

波の基本的性質の理解において物理基礎学習者が直面する課題 —アンケート調査と授業実践から—

Challenges among Basic Physics Learners in Understanding Basic Properties of Waves: From Questionnaire Surveys and Lesson Practice

川崎 友紀子*, 寺島 幸生**

*鳴門教育大学大学院修了生

**鳴門教育大学

KAWASAKI Yukiko* and TERASHIMA Yukio**

*Graduate degree holder of Graduate School of Naruto University of Education

**Naruto University of Education

抄録：高校では物理嫌いの生徒が比較的多く、物理が苦手な高校生でも物理の基本的な概念や見方・考え方を習得できるような物理教育の取組が求められる。本研究では、物理基礎を学ぶ高校1年生を対象に、物理の学習に対する意識調査および「波」に関する授業を実施し、この生徒の学習意識や内容理解度の実態を分析した。結果として、生徒の9割以上は物理が好きではなく、その第一の理由が公式（法則・原理）の成り立ちへの理解不足であることが明らかとなった。また、波長、振動数、周期、速さなどの波の基本的物理量間の関係性や、弦の振動の波長に対する理解度が比較的低いことが判明した。生徒が抱える課題を考慮して計画・実践した今回の授業を通して、波に対する生徒の理解度が着実に向上していることが確認された。このような授業実践は、物理が苦手な生徒が物理の基本的な概念や見方・考え方を学ぶために必要であると考えられる。

キーワード：波、弦の振動、物理基礎、高校

Abstract: Many high school students often dislike physics, and physics education are required to enable students who are not good at learning physics to acquire the basic concepts, views, and ideas of physics. In this study, we conducted surveys on students' attitudes toward physics learning and performed a lesson on waves for the 10th grade students studying Basic Physics, and then analyzed their actual attitudes and understandings. As a result, it was found that more than 90% of the students did not like physics and its primary reason was a lack of understanding of physical meanings of formulas describing physics laws and principles. In addition, the students were relatively poor at understanding the relationships between the basic physical quantities of waves such as wavelength, frequency, period, and speed. Moreover, the students were also relatively weak at understanding the wavelength of a string vibration. We confirmed that the students' understandings could be steadily improved throughout our lessons considering learning challenges among the students. Such lesson practice can be necessary for students who are not good at physics to persistently learn basic concepts, viewing and thinking ways of physics.

Keywords: wave, string vibration, Basic Physics, senior high school

1. 研究の目的と背景

資源の乏しい我が国では、持続的発展可能な国造りを目指し、「科学技術創造立国」として国際的な競争力を維持していくことが重要な課題となっている。小・中学生の学力や学習への意識・姿勢等を把握する目的から、全国学力・学習状況調査が実施され、平成24年度以降は3年毎に理科の調査も行われている。平成30年度に行われた調査では、「理科の勉強が好き」と答えた中学3年生の割合は

62.9%であり、その生徒らが小学6年生だった平成27年度の83.5%から大きく減少している（国立教育政策研究所、2018）。

全国の高校では、生徒の進路希望等に応じて、人文社会系科目あるいは理数系科目をそれぞれ重視するいわゆる文系／理系に大別される各種コース選択を設定していることが多い。この文部科学省（2016）によると、全国高校生の文系／理系選択の割合は、それぞれ約68%/32%であり、おおよそ7:3となっている。理科の科目の履修状況

では、物理基礎 65.6%，化学基礎 93.4%，生物基礎 94.3%，物理は 22.8%，化学 38.3%，生物 28.2%であり、開講していない場合が多い地学基礎・地学を除くと、物理基礎・物理の履修率は一番低いと言える。文部科学省はスーパーサイエンスハイスクール（SSH）を指定し、青少年の理数能力の強化を推進している。しかしながら、持続的に科学技術人材を創出し続けるためには、SSH 指定校や理数科関連コースだけではなく、高校で大多数を占める普通科高校生に対する理数教育の充実・発展も必要不可欠である。一方、物理系科目の履修率が比較的低い状況から、一般の普通科においては、物理が嫌いあるいは苦手な高校生が多いことが想定され、この課題解決に資する物理教育の実践が全国の高校に広く求められている。

