東京学芸大学リポジトリ
Tokyo Gakugei University Repository

探究的な物理基礎授業の実践

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 東京学芸大学附属高等学校 公開日: 2024-04-23 キーワード (Ja): 探究, 1to1（1 人1 台PC）, 反転授業, 実験デザイン, ETYP: 教育関連論文, STYP: 高等学校, 物理, 高2 キーワード (En): 作成者: 西村, 墨太 メールアドレス: 所属: 東京学芸大学附属高等学校
URL	http://hdl.handle.net/2309/0002000362

東京学芸大学附属高等学校紀要　61　pp.45～56，2023

探究的な物理基礎授業の実践

Practice of inquiry-based basic physics classes

物理科　西　村　塁　太

＜要旨＞

高校２年生対象の物理基礎で，生徒が実験デザインに取り組む探究的な活動を導入した授業を，力学および波動単元で実践した。授業を通して，段階を踏んで知識・技能を獲得させるとともに，それらの活用の仕方を学ぶ機会を適切に設定し，ルーブリック等で学習目標と評価規準（基準）を明確にして共有することで，生徒による実験デザインを教科の授業内で実現するとともに，理科としての Agency の育成が可能であるという示唆が得られた。

＜キーワード＞　探究，1to1（1 人 1 台 PC），反転授業，実験デザイン

１　学習指導要領と探究

近年，総合的な探究の時間や，教科の授業の中で，探究的な活動, 学びを実現することが一層重視されている。探究が求められる背景としては，生徒たちがこれからの変化の早い社会で活躍していくために，今は存在しない新しい仕事に就いたり，新たに創ったりするかもしれないという可能性や，先人のいない未開の領域を進み，自ら学び, 問題解決しながら生きていかねばならないこと，その際，周囲に助けを求め，多様な他者とも協働できなければならない, といった状況が想定されるからである。つまり，問題把握，解決，振り返りの探究サイクルを経験し，自分で問題を解決していくための資質・能力を育んでおかねばならない。これは授業で学習したことを特定の文脈でのみ活用できればよいのではなく，様々な文脈に知識を転移させながら問題解決していくことまでもが求められているのである。

このような中で，高等学校理科学習指導要領解説[1]においても,「探究」というキーワードが多く使われるようになってきている。“探究的な学習は教育課程全体を通じて充実を図るべきものであるが，観察・実験等を重視して学習を行う教科である理科がその中核となって探究的な学習の充実を図っていくことが重要である”[1]と述べられており，日々の授業から「探究の過程」を踏まえた授業を実践することが必要不可欠であることがわかる。

そこで本稿では，本校物理科が２年生の物理基礎を対象として，継続的に取り組んでいる探究的な学習活動を導入した授業実践について報告する。

２　探究的な物理基礎授業

２．１　実験デザイン

本校ではこれまでカリキュラム・マネジメントに継続して取り組んできた。特に，生徒自らが問題を設定し，各教科の知識を総合的に活かして問題解決に取り組む探究活動を重視している。また，これからの予測困難な時代を生きていく生徒たちに，Agency －変化を起こすために，自分で目標を設定し，振り返り，責任を持って行動する能力－を育成することも目指している。これに基づき，理科としての Agency を，課題設定から実験の企画，実施，試行錯誤を行うことで養われる問題解決能力と定義し,「生徒による実験デザインと評価活動を通して Agency を育む」というテーマで研究を進めている。[2]

そこで物理科では令和２年度より，物理基礎の授業内で, 生徒が自ら課題や仮説を設定し, 検証計画を立案し, 実際に実験を実施して結果を考察し，一連の探究の過程をレポートやプレゼンテーションとしてまとめて発信する探究的な活動の導入を試行してきた。本稿ではこれまで継続して試行と改善を繰り返してきた力学単元の実践[3)-5)]と，今年度本校では初めて試行した波動単元の実践[6)]について, 今年度の授業実践の結果に基づき報告する。なお，本稿で述べる生徒による実験デザインや，探究的な活動に関する取り組みは，国際バカロレアのカリキュラム[7),8)]を参考にしつつ，本校物理科で伝統的に重視してきた探究的な生徒実験中心のカリキュラム[9)-10)]を，再構成する形で構築したものである。

２．２　物理基礎の授業形式

筆者の物理基礎の授業は反転授業形式で行っている。反転授業とは，“従来教室の中でおこなわれていた授業学習と，演習や課題など宿題として課される授業外学習とを入れ替えた教授学習の様式”[11] だと定義される。本実践では，生徒は授業前に予習課題として YouTube に限定公開で配信された 10 分程度の授業動画を視聴し，確認問題や実験の予想を Google Forms で回答した上で授業に臨む。予習動画では，通常の授業で教師が講義形式で説明する内容の他に，生徒実験の目的や方法とおさえるべきポイントなどの概要を説明したものなどをまとめた。授業では生徒実験や，生徒同士で概念問題の答えについて議論するピア・インストラクション（PI）[12] を通した議論活動など，生徒の活動を中心とした授業を行う。授業後は，生徒実験を行った場合はレポートを作成し，通常の授業の場合は Google Forms で確認問題に取り組むという流れである。このように予習，授業，復習のサイクルを回して生徒は学習を進めていく。課題の配信や提出，回収，採点，評価フィードバックは，基本的に Google classroom を通じて行った（図 1）[13]。

