

琉球大学学術リポジトリ

遠隔で行う物理学実験

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教職センター 公開日: 2021-04-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤井, 岳, 土田, 龍太郎, 與儀, 護, 辺土, 正人, 仲間, 隆男, Fujii, Gaku, Tsuchida, Ryutaro, Yogi, Mamoru, Hedo, Masato, Nakama, Takao メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/48021

【実践報告】

遠隔で行う物理学実験

藤井 岳¹, 土田 龍太郎¹, 與儀 護², 辺土 正人², 仲間 隆男²

Web-based Distance Class for Physics Experiments

FUJII Gaku, TSUCHIDA Ryutaro, YOGI Mamoru, HEDO Masato, and NAKAMA Takao

概要

新型コロナウイルス感染対策のため、理学部物理系の専門実験科目の授業をICTを使い遠隔で行った。一部の実験課題は動画を配信し、その動画で実験データを学生自ら取得する遠隔実験を行った。遠隔実験について学生にアンケートを取った結果、動画による実験に対しては肯定的な意見が多かったが、その場で質問し対応してもらえないことに不満を持つ学生がいることがわかった。すべての課題に学生が主体性をもって参加できるような教材の開発や取り組みを工夫し、さらに学生の質問等に即応できる簡便で使いやすいシステムの構築が必要である。

1 はじめに

2019年末に発生が確認されたとされる新型コロナウイルスが日本でも2020年2月のクルーズ船での感染報道を皮切りに大きく注目され、3月には小中高校の臨時休校を政府が要請する事態となった。この新型コロナウイルス感染の広がりを受け、多くの大学で卒業式および入学式が中止となり、新学期からはほぼすべての対面授業がなくなりWebを使った遠隔授業となった。

本学理学部物理系でも、2020年前学期の実験科目を含めたほぼすべての科目の講義や演習・実験を遠隔で行うことになった。一部の実験科目では、感染の広がりが小さくなった7月中旬から実験室に入る人数を制限するなどの感染予防策を講じながら対面の講義を行ったが、それは夏季休業前の3週間ほどの短期間であった。その一方で、共通教育の物理学実験は受講者数が多い等の理由により完全遠隔での実施となったが、通常の教室で行っている対面実験と比較して以下のような問題があることがわかった。

- ・公平性：通信環境や居住環境が学生によって異なり、公平平等に教育を受講することができない。
- ・即時性：オンデマンド方式の遠隔授業は対面での授業と異なり受講学生の反応がリアルタイムで確認することができない。
- ・同時性：オンデマンド方式では、受講時間や受講方法がすべて学生次第であり、教員が統一的な時間および内容で対応ができない。

さらに、オンデマンド方式の遠隔授業ではレポート提出だけのやりとりとなるので、教育効果がどのくらいあるのかを判断する材料が限られることになる。上記の3つの問題のうち、公平性の問題を軽減するため、物理系ではWi-Fi接続が可能な教室を使用できるようにし、また希望する学生には講義・演習に使用しているタブレットPCを貸し出すようにした。ただ、上記問題の根本的な解消には本学の通信速度や容量等のシステム増強や整備が必要であり、個々の科目担当者の対応努力だけに頼ることはできない。即時性の問題については、週5日全15回分の開

¹ 琉球大学大学院理工学研究科物質地球科学専攻

² 琉球大学理学部物質地球科学科

講時間に大学院生のティーチングアシスタント(TA)を配置し、オンラインでの質問が受けられるように対策した。しかしながら、質問があったのは1回だけでそれも実験内容に関係のない授業の実施方法に関するものであった。学生にはオンラインでの質問は敷居が高いものであることがわかる。

