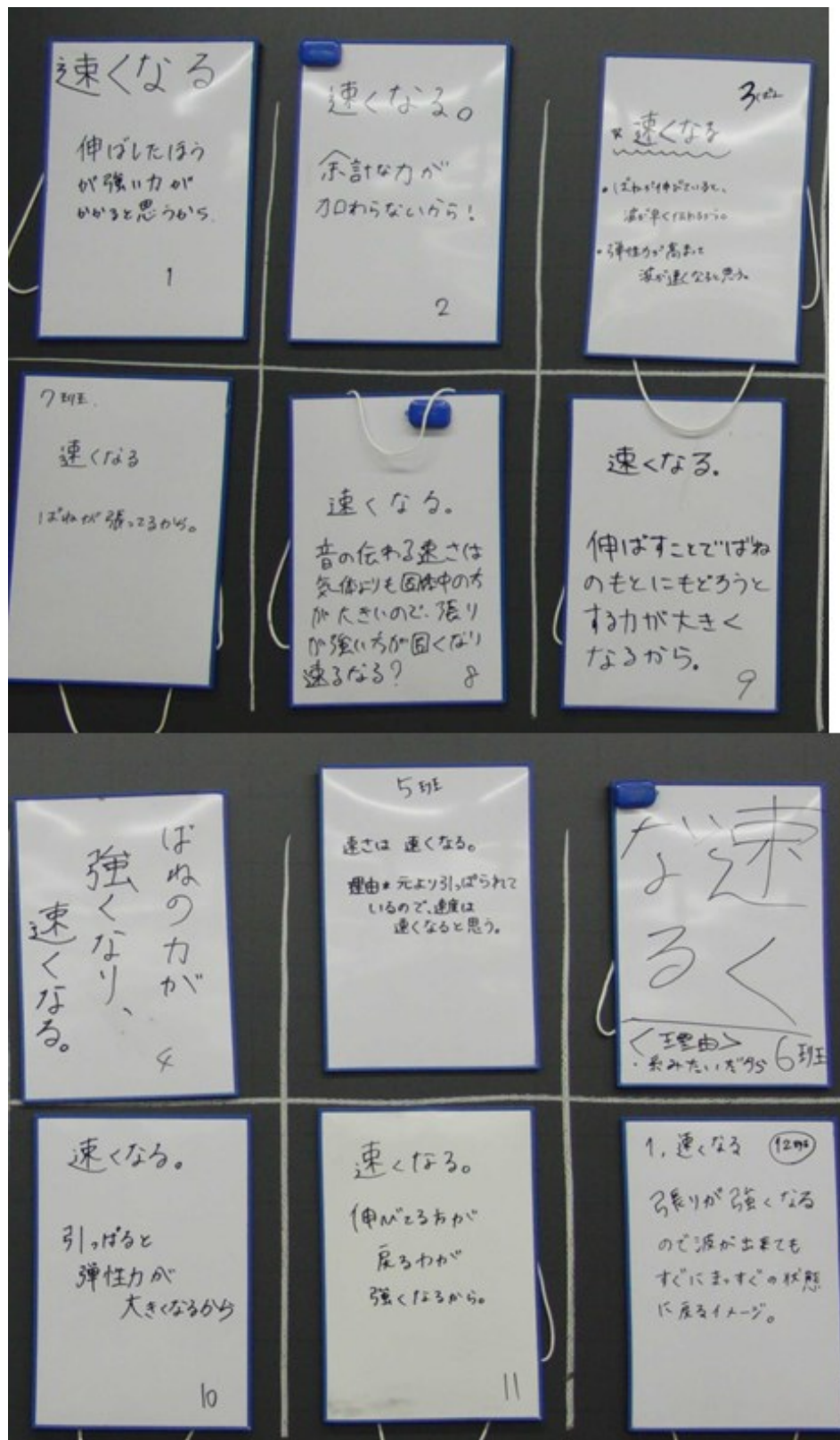


図 65 D組の班の予想 (10種類)

位相についてまとめると、全体的な生徒の変容を 2012 年の通常授業と比較すると、概念の定着の度合いは同じ程度であった。しかしながら、議論が活発だったクラス(D 組)では、もともと持っていた誤概念が改善され正しい概念の定着が進んだ。今回の実践では通常授業より多い時間をかけて実践したので、その効果も多少あると思われるが、議論が活発なクラスのみ概念の定着が進んだというところを考慮すると、議論を活発にできるかどうかがとても大事な点であることがわかる。すべてのクラスで活発に議論できたわけではなかったもので、どのようなクラスでも活発に議論できるような教材づくりが今後の課題である。

第6章 おわりに

本研究では、高校物理波動分野について、1年目に作成した概念調査によって生徒がどのような概念を持つかを大学生と高校生に調査した。それに基づいて、2年目に概念の克服のための教材を開発し、大学生と高校生に実践を行った。実践の評価には、1年目に作成した概念調査を用い、1年目の結果と比較した。

本研究の成果として4点挙げる。1点目は、波動分野の位相の内容において、新たな生徒の持つ概念を発見し、それが粒子パルスメンタルモデルを支持するものや拡張したものであることがわかった。2点目は、波の分野について、概念調査に基づいて、誤概念の克服するための教材を開発したことである。3点目は、高校生の実践を通じて、班での議論が活発だったクラスでは、概念の定着が進んだことがわかったことである。4点目は、大学生と高校生に対して実践を行うことを通じて、初学者である高校生に対しては、授業の中で一般化を行う振り返りが大変重要であることがわかったことである。概念が定着するためには、授業の中で認知的葛藤が起きることが非常に重要である。既習者対象のILDsでは、扱う内容に関して一般化を行う質問がそれほど積極的に明示されていないが、既習者の場合、既にその分野をまとまった形で学習しているため、ILDsの中で一般化を行う質問がなくても認知的葛藤が行われるものと思われる。初学者に対しては、学習する内容はこれまで学んだことのない新しい部分があるため、議論を行うときに確信を持って行えないことが多いことがわかった。このような理由で、授業の中で積極的に一般化による振り返りを行うことが重要であることがわかった。

課題について、議論が活発だったクラスは概念の定着が見られたが、全てのクラスでできたわけではない。活発な議論を引き出せるように教材開発を改善する必要がある。また、生徒がどう感じたかによる分析を行っていないので、そのような観点からの改善が必要である。さらに、今回開発した概念調査や教材については、すべての分野を網羅しているとは言いがたい。引き続き教材開発が必要である。

引用文献

1. 左巻健男 , 内村浩. 授業に活かす！理科教育法 中高校編. : 東京書籍, 2009.
2. Research as a guide for curriculum development: An example from Introductory electoricity. Part I: Investigation of student understanding. **McDermott, L. , Shaffer, P. ,** 1992 年, Am. J. Phys., 第 60 巻, ページ: 11.
3. Explaining the "at rest" condition of an object. **Minstrell, J.** 1982 年, Phys. Teach., 第 20 巻, ページ: 10-14.
4. インタラクティブな手法を取り入れた「運動学」授業の取り組み. 小川雅史 , ほか. : 物理教育学会近畿支部, 2010 年, 近畿の物理教育, 第 16 巻, ページ: 22.
5. **Redish, E.** Teaching Physics with the Physics Suite. : Wiley, 2003.
6. Making sence of how students make sense of mechanical waves. **Wittmann, M., Steinberg, R. , Redish, E.** 1999 年, Phys. Teach., 第 37 巻, ページ: 15.
7. **Wittmann, M., Steinberg, R. , Redish, E.** Activity-Based Tutorials. : Wiley, 2004.
8. Force concept inventory. **Hestenes, D., Wells, M. , Swackhamer, G.** 1992 年, Phys. Teach., 第 30 巻, ページ: 141.
9. Assessing Student Learning of Newton's Laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. **Thornton, R. , Sokoloff, D.** 1998 年, Am. J. Phys., 第 66 巻, ページ: 338.
10. **McDermott, L. , Shaffer, P.** Tutorials in Introductory Physics. : Prentice Hall, 1998.
11. **Sokoloff, D., Thornton, R. , Laws, P.** RealTime Physics Module 1: Mechanics, Module 2: Heat and Thermodynamics, Module 3: Electric Cirtuits and Module 4: Light and Optics. : Wiley, 2004.
12. **Sokoloff, D. , Thornton, R.** Interactive Lecture Demonstrations. : Wiley, 2004.
13. **McDermott, L.** Physics by Inquiry. : Wiley, 1996.
14. 板倉聖宣. 仮説実験授業の ABC. : 仮説社, 2011.
15. 玉田泰太郎. 新・理科授業の創造—物質概念の基礎を教える. : 新生出版, 1997.
16. のぼりおり表を使った授業づくり演習. 川勝博. 2005 年 08 月 04 日, 日本理科教育学会全国大会要項, 第 55 巻, ページ: 271.
17. **Shayer, M. , Adey, P.** Learning Intelligence: Cognitive Acceleration across the curriculum from 5 to 15 Years. : Open University Press, 2002.

18. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **Hake, R.** : Am. J. Phys., 1998 年, 第 66 卷, ページ: 64.
19. 文部科学省. 高等学校学習指導要領解説..

謝辞

谷口和成先生，平島和雄先生，池田敏浩君，谷口健太君，北村貴文君，田上智之君とは
さまざまところで貴重な議論をしていただきました。ありがとうございました。

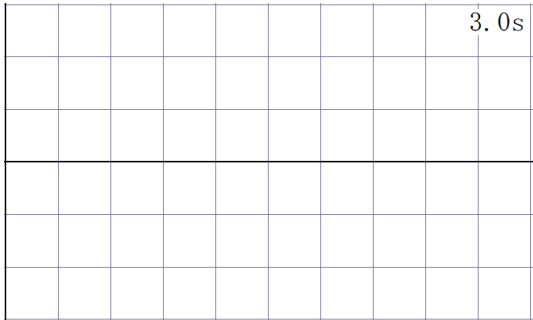
付録

A 概念調査

A.1 概念調査（その1）

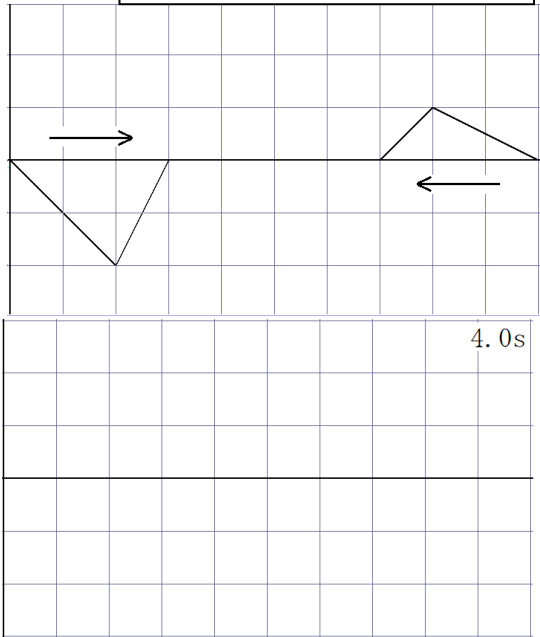
以下の各問いに答えて、それぞれの自信度を□の中に1～4の数字で答えてください。

1. 図のような形の波が、お互いに近づく向きにそれぞれ 10cm/s で進む。3.0s 後、4.0s 後の波の形はどうなるか。ただし、右図の横軸の1目盛りは 10cm である。



3.0s

自信度



4.0s

自信度

1 - 2 - 3 - 4
自信がない 自信がある

2. A 君が遠くに離れた B 君に向かって呼びかける。次の問いについて、最も適切なものを以下の(a)-(c)から選べ。

(5) 高い声と低い声で呼びかけるとき、高い声に比べて低い声が届く時間の関係はどうなるか。 () 自信度

(6) 大きい声と小さい声で呼びかけるとき、大きい声に比べて小さい声が届く時間の関係はどうなるか。 () 自信度

(7) 高くて小さい声と、低くて大きい声で呼びかけるとき、高くて小さい声に比べて低くて大きい声が届く時間の関係はどうなるか。 () 自信度

(8) 高くて大きい声と、低くて小さい声で呼びかけるとき、高くて大きい声に比べて低くて小さい声が届く時間の関係はどうなるか。 () 自信度

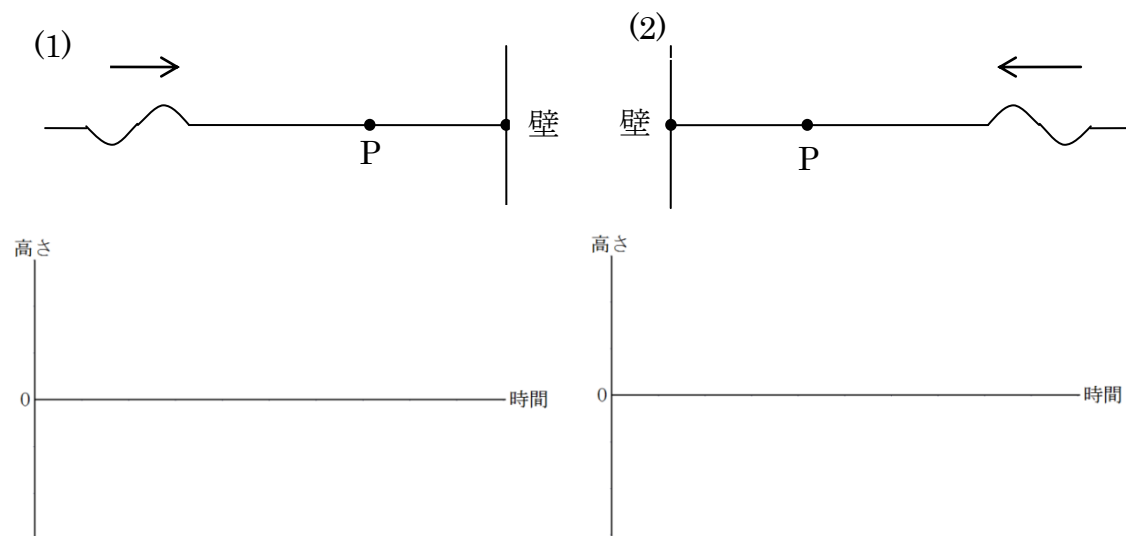
(a)長くなる

(b)短くなる

(c)同じ

3. 糸の一端を壁に固定し、他端を手で持ち糸を張った。

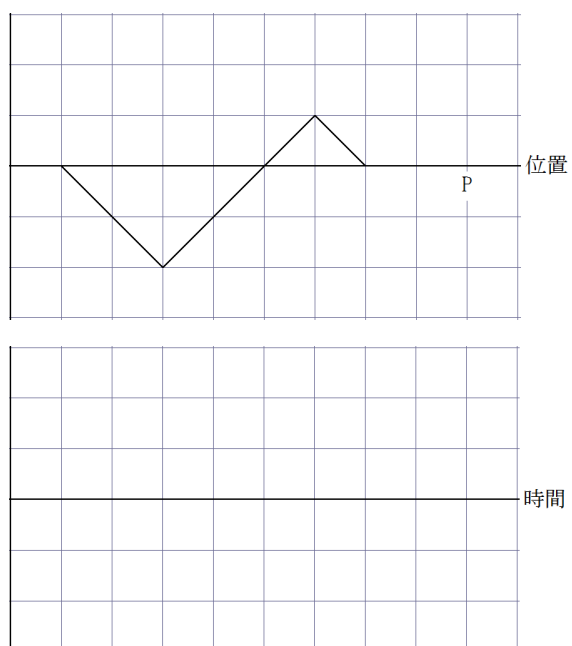
手を上下させたところ、(1)(2)のような形の波ができた。点 P における波の高さは時間とともにどのように変化するか。ただし、壁と点 P は十分遠く、壁から反射して返ってくる波は考えないとする。



自信度

自信度

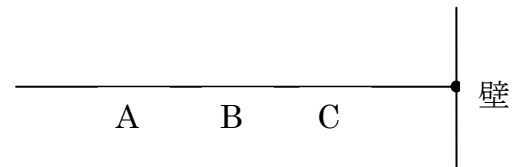
4. 図のような形の波が正の向きに 10cm/s で進む。点 P における波の高さは時間とともにどのように変化するか。ただし、右上図の横軸の 1 目盛りは 10cm である。



自信度

5. 糸の一端を壁に固定し、他端を手で持ち糸を張った。次の問いについて、例を参考にし
て答えよ。ただし、点 A, B, C は壁から十分遠いものとして、反射して返ってくる波は
考えないとする。

