

生命科学の学生向けの物理学の教科書とアクティブラーニング教材の作成

高須昌子¹⁾、石飛昌光²⁾、森河良太³⁾、宮川毅⁴⁾

1. はじめに

私たちは、2018年から2019年にかけて、生命科学の学生向けの物理学の教科書[1]と、それに付随するアクティブラーニングの教材を製作した。その経緯や工夫した点を本稿にまとめる。これから教科書を書かれる方々のご参考になれば幸いである。

2. 教科書執筆のきっかけ

2017年に東京化学同人から『基礎講義 遺伝子工学 I』[2]が出版された。アクティブラーニングにも対応していて、好評であったため、他の科目の教科書の出版も決まった。そのような経緯から、「物理学」の教科書についても、「生命科学の学生向けに」そして「アクティブラーニングの教材をつける」という方向でスタートした。2022年1月現在、「基礎講義」シリーズは全部で6冊出版されている(図1)。



図1 「基礎講義 アクティブラーニングにも対応」の6冊の教科書(東京化学同人)

3. 教科書製作の進行

生命科学を学ぶ学生を対象とした教科書であるため、生化学が専門の井上英史教授(生命科学部)が監修することになった。東京薬科大学生命科学部の物理系の講義・実習を担当している4名が執筆者に決まった。執筆当初の物理系科目の担当は、次のようなものであった。

- a) 物理学：高須
- b) 物理系実習：森河、宮川
- c) 初等物理学：石飛

なお、a)、b)は教職指定科目である。c)は高校で物理未履修の学生向けの自由履修科目であり、卒業単位には含まれない。

図2は教科書プロジェクトの進行である。2018年5月から、執筆者4名、監修者、出版社の方々の計7名で、約1か月ごとに編集会議を開催して内容の議論を行った。

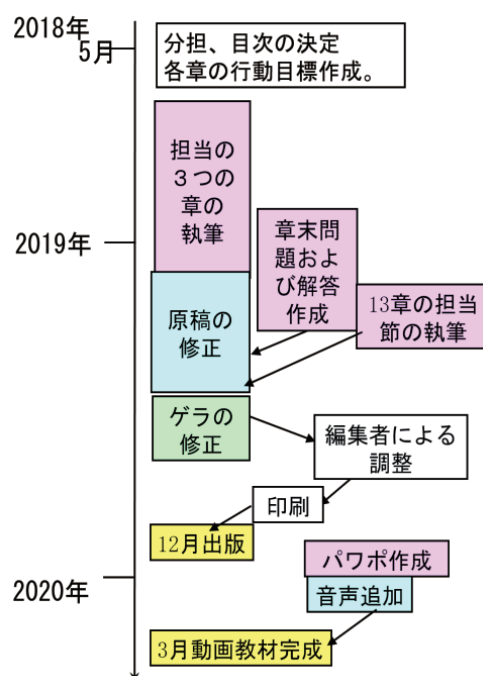


図2 教科書プロジェクトの進行

- 1) 生命科学部生命物理科学研究室
- 2) 住友化学株式会社 先端材料開発研究所
- 3) 情報教育研究センター(生命科学部生命物理科学研究室)
- 4) 生命科学部生命物理科学研究室(2020年4月まで)

4. 教科書の構成

本教科書は図 3 のように 13 章から構成されている。

章の中の構成は次の通りである。

1) 章の冒頭に「行動目標」を 3 個程度掲載した。たとえば、「速度と加速度を説明できる」のように、シラバスにも使える表現にした。

2) 各節の最後に「まとめ」を数個記載した。たとえば、1・2 節のまとめは、

「速度は変位の時間変化を表す」「加速度は速度の時間変化を表す」の 2 点である。

3) 本文中に「例題」と「復習」を掲載した。章末には「演習問題」と「応用問題」を出題した。応用問題は、「〇〇について議論しなさい」のように、アクティブラーニングにも対応できる形式で出題した。例題、復習問題、演習問題のすべてに解答を付けた。

