

新しい初習物理学授業の展開

四方 周輔*

北海道東海大学教育開発研究センター

A New Physics Course for Beginners

Shusuke Yomo**

Research Institute for Higher Education Programs, Hokkaido Tokai University

Abstract A new course design has been developed for introductory physics in colleges. Instead of deploying calculus-based physics, demonstration experiments recorded with digital video camera were placed at the center of class development and combined with numeric quizzes related to daily-life physics. With the help of a colorful text book, computer simulation, and video tapes, the method succeeded in gaining the students' attention and satisfaction in learning physics.

(Revised on February 18, 2004)

1. はじめに

高校から大学への進学率の増加に伴い、大学の入学者の学力・学習態度などが最近急速に変化している。また、受験の際の理科の選択において大きな自由度があると同時に、推薦入試、AO入試などの導入拡大に伴い理科の筆記試験を経ないで理工系学部に入学者が増加している。さらに根本的な問題として、高校で理科の選択の自由度が大きく、理系進学を目指しても2科目程度しか履修しない生徒の数が圧倒的である。このような中で物理学は履修者が少ない方に属している。そのため当初我々は高校での履修の有無や習熟度をもとにクラス分けをし、従来の大学の教養程度の物理学教科書をもとに易しく教える工夫をしてきた。しかし、なかなか教員の

思うようについて来てもらえなかったのが実情である。そこで我々は、「大学に来て初めて物理学を学習する」という観点をもとに、抜本的に授業のやり方を変える試みをした。それは、デモンストレーション実験を一つの軸とし、日常的な題材の演習問題を組みあわせることで物理現象への興味を引き出し、実践的な取り組みの学習の中で物理現象の法則性を浮き彫りにしていく、というものである。2001年度から段階的に進めてきたものであるが(四方2002, 四方・木場2003), その内容を紹介したい。

2. 受講生の状況 - 診断的評価

受講生が実際どのような状況にあるかをアンケート調査とプレースメントテスト(物理学と数学の常識テ

*) 連絡先 : 005-8601 札幌市南区南沢5条1丁目1-1 北海道東海大学教育開発研究センター

**) Correspondence: Research Institute for Higher Education Programs, Hokkaido Tokai University, Sapporo 005-8601, JAPAN

スト) をもとにして調べた。

2.1 アンケート調査

アンケート調査は、基礎実験履修希望調査の時のアンケート、物理学講義のクラス分けテスト、物理学実験のガイダンス時アンケートをとった際にいくつか関連する設問を入れて行った。最初に図1に示すように、工学部のほぼ全学生を対象に高校で履修した理科科目を調べた。工学部ではあるが半分の学生しか高校で物理学を履修していないのわかる。図には表していないが、学科別に見ると情報システム学科に物理の履修者が多い。それでも物理IBを履修しているのは80%程度である。物理IIの履修者はその半分である。他の海洋環境学科や生物工学科は化学系・生物系の分野が多いこともあって物理の履修者は少なく、全体の物理学履修者の比率を下げる要因になったと思われる。しかしながら、工学部であることから必然的に精密科学としての物理学の素養は必要である。専門分野で物理学の計算や実験技術を直接にはほとんど使わないとしても、その考え方、物理

現象への理解、先端的な計測機器の原理と操作への慣れなど、バックグラウンドとして必須のものと考えられる。物理学は物理科学としてさまざまな分野への広がりを持つ学問であるから、この分野での「常識」を培うことは、理工系の職業に就く学生にとって重要であろう。また、現代の先端技術の恩恵を受けて生活する上で、一般市民の素養として、また政治経済等のさまざまな分野における政策決定過程における判断能力を高める上でもますます必要とされるであろう。

ともあれ高校での物理の履修率が低いことを考慮すると、本学ではまず入門としての「物理学」が必要であろう。数年前までは、高校で物理を履修してこなくても「やさしく」教えるから大丈夫である、段階を追って教えれば十分やっていけるとして、簡潔で美しい法則をもとにそれでいかにいろいろな現象が説明できるかを、数式を中心に教えてきた。また、広い分野を学習するより、限られた分野でも物理学の考え方をつかめる方が重要、と考えて授業を組んできた。しかしながら、現実の学生はそれについて来られ