図 1

２．３　探究レベル

探究的な活動を理科授業の中で実施することが求められているが，初めから探究の過程を独力で実現できる生徒はほとんどいないと考えられる。探究の資質・能力を身に付けさせるために，基礎的な知識・技能の習得から始め，それらの活用方法を実際に試行する機会を作ることで掴ませ，最後には自ら探究の過程を実行するといったように，適切な支援の下，段階を踏んだ指導をすべきである。また，物理基礎という科目で，どの程度の自由度の探究的な活動を実施すべきであるか，他の科目や教育活動との関係性がどのようなものであるかも，合わせて意識しておく必要がある。そこで本授業実践では，松原[14] の探究レベルを参考にして，物理基礎での学習活動等を表 1 のようにまとめて，総括的評価課題をレベル 3 または 4 程度の自由度での探究的な活動とすることにした。なお探究レベルの「1. 確認としての探究」とは，「学習者は，結果が事前にわかっている活動を通して原則を確かめる」,「2. 構造化された探究」とは,「学習者は，教師が提示した問いについて，決められた手続きによって調査する」,「3. 導かれた探究」とは,「学習者は，教師が提示した問いについて，自ら設計・選択した手続きで調査する」,「4. 開いた探究」とは，学習者は，自ら立てた問いについて自ら設計・選択した手続きで調査する」,「5. 真正の探究」とは,「学習者は，特定の学問領域の枠を越えて，自ら立てた問いについて自ら設計・選択した手続きで調査する」といった意味である。

表 1

<table>
<tr><th>探究レベル</th><th>物理基礎の学習活動や，
他科目の授業との関係</th></tr>
<tr><td>1. 確認としての探究</td><td>予習・復習動画・課題</td></tr>
<tr><td>2. 構造化された探究</td><td>PI・生徒実験（形成的評価）</td></tr>
<tr><td>3. 導かれた探究</td><td rowspan="2">探究的な活動（総括的評価）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4. 開いた探究</td></tr>
<tr><td rowspan="2">SSH 探究
（総合的な探究の時間）</td></tr>
<tr><td>5. 真正の探究</td></tr>
</table>

4　力学単元の実践

4．1　単元指導・評価計画

力学単元の授業は, 表 2 のように実施した。評価の「形」と「総」はそれぞれ形成的評価，総括的評価の位置づけを意味しており，本稿では主に生徒実験に関わるものを具体的に紹介する。生徒実験以外でも 2 節で述べたように，予習・復習課題や授業の振り返り，PI などで生徒個別あるいはクラス全体に，学習に関するフィードバックを随時返しながら授業を進めた。

4．2　形成的評価①台車の運動・自由落下

運動学授業の生徒実験としては，水平面と斜面を走る台車の運動と，自由落下運動を，それぞれ記録タイマー，記録テープで記録し，x-t グラフ，v-t グラフに表現することで，運動の特徴を分析する実験を行った。いずれも Excel で作成したグラフから近似曲（直）線の関数を求め，その関数の傾きや面積を GeoGebra で解析すること

で，物体の運動とグラフの関係，あるいはグラフ相互の関係を速度や加速度といった物理量と関連付けながら学ぶことを目的とした。なお，予習・復習課題で配信した動画で，Excel や GeoGebra の使用方法についても解説し，生徒が今後の実験でレポート作成に取り組む際，動画を見返しながら取り組めるようにした（図 2，3）。

台車の運動では Excel および GeoGebra で作成，解析したグラフのみを，自由落下運動ではこれらに加えて，実験の要旨や方法，考察などを，あらかじめ配布しておいた word の書式ファイルに貼り付けたり書き込んだりすることで，レポート（成果物）を作成させ，電子データで提出させた（図 4）。生徒が初めからレポートを独力で作成することは難しいが，授業を経ていく中で取り組む項目を増やしていき，レポートには何をどのように書くべきなのか，といったレポートの書き方を，自然と身に付けさせることを意識した。

表 2

時数	内容　・実施した生徒実験	評価
1	オリエンテーション	
2	人の歩行運動，*x-t*・*v-t* グラフ	
3	台車の運動	形①
4	実験分析，加速度	
5	自由落下	形①
6	実験分析，落体の運動	
7	身の回りの運動の探究	総①
8	力と運動の定性的関係	
9, 10	力と運動の探究	形②
11	運動の法則	
12	動摩擦力の実験	形②
13	実験分析	
14	静止摩擦力	
15	作用反作用の法則	
16 ～ 18	運動方程式の探究	総②

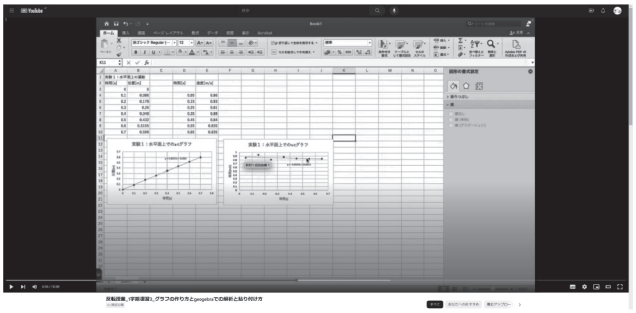


図 2

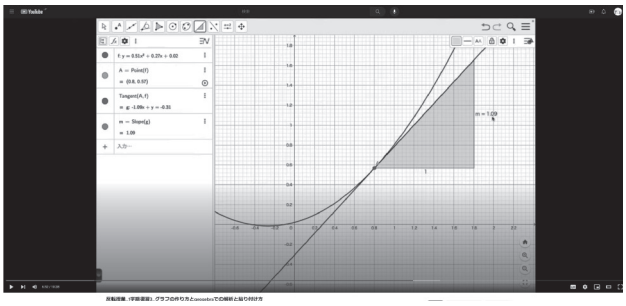
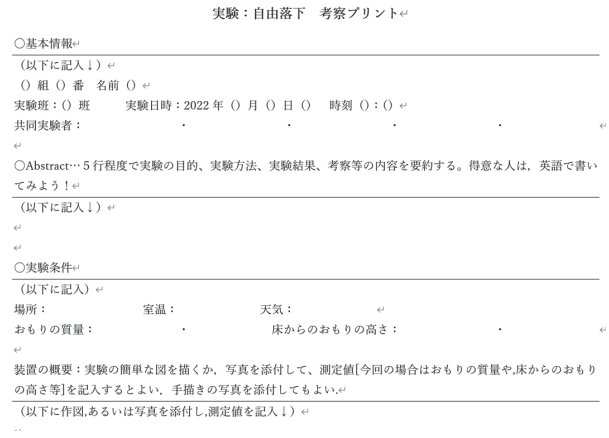


図 3



実験：自由落下　考察プリント

○基本情報

（以下に記入↓）

（）組（）番　名前（）

実験班：（）班　　実験日時：2022 年（）月（）日（）　時刻（）：（）

共同実験者：　　・　　・　　・　　・

○Abstract… 5 行程度で実験の目的、実験方法、実験結果、考察等の内容を要約する。得意な人は，英語で書いてみよう！

（以下に記入↓）

○実験条件

（以下に記入）

場所：　　室温：　　天気：

おもりの質量：　　・　　床からのおもりの高さ：　　・

装置の概要：実験の簡単な図を描くか，写真を添付して、測定値[今回の場合はおもりの質量や,床からのおもりの高さ等]を記入するとよい．手描きの写真を添付してもよい.