4) 物理で使う数学は、巻末にまとめるのではなく、学生の目に留まりやすいように、章の中でコラムとして掲載した。

5) 発展的な内容を、コラムとして掲載した。たとえば、第 2 章のコラム「ネアンデルタール人とホモ・サピエンス」では、物理学を考古学に応用した例を述べている。

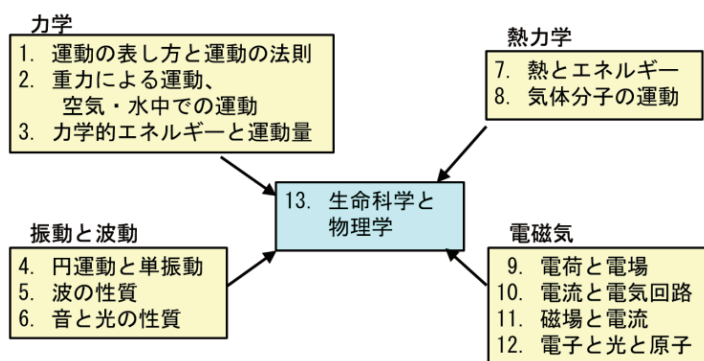


図 3 教科書の章構成

5. 生命科学の学生向けの内容

この教科書は、生命科学の学生向けに次のような内容にした。

1) 最後の第 13 章「生命科学と物理」において、生命科学の実験手法に関係した 4 つのテーマについて解説した。「ゲル透過クロマトグラフィー」「質量分析」「光ピンセット」「蛍光によるバイオイメーjing」である。

2) 第 13 章以外の章の本文においても、生命科学の重要な項目について解説した。たとえば、第 9 章の「細胞における膜電位とコンデンサー」、第 10 章の「神経伝達における膜電位の等価回路モデル」があげられる。

3) 章末の応用問題において、物理学を使って生命科学を考える問題も出題した。たとえば、第 1 章の応用問題では、重力の大きさが現在の地球の重力の 2 分の 1、または 2 倍である天体において、もし人間に近い知能の生物がいるとしたら、現在の人類とどのように違うかを考える。

4) 本文や練習問題において、通常の物理学の教科書なら「物体」あるいは「質点」とするような所で、具体的な生物を題材にした。

- ・ウサギとカメ：速度、加速度
- ・ウサギのみ：運動量、円運動を横から見る、レンズの実像と虚像
- ・クモの糸：糸の張力
- ・カブトムシ 2 匹が押し合っている：作用・反作用

- ・ハムスターの回し車：回転
- ・カエルが水に飛び込む：波
- ・タマムシ：光

6. わかりやすくする工夫

生命科学部の学生は、高校のときに物理を履修していない人が多い。そのため、物理未履修者にもわかるように努力した。さらに、高校の数学や物理で履修していない内容も含めることとした。たとえば、「ベクトルの微分」は高校の数学では学習しないので、第1章の数学コラムに入れた。

また前節4)に書いた生物の例だけでなく、他にも下記のような身近な材料を写真で掲載するようにした。

- ・消しゴムを押す：作用点を変えたときの運動の違い
- ・ペンを引っ張る：力のつりあい
- ・みかんを指で押す：作用・反作用
- ・ビー玉：慣性の法則
- ・ランニングシューズの裏：摩擦力
- ・リンゴを手の上にのせる：静止していると仕事はしない
- ・テニスボールとピンポン玉：反発係数
- ・ねじ：右ねじの向きを示す

7. アクティブラーニング教材の作成

教科書の原稿が確定した後、動画教材を作成した。この動画は、図4(a)のように、授業で議論するアクティブラーニングの予習にも使えるし、図4(b)のように、通常の講義の予習復習にも使うことができる。

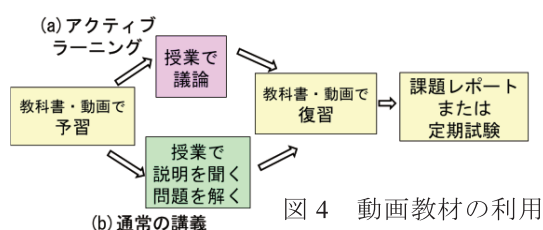


図4 動画教材の利用

動画作成は、「パワーポイント（音声なし）を作る」「パワーポイントに音声を録音する」の2段階である。

教科書の本文は赤と黒の2色印刷だが、パワーポイント（パワポ）には必要に応じて他の色を加えた。パワポに音声を録音する際には、パワポの機能である「スライドショーの記録」を使った。この方法は、パワポの各ページに音声録音されるので、ページごとに録音のやり直しができる。そのため、1ページだけの別ファイルを作成し、録音してから、元のパワポファイルにページを加えればよい。