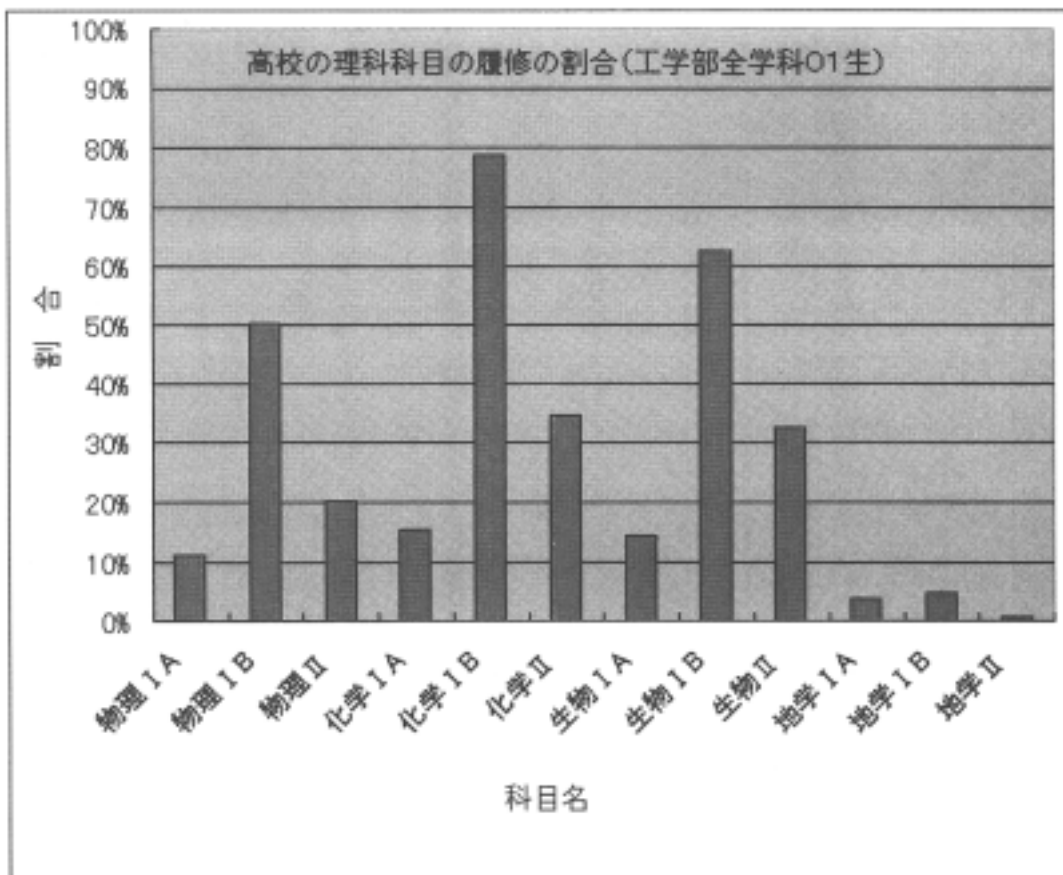


図1. 高校での理科科目の履修状況(2001年度工学部に対する調査、工学部は情報システム学科、海洋環境学科、生物工学科からなる)

なくなっており、また法則どころか現象の把握もままならないように思える。

2.2 物理学と数学の常識度

表1には物理分野の問題だけを示しているが、このような問題を使ってある秋学期(2001年度)の物理学の履修者に対して授業のクラス分けの時に常識度の調査をした。その結果図2のような正答率を得た。物理分野の常識ではトランスについて極端に理解が足りない。トランスは高校では物理IIで出てくるのでそのせいかも知れない。その他は音の高さと振動数の関連についての理解が足りないが、まあまあなの所かなと思われる。しかし、できれば100%に近い正答率を期待したいところである。数学については非常に悪い。問題の中身は、関数のグラフ、関数の微分、積分、ベクトルの内積に関したものである。関数として取り上げたのは1次式、2次式、三角関数、指数関数などの基本的なものである。グラフでは三角関数が苦手である。微分では、逆数 $1/x$ の微分ができない。三角関数の微分も $\sin x$ はできても $\sin(2x+1)$ となると正解が半減する。ベクトルの内積も相当に悪い。

