

オンライン授業で学生との 信頼関係を構築する取り組み

～演習科目のオンライン化と、質問の活性化～

坂口 聡志

九州大学 理学研究院 物理学部門

March 16, 2021

FD講演会「九州大学オンライン授業のグッドプラクティス
～リアルタイム型授業編～」

科目の概要

- 科目名: 基幹物理学IA演習(前期開講、基幹教育科目)
- 科目内容: 物理の基本である力学の演習科目(講義と連携)
- 対象: 理学部物理学科1年生(新入生)
- 受講者数: 60名程度
- 形態: リアルタイム(Microsoft Teams) + 課題提出

問5-1. 仕事に関する以下の問いに答えよ。

演習問題
の例

- 1a) 3次元空間において、質点を座標 (x, y, z) に置いた時、質点には力 $\mathbf{F} = (F_x, F_y, F_z) = (x - y, ax, 0)$ が与えられるとする。経路 $O(0,0,0) \rightarrow A(x_0,0,0) \rightarrow C(x_0, y_0, 0)$ で点 O から点 C に移動する場合の仕事进行計算せよ。 $O \rightarrow A$, $A \rightarrow C$ の経路はそれぞれ直線とせよ。
- 1b) 同じ条件で、 O から C へ直線的に移動する場合の仕事进行計算せよ。
- 1c) 力が保存力であれば、仕事は移動の経路によらない。上の2経路での結果が一致するように a の値を定めよ。(\mathbf{F} が保存力であるための必要条件である。)
- 1d) \mathbf{F} が保存力であることを示せ。保存力であるということは、 $\text{rot } \mathbf{F} = 0$ と等価である。

本講演の概要

- 前半：演習科目のオンライン化（テクニカルな内容）
 - 演習科目特有の難しさ（毎週、問題を解いて提出、採点して返却）
 - 対面授業の内容をなるべく損なわないようにオンラインへ移行
-

- 後半：質問の活性化（心がけ）
 - オンライン授業において、学生とのコミュニケーションがより重要に
 - 積極的な質問を促すため、心がけたこと
（地味で当たり前のことと思われる内容が多いと思いますが...）

こちらにカ点

本講演の概要

- 前半：演習科目のオンライン化（テクニカルな内容）
 - 演習科目特有の難しさ（毎週、問題を解いて提出、採点して返却）
 - 対面授業の内容をなるべく損なわないようにオンラインへ移行

- 後半：質問の活性化（心がけ）
 - オンライン授業において、学生とのコミュニケーションがより重要に
 - 積極的な質問を促すため、心がけたこと
(地味で当たり前のことと思われる内容が多いと思いますが...)

演習科目のオンライン化

- コロナ禍以前の対面授業の形態

問題配布、取り組み

授業後回収、TAと採点

翌週返却し、解説



- 演習のオンライン化

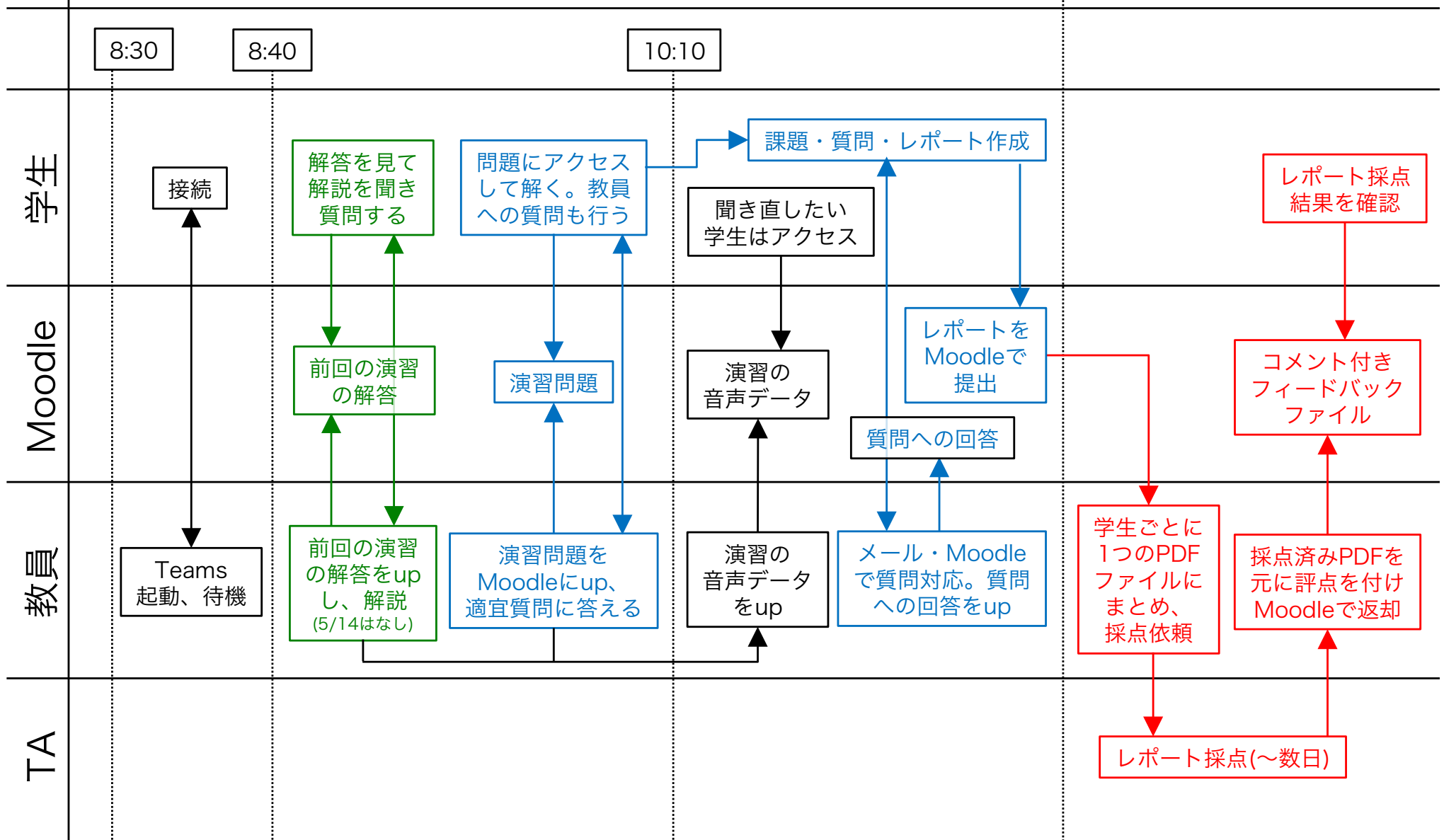
- 春学期の最初の講義でノウハウもなく、準備期間も限られていた
- なるべく対面授業の頃の機能を損なわず、そのままオンラインに移行させることを目的とした。