本研究では、都内の私立高校において物理基礎を学ぶ普通科1年生を対象に、物理の学習に対する意識調査および「波」に関する授業を実施し、学習意識や内容理解度の実態について分析を試みた。本稿では、調査および実践した結果を報告し、物理が好きではない高校生の物理への学習意識と内容理解の現状と課題について考察し、今後の物理教育の在り方について検討する。

II. 物理の学習に関する意識調査

今回の調査および授業は、東京都内の私立高等学校普通科で実施した。2023年10月、物理基礎を必修で履修する第1学年1学級38名を対象に、物理の学習に関する意識調査アンケートを、オンライン回答フォームを用いて実施し、38名全員から回答を得た。今回の調査には、国立青少年教育振興機構（2017）が日本・米国・中国・韓国4か国の普通科高校を対象に実施した学習意識、学校生活等の調査「高校生の勉強と生活に関する意識調査」の質問項目を一部抜粋して使用した。具体的な質問項目（回答形式）と選択肢は以下のとおりである。

- ・ 中学の時、理科は好きでしたか？（択一）
 - はい
 - いいえ
- ・ 物理は好きですか？（択一）
 - はい
 - いいえ
- ・ 上記で「いいえ」を選んだ理由
（以下選択肢から複数選択）
 - 計算が苦手
 - 用語の意味が分かりにくい
 - 公式（法則・原理）の成り立ちがよくわからない
 - 現象を説明する文章を読むのが苦手
 - 文章を読んで現象をイメージするのが苦手
 - 文章を読んで公式を導くのが苦手
 - グラフや表の読み取りが苦手

- 作図が苦手
- 興味を持てる学習内容がない
- 先生の教え方がよく分からない
- 試験でいい点が取れなかった
- その他（具体的に記入）

III. 「波」に関する授業実践

1. 学習単元

今回の授業で扱う内容は、物理基礎の学習単元「波 発音体の振動と共振・共鳴」であり、高等学校学習指導要領理科（平成30年告示）では、以下のように、単元の目標および内容が位置付けられている（文部科学省，2018）。

- ア) 波
- ㉞ 波の性質
波の性質について、直線状に伝わる場合を中心に理解すること。
- ㉟ 音と振動
気柱の共鳴に関する実験などを行い、気柱の共鳴と音源の振動数を関連付けて理解すること。また、弦の振動、音波の性質を理解すること。

実際の授業では、生徒が音と振動に関する物理現象を観察、実験などを通して探究し、それらの基本的な概念や法則を理解し、物理現象とエネルギーについての基礎的な見方や考え方を身に付けられるような学習活動が求められる。

この内容を研究対象とした理由は、生徒が直接目に見えない音の現象や性質を、波としてどのように理解できているのか、また授業を通して、生徒の理解度がどう向上するかを調査するためである。著者の川崎が作成したこの単元の指導計画および本時の学習指導案（一部）をそれぞれ表1、表2に示す。

2. 授業前後における生徒の理解度調査

授業の導入直後、対象生徒の波に関する理解度を把握するための事前アンケートを、先述の意識調査と同様のオンライン回答フォームを用いて実施した。アンケートには、波の「波長 λ 」、「振動数 f 」、「周期 T 」、「速度の式 $v = f\lambda$ 」、「振動数と周期の関係 $f = 1/T$ 」についてそれぞれ理解できているかの質問のほか、波の模式図（図1）を提示して、

表1 「波」の単元指導計画

単元	授業内容	時間
第1節 波の性質	波と媒質の運動	2時間
	波の伝わり方	2時間
第2節 音波	音波の性質	2時間
	発音体の振動と	2時間
	共振・共鳴	(本時 1/2)

表2 音波に関する授業の学習指導案

時間	学習活動	指導上の注意	注記
①導入 5分	本日の授業の概要説明	・波の基本物理量と、弦の振動の振動数を計算することを伝える。	
②事前アンケート記入 5分	アンケート記入		Google Forms でアンケートを配信
③展開1 10分	一人で問題を解く	・波の基本問題 ・音の3要素 ・弦の振動に関する問題	プリント配布
④展開2 10分	グループワーク		机間巡視
⑤展開3 10分	解説	速さの式から波長を含んだ波の速さの式について説明する。周期と振動の関係、弦の振動の振動数を丁寧に説明する。	
⑥事後アンケート記入 5分	アンケート記入		Google Forms でアンケートを配信

