

動画を用いた CD-ROM 版電子テキストの試み - 文系のための物理 -

小野寺 彰^{1)*}, 細川 敏幸²⁾

¹⁾北海道大学大学院理学研究科, ²⁾北海道大学高等教育機能開発総合センター

CD-ROM Electronic Textbook with Movies; Physics for Non-Scientists

Akira Onodera^{1)**} and Toshiyuki Hosokawa²⁾

¹⁾Graduate School of Science, ²⁾Center for Research and Development in Higher Education,
all in Hokkaido University

Abstract An electronic textbook titled as "Physics for Non-Scientists" was produced as a trial. This textbook was compiled on a CD-ROM and includes some movies of motions of body, which can work on computers such as macintosh and IBM PC/AT compatible machine. This will be very helpful for students in non-scientific courses to understand fundamental ideas of classical and modern physics.

(Received on March 18, 1999)

1. はじめに

高校の学習要領改訂に伴って顕著になった「理科離れ」現象は、大学初年度教育に大きな変革の必要性を提示することになった(鶴岡他 1996)。現在、高校では「理科」は物理、化学、生物、地学などから二教科の選択することになっている。これは、高校生の適性と授業負荷の軽減を目的にしてあったものであるが、現実には大学受験対応体制に組み込まれ、本来の趣旨とは乖離したものになっている。このため、理工系にもかかわらず大学専門教育に必要な科目を履修

していない学生の増加という問題の他に、文系に入学した学生の多くはきわめて不十分な理科教育、つまり、「中学の理科」の教育しか受けていないという状況に至っている。

最近の学生は、良い意味でも悪い意味でも視覚的であるように思われる。小さいときから、そばで絶えず TV がついていた世代で、むしろ、TV の幼児番組や子供番組が育てた世代と言える。授業も講義を耳で聴き黒板に書かれた文章をノートに書きながらイマジネーションをふくらましていた我々の世代と違い、好意的に解釈すれば、より視覚的、空間的な認識

*) 連絡先: 060-0810 札幌市北区北 10 条西 8 丁目 北海道大学大学院理学研究科

**) Correspondence: Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, JAPAN

力があるようにみえる。20世紀に科学は大きく進展した。最近文芸春秋誌に発表された立花隆の論文(1999)によれば、今世紀はサイエンスの急成長によって起きた知識爆発の時代と認識されている。その影響は経済、社会活動にも大きく及んだ。しかし、21世紀を迎えるにあたって、その根本たる科学教育は時代の要請に応えられるのであろうか?これは、何も理工系学生だけではなく、むしろ深刻なのは、文系の学生の科学知識への関心、興味の低さにある。高等教育機関である大学における教養教育として、どのように21世紀を担うにたりの教育ができるかということが問題になる。そのひとつの視点として、動画を含んだ電子テキストを試作したので紹介する。これは1998年、99年におこなった文系学生のための物理学入門、「自然の構造 - ニュートンの林檎から量子力学まで -」の講義をもとにしたものである。

2. CD-ROM化テキストの試み

2.1 なぜCD-ROM化か?

物理学の分野は、大きく分類すると「力学」、「波動・熱」、「電磁気学」、「現代物理学」に分類される。上述の講義では、そのすべてを限られた時間で網羅することはとてもできないので、力学と現代物理学の基本である量子力学にしばらく、その基本的な考え方が、誰によって、どのように進展してきたのか、を話の中心にして述べることにした。しかしながら、我々とはとすると、事象を定量化し、論理の展開は数式に集約し、イメージよりも数式で理解するほうが分かりやすい傾向をもつ、あるいは、そのような訓練をしていると言った方が良い。そのような手法は、我々教える立場の側からすると、とても身近な教授法であるのだが、学生にとっては、物理学を敬遠する最大の理由でもある。なるべく数式を使わずに、図や映像を見て感性に訴えるところを始まりとして話を展開するという授業は、積み上げ式の学問である物理の授業としては実際のところ、なかなか大変なことである。一方、力学の基本である「運動の法則」は、微分方程式だけで理解するよりも、実験をするか、実際の現象の「動画」を見た方が、はるかに分かりやすいであろうことは、想像にかたくない。このような考えをもとに、せいぜい文章と図が載っているこれまでの教科書のスタイルではなく、動画を含んだ電子テキストの可能性を考えてみた。とくに、最近ではコンピュータ

が普及し、学生が自前のコンピュータを持っているか、あるいは、大学で比較的簡単に利用できる環境にある場合が多い。当初、インターネットを利用した講義を考えたこともあるが、ネットを利用する環境は、まだ学生にはそれほど整備されていないこともあり、CD-ROM化を考えることにした。最近のコンピュータには、ほとんどの場合、CD-ROMドライブが搭載され、容易にCD-ROMが利用可能になっている。将来的には、DVD-ROMやインターネットをつかったインタラクティブな利用に発展すると予想される。