講義前に学生に回覧した授業の進め方の資料

5/14(木)：第1回演習

木曜～翌週水曜

翌週水曜日 20:00
レポート提出期限

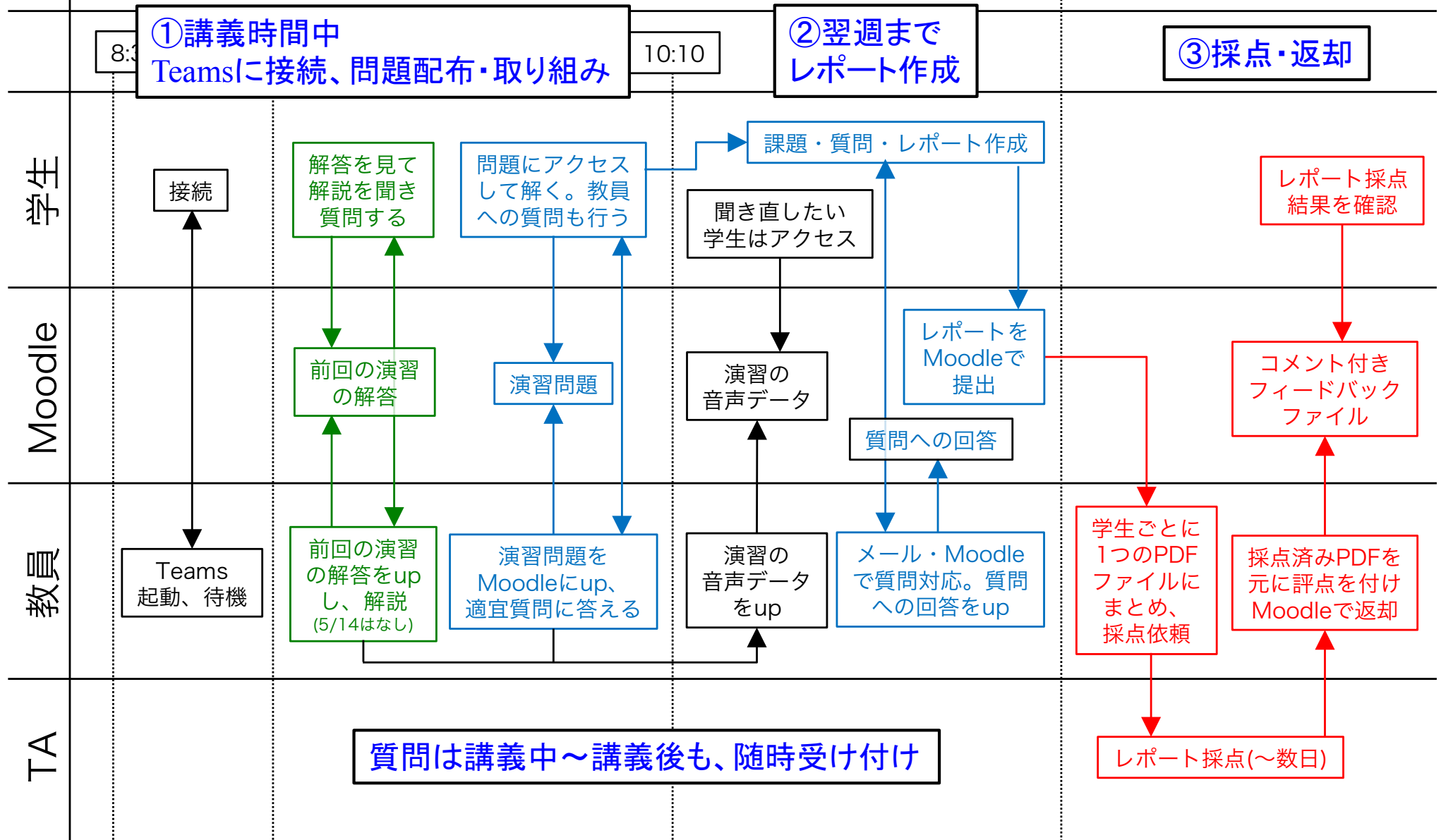


講義前に学生に回覧した授業の進め方の資料

5/14(木)：第1回演習

木曜～翌週水曜

翌週水曜日 20:00
レポート提出期限



Moodle画面

6/11: 第5回演習



第5回演習問題



補足資料



第5回演習解答



レポート提出はこちらから



音声ファイルはこちら



講義中に出た質問と回答



演習課題やレポートに関する質問フォーラム



基幹物理学IA演習(6/11)レポート講評

授業中に掲載

次回授業で掲載

6日後までに提出

授業後に掲載・開設

採点後に返却

演習問題

■ 演習問題

- 難易度、分量は対面授業と同等
- 解答時間を6日間取った（従来は当日、授業終了時に回収）
- 授業のない日も質問可

問 5-1. 仕事に関する以下の問いに答えよ。

- 3次元空間において、質点を座標 (x, y, z) に置いた時、質点には力 $\mathbf{F} = (F_x, F_y, F_z) = (x - y, ax, 0)$ が与えられるとする。経路 $O(0,0,0) \rightarrow A(x_0,0,0) \rightarrow C(x_0, y_0, 0)$ で点 O から点 C に移動する場合の仕事进行計算せよ。 $O \rightarrow A, A \rightarrow C$ の経路はそれぞれ直線とせよ。
- 同じ条件で、 O から C へ直線的に移動する場合の仕事进行計算せよ。
- 力が保存力であれば、仕事は移動の経路によらない。上の2経路での結果が一致するように a の値を定めよ。 $(\mathbf{F}$ が保存力であるための必要条件である。)
- \mathbf{F} が保存力であることを示せ。保存力であるということは、 $\text{rot } \mathbf{F} = 0$ と等価である。

補足資料

■ ヒント

- 途中でヒントを配布
- 間違えやすいポイント、問題を解く上での考え方などを簡単に解説

■ 雑談（終わった人向け）

- 最近初めて撮影されたブラックホールの写真
- 「インターステラー」という映画