（以下に作図,あるいは写真を添付し,測定値を記入↓）

図 4

4．3　総括的評価①身の回りの運動の探究

前節で述べた実験や授業を通して獲得した，運動学やレポートの書き方に関する知識・技能を活用して探究する，「身の周りの運動の探究」という総括的評価課題を課した。身の回りの運動（授業で取り上げていない運動）を選び，運動の特徴に関する仮説を立て，それを検証する方法を立案し，PC やスマートフォンを使って運動に関するデータ（時々刻々の位置，速度，加速度）を取得し，グラフ化（*x*–*t* グラフ，*v*–*t* グラフ，*a*–*t* グラフの 3 つ）し，グラフから運動の特徴を見出すことで仮説を検証するといった内容である。課題を提示する際，PC とスマートフォンの活用例として，カメラで動画撮影し，コマ送りしながら時々刻々の物体の位置を求める方法や，phyphox や SPARK vue といったアプリで時々刻々の速度や加速度を直接求める方法も合わせて紹介した。特に後者に関しては，筆者が行った台湾の高層ビルのエレベーターでの測定例 [15] も提示し，課題のイメージを掴みやすいように工夫した。

生徒の取り上げた運動を下にいくつか例示する。身の回りの運動を物理的に捉え，様々な工夫を行ってデータを取得し，その特徴をレポートにまとめている様子が伺えた。

・スカイライナー 53 号の運動（図 5）
・ゼンマイ式ミニカーの運動
・エレベーターの運動
・マインクラフトのアバターの落下運動
・時計の秒針の運動
・コイルストラップに吊られたスマホの運動
・坂道前後の自転車の運動（図 6）
・掃除機に吸い込まれる綿の運動

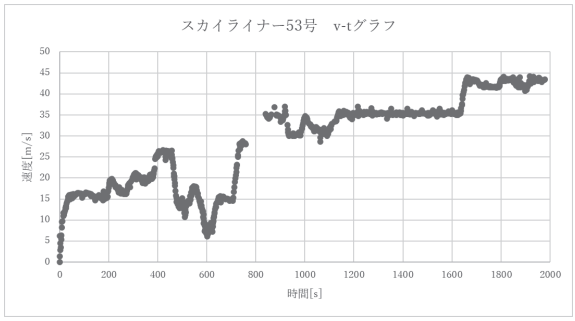


図 5

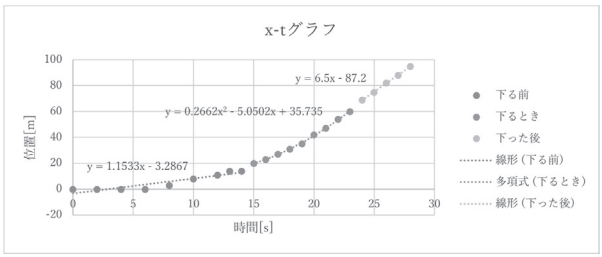


図 6

レポートは書くべき項目のみを簡単に示した書式を配布しまとめさせ，電子データで提出させた。評価は付録 1 のルーブリックに基づいて行った。

4．4　形成的評価②力と運動の探究・動摩擦力

ゴムひもを用いて一定の大きさの力で台車を引っ張り続ける実験を体験させ，「力は加速度を生じさせる」ことを確認した後に，力と加速度，および，質量の間の定量的な関係を見出すための探究的な生徒実験を行った。課題解決のために収集することが必要なデータを特定し，実験計画を立て，実際に実験し，データ処理と考察を行わせ，レポートにまとめさせた。次節で述べる探究的な活動に向けて，グループで実験デザインから実験の実施，レポート作成までを実施する練習としての位置づけで設定した。各グループに実験計画書（図 7）を提出させることで，どのような実験器具を用いてどのような方法で実験をしようとしているのかを把握しつつ，赤ペンでコメントを入れることで，考えの修正を促すなどの働きかけをした。実験中は，他のグループと情報交換をしつつも，「他の班がやっていないような実験方法で実験しよう」と話している生徒もおり，探究的な活動の意義を理解し，楽しみながら実験に取り組んでいる姿が見られた。

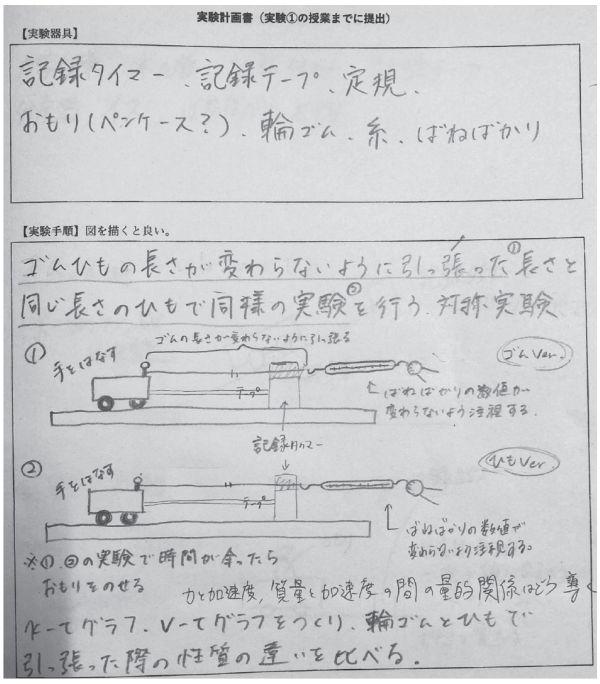


図 7

運動方程式 $ma=F$ を手に入れたところで，実際にこの式を使って，物体に加わる力をどのように考えることができるのか，といった例を示す意味で，動摩擦力の生徒実験を実施した（図 8）。木片を手で押し出して滑らせ，手が放れてから静止するまでの運動を記録タイマーで記録し，v-t グラフから加速度を求め，その加速度を使って $ma=F$ から動摩擦力を求めさせた。レポートは書くべき項目のみを簡単に示した書式を配布しまとめさせ，電子データで提出させた（図 9）。