(1) 手を上下に動かし始めた。十分時間
が経ったとき、A, B, C が動いた回数は、
どのような関係にあるか。また、それぞ
れの点が動き始めてからの時間は、どの
ような関係にあるか。その理由を述べよ。



例：A が最も少なく、B と C は同じ回数である。

回数の関係 _____

自信度 ☐

理由 _____

時間の関係 _____

自信度 ☐

理由 _____

(2) (1)の後、手を動かすのを止めた。十分時間が経ったとき、(1)で動き始めてから A,B,C
が動いた回数は、どのような関係にあるか。また、それぞれの点の動きが止まった時刻
は、どのような関係にあるか。その理由を述べよ。

回数の関係 _____

自信度 ☐

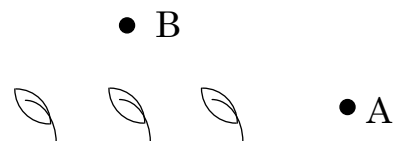
理由 _____

時刻の関係 _____

自信度 ☐

理由 _____

6.-9.について、水面に3枚の葉っぱが、図のように一直線上に浮かんでいる。次の問いについて、最も適切なものを以下の(a)-(f)から選べ。



6. (1)水面上の点 A を振動させ始めたところ、3枚の葉っぱがその点で振動した。真ん中の葉っぱが振動し始める時刻に比べて、左右の葉っぱが振動し始める時刻は、どうなるか。 () 自信度
- (2)しばらくして、振動を止めた。真ん中の葉っぱが止まる時刻に比べて、左右の葉っぱが止まる時刻は、どうなるか。 () 自信度
7. (1)別の点 B を振動させ始めた。真ん中の葉っぱが振動し始める時刻に比べて、左右の葉っぱが振動し始める時刻は、どうなるか。 () 自信度
- (2)しばらくして、振動を止めた。真ん中の葉っぱが止まる時刻に比べて、左右の葉っぱが止まる時刻は、どうなるか。 () 自信度

6.-7.の選択肢

- (a)すべて同時 (b)左右とも早い (c)左右とも遅い
(d)右は早く、左は遅い (e)右は遅く、左は早い (f)その他

8. (1)点 A を振動させ始めてから、ある時刻までに真ん中の葉っぱが振動した回数に比べて、左右の葉っぱが振動した回数は、どうなるか。 () 自信度
- (2)しばらくして、振動を止めた。十分時間が経った後までに、真ん中の葉っぱが振動した回数に比べて、左右の葉っぱが振動した回数は、どうなるか。 () 自信度
9. (1)点 B を振動させ始めてから、ある時刻までに真ん中の葉っぱが振動した回数に比べて、左右の葉っぱが振動した回数は、どうなるか。 () 自信度
- (2)しばらくして、振動を止めた。十分時間が経った後までに、真ん中の葉っぱが振動した回数に比べて、左右の葉っぱが振動した回数は、どうなるか。 () 自信度

8.-9.の選択肢

- (a)すべて同じ (b)左右とも少ない (c)左右とも多い
(d)右は多く、左は少ない (e)右は少なく、左は多い (f)その他

A.2 概念調査（その2）

以下の各問いに答えて，それぞれの**自信度**を□の中に1～4の数字で記入せよ。

1 - 2 - 3 - 4	
自信がない	自信がある

1. 糸の一端を壁に固定し，他端を手で持ち糸を張った。手を1回上下させると，パルス波が糸を伝わった。この波より**速く伝わる**波を作るためには，どのようにすればいいか。適当なものを，下の**選択肢(a)～(i)**から**すべて**を選び，その理由を述べよ。



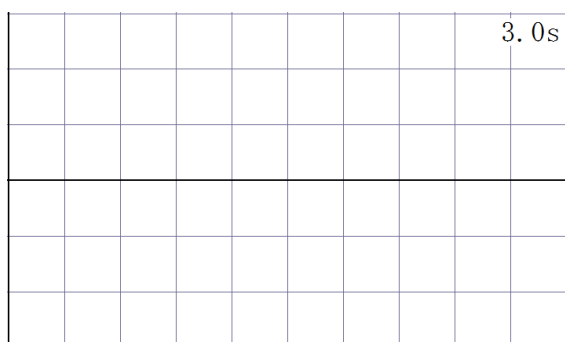
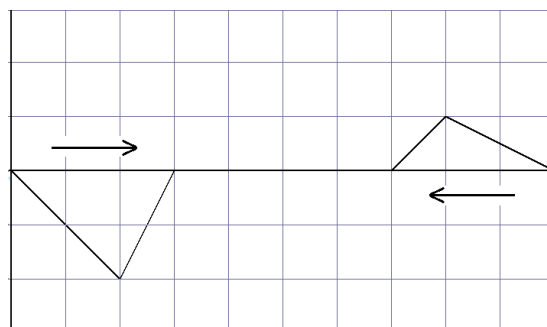
() 自信度

理由： _____

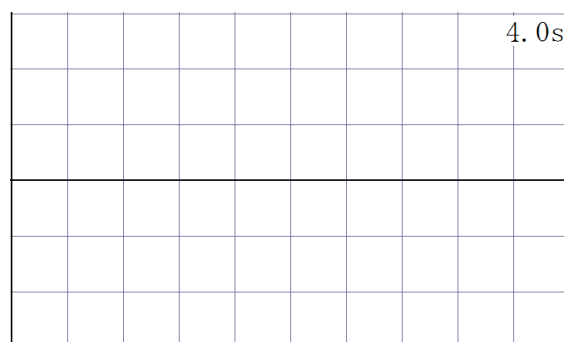
選択肢：

- (a) 手をよりすばやく動かす（ただし，上下には1度だけで，同じ量）。
- (b) 手をよりゆっくり動かす（ただし，上下には1度だけで，同じ量）。
- (c) 手をより大きく動かす。ただし，上下に動かす時間は同じ。
- (d) 手をより小さく動かす。ただし，上下に動かす時間は同じ。
- (e) ひもの張力を減らす。
- (f) ひもの張力を増やす。
- (g) パルス波に，より多くの力を与える。
- (h) パルス波に，より少ない力を与える。
- (i) その他

2. 右図のような形の波が、お互いに近づく向きにそれぞれ 10 cm/s で進む。3.0 s 後、4.0 s 後の波の形はどうなるか。ただし、横軸の 1 目盛りは 10 cm である。



自信度 ☐



自信度 ☐

3. A 君が遠くに離れた B 君に向かって、以下の各問いにあるような声で呼びかける。B 君に声が届くまでの時間の関係について、最も適切なものを以下の(a)~(c)から選べ。

(9) 高い声と低い声で呼びかけるとき、高い声に比べて、低い声が届くまでの時間は () 自信度 ☐

(10) 大きい声と小さい声で呼びかけるとき、大きい声に比べて、小さい声が届くまでの時間は () 自信度 ☐

(11) 高くて小さい声と、低くて大きい声で呼びかけるとき、高くて小さい声に比べて、低くて大きい声が届くまでの時間は () 自信度 ☐

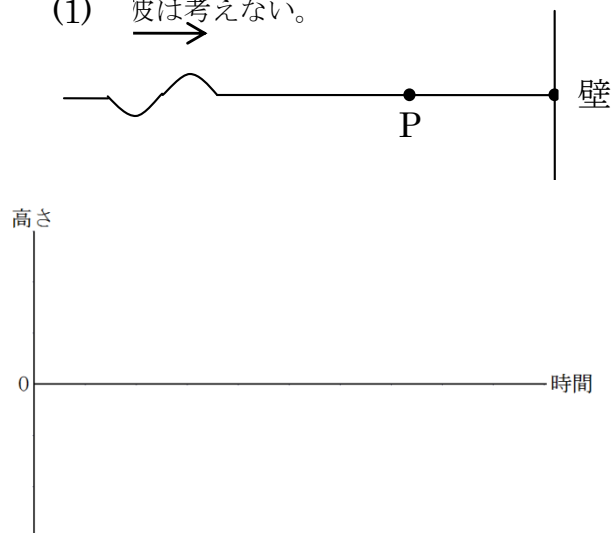
(12) 高くて大きい声と、低くて小さい声で呼びかけるとき、高くて大きい声に比べて、低くて小さい声が届くまでの時間は () 自信度 ☐