- ペンローズという科学者の話

→ 数ヶ月後にノーベル賞

ヒント

- ・ 仕事の求め方
 - 物体を微小距離 $d\mathbf{r}$ だけ動かす際の微小仕事は、 $\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ となる。 \mathbf{F} , $d\mathbf{r}$ ともにベクトルであることに注意せよ。二次元空間内では $\mathbf{F}=(F_x, F_y)$, $d\mathbf{r}=(dx, dy)$ であるため、微小仕事は _____ と表される。
 - 微小仕事を、物体を動かす経路上で積分すると、仕事を得られる。この時、例えば y =一定の経路で積分した場合、 $dy=0$ であるため、この経路では dx についての積分だけ考えれば良い。(※)
- ・ 5-1b) 移動する経路上では、 x と y の間に比例関係が成り立つ。 dx と dy の間も同じ比例関係を持つ。これを用いて y と dy を消去し、 x についてだけの積分に直すことができる。
- ・ 5-2b) 一般解として $A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)$ とするより $A \cos(\omega t + \alpha)$ とした方が後の問題が解きやすい。
- ・ 5-4b) 積分経路の取り方や計算の仕方は 1a) を参考にすること。経路に沿って積分する際、例えば y =一定の経路で積分した場合、 $dy=0$ となることに注意(上記(※)を参照)。また、力 F_x, F_y, F_z が x, y, z に依存していることに注意し、各積分経路においてどのような力がかかっているのか、じっくり考えること（かなり間違える方の多い問題です）。

雑談（終わった人向け）

- ・ 「ブラックホールの撮影」

昨年、ブラックホールの撮影に成功した、というニュースが紙面を賑わせました（左図。The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, Volume 875, Number 1 より）。正確に言うと、ブラックホールから光子は脱出できないので、周囲のガスが光っており、中央の黒い部分がブラックホールを表しています。