後学期開講の専門必修の実験科目「物理実験II」（2年次対象）では、受講者数も限られていることから資料・データを配信するだけの一方通行の授業形態にならないように工夫した。例えば、実験課題の1つ「マイクロ波」は新型コロナウイルス感染対策を行い毎回1グループのみの対面実験とした。対面実験の様子を図1に示す。実験中の感染対策として、消毒液の常備、マスクの着用、換気のための出入り口の開放を行った。また実験終了後は実験台および実験器具の消毒を徹底した。その他の課題は実験データ表や実験方法の考え方等の資料をWebで配信するオンデマンド方式で行った。その中で特に物理量の時間変化を測定する、

1. ケイターの振り子
2. RC回路の時定数
3. 熱電対を用いた融点測定

の3つの課題については、赤外線デジタルカウンターでの振動回数の可視化やアナログ計器による電圧測定からデジタルボルトメーターによる測定に変更して動画でも測定量の変化がわかるようにした。その測定動画を視聴し学生自身でデータの一部を取得する遠隔実験を行った。学生が少しでも測定に関わることができると考えたからである。

ここでは、「ケイターの振り子」の実験を例に測定に使った装置および実験方法を報告するとともに、受講した学生への遠隔実験に対するアンケートの結果と意見を報告する。



図1：対面で行ったマイクロ波の実験の様子

2 遠隔実験の実施方法

これまで望遠鏡とストップウォッチを使い振り子の先端部が基準線を通る回数を数えて行っていた周期測定を [1]、今回は接眼レンズへの接触を避けるため、図2に示した赤外線デジタルカウンター「DIGITEN HMC11-6H Digital Counter」を使用して行った [2]。図3に赤外線デジタルカウンターのセンサー部の模式図を示す。センサー部は赤外線を放射する部分と受光する部分からなる。受光部に反射板で反射した赤外線が入射している状態でセンサー信号ライン電圧は約0V (OFF)である。センサー部と反射板の間に物体があり赤外線を遮るとセンサー信号ラインの電圧が約12V (ON)となる。このセンサー信号ラインの電圧がOFF → ONと立ち上げるごとに、カウンターの数値が1だけ増えるようになっている。実験では、センサー部



図 2：実験に使用した赤外線デジタルカウンター [2] 左から，反射板，カウンター部およびセンサー部

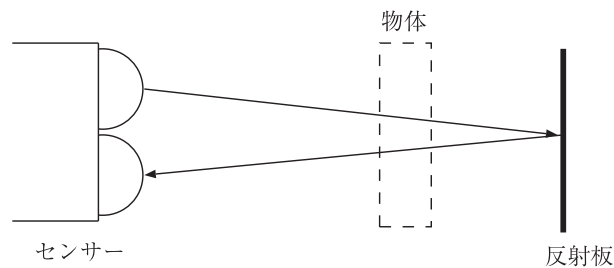


図 3：赤外線デジタルカウンターのセンサー部の模式図

表 1：赤外線センサー部の仕様

項目	
外形寸法	M18 × 67.5 mm
検出方法	再帰反射
検出距離	2 m ± 10%
感度調整	可
電源電圧	6-36 VDC
検出物	不透明物体
応答周波数	300 Hz
応答時間	1.5 ms max
光源	赤外線 LED (660 nm)

と反射板の間を振り子の先端部が往復するように設置し，振り子の往復回数が表示されるようにした．表 1 に赤外線センサー部の仕様の一部を紹介する．

まず，ケイターの可逆振り子の周期が順方向と逆方向で一致する可動おもり (M, m) の位置を見積もるため振り子の 50 回の振動周期 (50 回周期) を測定した．測定例を図 4 に示す．学生には，Web 上に掲載したこの 50 回周期の数値データを実際にグラフ化し，図 4 の結果を確認させる．グラフから (M, m) が 15 と 85 cm の周辺にあるとき順と逆の周期が一致することを確認した後，