音声を加えた後で、パワポの機能である「エクスポート」で動画（MP4形式）に変換した。3分の話で10MB程度のファイルになる。話す人は映らない。

教科書は2019年12月に出版された。教材が出来上がり公開されたのは2020年3月であった。偶然にも、新型コロナウイルスが流行し、日本中の大学がオンライン授業に移行せざるを得なくなった時期である。

8. 授業での教科書の利用

この教科書は現在、東京薬科大学以外の大学でも採用されている。ここでは、東京薬科大学生命科学部での利用について述べる。なお 2021 年度の履修登録者は物理学が 224 名、初等物理学が 58 名であった。

8.1 物理学（高須担当）

物理学の講義[3]では教科書を随時参照した。また、課題レポートにおいて、教科書の動画を視聴して、面白かったこと、学んだこと、わからなかったことといった感想を書いてもらった。さらに、教科書の問題を解いて、レポートとして提出してもらった。教科書にあるアクティブラーニング用の応用問題に関しては、任意課題として、追加点が出ることにした。

本学生命科学部では 2020 年 4 月入学の 1 年生から、新しいカリキュラムとなった。生命科学部には 3 学科あるが、そのうち 2 学科で物理学が必修、1 学科で選択になった。2021 年度入学の 1 年生のうちプレースメントテストを受けた 200 名に関して、高校における科目履修率を図 5 に示した。学生の自己申告のため、実際の履修と少し違う可能性はあるが、大体の傾向はわかる。このような 1 年生の、教科書や動画に関する感想を紹介する。

<教科書>

- ・物理初心者の自分でも、とても分かりやすい内容、流れであると思った。
- ・消しゴムや靴などの、日常生活で使われている物を使って説明してあるのでわかりやすかった。

<図>

- ・グラフや図、写真などがあり、イメージが湧きやすかった。
- ・ウサギやカメがたくさん出ていて、いやされました。
- ・教科書に図がたくさんあっていて、問題が分からなくても解答や解説や図を見ることで、理解することができた。

<動画>

- ・教科書で理解したつもりでしたが、動画を見てみると理解できていなかった所が明確になりました。
- ・微分があまり得意ではないのですが、動画を見て、わかりやすかったので理解できました。
- ・教科書と動画を両方見ることで、同じことを 2 回学び、頭によく入ってきました。
- ・ビデオを見ても、読んで解決しない所は解決しないと思った。先生に質問が一番いいと思いました。

<他の科目との関連>

- ・今まで、科目ごとに境目を作って学習していたが、数学や生物、文系科目の社会まで、物理の視点で分析できるのが面白いと思った。
- ・数学で習ったスカラーや、化学で習った SI 単位が出てきて、物理学は様々な科目とつながりがあり、驚きました。

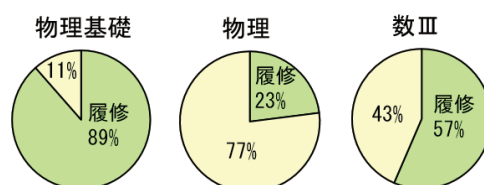


図 5 高校科目の履修率。2021 年 4 月入学の 1 年生でプレースメントテストを受けた 200 名の回答より

- ・物を持ち上げたり動かしたりするときに力が働いているのを感じていたが、生体内で水やタンパク質などにも力が働いているという教科書の導入を読んで、初めて生物と物理の関係を感じた。
- ・摩擦力が人体と深くかかわっていて、物理が生物と関係していることに興味を持った。
- ・抵抗やコンデンサーは人体と関係がないと思っていたが、細胞膜に関係していることを知り驚いた。
- ・小学生から使用している顕微鏡にも物理の考え方が使用されていることが面白いと思った。

<内容面>

- ・テニスや野球などスポーツを例にした説明が多かったので、わかりやすかった。
- ・数学が好きなので、伏線を回収する場面に出会うと思わず声が出ることもありました。
- ・ベクトルで表す理由がわかってきました。
- ・高校物理ではただ公式を覚えているだけだったので、大学の物理で公式までの証明がわかり、興味深いと思いました。

動画を教科書につけることにより、理解しやすくなっているようである。また教科書は、図や写真が好評であった。教科書と動画の両方を使ってもわからない点については、授業でフォローする必要がある。