ところで皆さんは、「インターステラー」という映画を見たことはありますか？物理的にあり得ない描写やご都合主義などところもあるのですが、ノーベル物理学者の監修の下、数理モデルを立てて作られた映像が見られるので、物理に携わる人間からすると垂涎ものです。インターステラーには、「カー・ブラックホール」というタイプのブラックホールが出て来ます。良く描かれるブラックホールには中心の1点に特異点がありますが、角運動量を持ち自転するカー・ブラックホールの特異点はリング上になると言われています。インターステラーでは、カー・ブラックホールの姿が綿密な計算で再現されていて、非常に美しい映像でした。最近撮影されたブラックホールの写真はまだそこまで高精細ではないですが、人々の想像していたような姿そのままというのは、やはり驚きですね。理論と実験は両輪となって進むもので、実験で見つかった現象を理論が説明することも多いですが、まだ見ぬものを理論が予言する、ということも起こり得ます。ブラックホールのようなものをまだ見ぬうちに頭の中で描けるというのは、とてつもない才能ですね（私には想像もつきません！）。

映画「インターステラー」には、ウラシマ効果、カー・ブラックホールからエネルギーを引き出す方法（ペンローズ過程）、ワームホール、五次元宇宙、などワクワクする単語や現象が出て来ます。ぜひ見てみてください。ついでですが、ペンローズという方は、ホーキング博士の友人の科学者で、ブラックホールの特異点定理を証明し、事象の地平線の存在を唱え、量子重力理論に貢献し、左図のようなだまし絵を考えてエッシャーにアイデアを与え、脳の処理と量子論の関係まで唱えている現代物理学の奇才です。イギリスの騎士（ナイト）にも叙せられています。面白いので調べてみてください。



レポートの提出から採点、返却までの流れ

- 完全デジタル化の必要性

- 昨年前期の状況：教員・TA・学生は完全在宅 → 完全デジタル化

Step 1: 提出

- レポートを撮影し、**JPEG画像のデータ**をMoodle上で提出

Step 2: ファイルの処理

- 学生ごとに、複数の画像データを**1つのPDFファイル**にまとめ、リネーム
 - ※スクリプトで一括処理(詳細は次ページ)
- PDFファイルをTAに共有し、採点依頼

Step 3: 採点・返却

- **iPad + Apple Pencil** で、PDFファイルに直接コメントを書き込み
- Moodle上で各学生に返却

学生ごとに画像データを1つのPDFファイルにまとめる

元のファイル名：1SC20001[学生ごとにバラバラなファイル名].jpg など。
複数のファイルあり。Macのターミナル上でシェルスクリプトを実行し、一括処理

```
#!/bin/sh
```

```
for fname in *.jpeg; do  
mv "$fname" "${fname%.jpeg}.jpg";  
done
```

```
for fname in *.JPEG; do  
mv "$fname" "${fname%.JPEG}.jpg";  
done
```

```
for fname in *.JPG; do  
mv "$fname" "${fname%.JPG}.jpg";  
done
```

学生ごとにまちまちな拡張子
.jpeg, .JPEG, .JPG を .jpg に統一

```
j=0  
k=5
```

演習の回数を指定
(左の例では第"05"回)

```
i=20001
```

```
while [ $i -lt 20060 ]  
do
```

```
    convert 1SC$i*.jpg converted/1SC${i}_${j}${k}.pdf  
    i=`expr $i + 1`
```

```
done
```

学生番号ごとに.jpgファイルを
convertコマンドで.pdfファイル
に統合・変換し、ファイル名に
学生番号と演習回数を出力。

レポートの採点例

$$r_- = \frac{1}{\sqrt{2}} (\alpha_2 - \alpha_1 - l - \alpha_3 + \alpha_2 + l)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} (-\alpha_1 + 2\alpha_2 - \alpha_3)$$

① $r_+ \neq 0, r_- = 0$
 $\alpha_1 - 2\alpha_2 + \alpha_3 = 0$
 $2\alpha_2 = \alpha_1 + \alpha_3$
 $\alpha_2 = \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{2}$ 式]

$$R(t) = \frac{\alpha_1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{2} + \alpha_3}{3}$$

$$= \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{2}$$

$$= \alpha_2$$

重心が常に質点2の位置に
基準振動

② $r_+ = 0, r_- \neq 0$
 $\alpha_3 - \alpha_1 - 2l = 0$
 $\alpha_3 - \alpha_1 = 2l$ 式]

常に質点1と質点3の差が2lの振動をする

個々人の間違えたポイントに応じたコメント
(主にTA。教員が確認)

間違いの多かったポイントは次回の授業中に補足説明

レポートの採点例

1.6 6a) $x(t) = r_0 \cos \omega t$ $y(t) = r_0 \sin \omega t$

6b) $M_x(t) = -r_0 m \sin \omega t$

$M_y(t) = r_0 m \cos \omega t$

$a_x(t) = -r_0 \omega^2 \cos \omega t$
 $= -\omega^2 x(t)$

$a_y(t) = -r_0 \omega^2 \sin \omega t$
 $= -\omega^2 y(t)$

$a = -\omega^2 (x(t) + y(t)) \Delta$

$a = (-\omega^2 x(t), -\omega^2 y(t))$

$\omega = \frac{v}{r_0}$ 振り

ベクトル表記に。

$a = -\frac{v^2}{r_0} \mathbf{r}$ ①

レポート上でも質問
 が出るようになった

6c) ①の両辺に $-\mathbf{r}$ をかけろ

(内積をこのようにとってよいのか不安です)