2.2 動く教科書

これまで教科書といえば文章と図が中心であった。興味がある場合は別にして、その無機的な記述は、ときとして良い睡眠剤になったものである。さて、21世紀を目前にして、最近のコンピュータ技術を使うと動画を含んだパソコン教科書が可能になる。ここでは、「エキスパンド・ブック」とよばれるソフトを使い、教科書を試作した。例えば、「物体の落下」のセクションでは、マウスでクリックすると教科書の一部の画面が動いて、「鳥の羽根」と「鉄球」が空気中と、真空中でどのように落下するかを見ることができ。さらに、アポロ15号のスコット宇宙飛行士が月面上でおこなった歴史的な「羽根とハンマーの落下実験」を瞬時にして見ることができ。

コンピュータの専門家でない我々の試作CDは、最近のすばらしいアニメーションで展開するゲームに比べると、「電子紙芝居」の域であるが、今後、このような教科書が増えていくと予想される。さらに、大学内だけの利用法だけでなく、大学を中心とした中学、高校生向けのサービス、時間的に制約が大きいと思われる社会人教育(生涯教育)への利用も可能である。リベラル・アーツ用の "Hokkaido University CD-Lecture Series" の展開も考えられる。

2.3 CD-ROM化の実際

電子テキストの構想は2年前から始まり、器材の検討、講義テキストの準備をすすめ、この半年で図や絵の作成、収集、それに合わせた文章の検討を行った。実際、一番時間がかかるのは、メモ形式の講義ノートを、コンピュータ画面1ページに合わせて文章を直す作業である。画面1ページは1行36字14行程度にまとめなければならない。何ページにもわたって、論理を展開するのは、コンピュータ上での理

解を難しくする。また、ワープロのように、画面にピシッリ書くことができるにしても、それではそれを読む方は大変である。また、図はドローソフトで描くにしても、説得力のある絵や映像を自分たちで作るのは難しく、現在の段階では、既存のものを利用させていただいたものが多い。勿論今後、著作権の問題等深刻に考えなければならない。使用したコンピュータなどの器材は次にまとめてある。

ハードウェア

Macintosh 8500 (112 Mb RAM, 2 Gb HDD)
640 Mb MO Drive
Zip Drive (100 Mb)
CD-R Drive
8 mm Video Camera
Scanner

ソフトウェア

ExpandedBook
Graphic Convertor
Fusion Recorder

図はコンピュータで描いたものやスキャナーで取り込んだもので、一枚最大 2.5 Mb、最小 39 kb 程度である。109 枚の図で約 26 Mb、文章自体は 11 Mb で、動画を含まなければ、せいぜい、37 Mb である。本試作品の場合、起動ソフトウェアも含め、45 Mb であった。CD-ROM は 640 Mb の容量を持っているので、残りの約 600 Mb が動画に使用できる容量である。今回の場合、1 分の動画で約 16 Mb であり、単純計算すると、約 39 分程度の動画を収録できる。運動している物体の動画はせいぜい、一つ 1 分程度であるから、再生するコンピュータの負荷を考えなければ、これは十分な容量である。将来的にはコンピュータの速度、とくに映像関係は高速化が飛躍的に進むと予想されているので、この点は大きな障害にはならないであろう。できあがったテキストは、付属の読み出し専用ソフトによりマッキントッシュでもウィンドウズでも読むことができる。

3. テキストの内容

物理学が「自然についての知識」の学問とすると、エジプトや中国の太古の時代から、人類はそれなり

の英知をもっていたといえる。しかし、本 CD で紹介するのはギリシャやヨーロッパで発展した、いわゆる西洋に源を発する「科学」である。アリストテレスなどのギリシャの哲人は、自然は整然とした法則にしたがっているとして、体系的に理解しようとした。16 世紀、ガリレオはいろいろな法則を実験的証拠により検証するという近代科学の手法を切り開いたし、ニュートンは、ガリレオやそれまでの先人の成果を整理、体系化した。人類の誕生から、本当に長い歴史をへて、17 世紀、ニュートンの登場によって、はじめて「自然のあり方」をよりよく理解できるようになったのである。

一方、完成された学問と見られた物理学は、19 世紀末になると、ニュートン力学では理解できないような現象が見い出されるようになった。そのひとつが黒体輻射の問題であり、原子がどのような構造であるのか、という問題である。これを解明するなかから、量子力学が生まれた。この問題を扱ったプランクによる論文が 20 世紀へのクリスマスプレゼントといわれる。科学技術の世紀といわれる 20 世紀の現代物理学は、この量子力学に基礎をおいているからである。ガリレオからニュートンをへて、量子力学へたどる道は、心おどりと、わくわくするもっとも興味をそそる物理の歴史である。現代に生きる我々にとって、自然の摂理がこのようになっているのだということを知っていただきたいというのが本 CD の主題であり、以下はテキストの目次である。