8.2 初等物理学（石飛担当）

初等物理学は1年生の希望者、特に物理学になじみのない学生、苦手意識がある学生を対象として開講されている。初等物理学では、「物理学になじむ」ことを講義の目的として掲げている。難しいことはなるべく取り去って、「感覚的」に物理学を知ってもらうという「難題」に取り組んでいる。

2021年度より、『基礎講義 物理学』を利用した講義をしている。基本的には自作の説明資料を使いながら、要所要所で本書を利用している。本書では、意識的に写真や図を多用して、物理学への親しみやすさを醸し出そうとしている。たとえば「力」を視覚的に理解するために、カブトムシ同士が押し合う写真を挿入している。初等物理学の講義ではこれを力士同士の押し合いの写真に替えて学生に見せている。どちらも「力」という点での共通した現象であることを理解してもらいたいからである。この項目について、受講生からの感想の一部を紹介（一部修正）する。

- ・運動方程式や力のつりあい、等加速運動などの実際の写真を使った説明はとてもわかりやすかったです。力というテーマで学習しましたが、力とはどういうものなのか理解をすることができました。イラストや図があることで理解がより深められたと思います。
- ・力について何となくのイメージしかありませんでした。先生の力の説明を聞き、ハッキリとしたイメージができ、理解することができました。
- ・相撲ではいろんな方向の力が働いているのがわかりやすかったです。重力に対する抗力が後ろに踏ん張っている足に沿っているのはなるほどと思いました。

また、慣性力を説明するために、本書ではエレベータに乗ったときの現象を取り上げた。さらに講義では電車に乗ったときのつり革の動きを動画で見せた。ともに加速するときに見かけの力を感じるが、鉛直方向と水平方向の違いだけで同じ現象であることを説明した。書籍には載せられない

動画を使うことで、より実感として理解が進んだように感じた。この項目について、受講生からの感想の一部を紹介（一部修正）する。

- ・慣性力のところは、見る人（立場）が違っていると異なる式が立ったり、別の運動に見えたりするところが不思議だなと思いました。
- ・普段からエレベータに乗っている時などに「あ、これ今慣性の法則が働いている」など意識できたらきっともっと物理が楽しくなるんだろうなと思います。

初等物理学の講義での本書の利用状況を報告した。これで、すべての学生の物理学への苦手意識を払しょくできたわけではないが、物理学に対して前向きになった学生がいることもわかる。その生の声を紹介してこの節を閉じる。

- ・自分は物理が苦手だったのですが、授業を通して苦手を克服できるように取り組みました。改めて受けてみるとこんな内容あったのかと忘れていた内容にも気づけたし、今まで学んでいなかった内容にも触れることができてよかったです。これからも物理に関して自分なりに学んでいきたいと思います。

9. 教科書執筆の感想

この教科書執筆に当たっては、チームとして月 1 回程度集まって議論したことが大いに助けになった。自分の原稿について、この会議で得られたコメントを元に修正した。物理学科出身の著者 4 名だけでなく、生化学が専門である監修者、化学を専攻した編集者によるコメントが大変役立った。たとえば、第 13 章の生物学における測定技術は、監修者の提案による。この会議では物理や生物に関する議論がいろいろ出て、毎回楽しみであった。

各自の執筆は 1 冊の約 4 分の 1 であったが、教材作成も含めると、かなりの時間を費やした。教科書を書くことが決まってから動画完成まで、1 年 10 か月かかった。他の仕事の合間に時間を作るのが大変だった。

10. おわりに

教科書を作成する過程を本稿でまとめた。今後教科書を書かれる方の参考になれば幸いである。東京化学同人編集部の井野未央子様、渡邊真央様、平田悠美子様、並びに監修者の井上英史教授に大変お世話になりました。お礼申し上げます。

参考文献

- [1] 井上英史監修、石飛昌光、高須昌子、宮川毅、森河良太 著『基礎講義 物理学 -アクティブラーニングにも対応』、東京化学同人（2019）。
- [2] 山岸明彦、『基礎講義 遺伝子工学 I アクティブラーニングにも対応』 東京化学同人（2017）。
- [3] 高須昌子、大学の物理教育.19 (2013)52-55.

連絡先 E-mail: takasu@toyaku.ac.jp