4．5　総括的評価②運動方程式の探究

物体の運動が運動方程式 $ma=F$ にしたがっていることを学び，動摩擦力の実験を通してその使い方の例を知ったところで，運動方程式の探究の総括的評価課題に取り組ませた。本課題では，運動方程式を使って，調べてみたい実験（身の回りの運動や，授業内で実施した実験をさらに深堀りした運動など）を決めて，収集が必要なデータを特定し，実験計画を立て，実際に実験し，データ処理と考察を行うとともに，このような一連の探究の過程を，実験レポートでまとめさせた（図 10）。な

お，実験デザインや実験はグループごとに行わせたが，レポートは生徒個別で作成させた。

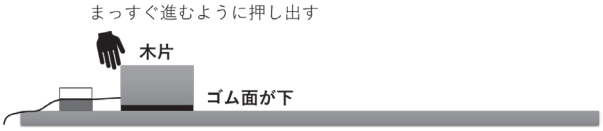
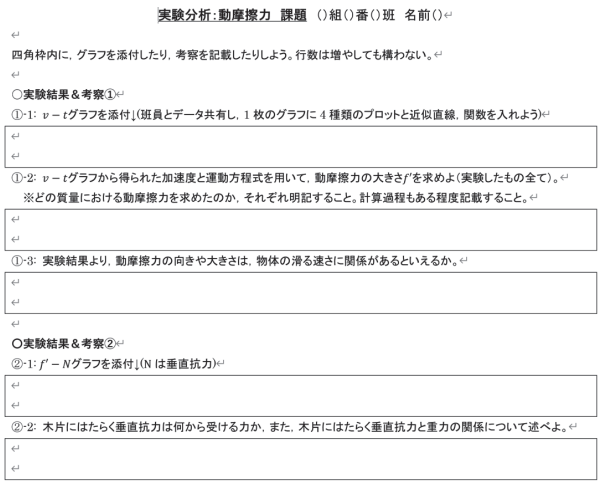


図 8



実験分析：動摩擦力　課題　（）組（）番（）班　名前（）

四角枠内に，グラフを添付したり，考察を記載したりしよう。行数は増やしても構わない。

○実験結果＆考察①

①-1: $v-t$グラフを添付↓(班員とデータ共有し，1 枚のグラフに 4 種類のプロットと近似直線，関数を入れよう)

①-2: $v-t$グラフから得られた加速度と運動方程式を用いて，動摩擦力の大きさf'を求めよ（実験したもの全て）。
※どの質量における動摩擦力を求めたのか，それぞれ明記すること。計算過程もある程度記載すること。

①-3: 実験結果より，動摩擦力の向きや大きさは，物体の滑る速さに関係があるといえるか。

○実験結果＆考察②

②-1: $f'-N$グラフを添付↓(N は垂直抗力)

②-2: 木片にはたらく垂直抗力は何から受ける力か，また，木片にはたらく垂直抗力と重力の関係について述べよ。

図 9

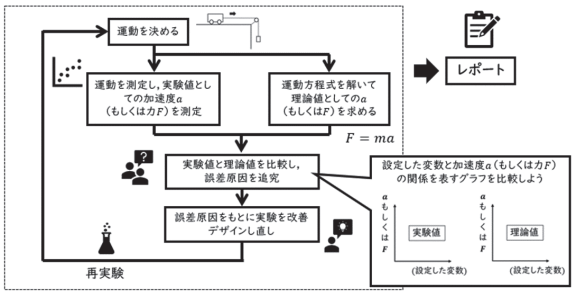


図 10

生徒の取り上げた運動を下にいくつか例示する。複数物体系の運動を取り上げているグループが多かった。どのグループも，「この運動を実際に実験してみたい」といった様子が見られ，課題を自分の事として捉え，意欲的に取り組んでいる様子が伺えた。自由度も大きく，かつ難易度の高い課題であったが，役割分担をしたり議論をしたりしながら，協働的に探究に取り組んでいた。

・ばねにつながれた台車の運動（図 11）
・おもりと台車の連結物体の運動（図 12）
・アトウッドの器械
・色々な物質の摩擦係数を求める実験

レポートは書式などを示さず，生徒各自で一から作成させた。評価は付録 2 のルーブリックに基づき行った。

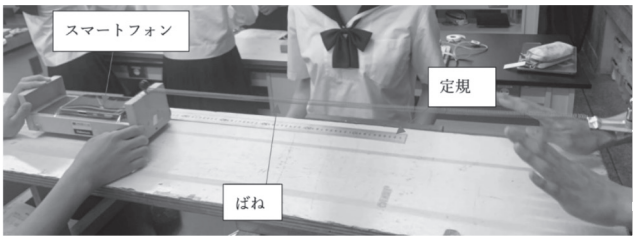


図 11

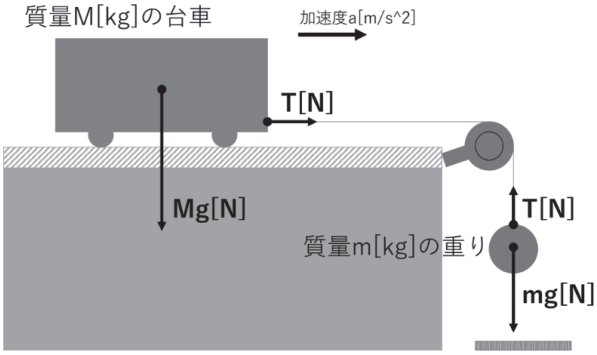


図 12

5　波動単元の実践

5．1　単元指導・評価計画

波動単元の授業は，表 3 のように実施した。2 ～ 6 時は教育実習生が担当した授業であった。一部の授業は，感染症拡大防止のための学校閉鎖のため，オンライン同期型授業の形式で実施したものもあった。また，11 ～ 13 時の音速測定の実験デザインについては，本校公開研究大会の公開授業として 1 クラスのみで実施した。