$m^2 = -\mathbf{r} \cdot a$

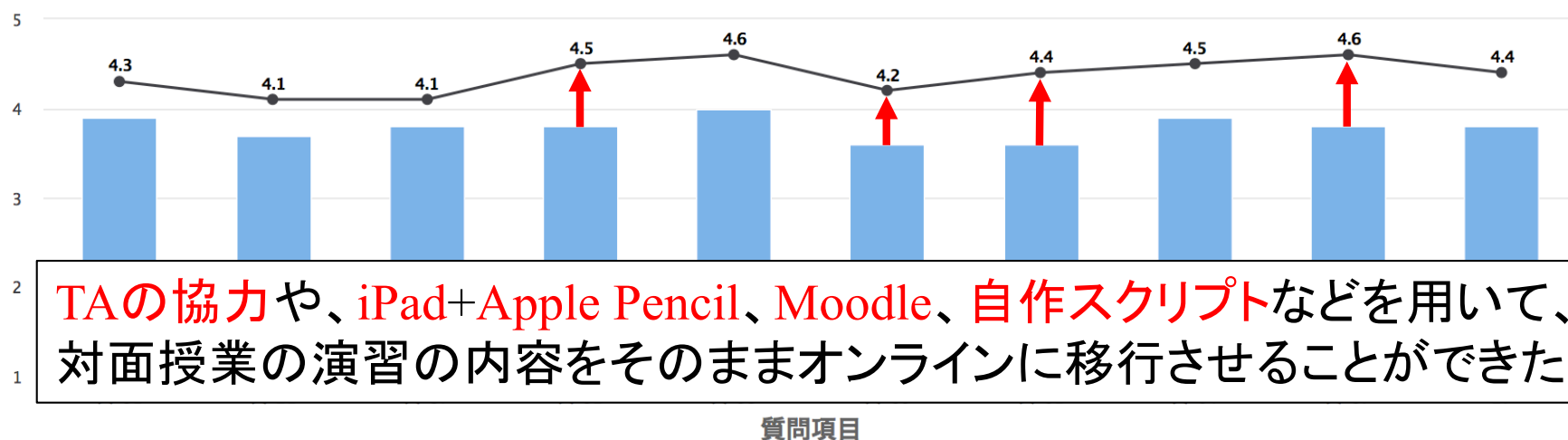
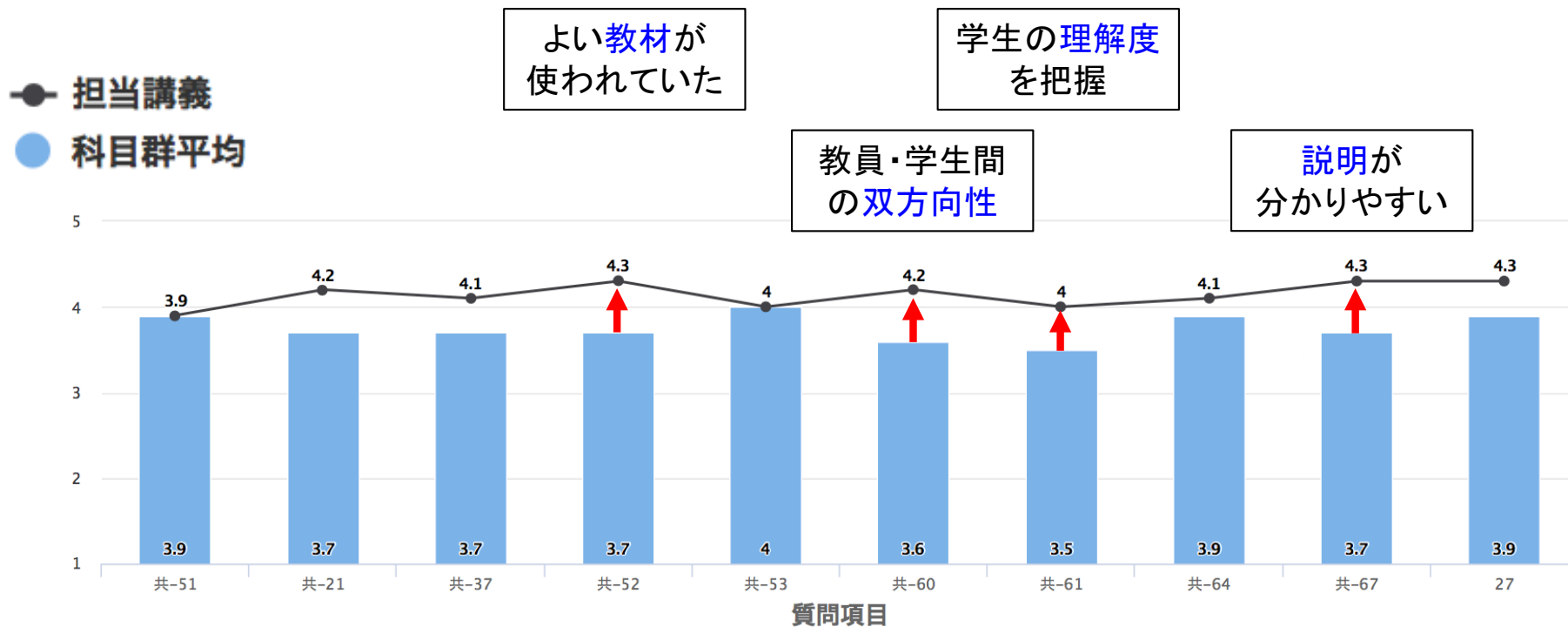
$-\mathbf{a} \cdot \mathbf{r} = \left(\frac{v^2}{r_0^2} \right) \underbrace{\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}}_{r_0^2} = v^2 = \underbrace{v^2}_{v^2}$