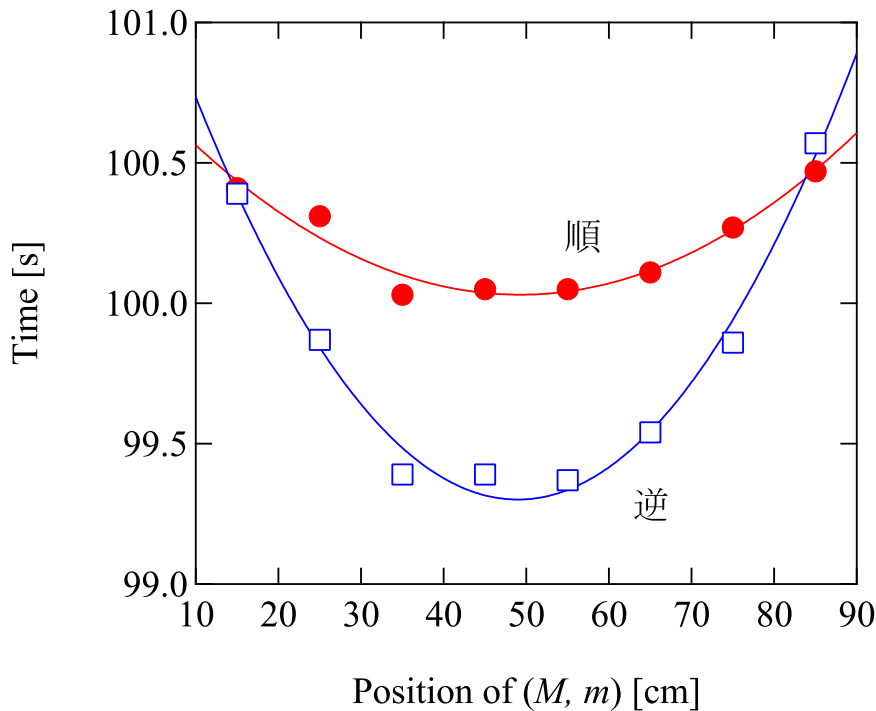


図4: 順および逆方向の50回周期の(M, m)の位置による変化

(M,m)の位置を15あるいは85 cmのいずれかの周りで1 cm ずつ変化させて測定した100回の振動周期(100回周期)の測定を行い一致する周期を求めることになる。学生には資料の測定例とは異なる条件での測定データ表を配信し、その測定の1回分のデータを学生自身が動画で取得するようにした。振り子の往復運動とともに上述の赤外線デジタルセンサーの表示部が動画でわかるように撮影した。学生はその動画のカウンターの数値表示が変化する瞬間を自分で判断し100回周期 T_{100} を測定することになる。なお、動画は学内サーバーの負荷の増大を考慮し動画配信サイト(YouTube)に掲載した [3]。

表2に、学生が報告した順および逆方向の T_{100} の最大値と最小値、その差およびそれぞれの平均値を示す。順逆の平均値は、録画の際に測定した値 $T_{100}=201.01$ 秒(順)および200.98秒(逆)に比べ、約0.2秒短くなっている。また、最大値と最小値の差は順逆で最大約0.9秒となっている。これは測定する個人に起因するというよりも、通信環境等の違いがその要因であると考えられる。いずれにしても、この違いは100回周期に対するもので(1回の)周期から得られる重力加速度 g にはほとんど影響せず、動画による測定でも実際の測定と同程度の精度でデータが得られることがわかる。