表 3

時数	内容　・実施した生徒実験	評価
1	波とは	
2	音波	
3	声の波形の観察	形
4	独立性，重ね合わせ，定在波，反射	
5,6	弦の振動	形
7	音波の定在波，反射	
8 ～ 10	気柱の振動	形
11 ～ 13	音速測定の実験デザイン	総

5．2　形成的評価　声の波形観察，弦・気柱の振動

波・音の授業の生徒実験としては，声の波形観察，弦および気柱に生じる定在波に関する実験を行った。授業で波・音に関する知識を獲得していくとともに，生徒実験を通して，デジタルオシロスコープ，低周波発信器な

どの実験器具や，波・音に関わる PC・スマートフォンのアプリケーションの使い方に関する技能を，徐々に身に付けさせていくことを目指した。

声の波形観察実験では，様々な高さ，大きさ，音色の音をマイクに繋いだオシロスコープで観察する実験を行い，音の三要素と波の基本的な量との関係を見出す実験を行った。また，次時からの波の重ね合わせについての学習への動機付けとして，異なる高さ（振動数）の音を重ね合わせたときにできる波形が，元の音の波形を重ね合わせたものになっていることも合わせて実験させた。なお，感染症拡大防止のための学校閉鎖のため，1 クラスは対面授業でデジタルオシロスコープを用いて（図 13），2 クラスはオンライン同期型授業で PC やスマートフォンで phyphox アプリケーションを用いて（図 14），それぞれ実験を行った。レポートは書くべき項目のみを簡単に示した書式を配布しまとめさせ，電子データで提出させた（図 15）。評価は付録 3 のルーブリックに基づき行った。

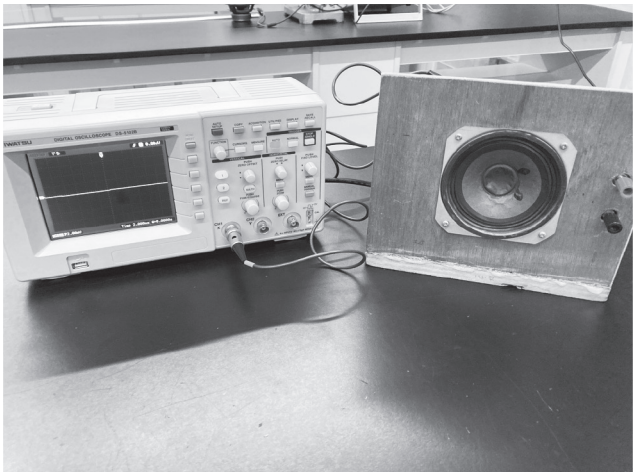


図 13

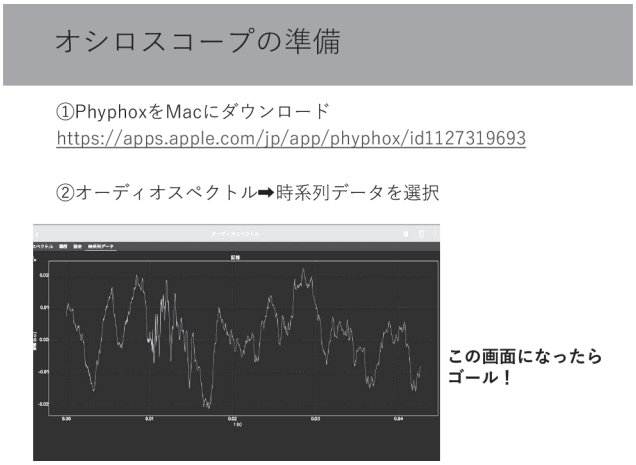


図 14

2．音の三要素実験【レポート書式】

実験日：（）月（）日　気温：（）℃

音速：$V[m/s] = 331.5 + 0.6t$　※tは気温（℃）　より，（）m/s

共同実験者：（）・（）・（）・（）

（0）　自分の声の周期，振動数，波長はいくらか。

「あ」の声の波形（Bit map 画像ファイル）↓

CURSOL 機能で求めたり，$v = f\lambda$で計算してみよう

周期↓	振動数↓	波長↓

実験結果からわかること

（1）　音の高さ（音の大きさと音色「あ」は固定）

高い声で「あ」の波形（Bit map）↓	低い声で「あ」の波形（Bit map）↓

計算してみよう

	高い声	低い声
振動数		
波長		

実験結果からわかること

図 15

弦の振動実験では，弦に低周波発信器からスピーカー振動体を通して振動を与える実験を行い（図 16），定在波が生じる条件を見出す実験を行った。振動数と定在波の腹の数，弦の長さと固有振動数，弦の張力と固有振動数，弦の線密度と固有振動数の 4 つの量的関係を実験結果から考察し，これらの量的関係と弦楽器の出す音の高さや音色の関係を関連付けながらレポートにまとめさせた。レポートは書くべき項目のみを簡単に示した書式を配布しまとめさせ，電子データで提出させた（図 17）。評価は付録 4 のルーブリックに基づき行った。