$m^2 = |m|^2 = m^2$ 右なので

$m^2 = -\mathbf{r} \cdot a$

と等しいことがわかっていけば「大丈夫です」

授業アンケート結果(上: 演習 / 下: 講義)



本講演の概要

- 前半：演習科目のオンライン化（テクニカルな内容）
 - 演習科目特有の難しさ（毎週、問題を解いて提出、採点して返却）
 - 対面授業の内容をなるべく損なわないようにオンラインへ移行

- 後半：質問の活性化（心がけ）
 - オンライン授業において、学生とのコミュニケーションがより重要に
 - 積極的な質問を促すため、心がけたこと
（地味で当たり前のことと思われる内容が多いと思いますが...）

コロナ禍における学生の不安

- 大学に行く意義についての疑問
 - 「わざわざ大学に行かなくても、本やネットに教材はある」
 - 「なぜ大学に行く必要があるのか？」
- 学生の不安

項目(一部抜粋)	%
十分に予習復習ができた	20%
オンライン授業を集中して受けられる意図的な工夫	15%
気が散る(集中できない)	41%
ライブ形式を視聴し続けるのは疲れる	49%
クラスメイトの学びの状況がわからず不安だ	47% ③
教員やクラスメイトとのコミュニケーションが少ない	58% ①
評価方法の改善	35%

人と人との”生”の
コミュニケーション

質問の活性化

- 本講義では質問を通じてコミュニケーションを深めることにfocus
 - 学生は学びたいという意欲を持って入学している
 - 本質的には質問への意欲を持っているはず(↔ 実際には出づらい)
- 如何に質問を引き出すか

①質問への意欲を高める

②ハードルを下げる

③質問して良かったと実感させる



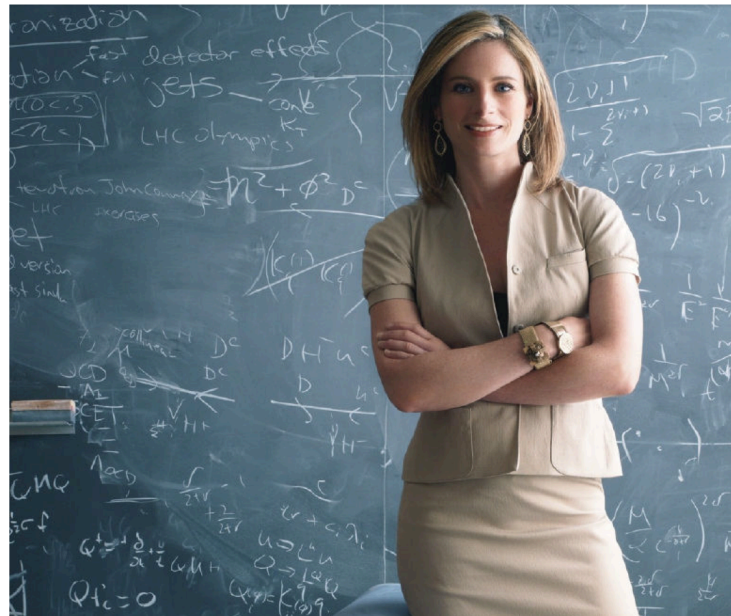
質問の活性化

- 具体的に心がけたこと
 - 「疑問に思うこと」「質問すること」自体が素晴らしいことだと伝える



大事なものは「答え」より「問い」

「そもそも問いを見つけられた人こそが、その答えを見つけられる」



by リサ・ランドール博士
ハーバード大学教授
理論物理学者

「成功したければ質問をしなさい」

by リサ・ランドール博士
の恩師

質問の活性化

- 具体的に心がけたこと

- 「疑問に思うこと」「質問すること」自体が素晴らしいことだと伝える
- 良い質問をした学生は評価に加味すると伝える(疑問を探す癖)



- 様々なパスを用意(実名/匿名、授業中/授業後) オンラインの利点

- 授業中: Teamsの音声、チャット(全体チャット、個人チャット)
- 授業後: Moodleの掲示板、教員へのメール(同級生の前でない)