直線状に進行する波（進行波）について、「この波が一波長(λ)であることがわかる。」「図を見て半波長($\lambda/2$)がいくつあるかわかる。」、弦の振動（定常波）について、「この波が一波長(λ)であることがわかる。」「この波が半波長($\lambda/2$)であることがわかる。」の各質問を設定し、各項目に対し「よく当てはまる」、「当てはまる」、「あまり当てはまらない」、「まったく当てはまらない」の4つから1つを選ぶ択一式の選択肢を設けた。

3. 授業の実際

表1、2に示した指導計画および指導案に基づき、物理基礎の授業（1回45分）を実施した。本時の授業では、波

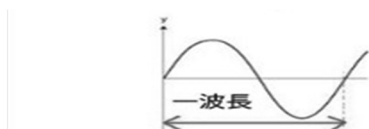
の基本的性質の復習から弦の振動への波動の適用までを学習事項とし、波の基本物理量（波長・振動数・周期など）や弦の振動の振動数などを求める問題演習とその解説を実施した。授業の教材として、教科書（國友ら，2021）の補助教材である市販の問題集「セミナー物理基礎」（第一学習社，2021）に含まれている波に関する問題を一部改変した簡単な練習問題を作成して使用した（図2）。

波の基本的性質と弦の振動の学習内容は、実践校で2023年10月に実施された定期考査の出題範囲である。物理が嫌いなあるいは苦手な生徒も自力で粘り強く問題を解いて正答できることを目指して、波の基本式と音の3要素について復習しながら授業を進行した。図2に示した問題を生徒に配布し、最初の10分間は自分で、残りの10分間で友達と相談して解くことを推奨した。

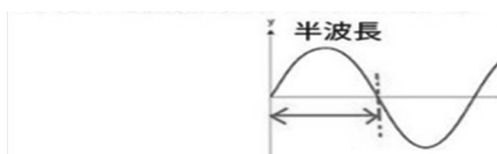
解説の場面では、図3に示す図や式を提示して、波の表式について可能な限り簡潔かつ丁寧に説明した。まず、波の波長 λ 、周期 T および速さ v の関係式 $v=\lambda/T$ は、小中学校で学習した速さの式（速さ v =距離 x /時間 t ）と類似することを強調した。また、周期 T は1回の振動に要する時間、振動数 f は1秒あたりの振動回数であることをそれぞれ伝え、速さを含んだ振動数の式 $f=v/\lambda$ の導出過程と物理的意味について、練習問題に即してできるだけ平易に説明した（図3）。

弦の振動（定常波）の解説では、基本振動の波形（節から節）が半波長 $\lambda/2$ に対応することを伝え、2倍振動、3倍振動の波長 λ は、定常波に含まれる節間または腹間の距離 $\lambda/2$ を基準にして、弦の長さ $L=\lambda/2 \times$ 半波長の数の式から得られることを、式を1つ1つ提示しながら順次説明した。さらに各波長を用いて、各振動数 f も算出できること、2倍、3倍振動になると、弦の振動に含まれる節や腹の数および振動数も2倍、3倍に増えていくことを図示しながら伝えた。生徒は以上の解説を踏まえながら、再度自身の解答を点検し修正した。

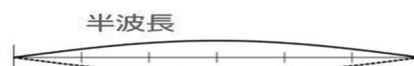
この波が一波長(λ)であることがわかる。



弦の振動について、弦の振動 この波が一波長(λ)であることがわかる。



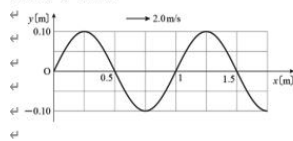
図を見て半波長($\lambda/2$)がいくつあるかわかる。



弦の振動 この波が半波長($\lambda/2$)であることがわかる。

図1 進行する波（進行波）と弦の振動（定常波）の各波長についての理解を問う質問

【1】波の要素とy-xグラフ◆ x=0を波源として、連続した正弦波がx軸の正の向きに速さ2.0m/sで進んでいる。図の時刻をt=0として、次の各問に答えよ。



(1) 波の振幅と波長はそれぞれ何mか。

図から振幅、波長を読み取ると、
振幅：0.10m、波長：1.0m

(2) 波の周期は何sか。

周期Tは、 $v = \lambda/T$ の関係から、

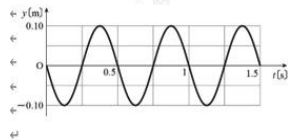
$$T = \frac{\lambda}{v} = \frac{1.0}{2.0} = 0.50\text{s}$$