	順	逆
最大値	201.04	201.00
最小値	200.59	200.13
差	0.45	0.87
平均値	200.83	200.76

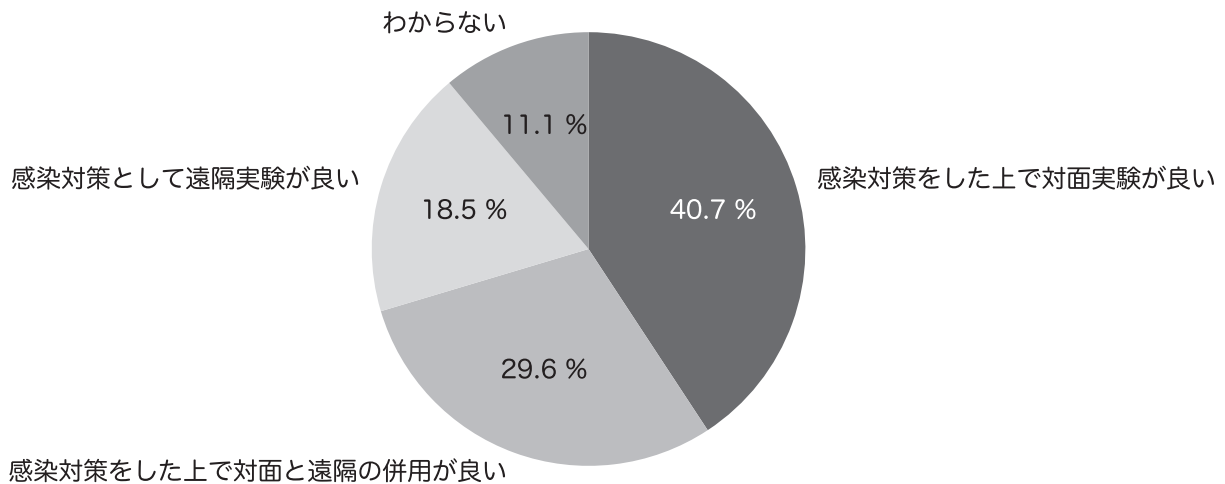


図 5: 実験科目の実施方法についての質問に対する結果

3 アンケートの結果

すべての実験を終えたところで学生にアンケート調査を行い登録学生 44 名中 25 名から回答を得た。

3.1 実験科目の実施方法

新型コロナウイルス感染が広がっている中で、「実験科目はどのような方法での開講が望ましいか」について以下の 4 択から選んでもらった。

- 感染対策をした上で対面実験が良い
- 感染対策として遠隔実験が良い
- 感染対策をした上で対面と遠隔の併用が良い
- わからない

その結果を図 5 に示す。「感染対策としてすべての実験を遠隔で行った方がいい」と答えた学生は 2 割近くあったのに対し、「感染対策を行った上で対面実験が良い」あるいは「遠隔と対面実験の併用」と対面実験を行うことを含んだ実施形態が良いと答えた学生は約 70 % となった。専門実験科目であるので実際に実験装置を使用して行う対面での授業が望ましいと考えている学生が大半であるが、対面授業を避け新型コロナウイルスへの感染対策を優先すべきと考えている学生と「わからない」と答えた学生も相当数(約 30 %)いることがわかる。このことから学生が安心して対面実験に参加するようになるには、新型コロナウイルス蔓延の終息を待つなど、まだまだ時間がかかることが予想される。

3.2 動画による測定について

実験動画から学生がデータを取得することについて、

- 動画があった方が良い
- 動画はない方が良い
- わからない

の選択肢から選んでもらった。その結果を図 6 に示す。「動画はない方が良い」と回答した学生はおらず、動画を使用した実験に肯定的な学生が約 58 % と大半であったが、一方「わからない」と答えた学生も約 42 % もいる。対面実験と比べどのように異なるかよくわからず、判断できない学生が多かったのではないかと思われる。