- 毎回、適度な雑談も。質問しやすい雰囲気へ

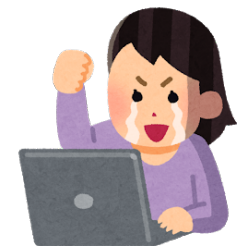


- どんな質問も無下にせず、喜ぶ。良い質問は褒める

角田先生と同様

- 質問には漏れなく、丁寧に、早く、答える。→ 信頼感の醸成

- 学生全員で質問内容を共有(質問者を伏せた上で)



メールでの質問例

2020/06/04 10:59、 [redacted] のメール:

物理学科一年の [redacted] です。以前の課題について質問です。
以前の問題で二階線形常微分方程式（同次で一般解が $\exp(\text{複素数})$ ）の場合
 $y = C\exp(\omega it) + C^*\exp(-\omega it)$ ただし C^* は C の複素共役と習いましたが、その理由は何なのでしょう？ $\exp(\omega it)$ と $\exp(-\omega it)$ はオイラーの公式より単位円上の点でRe軸対象の為、それらの線型結合はRe軸上にあると思うので C と C^* は同じ実数だと自分は考えました。この考えはどの部分が間違っているのでしょうか？



とても良い質問です。 第三回の掲示板に回答をアップロードしました。

坂口 褒める 質問・回答は全員で共有



解説ありがとうございます。理解しました。

メールでの質問例

すみません。
5-2dの質問です。

一周期をTとすると、運動エネルギーを0からTまで積分してそれをTで割るとい感じで求めようと思ったのですが、 $x(t)$ は2bで求めたものを代入するのでしょうか。

2b) $\ddot{x} = -\frac{k}{m}x$

$\sqrt{\frac{k}{m}} = \omega$ とすると、

$\ddot{x} = -\omega^2 x$

任意定数 C_1, C_2 を用いると、

$x = C_1 \sin(\omega t) + C_2 \cos(\omega t)$

$= C_3 \cos(\omega t + \alpha)$

理系演習科目のため、**数式**を用いる。

必要に応じて**写真をメール添付**して、質問や回答を行う。

Moodle上での質問・回答の掲載

- 授業中の質問、メールでの質問など、全ての質問・回答を集約。

講義中に出た質問と回答



Q: 8-1g) の問題で、(i)では質量 m の物体が固定されて運動しており、(ii)では両端の物体が固定されて運動していると考えていいのでしょうか？全体として等速運動しながら条件を満たすように運動することはありますか？

A: 全体として等速運動しながら条件を満たすように運動することはありえます。その場合、重心が動いているので、どれかが静止している、ということにはなりません。

自分が重心に立って移動している時にそれぞれの質点がどのような運動をしているように見えるか、ですが、(i)のケースでは質点2は静止しており、質点1と3が逆方向に振動しているように見えます。

(ii)のケースでは質点2が左に動けば質点1、3が右に動く、というような運動をします。ちなみに、(ii)のケースは、質点1、3が動かないということではなくて、質点2が動くのと逆方向に質点1、3が動く、という感じです。

絵で描くと：

(i)の場合



(ii)の場合



という感じです。



メールで質問をいただきました

2020年 05月 21日(木曜日) 18:45 - 坂口 聡志 の投稿

質問：

加速度にベクトルが導入され、運動方程式を立てる際にどの向きを基準に考えていいのかが混同してしまいます。例えば、空気抵抗は速度と逆向きだからマイナスがつくということは、すんなり理解できましたが、ベクトル g を用いて立てるときにその mg の係数が、プラスかマイナスかが迷います。どういう感じで考えれば良いのでしょうか？

回答：

以下、 A というベクトルを表現する際に $\forall \text{vec}\{A\}$ と記述します。

空気抵抗も重力も力なので、力の向きをベクトルを使って表現するわけです。

空気抵抗力の向きは「速度 $\forall \text{vec}\{v\}$ と逆向き」なので、「 $-\forall \text{vec}\{v\} \times \text{係数}$ 」と逆符号がつきます。

重力の向きは「重力加速度 $\forall \text{vec}\{g\}$ と同じ向き」なので、「 $+\forall \text{vec}\{g\} \times \text{係数}$ 」とプラス符号です。

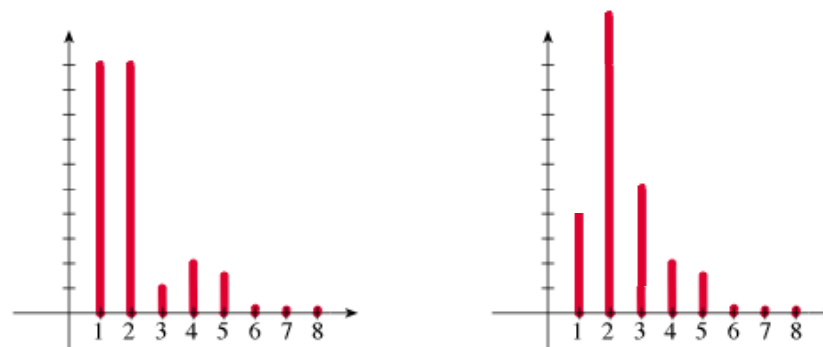
(オンデマンド講義での質問回答例)

【アナウンス】 良い質問をいただいた場合、成績に加味します。
積極的に質問してください。「質問すること」自体を、レポートの一部とした

質問: ある既存の波をそれとは別の2つ以上の波で表現する(例えば $\sin(x)$ を $\sin(x)$ とは違う2つ以上の波を重ねて表現する)ようなことも可能ですか? (Eさん・特に良い質問です!)