(3) 波の振動数は何Hzか。

振動数fは、 $f = 1/T$ の関係から、

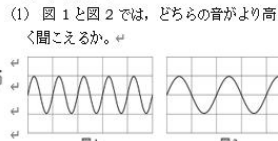
$$f = \frac{1}{0.50} = 2.0\text{Hz}$$

(4) x=0における媒質の変位y(m)と時刻t(s)との関係を示すy-tグラフを描け。



波の振幅は0.10m、周期は0.50sである。また、t=0から時間が経過すると、x=0の媒質はまずx軸の負の向きに振動する。

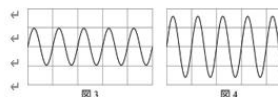
【2】音の3要素◆ 図1~6は、オシロスコープで音を観測したものである。グラフの横軸は時間、縦軸は変位を示している。次の各問に答えよ。



(1) 図1と図2では、どちらの音がより高く聞こえるか。

振動数が大きい(周期が小さい)音ほど、高く聞こえる。図1

(2) 図3と図4では、どちらの音がより大きく聞こえるか。



同じ高さの音であれば、振幅が大きい音ほど大きく聞こえる。図4

(3) 図5の音と図6の音では、音の3要素のうち、どれが異なって聞こえるか。

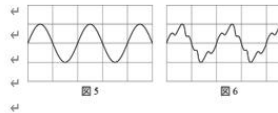
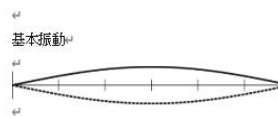
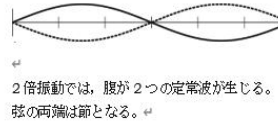


図5と図6では波形が異なるので、音色が異なって聞こえる。

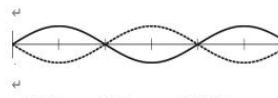
【3】弦の固有振動◆ 図は、両端を固定した弦に基本振動が生じているときのようすである。これにしたがって、2倍振動、3倍振動、4倍振動が弦に生じているときのようすをそれぞれ描け。



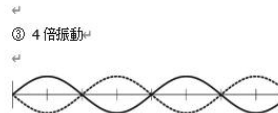
① 2倍振動



2倍振動では、腹が2つの定常波が生じる。弦の両端は節となる。

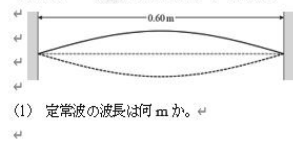


3倍振動では、腹が3つの定常波が生じる。弦の両端は節となる。



4倍振動では、腹が4つの定常波が生じる。弦の両端は節となる。

【4】弦の固有振動◆ 両端を固定した弦に振動を与えると、図のような基本振動の定常波が生じた。弦の長さを0.60m、弦を伝わる波の速さを48m/sとして、次の各問に答えよ。



(1) 定常波の波長は何mか。

波長を λ とすると、隣りあう節と節の距離は $\lambda/2$ と表せるので、

$$\frac{\lambda}{2} = 0.60 \quad \lambda = 1.2\text{m}$$

(2) 定常波の振動数は何Hzか。

基本振動の振動数 f_1 は、 $v = f\lambda$ の関係から、

$$f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{48}{1.2} = 40\text{Hz}$$

(3) 弦に2倍振動を生じさせるには、何Hzの振動を与えればよいか。

$f_m = \frac{m}{2L}v$ の式で、2倍振動は $m=2$ なので、

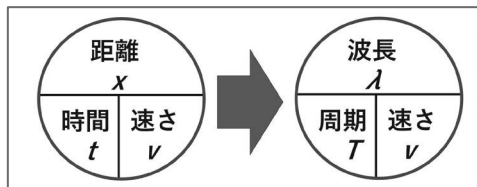
$$f_2 = \frac{2}{2 \times 0.60} \times 48 = 80\text{Hz}$$