このような数学の状況を見ると、物理の法則について数式をベースにした教え方をすることの無意味さが明らかになる。大学の数学の基礎の授業でこれらをマスターしてからでないとい、この教え方での理解は無理であろう。さもないならば我々が従来行ってきたように、数学の物理現象へのあてはめ方を逐一練習しながらゆっくり進む方法になろう。これはこれで一つのアプローチではあるが、時間数のことを考えると物理現象を幅広く理解してもらうには適切ではない。別の授業と組んだ方が良く、本学では「数理科学」という科目でその役割を果たすべく数年間試みられてきた。他方、ここ数年間筆者が担当した授業は、習熟度別の「物理学(週2コマ・1セメスター)」のクラスの中で習熟度の低い方のクラスであり、初めて習うまたは習った経験があっても理解が非常に悪い学生相手の「初習物理学」にあたる。一般に物理学分野の言葉としては数式とグラフが不可欠である。しかしながら上記のような受講生のバックグラウンドを考慮して、数式の中でも積分を使う部分、つまり微分方程式を解くということをやめることにした。微分方程式は出てきても良いが、定性的な議論から期待される関数をあてはめて満たされることを確認

表1. クラス分けのためのアンケートと小テスト (小テスト部分の物理関係のみ)

B. 物理

以下の問題に答えてください。選択問題は、正解を丸で囲んでください。

- (1) あなたが知っている物理学者の名前を一人だけあげてください。また、その人は物理のどんなことに関係が深いですか？(名前: _____ 関係深いこと: _____)
- (2) 質量1 kgの鉄球がある。これを水につけると、質量は、 増える 減る 変わらない
- (3) 水1リットルを凍らせると、氷の体積は水の時と比べて、 増える 減る 変わらない
- (4) 高い声と低い声の違いは何によるものですか？以下の語群から最も関係の深い用語を選んでください。
回折 干渉 共鳴 屈折 振動数 振幅
- (5) 電気について、以下の文中の正しい用語を選んでください。
 - (a) 家庭用コンセント2つの電極の間にかかっている電圧は{ 直流 交流 電流 }である。
 - (b) 乾電池の両極の間にかかっている電圧は{ 直流 交流 電流 }である。
 - (c) トランスは、鉄心に導線を巻いて作られている。トランスを使って容易に電圧を変えることができるのは { 直流 交流 電流 }である。
- (6) 一直線上を運動する物体が時間 t の間に距離 x 進んだ。この物体の平均の早さ v を t と x の式であらわしてください。($v =$ _____)