誰の質問か明記、褒める

- これはフーリエ展開、フーリエ変換の本質に関わっています。実はこのようなことは三角関数の性質上、不可能なのです。例えば、 $\sin(x)$ を $\sin(2x)$ と $\sin(3x)$ の重ね合わせで表すことはできません。
- もしそれができるのであれば、左図のスペクトルは右図のようにも書くことができしまい、スペクトルが1つに定まらなくなってしまうますが、実際はそのようなことにはなりません。



【結論に代えて】質問の活性化を図った結果

上記回答への補足や、気付いたこと、授業に関する意見があれば書いてください。

質問などしっかり対応してもらえよかったです。

さすがに対面じゃないときついところがあった。本当に自分が物理学科なのか疑問に感じる。

オンライン授業だったがメールなどで質問すると早く解答が返ってきたので良かった。

毎回演習問題の解説を丁寧にしてくださり、質問もしやすい雰囲気、授業に関する連絡もまめにしてくださっていたので、オンラインでも安心して授業を受けることができました。毎回の演習課題は個人的には講義で扱った内容よりは難しいと感じて、ひとりで理解するのは厳しかったです。資料中に時々ある雑談がおもしろく、ぜひ対面で授業を受けているとお話を聞きたかったなと思いますが、オンラインでも毎週楽しみにしている講義でした。ありがとうございました。

問題の難易度は少し高めを感じました。ですが別スライドでヒントを用意してくれたり、翌週の授業で解答のポイントが簡潔に述べられていて手厚いフィードバックを受けました。

先生の説明はわかりやすかったし、質問をいつでも聞いてくれるので、かなり学習しやすかったと思います。今回の基幹物理学ⅠAが坂口先生の担当で良かったです。ありがとうございました。

【結論に代えて】質問の活性化を図った結果

上記回答への補足や、気付いたこと、授業に関する意見があれば書いてください。

質問などしっかり対応してもらえよかったです。

- 「どんなことを聞いても良い」、「必ず答えてくれる」、「ちゃんと自分のことを見てもらっている」、という信頼関係の構築を目指した。
- 教員個人と学生一人一人が対話している、という感覚をなるべく多くの学生に与えることを重視した。
- 特に社会の連帯感や大学への帰属意識の薄れつつある状況下においては、講義の本来の価値に改めて目を向けることも重要。

先生の説明はわかりやすかったし、質問をいつでも聞いてくれるので、かなり学習しやすかったと思います。今回の基幹物理学ⅠAが坂口先生の担当で良かったです。ありがとうございました。

おまけ：オンライン講義での質問に関して気づいた点

- 様々なパスを用意したことのメリット
 - 何が質問の障壁か、どう聞きたいか、は学生ごとにスタイルが異なる。
 - 口頭ですぐに聞きたい or 時間をかけて問題を解きながら聞きたい
 - 実名でも構わない or **同級生に内緒で後からこっそり質問したい**
 - 様々なパス → 質問の回数が昨年度までと比べて**倍増**
- 質問内容の共有
 - 従来は個別に質問に答えていた → Moodleで全質問/回答を共有
 - 学生の不安「クラスメイトの学びの状況がわからず不安だ(47%)」に対して、多少なりとも効果？
 - 授業アンケートの結果：

学生側から質問を受け付けておられて、またそれに対して先生がお答えになる授業で学生側から出る質問は身の回りに関するものがきつと多かったと思うので他の学生の質問でも興味深いと思うことが度々ありました。ありがとうございました。

スライドに音声がついていたので、ただ資料を読むだけの授業よりも面白かった。他の受講生の質問から自分にはない考え方を得ることもできた。

まとめ

- TAの協力や、iPad+Apple Pencil、Moodle、自作スクリプトなどを用いて、対面式の演習の内容を損なわずにオンライン化
 - 演習課題に関する質問を引き出し、学生との信頼関係を構築、質問をさらに活性化させる、というサイクルを回すことに努めた
 - 学生の大学への帰属意識が希薄になりつつある中で、人と人との間の生のコミュニケーションの感覚を重視した。
 - 個々人を相手にするので労力はかかるが、やはり必要なことと考える。
 - オンライン授業ならではのメリット
 - 質問のできる様々なパスを用意 → ハードルを下げ、質問数が増加
 - 質問・回答を全体に共有 → クラスメイト間の学びの交流
 - 内容を後で聞き返えして学習し直せる
- ※一方、対面を望む声は一定数あり