(4) 弦に3倍振動を生じさせるには、何Hzの振動を与えればよいか。

$f_m = \frac{m}{2L}v$ の式で、3倍振動は $m=3$ なので、

$$f_3 = \frac{3}{2 \times 0.60} \times 48 = 1.2 \times 10^2\text{Hz}$$

図2 授業で用いた波の基本的性質や弦の振動に関する練習問題



速さの式から波長を含む波の速さの式への適用

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{v}{\lambda}$$

波の速さの式に基づく周期や振動数の求め方

$$L = \frac{\lambda}{2} \times \text{半波長の数}$$

基本振動 $L = \frac{\lambda}{2} \times 1 \rightarrow \lambda = 2L \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$

2倍振動 $L = \frac{\lambda}{2} \times 2 \rightarrow \lambda = L \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{L}$

3倍振動 $L = \frac{\lambda}{2} \times 3 \rightarrow \lambda = \frac{2}{3}L \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3v}{2L}$

弦の振動における波長や振動数の求め方

図3 授業で解説した波の性質を表現する数式

IV. 結果と考察

1. 物理の学習に対する生徒の意識

授業前に実施した物理の学習に関する意識調査アンケートの結果の概要を図4、5に示す。「中学の時、理科は好きでしたか?」の質問に対して、「はい」が18人(47.4%)、「いいえ」が20人(52.6%)であり、両者の割合はほぼ拮抗していると言える。一方、「物理は好きですか?」に対しては、「はい」3人(7.9%)に対して、「いいえ」は35人(92.1%)と圧倒的に多いことが分かった。この結果から、対象生徒の半数近くは中学校で理科が好きだった一方、高校で物理が好きな生徒は1割にも満たず、9割以上の生徒が高校の物理を嫌っているという物理離れの実態が確認された。

「物理は好きですか? = いいえ」(35人)の理由として最も多かった回答は、「公式(法則・原理)の成り立ちがよくわからない」22人(62.9%)であり、続いて多い順に「用語の意味が分かりにくい」13人(37.1%)、「文章を読んで公式を導くのが苦手」12人(34.3%)、「計算が苦手」と「興味を持てる学習内容がない」が共に11人(31.4%)、「現象

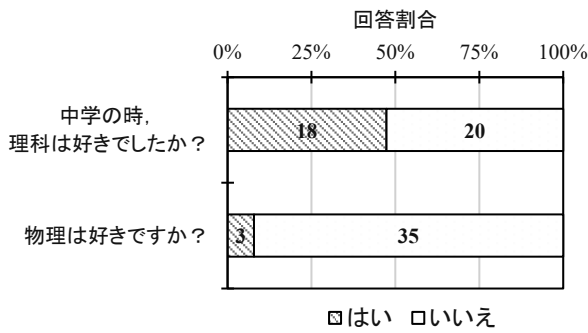


図4 中学校理科と高校物理の学習意識の違い (n=38)

を説明する文章を読むのが苦手」、「文章を読んで現象をイメージするのが苦手」、「先生の教え方がよく分からない」が共に 9 人 (25.7%)、「グラフや表の読み取りが苦手」と「作図が苦手」が共に 7 人 (20.0%) となった。この中で「公式 (法則・原理) の成り立ちがよくわからない」の回答割合は、唯一半数を超えて他の項目に比べて突出して多い。このことから、今回の生徒が物理を嫌いになっている主な原因として、物理の教科書において数式で表現されている法則・原理の物理的意味やその導出過程を十分に理解できていないことがあげられる。

授業前後に実施した波の性質と弦の振動に関する理解度を問う事前・事後アンケートの結果をそれぞれ図6, 7に示す。各図では、無回答を除いた回答数 (割合) を表示している。

授業前には、波の基本的性質として「波長 λ 」、「振動数 f 」および「周期 T 」について理解できているかの質問に対し、「よく当てはまる」または「当てはまる」と肯定的に回答した生徒数 (割合) は、各々26人 (74.3%)、24人 (68.6%) および23人 (67.6%) であり、いずれも全体の $2/3$ を上回った。一方、「速度の式 $v=f\lambda$ 」, および「振動数と周期の関係 $f=1/T$ 」の理解について肯定的に回答した生徒 (割合)

は、「速度の式 $v=f\lambda$ 」が21人 (60.0%)、「振動数と周期の関係 $f=1/T$ 」が19人 (55.9%) であり、「波長 λ 」、「振動数 f 」および「周期 T 」に比べて、肯定的回答の割合がやや低いことが判明した。