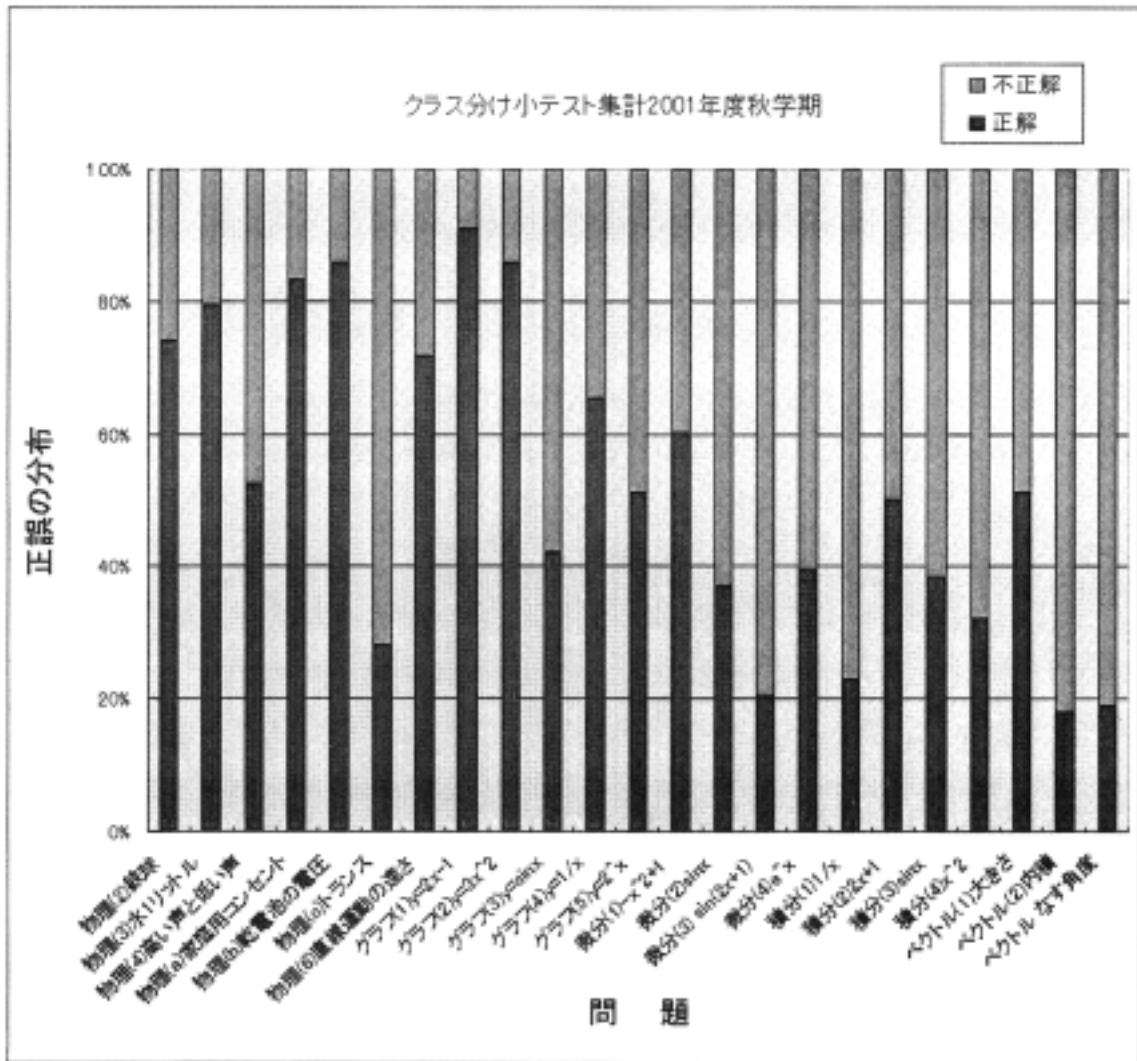


図2. 物理学と数学の常識度 (2001年度秋学期, 物理学履修者)

する程度にして、「解く」ということはあえて行わない。その代わりにグラフによる問題の考察を多用することで数量的な理解を深める。

3. デモ実験などの活用

物理学のような科目は内容の理解にいたるバリアーが高い。このような分野の学習に取り組んでもらうには単に「やさしく」教えるだけでは充分ではなく、「おもしろく」学習できる工夫が必要である(四方2002, 福原2001)。そのためにこの初習者向けのクラスでは、教材提示の技術・手法での工夫と、合計26回位ある授業全体の内容の工夫と、両方が必要であると考へた。基本的に重要なのは教科書である。微分

方程式を解かないで進める物理学を扱った教科書は米国には多くあり、また多くのカラー図版を使って学生の興味を引きつける工夫が施されている。日本でも最近このような教科書が出てきているが、本全体が簡潔すぎて授業以外に一人で読んでもある程度理解していくのには向いていない。また、費用の問題であろうがフル・カラー刷りの本はほとんどない。我々が採用したのは米国の教科書の内比較的薄い教科書の翻訳本である。シップマン(Shipman, 1998)の書いたもので原本は化学, 天文学, 地球科学を含む物理学全体をカバーしているが、そのうち物理学に範囲を絞って翻訳したものである。

ここでは教科書以外の教材提示の手法の一つとしてデモンストレーション実験(デモ実験)の活用と、

学習の流れの新しい構成方法を紹介したい。

3.1 デモ実験を見せるための道具立て

多数の学生を前にして実験をするとき、従来はできるだけ大きな装置を利用して遠くの学生にも見えるようにする必要があった。また教室も階段教室のような構造が必要であった。しかし最近のマルチメディア機器の進歩によりこの問題が解決されるようになった。それはビデオカメラとそれを映すモニターテレビ、またはプロジェクターとスクリーンの組み合わせである(図3,4)。カメラも小型化されることにより、教卓上での小さな装置での実験も撮影できるようになった。接写レンズまたは接写機能を持つデジタルカメラを使うことで、数cmの大きさのものを画面一杯に映し出すことができ、迫力満点である。またデジタルのカメラを使用することで映像の処理が容易になる。デモ実験の映像そのものを編集することで、ビデオ教材または静止画像教材として別の授業で活用したりウェブ教材とすることもできる。副産物としては、授業の最初から最後まで映像と音声を残せるので、必要なときには授業の反省材料としても利用できる。

3.2 デモ実験 - 定性的な理解

デモ実験として取り上げたテーマは次のようなも

のがある。

- ・物体の慣性
- ・エネルギー保存の実験「ボールの大倉ジャンツェ(ジャンプ台)」
- ・角運動量保存の法則と回転の速さ
- ・レーザー光の複スリットによる干渉像
- ・電荷の間に働く力(検電器)
- ・電荷(静電気)が水におよぼす力(図5)
- ・電子スピンは磁場を生み出す(日本で発明された世界最強の磁石(Nd-B-Fe))(図6)
- ・電流は磁場を生み出す(コイルに流れる電流と磁針)
- ・磁束の変化は電流(電場)を生み出す(磁束変化と誘導起電力)(図7)
- ・超伝導は内部の磁束を排除する(酸化物高温超伝導体による磁石の浮揚実験)
- ・磁場は電流を動かす(ローレンツ力)