(a)長い (b)短い (c)同じ

4. 糸の一端を壁に固定し，他端を手で持ち糸を張った。

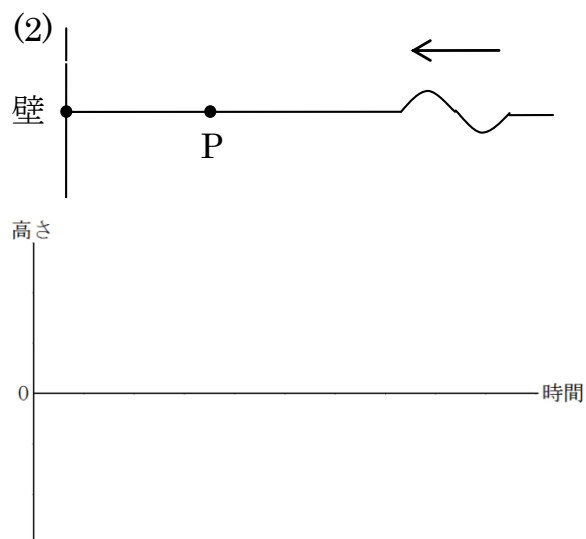
手を上下させたところ，(1)，(2)のような形の波ができた。点 P における波の高さは時間とともにどのように変化するか。ただし，壁と点 P は十分遠く，壁で反射して返っ

(1) 波は考えない。



自信度 ☐

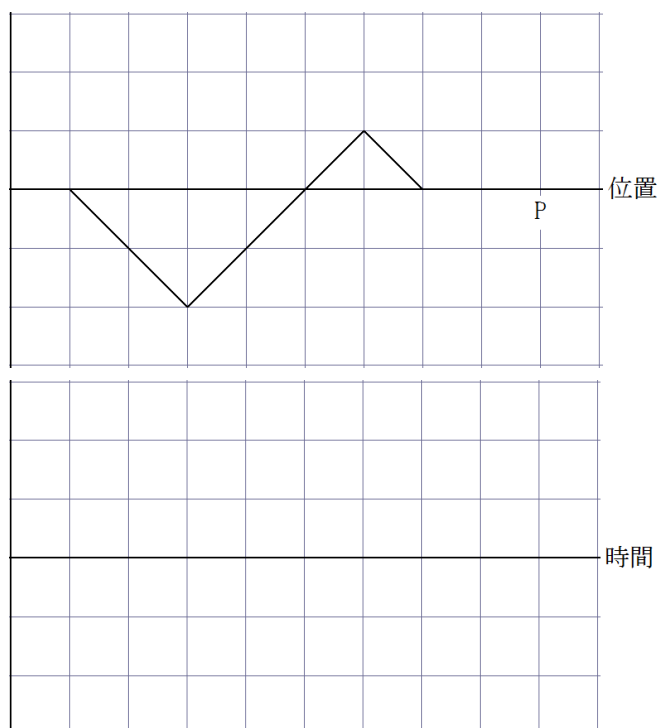
(2)



自信度 ☐

5. 図のような形の波が正の向きに 10 cm/s で進む。

点 P における波の高さは時間とともにどのように変化するか。ただし，横軸の 1 目盛りは，右上図は 10 cm ，右下図は 1 s である。



自信度 ☐

6. 水面に3枚の葉が、右図のように一直線上に浮かんでい
る。次の問いについて、最も適切なものを以下の(a)-(f)
から選び、その理由を書け。



(1) 水面上の点 A を細かく振動させ始めたところ、3枚の葉がその点で振動した。

- 左右の葉が振動し始める**時刻**は、真ん中の葉が振動し始める時刻に比べて、どうなるか。
- ある時刻までに左右の葉が振動する**時間の長さ**は、真ん中の葉が振動する時間の長さに比べて、どうなるか。
- ある時刻までに左右の葉が振動する**回数**は、真ん中の葉が振動する**回数**に比べて、どうなるか。

時刻 () 理由 : 	時間の長さ () 理由 : 	回数 () 理由 :
--	---	--

(2) しばらくして、振動を止めたところ、3枚の葉が静止した。

- 左右の葉が**止まる時刻**は、真ん中の葉が止まる時刻に比べて、どうなるか。
- 振動を止めた時刻からある時刻までの間、左右の葉が**静止している時間の長さ**は、真ん中の葉に比べて、どうなるか。
- 振動を止めた時刻からある時刻までの間、左右の葉が**振動する回数**は、真ん中の葉が振動する回数に比べて、どうなるか。

時刻 () 理由 : 	時間の長さ () 理由 : 	回数 () 理由 :
--	---	--

- | | | |
|---|-----------------------------|---------------------|
| 時刻の選択肢 (a)すべて同時
(d)右は早く、左は遅い | (b)左右とも早い
(e)右は遅く、左は早い | (c)左右とも遅い
(f)その他 |
| 時間の長さの選択肢 (a)すべて同じ
(d)右は短く、左は長い | (b)左右とも長い
(e)右は長く、左は短い | (c)左右とも短い
(f)その他 |
| 回数の選択肢 (a)すべて同じ
(d)右は少なく、左は多い | (b)左右とも少ない
(e)右は多く、左は少ない | (c)左右とも多い
(f)その他 |

B 開発教材

B.1 速さ

演示実験 1 ばねを上下に 1 回動かしてできる波を考える。ばねをあまり伸ばさないで振動させるときに比べて、伸ばして振動させるときは、波の速さはどうなるか予想し、その理由を述べよ。

演示実験 2 ばねを上下に 1 回動かしてできる波を考える。大きくすばやく動かすときに比べて、小さくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想し、その理由を述べよ。

演示実験 3 ばねを上下に 1 回動かしてできる波を考える。小さくすばやく振動させるときに比べて、大きくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想し、その理由を述べよ。

