

オンライン環境における実験・実習指導

－物理学実験での取り組み－

森 鼻 久美子

＜要 旨＞

2020年度は、新型コロナウイルスの影響により、対面での講義・実験を行うことが難しい状況となり、オンライン環境での講義、実験を行なった。本稿では、オンライン環境での実施が難しいとされる実験・実習指導において、名古屋大学全学教育科目理系基礎科目「物理学実験」におけるオンライン環境での実験の取り組み例を紹介する。物理学実験の様々な実験テーマをオンライン環境下で指導する中で、様々なメリット・デメリットが見えてきた。メリットとしては、学生との双方向のやりとりの増加、教員側の実験全体の把握のしやすさなどが挙げられる。一方、実験の基本操作を学ぶ機会の経験、対面でしか経験できない実験操作を体験できないなどデメリットもある。今後、オンラインでの取り組みの経験を対面実験にも生かすことで、オンラインと対面の双方の利点を生かした実験指導を目指していきたい。

1. はじめに

2020年度春学期は、新型コロナウイルスの影響により、多くの大学で対面授業、対面実験が困難となり、オンライン環境での授業が実施された。本稿は、大学での様々な授業の中で特に対面による学習効果が高いと考えられる実験において、いかにしてオンラインで実験を実施するか、著者を含む名古屋大学教養教育院物理学実験を担当する教員間で協議し、どのように取り組んで、実験の指導、特に物理学実験での指導を行なったかをまとめたものである。新型コロナウイルスの終息が望まれる中、本取り組みが様々な大学でのオンラインでの実験指導の参考になれば、幸いである。

2. 名古屋大学教養教育院「物理学実験」

名古屋大学教養教育院全学教育科目の物理学実験は主に理系学部（理学部、工学部、農学部、情報学部、医学部）の学部1、2年生を対象とした科目である。半期にわたり、7～8個の実験テーマの実験を行う。実験を通して仮説を構築し、その実験的検証を行う。実験テーマは多岐にわたり、以下のような実験テーマがあり、学部ごとに選択された8テーマを実施する。

- 重力加速度の測定
- 磁場中の電子の運動
- 回折格子による光の波長測定
- 放射能の測定
- 放射線・宇宙線の観察（理学部）
- オシロスコープ
- 電気回路の共振現象
- 電気回路1（理学部）
- 電気回路2（理学部）
- 物性－液体窒素を使った実験－
- 固体の比熱
- シミュレーション物理（情報学部、農学部）
- 偏光（理学部）
- 等電位線

これらの実験テーマについて、物理学実験では以前から予習用の動画教材 (<http://elearn.ilas.nagoya-u.ac.jp/lms/pex/>) を準備し、使用していた。この動画が実験の概要をつかんでもらうのに対面実験が行えない中で役に立った。特に、液体窒素や放射線源を扱う実験では、実際の実験の様子を見てもらうという点で役立った。



出所：名古屋大学教養教育院提供

図1 予習用動画教材の一例（磁場中の電子の運動の動画より）

3. オンライン環境での取り組み

このような中で、オンラインで実験を行うにあたり、様々な手法でできるだけ対面実験時と同等の内容を習得できるように取り組んできた。以下では、いくつかの事例について個々に紹介する。どの実験においても、Zoom等の遠隔会議システムを用いて、双方向型で実施した。

3.1 オシロスコープ、共振回路

オシロスコープと共振回路の実験は、通常の対面時はオシロスコープと低周波発生器を用いて実験を行なっている。オンライン環境下で同等の実験を行うため、実験室の VirtualBench オールインワン計測器（低周波発信器+オシロスコープ）に回路（可変位相回路もしくは直列共振回路）と遠隔操作可能なソフトをインストールしたノートパソコンを接続し、学生が自宅からネットワーク越しに低周波発信器とオシロスコープを操作できる環境を作った（図2）。