進行波と定常波の各波長に関する理解に関して、進行波の「この波が一波長 λ であることがわかる。」および「図を見て半波長 $\lambda/2$ がいくつあるかわかる。」に対して「よく当てはまる」または「当てはまる」と肯定的に回答した生徒 (割合) は、各々34人 (97.1%)、34人 (100%) であった。一方、弦の振動における定常波について、「弦の振動 この波が1波長 (λ) であることがわかる。」、「弦の振動 この波が半波長 ($\lambda/2$) であることがわかる。」に対する肯定的回答者数 (割合) はそれぞれ30人 (88.2%)、26人 (78.8%) であり、前述の進行波の場合に比べて理解度がやや低い結果となった。

これらの比較から、授業前における波の性質と弦の振動に関する生徒の理解度として、波の基本的物理量である波長、振動数および周期について理解できていない生徒はほとんどいないが、速度の式や振動数と周期の関係のように、各物理量間の関係性を理解できていない生徒は多いことが判明した。また、ほとんどの生徒が進行波の波長について理解していた一方で、弦の定常波の波長について理解できていない生徒はやや多いことが明らかとなった。

授業後には、図7に示す事後アンケートの結果のように、生徒の理解度は総じて向上していることが示された。具体的には、「波長 λ 」、「振動数 f 」および「周期 T 」についての理解に対する肯定的回答者数 (割合) は各々30人 (96.8%)、29人 (93.5%) および29人 (93.5%) と100%に近く、いずれも授業前の割合から20ポイント以上改善した。これら波の概念と物理量については、授業直後にはほぼ全ての生徒が理解できたと言える。また、授業前には比較的理解度が低かった波の速度の式および振動数と周期の関係につ

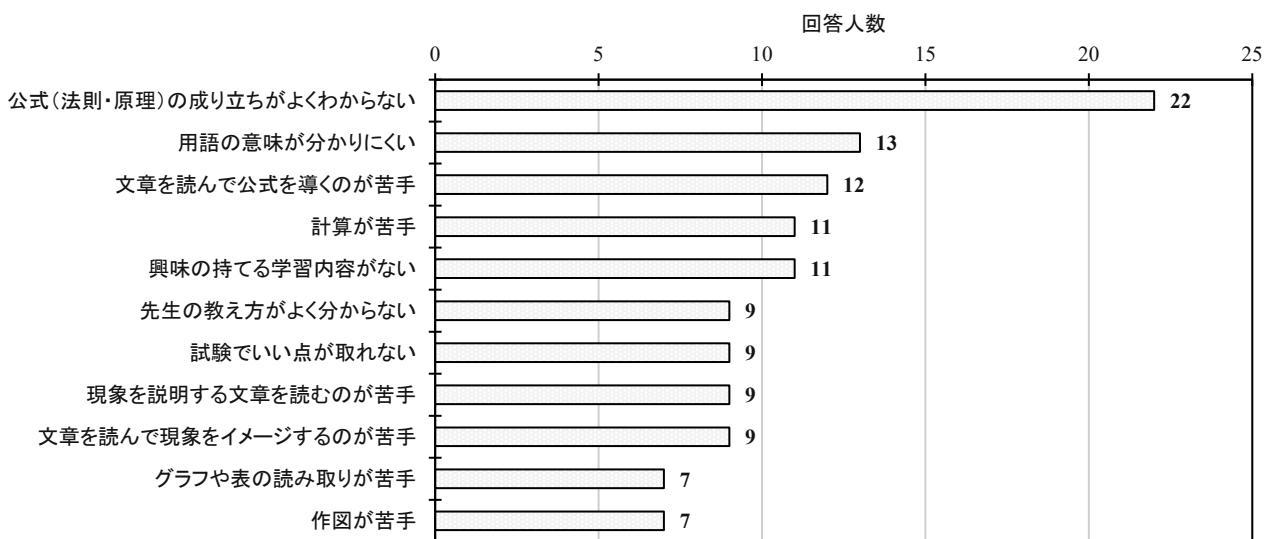


図5 「物理は好きですか？」に対して「いいえ」と回答した理由 (n=35)