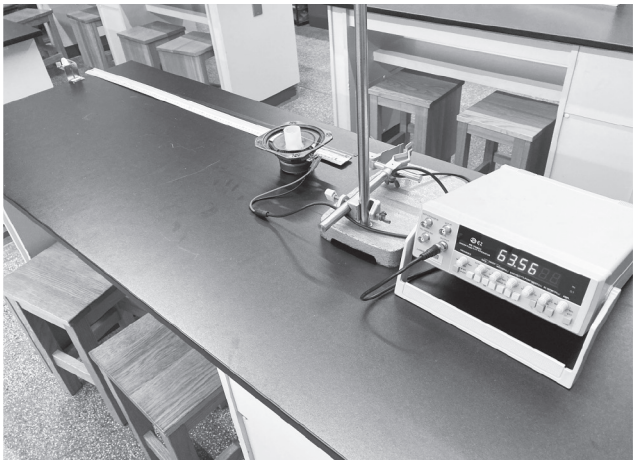


図 16

試験管の口元を吹いたときに鳴る音の高さが，気柱の長さと関係していることや，音が閉口端，開口端の両方で反射することと，さらに，これらの実験事実と弦の振動実験の結果との類推から，「気柱に定在波ができている」という仮説を立て，それを検証するための実験データを集める，という目的で気柱の振動実験を行った。図 18 のように，音の振動数を固定したまま気柱の長さを変化させて共鳴点を探す実験と，図 19 のように，気柱の長さを固定して様々な振動数の音を入れて，固有振動

数を探す実験の２種類を行った。レポートは書式などを示さず，生徒各自で一から作成させた。評価は付録５のルーブリックに基づき行った。

問 1) ①～④の実験それぞれにおいて、変数の変化に伴い振動数や速さはどのように変化しているか定量的に説明しなさい。また、そのように考えた根拠を実験結果やグラフ等を用いて示しなさい。
(グラフは Excel 等のアプリを用いて作成すること)

① 振動数と腹の数の関係

※振動数（縦軸）－腹の数（横軸）のグラフを描き，定量的に説明しよう

② 弦の長さと振動数の関係

※振動数（縦軸）－弦の長さ（横軸）のグラフを描き，定量的に説明しよう

③ 速さと張力の関係

※速さ（縦軸）－張力（横軸）のグラフを描き，定量的に説明しよう
ただし，縦軸，横軸の取り方を工夫すること

④ 速さと線密度の関係

※速さ（縦軸）－線密度（横軸）のグラフを描き，定量的に説明しよう
ただし，縦軸，横軸の取り方を工夫すること

図 17

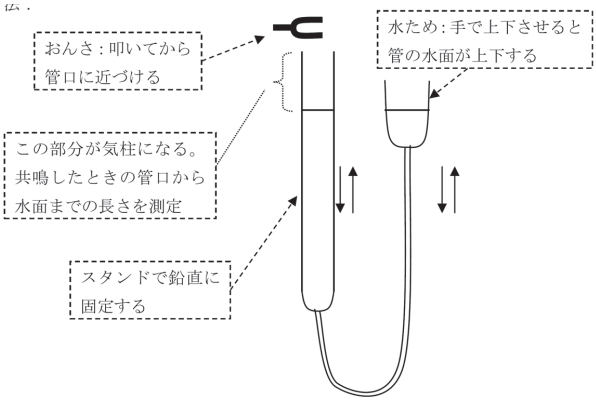


図 18

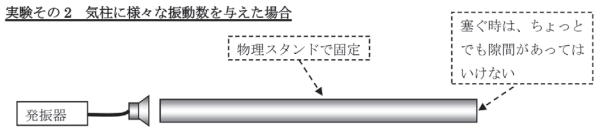


図 19

５．３　総括的評価　音速測定の実験デザイン

ここまでの波・音の学習を活用し，音速測定の実験デザインに取り組ませた。初めに生徒個別に音速測定の実験デザインについて検討させ，その後，クラス内で考えを共有しつつ，同様の実験デザインを計画した生徒同士でグループを組むよう指示をした。どの程度の規模・精度で音速を測定するのか（目標設定），どのような実験を行い，データ処理を行えば音速を測定できるか(計画)，実験の実施にあたって活用できる知識や技能として何を持っているか（能力や機会の評価），探究はうまく進んでいるか（モニタリング，逆境の克服），といったことをグループで議論しながら活動を進めさせた。そして，これら一連の探究の過程を，ポスターにまとめさせた。

オシロスコープや PC・スマートフォンのアプリケーションを活用して音波を記録し，そこから音速算出のために必要な物理量を抽出して計算することや，気柱の振動実験のように，これまで実施した実験を音速測定という視点で改めて捉えなおし，より高い精度の実験を実施することを目指したり，さらには，インターネット上に掲載されている音速測定の実験についての情報を，本校の実験室の環境や使用可能な実験器具に応じてアレンジを加えて実施するなどを想定して課題を設定した。実験デザインでは，グループ内で考えを出し合い，より良いデザインとなるよう熱心に議論しており，グループで取り組む利点を生かしていた。また，どの生徒も，１回目の実験の反省を生かして，実験精度を向上させられるよう工夫しながら実験したり，限られた時間の中でも多くのデータ数が得られるよう役割分担をしたりしていた。

ポスターはグループごとに作成させ（図 20），評価は付録６のルーブリックに基づき行った。

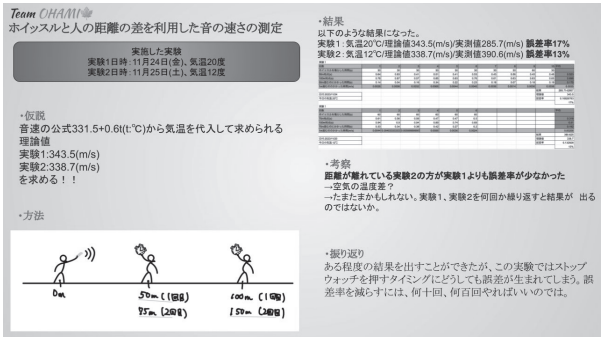


図 20

６　おわりに

本稿では，２年生の物理基礎の力学単元および波動単元を対象として，課題・仮説の設定，検証計画の立案，実験の実施，結果の考察，発信といった，探究の過程を自ら実行する探究的な活動を導入した授業の実践について述べた。身の回りの運動を運動方程式で解析することや，音の伝わる速さを測定することなどは，いきなり生徒に課しても実現が難しいが，授業を通して，段階を踏んで知識・技能を獲得させるとともに，それらの活用の仕方を学ぶ機会を適切に設定し，ルーブリック等で学習目標と評価規準（基準）を明確にして共有することで，生徒による実験デザインを教科の授業内で実現することは可能である。授業の中では，探究的な課題を「解決したい課題」として自分の事として捉え，意欲的に取り組む生徒の姿が見られた。また，デザインに対する議論や