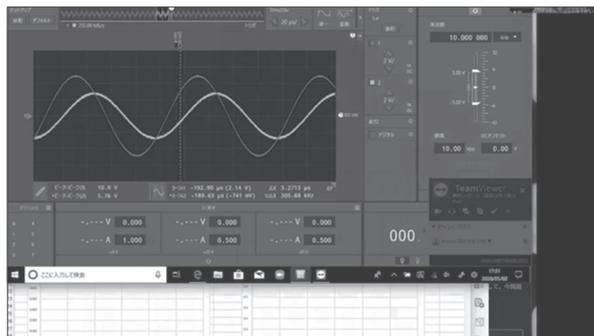


出所：筆者撮影

図2 オシロスコープ実験（左）と共振回路（右）のオンライン実験環境
写真中央の箱が VirtualBench を表す。

このような遠隔操作環境を構築し、学生は遠隔操作ソフト TeamViewer を用いて、学生自身のパソコンから実験室内の VirtualBench に繋がったパソコン上で VirtualBench を遠隔操作し、対面時とほぼ同じ実験を実施することができた（図3）。各パソコンには2~3名の学生が接続し、各グループで相談をしながら実験を行うことができる。また、授業時間中は、TeamViewer と同時に Zoom を常に立ち上げておき、不明点があれば教員

やTAに聞きながら、実験を行うことが可能である。教員側も教室内の遠隔操作されるパソコンの画面での操作を見ながら、各学生にアドバイスをすることもできる。



出所：筆者撮影

図3 遠隔操作 PC 上の画面の様子
(図の右側が低周波発振器、左側がオシロスコープ画面)

3.2 重力加速度

重力加速度の実験では、振り子の振動周期と振り子の長さから重力加速度を求める。通常の実験時は、実験室の天井から吊るした振り子を振動させて周期を測定する。今回のオンライン環境では、振り子の振動動画を配信し(図4)、周期を学生のスマートフォン等に付属のストップウォッチ機能で測定し、重力加速度を求めてもらった。

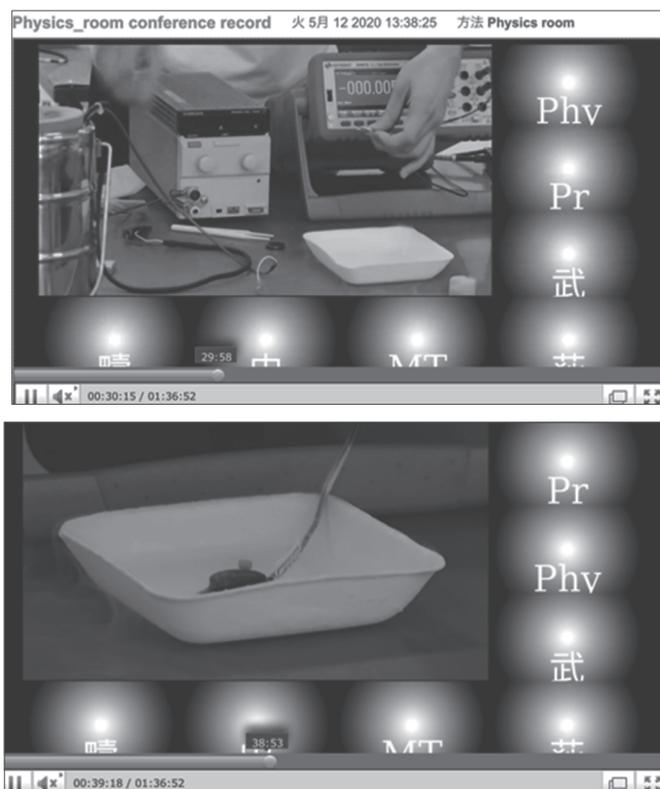


出所：名古屋大学教養教育院提供

図4 配信した振り子の振動動画

3.3 物性

物性の実験では、極低温状態での固体の性質を調べる。液体窒素を用いる実験のため、オンライン環境下での実施が困難な実験の一つである。このため、実験室で教員と TA による演示実験を行い、動画中継配信を行なった。実験全体が見える画面と測定値の読み取り画面が見える 2 画面同時配信を行った (図 5)。測定データを配布するのではなく、測定値を画面から読み取ってもらうことで少しでも実験を体感してもらえるように工夫した。動画中継を行いながら、同時に Zoom を立ち上げておき、リアルタイムで教員、TA に質問を行いながら、実験を行うことができた。