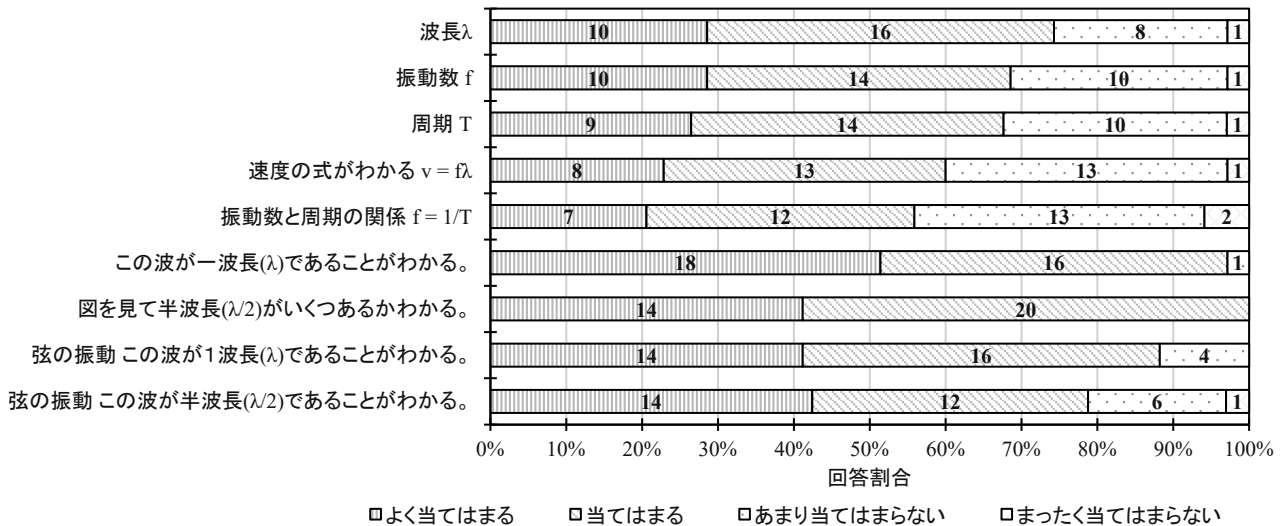


図6 波の性質と弦の振動に関する生徒の理解度（授業前）

いても、授業後の肯定的回答者数（割合）はそれぞれ26人（83.9%）および25人（80.6%）と、いずれも授業前に比べて20ポイント前後上昇している。さらに、進行波の波長への理解については、授業後には全ての生徒が肯定的に回答し、定常波の波長への理解についても、ほぼ全ての生徒が肯定的に回答した。

授業前後のアンケート結果の比較から、授業前には、速度の式や振動数と周期の関係、弦の定常波の波長に対する理解に課題を抱える生徒が一定数存在していたが、授業後には、定常波の波長に対する理解はほぼ定着し、波の速度の式や振動数と周期の関係に対する理解度にも改善が見られた。

授業後アンケートの自由記述欄で得られた回答には、授業内容への理解度に関して、例えば、「公式がまだよくわかっていないのでちゃんと理解したい」、「まだ文章から式を作るのが遅いからもっと問題を解かないといけないと感

じた」、「公式が頭の中でぐちゃぐちゃになってしまい（後略）」、「公式や式を理解できていない」など、公式や式に関する記述が比較的多く散見された。前掲の物理の学習に関する意識調査アンケート（図5）でも、物理が好きでない理由として、「公式（法則・原理）の成り立ちがよくわからない」の解答が半数を超えて最多であり、次いで多いのが「用語の意味が分かりにくい」であった。事前の意識調査および授業前後のアンケートの各結果を総合的に検討すると、1）波長や振動数などの用語として学習する物理量の基本的概念の理解、2）波の速さの式や振動数と周期の関係などの物理量間の関係性や規則性の把握、3）見出した規則性を基にした科学的な見方・考え方の習得のそれぞれにおいて、課題を抱えている生徒が一定数存在すると推察される。