実験における役割分担など，協働する姿も見られた。今後は，本稿で示したような探究的な授業の実践を続けるとともに，このような授業が生徒のどのような Agency の伸長に寄与するかの検証が課題である。

引用文献

1）文部科学省･高等学校理科学習指導要領解説･(2018) 文部科学省（2020）
2）東京学芸大学附属高等学校・第 22 回公開教育研究大会大会要項・(2023)
3）西村塁太・物理教育通信・181・pp.33-38・(2020)
4）西村塁太，竹内透・物理教育通信・186・pp.74-81・(2021)
5）西村塁太・物理教育通信・190・pp.20-32・(2023)
6）東京学芸大学附属国際中等教育学校・TGUISS 実験デザイン集・pp.63-69・(2020)
7）国際バカロレア機構･MYP：原則から実践へ･(2018)
8）国際バカロレア機構・DP：原則から実践へ・(2014)
9）川角博・物理教育・64-2・pp.116-123・(2016)
10）川角博・物理教育・64-3・pp.224-229・(2016)
11）Lage, M. J. et al・Journal of Economic Education・31 (1)・pp.30-43・(2000)
12）E. Mazur・Peer Instruction, A user's inanual ・Pearson − PrenticeHall・New Jersey・(1997)
13）竹内透ら・物理教育通信・185・pp.41-47・(2021)
14）松原憲治・日本科学教育学会研究会研究報告・37-5・pp.65-70・(2023)
15）西村塁太・物理教育・68-1・pp.50-51・(2020)

付録１　身の回りの運動の探究　評価ルーブリック

	3	2	1
〆切	〆切までに提出している。		〆切を過ぎて提出した。
要旨	要旨を確認することで，実験の仮説から考察までを大まかに知ることができるよう書かれている。	要旨を確認することで，解析に使った運動を知ることができる。	要旨を確認することで，実験の流れが多少つかめる。
仮説	どのような運動になるか，今までの学習内容や，日常経験などを基にして仮説を立てている。	どのような運動になるか，感覚を基にして仮説を立てている。	どのような運動になるか仮説を立てている。
方法	実験操作の過程を，図・写真などを用いつつ，実験の概要がわかりやすく記述されており，第三者でも再現可能である。	実験操作の過程を，図・写真などを用いつつ，実験の概要がある程度わかるように書かれている。	図・写真などはないが，文章で実験操作の過程がある程度わかるように書かれている。
結果	調べた運動について 3 つのグラフ（*t–a, v–t, a–t*）が時間軸の大きさを合わせるなど適切に描かれている。	調べた運動について 3 つのグラフ（*t–a, v–t, a–t*）が描かれている。	調べた運動について 3 つのグラフ（*t–a, v–t, a–t*）が２つしか描かれていない。
考察	グラフからわかることをまとめ，仮説が検証されたかどうか説明している。また，今回の実験の誤差原因について説明するとともに，改善のための工夫も提案している。	グラフからわかることをまとめ，仮説が検証されたかどうか説明している。また，今回の実験の誤差原因について説明している。	グラフからわかることをまとめ，仮説が検証されたかどうか説明している。
振り返り	一連の実験の過程を，大切だと思ったこと，困難だったこと，今回の実験で見られた課題は何か，といった視点で振り返っており，教訓が得られている。	一連の実験の過程を，大切だと思ったこと，困難だったこと，といった視点で振り返っている。	実験の感想が述べられている。

付録２　運動方程式の探究　評価ルーブリック

		3	2	1
構成	〆切	〆切までに提出している。		〆切を過ぎて提出している。
	形式	表紙をつけて，レポートの基本項目をすべて設けている。		表紙がない。レポートの基本項目は概ねすべて設けられている。
理論と仮説		取り上げた運動について説明し，運動方程式を使って理論値を文字式および数値で算出している。変数と測定値の間の定量的な関係について仮説を立てている。	取り上げた運動について説明し，運動方程式を使って理論式または理論値を出している。変数と測定値の間の定性的な関係について仮説を立てている。	取り上げた運動について説明し，運動方程式を使って理論式あるいは理論値を出そうとしている。
方法		実験操作の過程を，図・写真などを用いつつ，必要な測定値を併記するなどして，実験の概要がわかるように記録している。取得する一次データと，その処理方法が詳しく説明されている。	実験操作の過程を，図・写真などを用いつつ，必要な測定値を併記するなどして，実験の概要がわかるように記録している。	実験操作の過程をある程度記録している。
結果		理論を検証するのに十分なデータが取得されており，表やグラフなどでわかりやすく整理して提示している。実験は複数回行われ，再現性が見られる。実験値は適切に算出されており，理論値との誤差率も求められている。	理論を検証するのに十分なデータが取得されており，表やグラフなどでわかりやすく整理して提示している。実験値は算出されており，理論値との誤差率も求められている。	収集したデータを，表などでわかりやすく整理して提示している。
考察		実験結果に基づき，本探究の結論を述べている。理論値と実験値に違いが生じた原因と，それを改善するための具体的・現実的な対策について述べるとともに，それを再実験で実行している。	実験結果に基づき，本探究の結論を述べている。理論値と実験値に違いが生じた原因と，それを改善するための具体的・現実的な対策について述べている。	実験結果に基づき，本探究の結論を述べている。理論値と実験値に違いが生じた原因を述べている。
振り返り		一連の探究の過程を，大切だと思ったこと，困難だったこと，それをどのように解決しようとしたか，新たな課題は何か，といった視点で振り返っており，教訓が得られている。	一連の探究の過程を，大切だと思ったこと，困難だったこと，といった視点で振り返っている。	探究の感想が述べられている。