出所：名古屋大学教養教育院提供

図 5 物性実験の動画中継の様子

また、少しでも物性に関する実験を体感してもらうため、ネオジム磁石や導線を学生に郵送し、電磁誘導の法則を用いたファラデーモーターを製作してもらい、その回転速度が何で決まっているものなのか、などを追加実験として考察してもらった。

3.4 シミュレーション物理

この実験は、モンテカルロ法（擬似乱数を用いて系をシミュレーションし、物理量を推定する手法）により円周率の推定値を求める実験である。これまでは、学内のコンピュータールームでプログラム作成を行っていた。オンライン環境下で、各学生のパソコン端末でのプログラム環境設定を行うことは難しいため、Google Colaboratory を利用し、プログラムのための環境構築の準備を行うことなく、実験を行うことができた。Google Colaboratory は機械学習の教育、研究を目的とした開発ツールであり、Google アカウントさえあれば誰でも無料で使用できる。これを用いて、Web 上でプログラムを走らせ、円周率を推定した（図6）。



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

n = 1000 # ダーツの数

# (x, y)の点を n 個生成 (0 < x, y, <1
x = np.random.rand(n)
y = np.random.rand(n)

rdarts = 0 # 赤ダーツ (1/4円に入ったダーツ) の数
for i in range(n):
    if x**2+y**2 < 1.0: # もし x*x + y*y < 1 (1/4円に入っている) なら
        rdarts += 1 # 赤ダーツの数を1つ増やす
    plt.plot(x[i], y[i], marker="r", color="r") # 赤ダーツをプロット
    # plt.plot(x[i], y[i], marker="b", color="b") # より小さな点をプロット
else: # そうでなければ (1/4円に入っていない)
    plt.plot(x[i], y[i], marker="b", color="b") # 青ダーツをプロット
    # plt.plot(x[i], y[i], marker="r", color="r") # より小さな点をプロット

pi = 4.0 * rdarts / n # 円周率の近似値

print("円周率の近似値: " + str(pi))