一方、授業後アンケートの自由記述欄には、「前よりはわかるようになった」、「理解さえすればそこまで難しくない

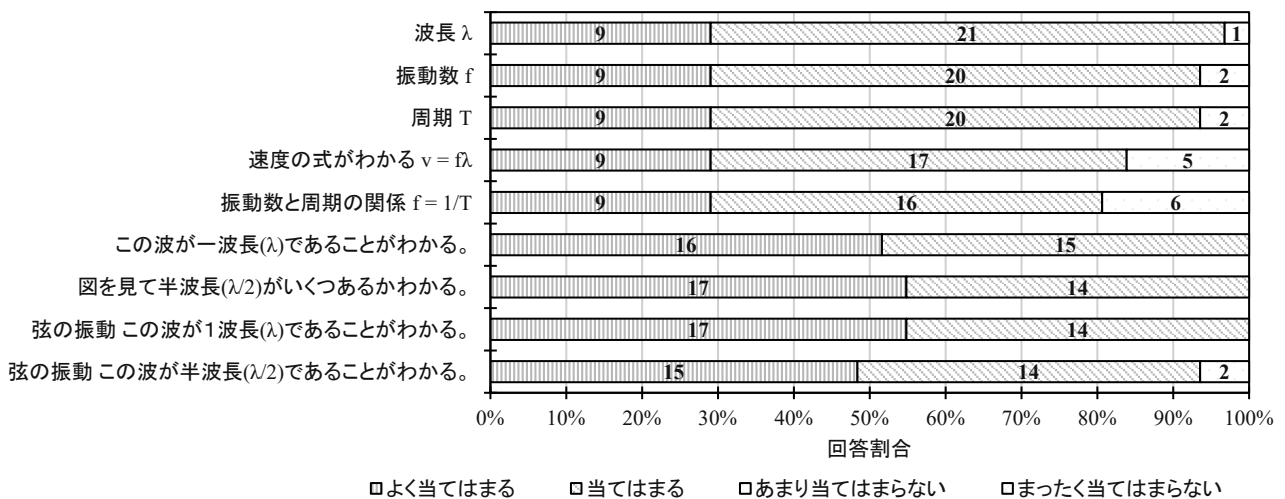


図7 波の性質と弦の振動に関する生徒の理解度（授業後）

など思った」などの学習の効果を肯定的に評価する記述も見られた。これらのコメントから、当初理解が十分でなかった学習者でも、粘り強く問題を解く過程で理解度の向上を実感できたという事例を確認することができた。

VI. まとめと今後の課題と展望

本研究では、物理基礎を学ぶ高校1年生を対象に、上述の意識調査および授業を実施し、この生徒の物理に対する学習意識や内容理解度等について分析、考察を行った。結果として、中学校の理科は好きだった生徒が半数近くを占める一方で、高校では9割以上の生徒が物理を好きではないこと、その主な理由は公式（法則・原理）の成り立ちがよくわからないことなどが明らかとなった。また、波の基本的性質を与える波長、振動数および周期を理解できている生徒は比較的多いが、それら物理量間の関係を与える波の速度の式や振動数と周期の関係性を理解できている生徒は比較的少ないことや、進行波の波長に比べて弦の定常波の波長に対する理解度が低い傾向も判明した。このような生徒が抱える課題に即して、式の物理的意味を平易かつ丁寧な解説する授業を実践することにより、生徒の理解度が向上することが確認された。

理科の学習においては、基本的な科学概念や規則性、基礎的な見方や考え方を身に付けることが重要な目標の一つであり、見通しをもって粘り強く学習に取り組む姿勢も重視されている。（文部科学省，2018）。今回実践した授業では、生徒の学習意識や理解度の実態を踏まえて授業を設計し展開したことにより、波の基本的物理量やそれらの関係性に対する理解度の向上において一定の成果が見られた。他の単元でも同様に、生徒の学習意識や理解度の実態に即して、物理が苦手な生徒も見通しを持って粘り強く取り組めるような授業を計画、実践し続けていくことが求められる。

文献

- 第一学習社セミナー物理基礎編集部(2021)『セミナー物理基礎』，第一学習社.
- 国立教育政策研究所(2018)『平成30年度全国学力・学習状況調査の結果（概要）』。
<https://www.nier.go.jp/18chousakekkahoukou/18summary.pdf>, 2018 (最終閲覧日:2023年11月19日)
- 国立青少年教育振興機構(2017)『高校生の勉強と生活に関する意識調査報告書：日本・米国・中国・韓国の比較』
国立青少年教育振興機構青少年教育研究センター.
- 國友正和ほか12名(2021)『物理基礎』, 180-192, 数研出版.
- 文部科学省(2016)『平成27年度公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査（平成25年度入学者抽出調

査)』, 18. https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2019/02/12/1413569_002_1.pdf. (最終閲覧日:2023年11月19日)

文部科学省(2018)『高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編』, 53-54, 実教出版.