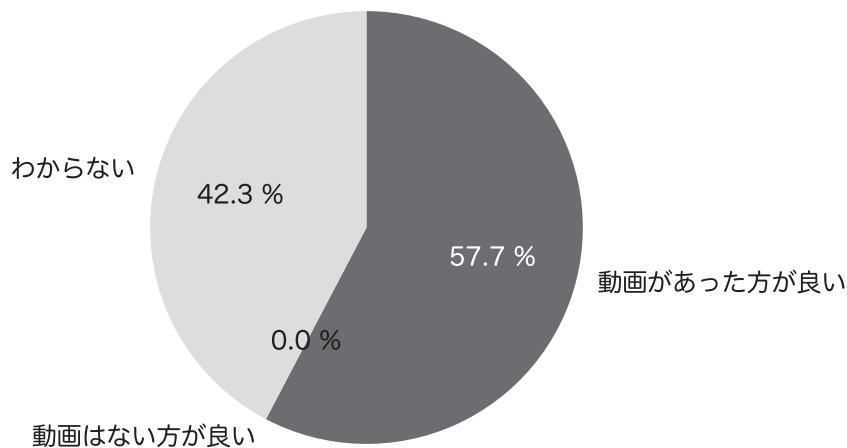


図 6: 動画を使用した実験についてのアンケート

「動画があった方が良い」または「動画はない方が良い」と答えた学生にはその理由を書いてもらった。「動画があった方が良い」理由として回答されたものを以下に列挙する。

- ・擬似的に実験を行なっている気になるから。
- ・やってる事が想像しやすい。
- ・実際にどのように測定しているのかイメージしにくかったので、動画があった方が良かったと思いました。
- ・理解しやすい。
- ・自分で何をやっているかが動画の実験を通して分かるから。実際の実験結果だけを見てまとめるのは自分が何の実験をしているのかが分からなくなる。
- ・まだ実験をしている感じがするから。
- ・実験を行った感じがする。
- ・動画があることでどのような手順で実験を行なっていて、どのような数値が出ているのか把握しやすいため。
- ・実際にどのような測定であるかイメージしやすいから。
- ・数値だけが配られると、実験をしている意味が分からなくなるから。

総じて、動画からであっても実際に自分でデータを取得するという主体性が重要であることがわかる。

3.3 今後の改良点について

さらに今後の改良点の有無について、

- 改良する必要はない
- 改良する必要がある

の2択で答えてもらった結果、図7のようになった。「改良する必要はない」との回答が8割にも上っているが、この結果から今回の遠隔実験のやり方に問題がないと単純に考えることはできない。「今の状況では」という条件付きでの議論であり、この状況が常態になるのであれば改良すべき点は多々あると考えられる。実際に、「改良べきである」と答えた人に改良点を書いてもらったところ以下のような意見があった。これらの意見は今の状況でも早々に改善すべき事項がほとんどである。学生の回答からは、Webによる遠隔実験では疑問をその場で質問できないことが学修の満足度に大きく影響していることが窺われる。

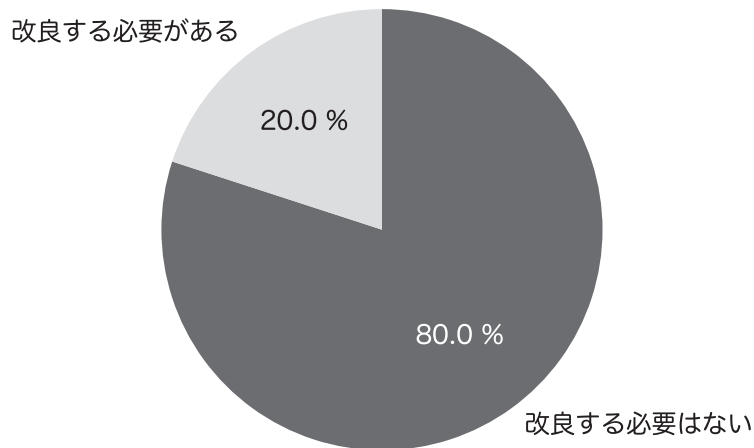


図 7: 遠隔実験の改良点の有無

- ・できれば全部の実験で実験動画をつけて欲しい。
- ・対面の時に先生が解説してくれたようにそれを動画で見れば理解しやすいです。実験結果から得たグラフや計算で求めた値が正しいか分からなくて先に進めない課題がいくつかあり大変だった。できれば課題と類似したグラフや値の例をあげてくれるだけで非常に嬉しい。また、対面ならあった実験前の先生による説明はとても為になると思うので遠隔でも動画を添えてくれて欲しいと思った。
- ・実験資料自体に記載ミス等があると、考察や計算が難しくなることが多かったです。遠隔だと質問するにも少しハードルがありました。