電磁気関係の実験には、直流電源として普通の乾電池以外に自動車のバッテリーも用意して瞬間的に大きな電流を流せるようにした。これで電流に働く磁場の力や電流間の力による動きなどもデモ実験として見せることができた。電流間の力などについて、米国のデモ実験フィルムを20年くらい前に見て、そ

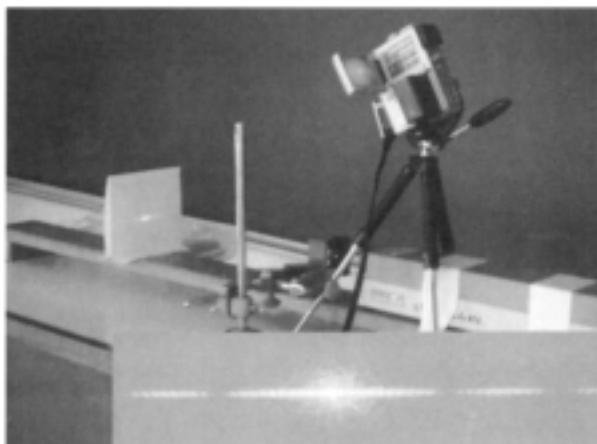


図3. 小型のデジタルビデオカメラは必須
(レーザー光の複スリットによる干渉像の実験)



図4. 学生の見えるモニターTV(レーザー光の複スリットによる干渉像の実験, 99人教室に6台)

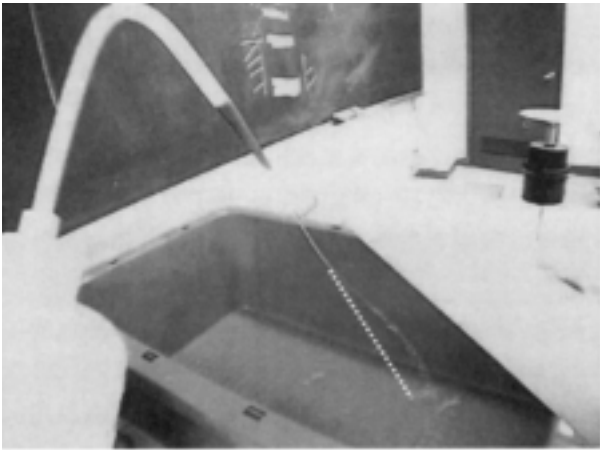


図5 身近なものを使う(摩擦で帯電した掃除機のノズル(右側の白い部分)が水流を引き寄せる)



図6. 学ぶ中にも遊び心(世界最強のNd-B-Fe 磁石が手のひらの両側にある(円内))

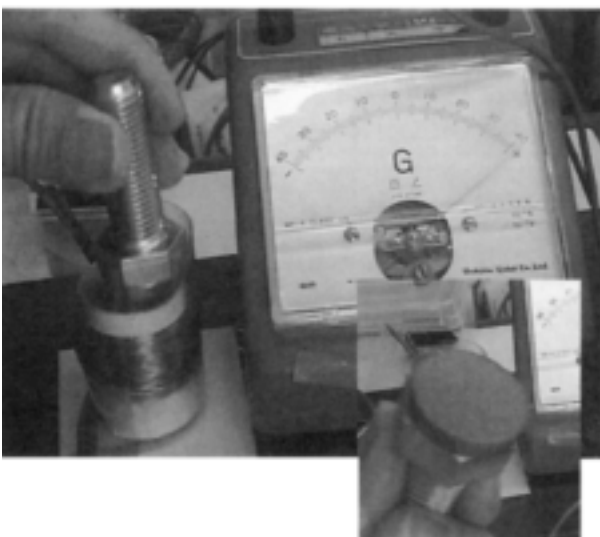


図7 Nd-B-Fe 磁石をつけたボルトをコイルに急速に近づけると大きな誘導電流が流れる



図8. 移動台車(右側)と教卓上のセッティング(電磁気の実験)