付録３　声の波形観察　評価ルーブリック

	3	2	1
予想	実験②で，音の三要素と波形について三要素すべての予想をたて，記入している。	実験②で，音の三要素と波形について，二つの要素について予想をたて，記入している。	実験②で，音の三要素と波形について三要素すべての予想をたて，記入している。
結果	実験の結果について，半分以上の実験で，グラフと数値の両方を記録している。	実験の結果について，各実験に置いてグラフと数値のどちらかを記録している。	実験の結果について，各実験に置いてグラフと数値のどちらかを記録している。
課題	音の三要素と波形の関係について，実験を通してわかったことを，三要素すべてについて，自分の言葉でまとめられている。	音の三要素と波形の関係について，実験を通してわかったことを，音の高さ，大きさ，音色のどれか二つについてまとめられている。	音の三要素と波形の関係について，実験を通してわかったことを，音の高さ，大きさ，音色のどれか一つについてまとめられている。

付録４　弦の振動実験　評価ルーブリック

	3	2	1
期間	提出期限内に提出している。		提出期限を経過した後に提出している。
取り組み	レポートの問いに対して，すべての項目について取り組んでいる。	レポートの問いに対して，概ねすべての項目について取り組んでいる。	レポートの問いに対して，多くの項目について取り組みが見られない。
問１	横軸縦軸が指定されている通りのグラフを添付することができ，かつグラフを基にした定量的な説明ができている。	横軸縦軸が指定されている通りのグラフを添付することができていない，またはグラフを基にした定量的な説明ができていない。	横軸縦軸が指定されている通りのグラフを添付することができていない，かつグラフを基にした定量的な説明ができていない。
問２	定数と変数の区別ができており，根拠を明確に述べられている。	定数と変数の区別ができているが，根拠が不十分である。	定数と変数の区別ができていない。
問３，４	２変数の関係を実験結果の数値やグラフを適切に用いて説明できている。	２変数の関係を実験結果の数値やグラフを適切に用いて概ね説明できている。	２変数の関係を実験結果の数値やグラフを用いて説明できていない。
問５	問３・４の適切な解答を踏まえて，関係を説明することができている。	問３・４の解答を踏まえて，関係を説明することができている。	根拠なく説明されている。

付録５　気柱の振動実験　評価ルーブリック

		3	2	1
構成	〆切	〆切までに提出している。		〆切を過ぎて提出している。
	形式	表紙をつけて，レポートの基本項目をすべて設けている。		表紙がない。レポートの基本項目は概ねすべて設けられている。
方法	実験①	実験操作の過程を、図・写真などを用いつつ、必要な測定値を併記するなどして、実験の概要を分かるように記録している。実験における変数を明記し，変数をどのような実験操作で変化させるのかについても明確に示されている。	実験操作の過程を，図・写真などを用いつつ，必要な測定値を併記するなどして，実験の概要がわかるように記録している。	実験操作の過程をある程度記録している。
	実験②			
結果	実験①	3倍振動までのすべての固有振動数の値と音の大小の位置を記録している。また，音の大小結果から、記録した開管にできる波形（横波表示）を正しく描いている。	3倍振動までのすべての固有振動数の値と音の大小の位置を記録している。もしくは，一部記録し，音の大小結果から、記録した開管にできる波形（横波表示）を描いている。	1つの固有振動数の値と音の大小の位置をすべて記録している。
	実験②	第3共鳴点までの管口からの距離と音の大小の位置をすべて記録している。音の大小結果から、各共鳴点における波形（横波表示）を描くことができる。	第3共鳴点までの管口からの距離と音の大小の位置をすべて記録している。もしくは，一部記録し，音の大小結果から、各共鳴点における波形（横波表示）を描くことができる。	第1共鳴点までの管口からの距離と音の大小の位置を記録している。
考察	実験①	開管における管の長さと波長の関係、管の長さと振動数の関係を、数式を用いて一般化できている。	開管における管の長さと波長の関係のみを数式を用いて一般化できている。	開管における管の長さと波長の関係について定性的に述べている。
	実験②	波長を求め、理論値から得られた波長と比較し，正しく誤差率(相対誤差)を求めている。	波長を求め、理論値から得られた波長を定性的に比較している。	波長を求めているが、理論値から得られた波長と比較していていない。
		実験結果に基づき，理論値と実験値に違いが生じた原因を，開口端補正を含めて考察している。開管と閉管での反射の違いについて述べている。	実験結果に基づき，理論値と実験値に違いが生じた原因を述べている。開管と閉管での反射の違いについて述べている。	実験結果に基づき，理論値と実験値に違いが生じた原因を述べている。
振り返り		一連の探究の過程を，大切だと思ったこと，困難だったこと，それをどのように解決しようとしたか，新たな課題は何か，といった視点で振り返っており，教訓が得られている。	一連の探究の過程を，大切だと思ったこと，困難だったこと，といった視点で振り返っている。	探究の感想が述べられている。

付録６　音速測定の実験デザイン　評価ルーブリック

育成する資質・能力		4	3	2	1
観点	持つべき視座				
主体的に学習に取り組む態度	問題解決に向けて粘り強く取り組む姿勢	既習事項を基に，科学的に裏付けられた結果を得るべく試行錯誤しながら探究に取り組んだ。	既習事項を基に，試行錯誤しながら探究に取り組むことができる。	探究の過程を一通り実行できたが，粘り強く取り組んだとは言いがたい。	探究の過程の一部を実行することができた。
	問題解決に向けて他者と協働できる力		班員と協働して，実験の精度を高めたり，新たな実験に挑戦したりしている。	自分の役割を見つけ，班員と協働して探究に取り組むことができる。	自分の役割を見つられず，班員と協働することが難しい。
	生徒 Agency	生徒が学びを自分ごととしっかり捉えられており，生徒が主体となって学びを進めることができる。	生徒が学びを自分ごとと捉えられており，生徒も主体的に意見を示しながら学びを進めることができる。	生徒が学びを自分ごとと捉えつつあり，教員が主導しているが，生徒も積極的に学びを進めている。	生徒が学びを自分ごとと捉えるには至らず，教員からの指示に従って学びを進めた。