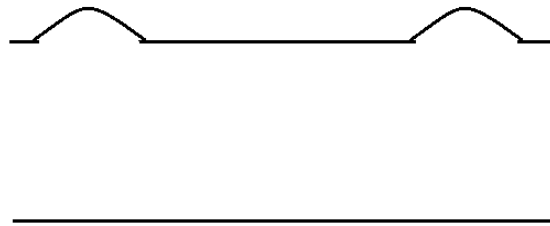
4 演示実験 1～3 をふまえると、波の速さは何によって決まると考えられるか。

B.2 重ね合わせ

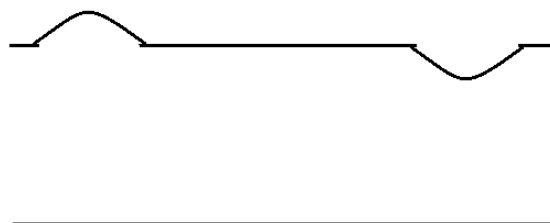
B.2.1 重ね合わせ（その1）

演示実験1 ばねを持つ手を1回上下に動かした後、波形の時間変化の予想を描きなさい。

演示実験2 ばねの2か所を同じ方向に弾いた後、中央での変化の予想を描きなさい。

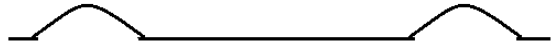


演示実験3 ばねの2か所を反対方向に弾いた後、中央での変化の予想を描きなさい。



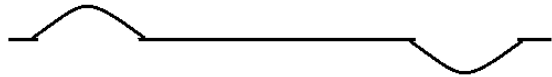
演示実験 4 水面の 2 点を同じ方向に振動さ

せた後、中央での波の形の予想を描きなさい。



演示実験 5 水面の 2 点を反対方向に振動さ

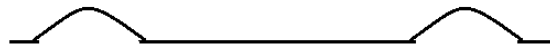
せた後、中央での波の形の予想を描きなさい。



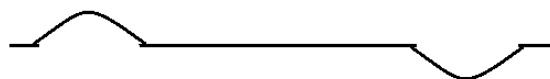
B.2.2 重ね合わせ（その2）

演示実験 1 水面のある点を1回上下に動かした後、波形の時間変化の予想を描きなさい。

演示実験 2 水面の2か所を同じ方向に動かした後、中央での波の形の予想を描きなさい。

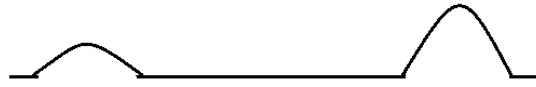


演示実験 3 水面の2か所を反対方向に動かした後、中央での波の形の予想を描きなさい。



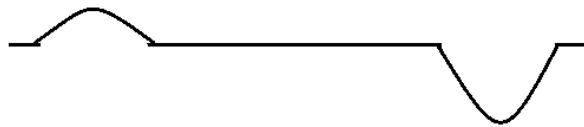
演示実験 4 ウェーブマシンの 2 点を同じ

方向に振動させた後、右のような波形ができた。2 つの波が中央に来る少し前（波の前半分が重なるとき）と、少し後における、波の形の予想を描きなさい。



演示実験 5 ウェーブマシンの 2 点を反対

方向に振動させた後、右のような波形ができた。2 つの波が中央に来る少し前（波の前半分が重なるとき）と、少し後における、波の形の予想を描きなさい。



6 演示実験 1 ～ 5 をふまえると、波が重なるときの性質はどのようなになるか。

B.3 位相

B.3.1 位相（その1）

演示実験 1 ばねに等間隔に3つの

印をつけて、振動させる。波長は左

と右の印の距離よりも少し長いとす

る。上方向に振動させ始めたところ、

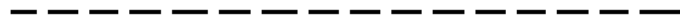
左の印が初めて最も上方向に変位し

た。このとき、真ん中、右の印の

様子を描きなさい。次に、真ん中の

印が最も上方向に変位した。このと

き、左、右の印の様子を描きなさい。



演示実験 2 ばねに等間隔に3つの

印をつけて、振動させる。振動を止

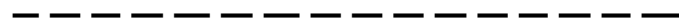
めたところ、左の印が静止した。こ

のとき、真ん中、右の印の様子を描

きなさい。次に、真ん中の印が静止

した。このとき、左、右の印の様子を

描きなさい。



演示実験 3 水面に浮きを浮かべて、水面の端の点を振動させる。このとき、浮きの様子を描きなさい。

演示実験 4 水面に等間隔に浮きを

3つ浮かべて、振動させる。波長は

2つの浮きの距離ぐらいとする。上

方向に振動させ始めたところ、左の

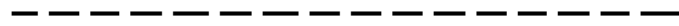
浮きが初めて最も上方向に変位した。

このとき、真ん中、右の浮きの様子を

描きなさい。その後、左の浮きが再

び最も上方向に変位した。このとき、

真ん中、右の印の様子を描きなさい。



演示実験 5 水面に等間隔に浮きを

3つ浮かべて、振動させる。波長は

2つの浮きの距離ぐらいとする。

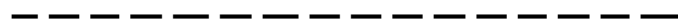
振動を止めたところ、左の浮きが上

方向に振動した後、静止した。この

とき、真ん中、右の浮きの様子を描き

なさい。次に1回振動した時間の後、

真ん中、右の浮きの様子を描きなさい



B.3.2 位相（その2）

演示実験 1 ウェーブマシンに等間

隔に3つの印をつけて、振動させる。

波長は左と右の印の距離より少し長

いとする。上方向に振動させ始めた

ところ、左の印が初めて最も上方向

に変位した。このとき、真ん中、右

の印の様子を描きなさい。次に、真

ん中の印が最も上方向に変位した。

このとき、左、右の印の様子を描き

なさい。



演示実験 2 ウェーブマシンに等間

隔に3つの印をつけて、振動させる。

振動を上に変位させてから止めたと

ころ、左の印が静止した。このとき、

真ん中、右の印の様子を描きなさい。

次に、真ん中の印が静止した。この

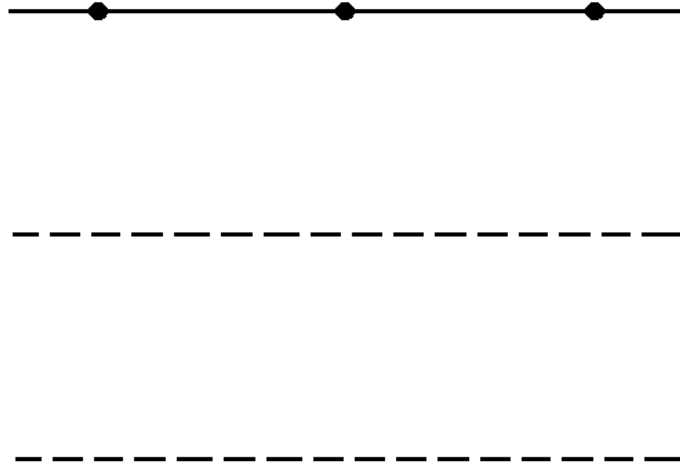
とき、左、右の印の様子を描きなさ

い。



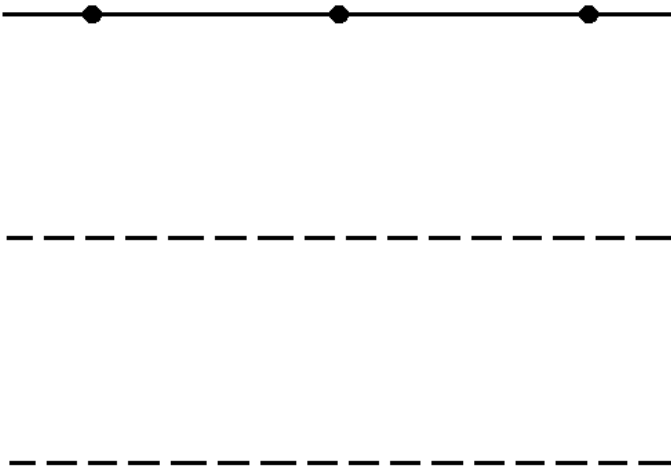
演示実験3 ウェーブマシンに等

間隔に3つの印をつけて、振動させる。波長は左右の印の距離より少し長いとする。上方向に振動させ始めたところ、左の印が半周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印がさらに半周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。



演示実験4 ウェーブマシンに等間

隔に3つの印をつけて、振動させている。波長は左右の印の距離より少し長いとする。振動を上に変位させてから止めた。左の印が静止してから半周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印が静止してからさらに半周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。



5 演示実験1～4をふまえると、波の移動と各点の振動はどのような関係になるか。

B.3.3 位相（その3）

演示実験 1 ウェーブマシンに等間

隔に3つの印をつけて、振動させる。

波長は左と右の印の距離より少し長

いとする。上方向に振動させ始めた

ところ、左の印が初めて最も上方向

に変位した。このとき、真ん中、右

の印の様子を描きなさい。次に、真

ん中の印が最も上方向に変位した。

このとき、左、右の印の様子を描き

なさい。



演示実験 2 ウェーブマシンに等間

隔に3つの印をつけて、振動させる。

振動を上に変位させてから止めたと

ころ、左の印が静止した。このとき、

真ん中、右の印の様子を描きなさい。

次に、真ん中の印が静止した。この

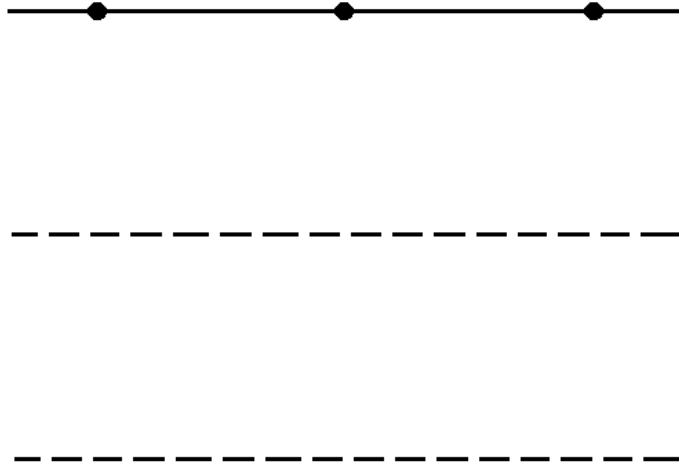
とき、左、右の印の様子を描きなさ

い。



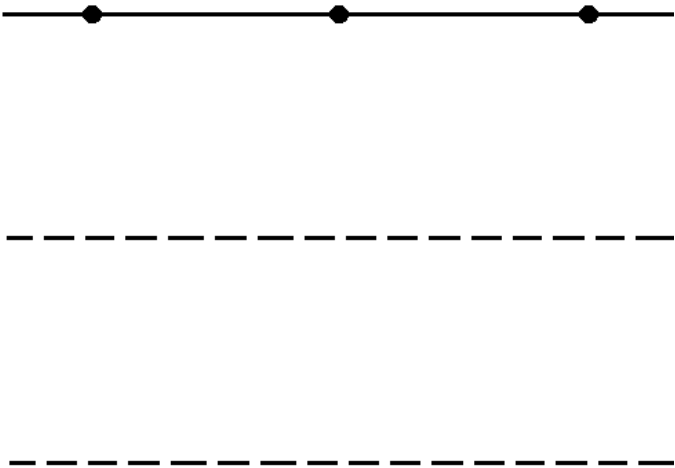
演示実験3 ウェーブマシンに等

間隔に3つの印をつけて、振動させる。波長は左右の印の距離より少し長いとする。上方向に振動させ始めたところ、左の印が $1/4$ 周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印がさらに $1/4$ 周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。