# 結果を表示
plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')
plt.grid(True)
plt.xlabel('X')
plt.ylabel('Y')
plt.show()
```

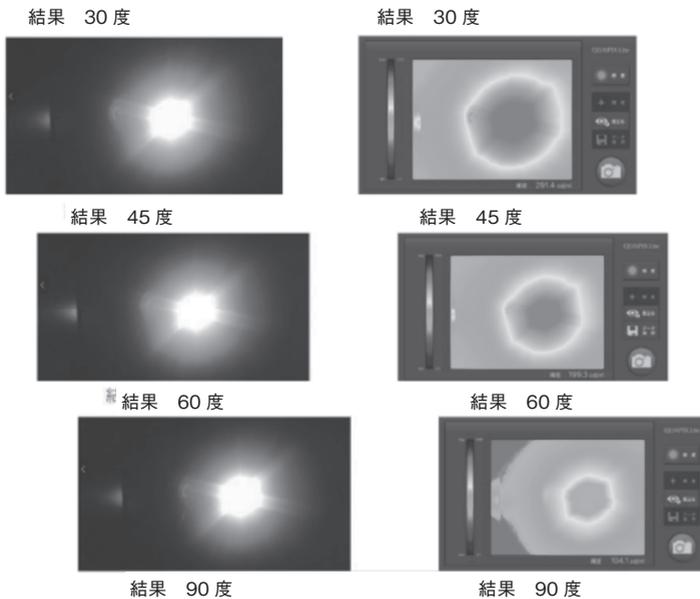
円周率の近似値: 3.136

出所: Google Colaboratory より筆者作成

図6 Google Colaboratory のプログラムの様子

3.5 偏光

学生の自宅に偏光フィルムと4分の1波長フィルムを送付し、実験を行ない、スマートフォンやパソコンで無料利用できるフリーアプリやソフトで光量を計測してもらった。自宅にある適当な光源を偏光板で観察し、透過光量の偏光板回転角依存性の測定等を行なってもらった(図7)。実験自体は決められた時間で取り組む必要はなく、各学生のタイミングで取り組んでもらい、授業時間にZoomにて説明や質問を受けることができる仕組みとした。



出所：名古屋大学教養教育院提

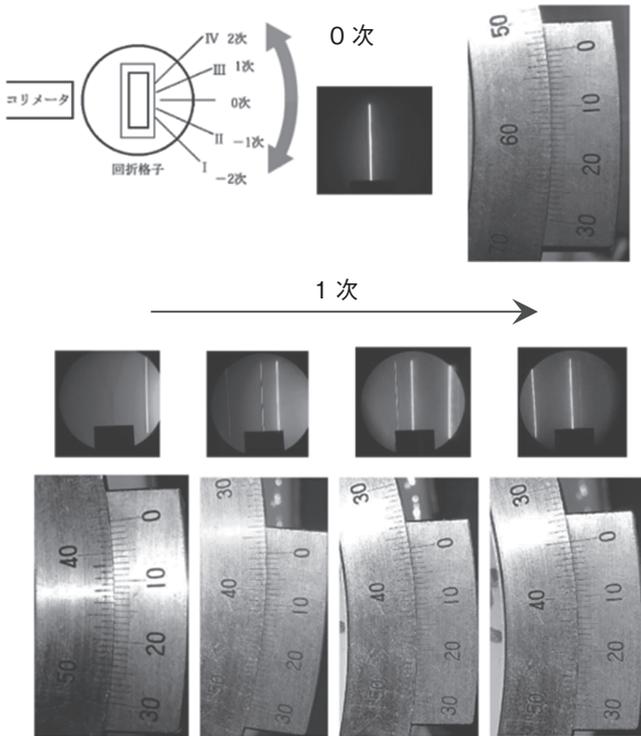
図7 スマートフォンアプリを用いた透過光度の角度依存性測定

3.6 回折格子による光の波長測定

本実験は、回折格子を用いて、カドミウムランプの輝線波長を測定する実験である。対面実験時は、回折格子により分散されたカドミウムランプの1次光、2次光を覗いた望遠鏡の角度を読み取り、輝線の中心波長を求

める。しかし、オンライン環境で実験自体を実施してもらうことは困難であるため、1次光、2次光の輝線位置での望遠鏡の角度を写真で提示し(図8)、学生に読み取ってもらう形式で実験を行なった。このため、本実験のみでは回折格子を体感してもらうことが難しかったため、別途自宅実験として、CD-Rと回折格子シートを郵送し、簡易分光器を製作してもらい、自宅にある光源(蛍光灯、白色LED等)を観察してもらい、分解能の違い等も考察してもらった。体験型の自宅実験を追加することにより、理解を深めてもらうことを狙いとした。

カドニウムランプの $+/-1$ 次: 望遠鏡から見た写真と読み



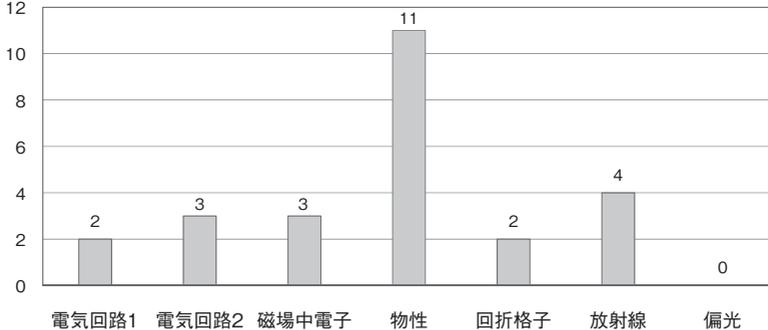
出所: 筆者作成

図8 回折格子の実験で用いた画像

4. 実験に対する対面希望

春学期は新型コロナウイルスが収束することがなく、結果的に対面での実験は行うことができなかった。3.で示したようにオンライン環境下で様々な実験に取り組んできたが、学生が実際に実験装置に触れる機会はオンラインではどうしても持てない。そこで、感染者数が比較的減少していた夏休み期間に、感染症対策をとった上で希望者に実験装置の見学および実験を行なった。春学期に物理学実験を受講していた約 270 名にアンケート調査を行い希望調査を行なったところ、図9のような結果となり、25名が装置見学および体験実験を希望した。希望が多かったテーマとして、液体窒素を用いる物性実験や放射線源を扱う放射能の実験など、オンラインでは体験することが難しい実験を中心に希望が多かった。これら希望者に対して、装置見学と実験の機会を設けて実施した。