はじめに

第 1 章 古典力学の世界 (図 1)

運動の法則

- 物はどのように動くのか？なぜ動くのだろうか？ -

- 1.1 りんごは落ちるのになぜ、月は落ちないのか？
- 1.2 力学ことはじめ (図 2)
- 1.3 先駆者ベネデッチの考え
- 1.4 ガリレオ・ガリレーが登場した (図 3)
- 1.5 落体を支配する法則とは？
- 1.6 でも実際は抵抗があるのでしょ？

2.1 放物体の運動 (図 4)

- 2.2 水平方向の運動
- 2.3 鉛直力向の運動



図 1. 古典力学の世界表紙

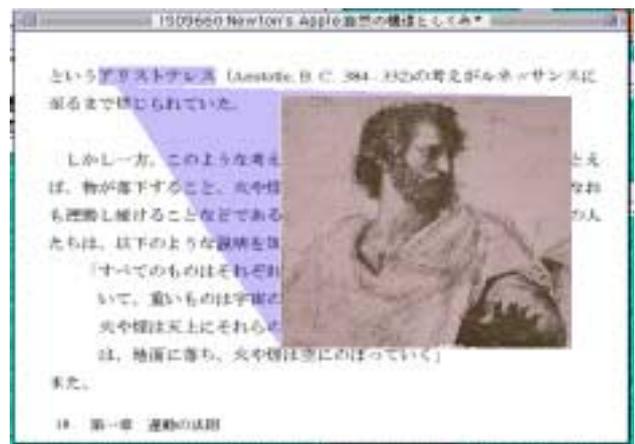


図 2. 第一章運動の法則からアリストテレス

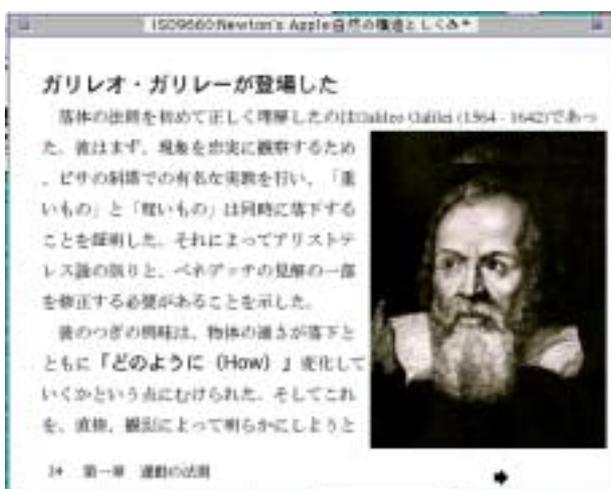


図 3. 第一章運動の法則からガリレオ

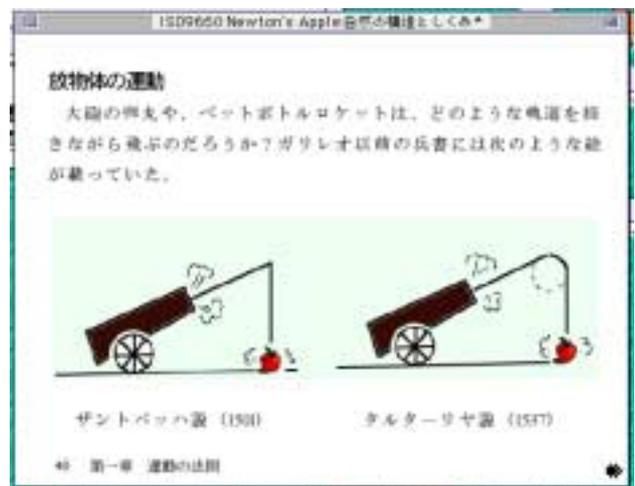


図 4. 第一章運動の法則から放物体の運動



図5. 量子力学の世界から表紙



図6. 量子力学の世界からパウリ

2.4 物を投げ上げる

- 3.1 天空の完全な運動と考えられた回転運動は？
- 3.2 回転運動の加速度
- 3.3 糸の長さが同じで回転スピードの違う場合
- 3.4 回転スピードが同じで糸の長さの違う場合

- 4.1 ついにニュートンが登場した
- 4.2 ケプラーの法則から万有引力の法則へ
- 4.3 月が落ちないわけ
- 4.4 でも、りんごが落ちる理由は？
- 4.5 アレキサンダーを驚かした潮の干満
- 4.6 でも、なぜ万有引力がはたらくの？