演示実験4 ウェーブマシンに等間

隔に3つの印をつけて、振動させている。波長は左右の印の距離より少し長いとする。振動を上に変位させてから止めた。左の印が静止してから $1/4$ 周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。左の印が静止してからさらに $1/4$ 周期たったとき、真ん中、右の印の様子を描きなさい。



5 演示実験1～4をふまえると、波の移動と各点の振動はどのような関係になるか。

C 指導案

C.1 大学生対象

学習指導案

指導者：同志社高校 古結 尚

1.日時 平成 25 年 7 月 1 日, 4 日

2.対象 学部生

3.場所 物理実験室

4.単元 波動

5.本時の目標 波動の概念、とくに速さ、重ね合わせ、位相について定着させる

6.本時の展開

過程	指導内容	指導形態	主な学習活動	指導上の留意点	備考
導入 ①	「速さ」 手を動かして、プラスチックばねにできる波を見せる。				
展開 ①ー1	ばねをあまり伸ばさないときに比べて、伸ばして振動させるときは、波の速さはどうなるかを予想し、その理由を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「伸ばすと速くなる」「伸ばすと遅くなる」「伸ばしても速さは同じ」		
	クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布:「速くなる」が多く、「遅くなる」「同じ」にも意見が分かれる。		

	各班で予想をまとめさせる。	班	個人の予想を元に議論する。 期待される反応：「速くなる」と予想する班が増える		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	理由を答える。 期待される理由：「張りが強いと振動すると元に戻る力が強いので波が速くなる」		
	理由を聞いた上で、もう一度クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「速くなる」が増える。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「速くなる」 結果シートに記入する。		
展開 ①ー2	手を大きくすばやく動かすときに比べて、小さくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想させ、その理由を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「手を大きく素早く動かす方が速くなる」「大きくとすばやくで影響が相殺して同じになる」		
	クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される予想：「遅		

			くなる」が多く、「速くなる」「同じ」にも意見が別れる。		
	各班で予想をまとめさせる。	班	個人の予想を元に議論する。 期待される理由：「手を大きく素早く動かす方が速くなる」「大きくとすばやくで影響が相殺して同じになる」		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	期待される理由：「手を大きく素早く動かす方が速くなる」「大きくとすばやくで影響が相殺して同じになる」		
	理由を聞いた上で、もう一度クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「遅くなる」「同じ」が増え、「速くなる」が減る。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「同じ」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ①－3	小さくすばやく振動させるときに比べて、大	一斉	予想シートに記入する。		

	きくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想させ、その理由を尋ねる。		期待される予想：「2と逆の組み合わせなので遅くなる」「大きさやすばやさは速さと関係ないので同じ」		
	クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「遅くなる」が多く、次に「同じ」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	個人の予想を元に議論する。 期待される反応：「遅くなる」か「同じ」のどちらかの意見が出る。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	期待される理由：「2と逆の組み合わせなので遅くなる」「大きさやすばやさは速さと関係ないので同じ」		
	理由を聞いた上で、もう一度クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる 期待される分布：「遅くなる」と「同じ」のどちらかになる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「同じ」	分かりづらいときは、ビデオで確認	

			結果シートに記入する。	する。	
展開 ②-1	「重ね合わせ」 ばねを持つ手を1回上下に動かした後、波形の様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「浮きが右に押しやられる」「上下に振動する」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 期待される反応:「浮きが右に押しやられる」または「上下に振動する」		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え:「上下に振動する」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ②-2	水面の2か所を同じ方向に動かした後、中央での波の形の予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「左右の波と同じ高さ」「2倍になる」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		

	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え:「2倍になる」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ②-3	水面の2か所を反対方向に動かした後、中央での波の形の予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「ゼロになる」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え:「ゼロになる」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ②-4	水面の2点を同じ方向に振動させた後、中央での波の形の予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「左右の波と同じ高さ」「2倍になる」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		

	結果を演示し，生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「2倍になる」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ②—5	水面の2点を反対方向に振動させた後，中央での波の形の予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「ゼロになる」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し，各班でまとめる。		
	結果を演示し，生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「ゼロになる」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ③—1	「位相」 ウェーブマシンに等間隔に3つの印をつけて，振動させる。 振動し始めたところ，最も左の印が初めて最も上方向に変位した。 このとき，真ん中，右の印の様子を尋ねる。 次に，真ん中の印が最も上方向に変位した。 このとき，左，右の印の様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「左と真ん中の点が振動しているが，右の点はまだ振動していない」「全ての点が振動している」	波長や振動させ方についてわかりづらい時は，繰り返し説明する。	

	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 予想される反応：振動し始めについて尋ねられていることに気づく。あるいは、気づかずに全ての点が振動している様子を描く。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	右の点がまだ振動していないことを確かめる。 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ③ー2	ウェーブマシンの端を振動させる。 振動を上に変位させてから止めたところ、左の印が静止した。このとき、真ん中、右の印の様子を尋ねる。 次に、真ん中の印が静止した。このとき、左、右の印の様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「左の印が静止した時」「真ん中の印が静止した時」の様子を正しく捉えられる		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		

	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 ③ー3	水面に浮きを等間隔に3つ浮かべる。水面の左端を1回上下に動かした後、浮きの様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「浮きが右に押しやられる」「上下に振動する」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 期待される反応:「浮きが右に押しやられる」または「上下に振動する」		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え:「上下に振動する」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	

展開 ③ー4	水面に等間隔に浮きを3つ浮かべて、振動させる。波長は2つの浮きの距離ぐらいとする。上方向に振動させ始めたところ、左の浮きが初めて最も上方向に変位した。このとき、真ん中、右の浮きの様子を探ねる。 その後、左の浮きが再び最も上方向に変位した。このとき、真ん中、右の印の様子を探ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「左と真ん中の点が振動しているが、右の点はまだ振動していない」「全ての点が振動している」	波長や振動させ方についてわかりづらい時は、繰り返して説明する。	
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 予想される反応：振動し始めについて探ねられていることに気づく。あるいは、気づかずに全ての点が振動している様子を描く。		
	いくつかの班に予想と理由を探ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に探ねる。	一斉	右の点がまだ振動していないことを確かめる。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	

			結果シートに記入する。		
展開 ③—5	水面に等間隔に浮きを3つ浮かべて、振動させる。波長は2つの浮きの距離ぐらいとする。 振動を止めたところ、左の浮きが上方向に振動した後、静止した。このとき、真ん中、右の浮きの様子を尋ねる。 次に1回振動した時間の後、真ん中、右の浮きの様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「左の印が静止した時」「真ん中の印が静止した時」の様子を正しく捉えられる		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	

7.本時の教材・教具

プラスチックばね、水槽

8.評価の基準

C.2 高校生対象（速さ）

学習指導案

指導者：同志社高校 古結 尚

1.日時 平成 25 年 11 月 5 日, 7 日, 12 日

2.対象 高校生

3.場所 物理地学実験講義室

4.単元 波動、速さ

5.本時の目標 波動の速さの概念について定着させる

6.本時の展開

過程	指導内容	指導 形態	主な学習活動	指導上の留意 点	備考
導入	手を動かして、プラスチックばねにできる波を見せる。				
展開 1	ばねをあまり伸ばさないときに比べて、伸ばして振動させるときは、波の速さはどうなるかを予想し、その理由を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「伸ばすと速くなる」「伸ばすと遅くなる」「伸ばしても速さは同じ」		
	クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「速くなる」が多く、「遅くなる」「同じ」にも意見が分かれる。		
	各班で予想をまとめさせる。	班	個人の予想を元に議論する。 期待される反応：「速くなる」と予想する班が		