4 まとめ

新型コロナウイルス感染予防の観点から、多くの大学は情報通信技術（ICT (Information and Communication Technology)）を使った講義・実験を遠隔で行わざるを得ない状況になった。ICTを使った物理教育の実践や考察が、日本物理学会が発行する「大学の物理教育」の「特集 COVID-19 にもなう遠隔授業」として報告されている [4]。日本の数多くの大学で ICT を活用した物理学実験を試行錯誤しながら実施していたことがわかる。実施方法も、ライブの動画を配信したものからオンデマンド方式で資料・データ配信を工夫したものまでいろいろである。

われわれも、ICTを利用して動画による測定を試みた結果、学生からは概ね前向きな評価を得ることができた。教育効果はこれから検証していく必要があるが、少なくとも資料・データを提供して解析させる方法に比べて、オンラインであっても主体的に実験に参加し自分自身でデータを取得することで満足度は高くなることが示唆された。学生の質問等に対しては、実験時間内のオンラインでの直接対応ではなく、Web に連絡および質問用の掲示板を設置して対応した。11 週間で 10 件近い質問があり、オンラインでの対面对応に比べて文章による質問が学生にはハードルが低いようである。

また、この科目は専門必修実験科目であることから例年学期末に「実験のまとめ」として発表会を行っている。これは、2 人 1 組のグループで割り当てられた実験課題について、理論、測定原理、実験装置について調べ、実験結果の解析および検討をパワーポイント等のプレゼンテーションソフトを使ってまとめ、質疑応答を含め 15 分間で発表するものである。限られた時間で内容を分担して発表するため、グループ内で議論して準備する必要がある。実験課題の発表会は、学生が当事者として関わり他グループとの議論や比較ができるため、課題を一層深く理解するに

は有意義である。今回はオンライン会議システム Zoom を用いて、10人程度の学生が教室での対面参加、その他の学生が自宅等からのオンライン参加で行い、対面とオンラインとを双方向で繋いで、発表、質問および回答をリアルタイムで行うことができた。グループメンバーが異なる場所（対面－オンライン、オンライン－オンライン）から1つの発表を行うなど、今後学内での卒業研究発表会および学位論文発表会等を開催する上で参考となることが多くあった。発表会はオンラインがメインの開催であったが、多くの学生が参加し例年に比べても遜色のないものとなった。この新型コロナウイルス感染が蔓延している不自由な環境であっても、学生が当事者として主体的に関わることができる教材や取り組みを確保する必要があることを強く感じた。

今回は時間変化を測定する課題のみで動画による遠隔実験を行ったが、他の課題でも同様に動画での測定を行うためには仮想現実－VR (Virtual Reality)－技術等を活用した教育が必要となろう。しかしながら、その実現にはコストと時間がかかるため将来的な課題の1つである。対面での講義や実験がある程度制限される可能性がある2021年度に向けては、今回のアンケート結果や多くの方々の実践例を基に、学生が主体性を持って取り組めるようなWeb教材の開発や取り組みを準備する必要がある。また、学生の質問、疑問および要望に即応できる簡便で使いやすいシステムづくりも重要であると考えます。

参考文献

- [1] 吉田卯三郎, 武居文助, 橘芳実, 武居文雄, 六訂 物理学実験, 三省堂, (1979).
- [2] Amazon 等で購入できる. (<https://www.amazon.co.jp/dp/B019MU7YVG/>).
- [3] 動画は, <https://youtu.be/jALpHkvpqAY> で確認できる.
- [4] 「特集 COVID-19 にともなう遠隔授業」, 大学の物理教育, 日本物理学会, 26, No. 3, (2020).