- 5.1 エネルギーは保存する？
- 5.2 エネルギーの保存則
- 5.3 力学エネルギーの表現
- 5.4 仕事って、物理の話なの？
- 5.5 水平方向にする仕事は？
- 5.6 摩擦があると便利？それとも不便？
- 5.7 ロケットは飛んだ！

第II章 量子力学の世界 (図5)

- 6.1 古典力学の破綻
- 6.2 量子の発見
- 6.3 光は波である
- 6.4 しかし、光は粒子であるとアインシュタインも言った！
- 6.5 光は二重人格？
- 6.6 ド・ブロイの電子の波
- 6.7 不確定性原理:位置と運動量を同時に決められない！

- 7.1 物質のしくみ
- 7.2 原子の構造を解く鍵
- 7.3 原子の内部構造
- 7.4 ボーアの原子論
- 7.5 原子を決める整数は？
- 7.6 パウリが管理する原子アパート (図6)

- 8.1 量子力学の基本運動方程式は？
- 8.2 運命決程論の世界から確率論的世界へ
- 8.3 現代の物質観は？

9.1 21世紀へ向けて：我々の生活と物理学 - エネル

ギ -

9.2 日本のエネルギー

9.3 エネルギー

9.4 光合成

9.5 太陽電池?

9.6 原子力エネルギー

9.7 これからのエネルギー

また、この試作版に用いた動画は以下のとおりである。

鉄球と羽根の真空落下実験

アポロ 15 号が月で行った落下実験

ガリレオの斜面の実験のアニメーション

毛利さんの宇宙授業の一部

波の干渉実験

4. まとめ

ここで作成された CD-ROM 版テキストは多くの利点をもっている。第 1 に新メディアの応用として学生に新鮮な印象を与える。学問の導入時点では、親しみやすさ、理解のしやすさ、新しさ等を含めた第 1 印象がきわめて重要である。つぎに、動きのある現象（このテキストでは運動が相当する）の学習には動画は最適であり、数式のみで表現するよりもさらに理解を深めることができる。また、文字や写真で表現される歴史上の人物よりも、実際に目で動き話す歴史的なムービーは、親しみやすくインパクトが大きい。その学問分野の重要な発見をした人物の映像があれば、それを発見した人物が天の上の人ではなく、生きた人間であることが実感され、学問自体も身近に感じられる。最後に、従来の本とは異なり小部数の出版ができることも大きな利点である。受講生の人数分の CD-ROM があれば、講義には十分である。

しかしながら、実際に制作してみて今後の課題となることも現れてきた。第 1 の問題は、著作権である。特に動画の著作権は写真や文章よりも困難であり、著作権の委譲が簡単にかつ安価にできることが、このテキストを制作する際の要件である。自前で、動画を作成することも考えられるが、一朝一夕にはいかないと思われる。実験装置を自作し、良質のムービーとして仕上げるためには、テキスト作成以上の労力が要求されるであろう。

別の形態として、Web と接続したインタラティブ

な展開が考えられる。実際に米国の中等教育の教科書(本)にはホームページアドレスを組み込むことが予定されており、特定の画像や動画をホームページで見ることができるように仕組むことになる。WWW 上で Java アプリレットを利用すると、単なる動画だけではなく、アニメーションをプログラムすることも可能である。そうすると、例えば、学生が初期値を設定して、それに対応する物体の動きを見せることができるようになる。いわば、仮想実験室を開くことができるわけである。将来、このような技術が一般化される可能性は大きい。

5. 最後に

日本は映像機器、コンピュータなどの情報機器、デジタルビデオディスク (DVD) などを世界中に輸出し、機器製造のハード面ではトップクラスである。しかし、残念ながらソフト面は非常に遅れている。教育教材も優れたものが少なく、外国製のものに一步も二歩も譲っている。たしかに優秀で便利な機器を提供する事も大切であるが、世界にむけた文化貢献という面でも優れたビデオ教材をどう作っていくかは今後の大事なポイントのひとつである。21 世紀は映像の時代といわれ、今後多方面にわたり、もちろん教育も含めて、ますます視覚的な情報の展開、活用が重要になると思われる。ここで紹介した CD-ROM 版電子テキストは、多少の努力が必要なものの、自前で制作できる。勿論、ムービーの著作権などの難しい問題もあるし、自前で良質のムービーを作るのは殆ど困難なこともある。しかし、これまで蓄積された各先生方の講義ノートを是非、このような形に展開させ、将来的には、北海道大学高等教育センター CD-ROM Electronic Textbook シリーズを作れないものであろうか？

参考文献

- 立花隆 (1999), 『二〇世紀知の爆発』, 「文芸春秋二月号」, 94-116
- 鶴岡森昭, 永田敏夫, 細川敏幸, 小野寺彰 (1996), 「大学・高校理科教育の危機 高校における理科離れの実状」, 『高等教育ジャーナル 高等教育と生涯学習』 1, 105-115