			増える		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	理由を答える。 期待される理由：「張りが強いと振動すると元に戻る力が強いので波が速くなる」		
	理由を聞いた上で、もう一度クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「速くなる」が増える。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「速くなる」 結果シートに記入する。		
展開 2	手を大きくすばやく動かすときに比べて、小さくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想させ、その理由を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「手を大きく素早く動かす方が速くなる」「大きくとすばやくで影響が相殺して同じになる」		
	クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される予想：「遅くなる」が多く、「速くなる」「同じ」にも意見が別れる。		
	各班で予想をまとめさせる。	班	個人の予想を元に議論する。 期待される理由：「手を		

			大きく素早く動かす方が速くなる」「大きくとすばやくで影響が相殺して同じになる」		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	期待される理由：「手を大きく素早く動かす方が速くなる」「大きくとすばやくで影響が相殺して同じになる」		
	理由を聞いた上で、もう一度クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「遅くなる」「同じ」が増え、「速くなる」が減る。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「同じ」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 3	小さくすばやく振動させるときに比べて、大きくゆっくり振動させるときは、波の速さはどうなるか予想させ、その理由を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「2と逆の組み合わせなので遅くなる」「大きさやすばやさは速さと関係ないので同じ」		
	クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる。 期待される分布：「遅くなる」が多く、次に「同じ」		
	各班で予想をまとめさ	班	個人の予想を元に議論		

	せる。		する。 期待される反応：「遅くなる」か「同じ」のどちらかの意見が出る。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	期待される理由：「2と逆の組み合わせなので遅くなる」「大きさやすばやさは速さと関係ないので同じ」		
	理由を聞いた上で、もう一度クリッカーで予想を尋ねる。	一斉	予想の分布を見せる 期待される分布：「遅くなる」と「同じ」のどちらかになる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「同じ」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 4	1～3を踏まえて、波の速さは何に関係しているかを尋ねる。		予想シートに記入する。 期待される予想：「ばねの伸び」「ばねの張力」		
	各班で振り返りをまとめさせる。	班	振り返りを答える。 期待される予想：「ばねの伸び」「ばねの張力」		
	いくつかの班に振り返りを尋ねる。		結果シートに記入する。		

7.本時の教材・教具

プラスチックばね

8.評価の基準

C.3 高校生対象（位相）

学習指導案

指導者：同志社高校 古結 尚

1.日時 平成 25 年 11 月 12 日, 13 日, 14 日, 15 日, 18 日, 20 日

2.対象 高校生 4 クラス

3.場所 物理地学実験講義室

4.単元 波動、位相

5.本時の目標 波動の位相の概念について定着させる

6.本時の展開

過程	指導内容	指導形態	主な学習活動	指導上の留意点	備考
展開 1	ウェーブマシンに等間隔に 3 つの印をつけて、振動させる。 振動し始めたところ、最も左の印が初めて最も上方向に変位した。 このとき、真ん中、右の印の様子を尋ねる。 次に、真ん中の印が最も上方向に変位した。 このとき、左、右の印の様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「左と真ん中の点が振動しているが、右の点はまだ振動していない」「全ての点が振動している」	波長や振動させ方についてわかりづらい時は、繰り返し説明する。	
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 予想される反応：振動し始めについて尋ねられていることに気づく。あるいは、		

			気づかずに全ての点が振動している様子を描く。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し，各班でまとめる。		
	結果を演示し，生徒に尋ねる。	一斉	右の点がまだ振動していないことを確かめる。 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 2	ウェーブマシンの端を振動させる。 振動を上に変位させてから止めたところ，左の印が静止した。このとき，真ん中，右の印の様子を尋ねる。 次に，真ん中の印が静止した。このとき，左，右の印の様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「左の印が静止した時」「真ん中の印が静止した時」の様子を正しく捉えられる		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し，各班でまとめる。		
	結果を演示し，生徒に尋ねる。	一斉	結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開	ウェーブマシンの端を	一斉	予想シートに記入す	周期の定義を思い	

3	振動させる。波長は左右の印の距離より少し長いとする。上方向に振動させ始めたところ、左の印が $1/4$ 周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を尋ねる。 左の印がさらに $1/4$ 周期振動した。このとき、真ん中、右の印の様子を尋ねる。		る。 期待される予想：「周期的な波だが、パルス波を描いてしまおう」「周期的な波を正しく描ける」	出すように促す。	
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 期待される反応：左の印の振動と波形について議論する。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。 期待される予想：「周期的な波だが、パルス波を描いてしまおう」「周期的な波を正しく描ける」		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	

展開 4	ウェーブマシンの端を振動させている。波長は左右の印の距離より少し長いとする。振動を上に変位させてから止めた。左の印が静止してから $1/4$ 周期たったとき、真ん中、右の印の様子を尋ねる。左の印が静止してからさらに $1/4$ 周期たったとき、真ん中、右の印の様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「左の印が静止した瞬間を描いてしまう」「正しく $1/4$ 周期後の様子を描ける」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 5	1～4をふまえると、波の移動と各点の振動はどのような関係になるか尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される振り返り：「周期と波長を混同する」「周期と波長を正しく記述できる」		
	各班で振り返りをまとめさせる。	班	振り返りを答える。		

	いくつかの班に振り返りを尋ねる。	班	結果シートに記入する。		
--	------------------	---	-------------	--	--

7.本時の教材・教具

ウェーブマシン

8.評価の基準

C.4 高校生対象（重ね合わせ）

学習指導案

指導者：同志社高校 古結 尚

1.日時 平成 25 年 11 月 19 日, 20 日, 21 日, 22 日

2.対象 高校生

3.場所 物理地学実験講義室

4.単元 波動、重ね合わせ

5.本時の目標 波動の重ね合わせの概念について定着させる

6.本時の展開

過程	指導内容	指導形態	主な学習活動	指導上の留意点	備考
展開 1	水面に浮きを等間隔に 3 つ浮かべる。水面の左端を 1 回上下に動かした後、浮きの様子を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想：「浮きが右に押しやられる」「上下に振動する」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。 期待される反応：「浮きが右に押しやられる」または「上下に振動する」		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え：「上下に振動する」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	

展開 2	水面の2か所を同じ方向に動かした後、中央での波の形の予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「左右の波と同じ高さ」「2倍になる」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え:「2倍になる」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 3	水面の2か所を反対方向に動かした後、中央での波の形の予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「ゼロになる」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	予想と理由を答える。		
	いくつかの班に予想と理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に尋ねる。	一斉	期待される答え:「ゼロになる」 結果シートに記入する。	分かりづらいときは、ビデオで確認する。	
展開 4	ウェーブマシンの2か所を同じ方向に振動させた後、2つの波が中央に来る少し前(波の	一斉	予想シートに記入する。 期待される予想:「少し後で、1つの山の		

	前半分が重なるとき) と、少し後における、 波の形の予想を尋ね る。		みの波形」「正しく 2 つの山が描ける」		
	各班で予想をまとめさ せる。	班	予想と理由を答え る。		
	いくつかの班に予想と 理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班 でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に 尋ねる。	一斉	理由を答える。 結果シートに記入す る。	分かりづらいとき は、ビデオで確認 する。	
展開 5	ウェーブマシンの 2 点 を反対 方向に振動させた後、 2 つの波が中央に来る 少し前（波の前半分が 重なるとき）と、少し 後における、波の形の 予想を尋ねる。	一斉	予想シートに記入す る。 期待される予想：少 し後で「1 つの谷の みの波形」「正しく 2 つピークが描ける」		
	各班で予想をまとめさ せる。	班	予想と理由を答え る。		
	いくつかの班に予想と 理由を尋ねる。	班	予想を議論し、各班 でまとめる。		
	結果を演示し、生徒に 尋ねる。	一斉	期待される答え：「ピ ークが 2 つ」 結果シートに記入す る。	分かりづらいとき は、ビデオで確認 する。	
展開 6	1 ～ 5 をふまえると、 波が重なるときの性質	一斉	予想シートに記入す る。		

	はどのようなになるか尋ねる。		期待される振り返り：「波の変位は、その点におけるそれぞれの波の変位の和」 「波は独立に進む」		
	各班で予想をまとめさせる。	班	振り返りを答える。		
	いくつかの班に振り返りと理由を尋ねる。	班	期待される振り返り：「波の変位は、その点におけるそれぞれの波の変位の和」 「波は独立に進む」 結果シートに記入する。		