(人)



出所：筆者作成

図9 実験見学希望調査の結果

5. 課題

3.で紹介したように、オンライン環境下で実験ごとに様々な方法で物理学実験を行なってきた。オンライン環境下で見えてきたオンラインでの実験指導におけるメリット、デメリットが見えてきた。

まず、メリットとしては以下があげられる。

- オシロスコープや共振回路、電気回路 1 の実験では、学生が VirtualBench を遠隔操作する画面を教員が一括で見ることができるため、従来机間巡回により行なっていた実験途中の個別の指導を行いやすくなった。また、TA も各遠隔操作端末に入ることができるため、カーソル等を用いて、言葉だけでない具体的な指導ができた。
- Zoom 等で質問を受け付ける形にしたことにより、発話だけでなくチャット機能を用いて質問することができるようになり、対面時よりも学生からの質問数が増えたように感じた教員が多かった。また、Zoom 以外にもメールでの質問も例年より多い傾向があった。チャット機能を用いた場合は他の学生に自分の質問内容を知られることなく教員に質問できる点が影響している可能性はあると推測する。
- 動画実験の場合、学生に不安点があった場合（レポート作成時に誤差が大きすぎるなどと気づいた場合）、再度実験を行なってみることが可能である。

一方、デメリットには以下のようなものがある。

- 通常学生自身の行なってもらう実験準備部分（配線等）は教員が行うことになるため、学生自身が体験できない。
- 実験テーマによっては、動画実験や遠隔操作が難しい不可能なテーマがあり（磁場中の電子の運動、回折格子、放射能の測定など）、以前から使用していた予習用動画＋写真での実験になってしまった。このようなものについては、対面実験の方が学習効果は高いと考えられる。
- 液体窒素の取り扱い、放射線源の扱いなど、対面でないと身につけることが難しい事項について、座学のみ知識になってしまい、直接実験で取り扱うことができない。
- 実験中の途中過程が細かく見えないため、本来やるべき実験項目と異なることを学生が行なっても教員側が気づきにくい。
- 学生にオンライン上で測定してもらう場合、学生側の測定データを教員側が個別にみることが難しい。

いずれの実験においても、Zoom 等を用いた双方向型の実施形態をとることで、学生の理解を助けることができると考える。

6. おわりに

新型コロナウイルスの影響により、2020年度春学期はオンライン環境下で実験を行うことを余儀なくされた。対面での学習効果が高いと考えられる実験科目において、オンラインでの実施は難しい点多々あった。しかし、オンラインでも一部の実験テーマについては対面とほぼ同じ実験を行うことができた。また、学生との双方向のやり取りが増えたという利点もあった。一方で、実際の実験装置に触れることができないために学生が体験できなかったこと、学べなかった項目があったのも事実である。今後は、オンライン環境下での実験で得た利点を取り込みながら、今後の対面実験で生かしていけたらと考える。