7.本時の教材・教具

水槽，ウェーブマシン

8.評価の基準

D 研究活動の一覧

学術論文，研究報告等の題名	発行または 発表年	発行所，発行雑誌等 または発表学会名	共著者または 共同発表者
高校生・大学生の波動概念の調査	2012	物理学会第68回年次大会	古結尚 谷口和成
Development of an active-learning program about mechanical wave	2013	Asia Pacific Physics Conference 12	古結尚 谷口和成
Concept Survey of Wave of High School and Undergraduate Students	2013	International Conference of Physics Education 2013	古結尚 谷口和成
波動分野のアクティブ・ラーニングプログラムの開発と実践	2013	2013年物理学会秋季大会	古結尚 谷口和成
高校波動分野の概念獲得のための教材開発と実践	2014	物理学会第69回年次大会	古結尚 谷口和成

(講演番号) 27aXD-5

(題目/1~2 行) 高校生・大学生の波動概念の調査

(所属) 京教大院 (同志社中高)・京教大物理 (氏名) 古結尚, 谷口和成

(英文題目) Concept Survey of Wave of High School and Undergraduate Students

(英文所属) Kyoto Univ. of Edu. (英文氏名) Hisashi Kogetsu, Kazunari Taniguchi

波動分野について生徒がどのような概念を持つのかは、いくつかの研究が行われているが、周期的な波や位相についてはあまり研究されていない。1,2)その一方で、日本では一般的な波についてある程度の時間をかけて教えており、さまざまな生徒の理解が生じていると考えられる。そこで、高校生・大学生の波動分野における概念を調査した。内容は、重ね合わせ、位相、音速であり、独自の問題を作成して行った。調査を行った対象は、高校生は必修クラスの生徒であり、大学生は教育大学の物理学を受講している学生である。高校の時に物理を学んだ学生もいれば、学んでいない学生もいる。調査時期は、高校生は波動分野の通常授業前後 2 回であり、大学生は授業時に 1 回である。

調査結果を分析すると、物理の波動分野を未習の生徒・学生には、特徴的な誤答が見つかった。1つの波束の波が通過しただけなのに、波が通過した後の点が連続的に振動すると答える生徒が多く見られた。また、高校生の授業前と授業後との比較、高校生と大学生の比較を行った。重ね合わせに関しては、波の高さを運動量のように考えて、物体の衝突と同じように考えてしまう誤答が授業前でも授業後でも見られた。波の位相に関しては、波の伝播を空間的に捉えることは比較的正答率が高い一方で、各点における波の位相は正答率が低く、どの位置でも位相は同じであるという誤答が少なからずあるということがわかった。このことは、大学生の既習者でも同じ傾向があった。

今後、これらの生徒・学生の理解を踏まえて、誤概念を克服するような授業カリキュラムの開発を行いたい。

[参考文献]

- 1) Linder, C. J., Understanding sound: so what is the problem. *Physics Education*, 27, 258-264 (1992).
- 2) C. M. Wittmann et al., Making sense of how students make sense of mechanical waves, *Phys. Teach.* 37, 15 (1999).

Development of an active-learning program about mechanical wave

H. Kogetsu^{a,b}, K. Taniguchi^a

^a *Kyoto University of Education, Kyoto 612-8522, Japan,*

^b *Doshisha High School, Kyoto 606-8558, Japan,*

kogetsu@js.doshisha.ac.jp

In our preliminary survey of students' conceptual understanding of a mechanical wave with Wave Diagnostic Test[1], we found that Japanese students have "particle pulses mental model" such that the wave speed changes depending on frequency and/or amplitude of the wave source.

We have developed an active-learning program about the mechanical wave based on instructional strategies used by Physics Education Group[2] to improve students' mental model. The procedure of the program is as follows:

1. Students see a pulsewave on a string, then they discuss their own predictions how to change speed of the pulsewave to *elicit* their mental model.
2. They discuss how to make an experiment to confirm their predictions.
3. They carry out the experiment and confirm the result. They often find the conflict between their own prediction and the result and hence they *confront* their mental model.
4. They discuss the conflict to *resolve* their mental model.
5. They review the modification of their own thinking through the program; metacognition.

Our developed program and results of its practice will be shown in detail.

[1] M. Wittmann, R. Steinberg, and E. Redish, Phys. Teach. 37, 15-21 (1999).

[2] L. McDermott, Am. J. Phys. 59 (4), 301-315 (1991).

International Conference of Physics Education 2013 ポスター発表
題目 : Concept Survey of Wave of High School and Undergraduate Students
発表者 : 谷口和成
要旨 : We investigated students' conceptual understanding of wave physics in Japan. In order to the survey, we developed the Concept Inventory Test which consists of 7 qualitative questions in a free response (FR) format and/or a multiple-choice (MC) format. The main contents of questions are as follows: 1. Superposition of two wavepulses closer to each other at a same speed (FR) 2. Spatiotemporal behavior of a phase of a periodic wave (FR, MC) 3. Physical quantities related to the speed of a sound wave (MC) The candidate for the survey is 128 students (16-17 yrs) in the second grade of senior high school, and 45 undergraduate students in the introductory physics class which learned physics by a traditional instruction. As the results of the survey, about a superposition of two wavepulses, it was confirmed that not a few students have understanding which can be explained by the mental model of mechanical waves (Wittmann, 1998). Moreover, about a spatiotemporal behavior of a traveling periodic wave, it was revealed that the understanding of a time variation of an oscillation at an arbitrary point on the wave was more difficult for almost all students than that of a space variation of the wave.

高校波動分野の概念獲得のための教材開発と実践

京教大院（同志社中高）・京教大物理

古結尚，谷口和成

Development and practice of program to make sense the concept of wave in high school

Kyoto Univ. of Edu.

Hisashi Kogetsu, Kazunari Taniguchi

我々は開発した波動概念調査を用いて、波の速さ、重ね合わせ、位相について調査を 2012 年に行った。結果は、位相については、各点が振動し始める時刻について正しい理解を持つ生徒が多い一方で、各点の振動の回数や時間については特徴的な間違いをする生徒が多かった¹⁾。そこで、波の概念を定着させるために、米国の Physics Education Group で用いられている教育方略²⁾に基づいて、波動分野のアクティブラーニング開発を行い、大学での実践を行った¹⁾。大学での実践の結果、初学者を対象に議論を行う場合、一般化を行う振り返りをしないと概念が定着しにくいことがわかった。

以上のような実践を踏まえ、高校における実践を今回行った。実践した高校は物理基礎を必修で学ぶ高校 2 年生 4 クラスである。一般的な波の分野を通常 6 回の授業で行うところを、10 回の授業で実践を行った。用いる教材については、大学での実践を踏まえ、各内容について一般化を行う振り返りをする項を新たに設けた。実践を行った結果、一般化を行う振り返りをすることによって、生徒が曖昧に理解している部分を整理できることがわかった。また、振り返り通常授業における生徒の変容（ゲインがそれぞれ時刻 0.50, 時間 0.28, 回数 0.12）と比較すると、位相については、議論が活発だったクラスについては図 1 のように時刻、時間、回数において改善が見られたが、議論がそれほど活発に行われなかったクラスについては、時間、回数においてそれほど改善が見られなかった。本発表では、位相だけでなく速さ、重ね合わせについても、開発したプログラムの実践とその評価を報告したい。

[参考文献]

1) 物理学会第 68 回年次大会 27aXD-5, 2013 年秋
季大会 27pBD-3

2) L. C. McDermott, Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned - Closing up the gap, Am. J. Phys. 59 (4), 301-315 (1991)

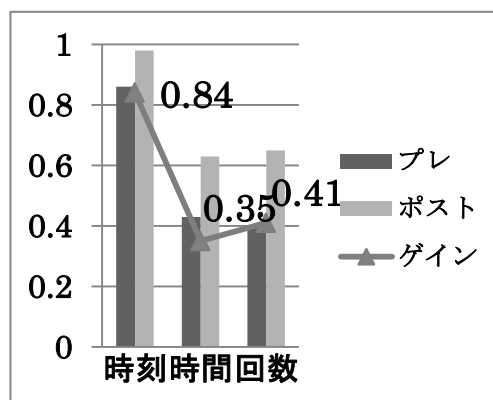


図 1 議論が活発だったクラスの生徒の変容