のフィルムを授業で使ったことがある。この実験をしているのは部屋一杯の大がかりな装置であった。しかし我々がやってみると図8のような教卓上載るような道具立てだけでできることがわかり、これは一寸した驚きであった。永久磁石を使った磁場の実験は、最近Nd-B-Feの強力な磁石が手軽に手に入るようになったため簡単に準備ができる。ただし、磁石の力が強いので、2つの磁石が近くにあると指を挟んで怪我をする危険があり注意が必要である。

デモ実験をする授業はこのように全体で10回程度である。90分の授業の中では、簡単なものでは10分程度で終わるが多くは30分程度である。その前後に黒板での図示や式・計算による説明を十分にすることが必要である。この説明が十分でないとデモ実験の効果がないように思われる。

3.3 デモ実験ではできないこと

教室でのデモ実験ではなかなかできないことがある。マクロな運動の代表としての惑星の運動やミクロな世界の電子の波動性・粒子性などである。後者の電子について、ミクロとマクロの両方で活躍する光の波動性・粒子性と対比して映像化したビデオ(NHK, 1991)と、電子顕微鏡による画像をOHPにしたものなどを使って説明している。このビデオ教材は後述するアンケートでわかるように学生への評判がよい。また、振動の実験も見せることはできても定

量的に数値化・グラフ化することが難しい。そのためパソコンによるシミュレーション(Interactive Physics II, 1992)を見せて、次節に説明するような定量的な検討の材料としている。このシミュレーションでは惑星の運動なども表示できるので、今後取り入れていきたい。

3.4 デモ実験,シミュレーション,演習問題と定量的理解

物理現象に興味を持ってもらうためには、上述のデモ実験などは大変効果がある。しかし、それだけでは精密科学としての物理学を学習したことにはならない。「おもしろい」ことを「アカデミックに」理解する道を用意する必要がある(四方2002)。そのためには数式,グラフで記述でき、数値で具体化できなければならない。これを体験できるように、次の2例のような授業を実行してみた。

- ・「ボールの大倉山ジャンプ」の実験での計算による予測と実測値の比較：これは前述の図9のデモ実験で、その計算を黒板で行い到達距離を実測値と比較する。力学的エネルギー保存則から発射時の速さを計算し、それをもとに到達距離を計算する。数式での説明は実験の前に行う。斜面上のスタート地点の高さや発射地点の高さなどをその場で測定し数値を学生に与える。学生の一人に測ら



図9. 定量的な実験も大事(エネルギー保存を確かめる実験(ボールの大倉山ジャンプ))

せても良い。これをもとに学生は到達距離を計算する。実験は3種類の質量のボール(ボールベアリング)で行う。到達距離は計算値と実測値で1割から2割もの差が出る。実験方法から考えると差が大きくて当然なのだが、ホームワークとしてこの原因を探る考察をさせ、次の授業時間でその講評をしてより深い考え方に到達できるようにする。

- ・パソコンによる「ばねによる振動」のシミュレーション実験：これはシミュレーションソフト(Interactive Physics II, 1992)を使用して、滑らかな床の上におかれた重りがばねで振動する様子を教室のモニター画面上に映す。質量やばね定数を変化させたときの振動の様子の変化が非常にわかりやすい。そのときの、重りの位置、速度の成分などがグラフと数値で表示される。あらかじめ教員がこれらの数値も表示されている各瞬間の画面のハードコピーを作り、学生はそれが印刷された表をデータとして与えられる。それをもとに運動エネルギー、位置エネルギーを計算していくことで、力学的エネルギーが保存されていることを確認できる。シミュレーションしているのだから当たり前ではあるが、このプロセスでグラフから読

み取る物理量(ばね定数)もあり演習としては大変役に立つ。発展段階としては、摩擦力も入れて減衰振動にすることもできる。このようにデモ実験はできても測定しにくい物理量があるとき、シミュレーションの助けを受け擬似的に実験を体験するとともに、数値で出ることから定量的な確認もできる。

- ・演習問題：定量的な把握をする訓練として、シップマンの教科書(Shipman, 1998)の演習問題をホームワークとして出している。これはなかなか学生に役に立つようであり、数値計算以外に身近な現象に関する誤解を気づかせるのに役立つ問題も多くある。ホームワークが何かは毎回配付する授業シラバスに予め記述しておく。

3.5 体験実験

授業の最後の方の回に全員が自分で実験をする機会を作った。場所は物理実験室を使っている。テーマとしては道具立てが簡単で大量に用意しやすいものが適しており、今のところ「クリップモーター」を取り上げている。自分で工作からしなければならぬため不器用な学生は授業の最後になってもうまくいかないときがある。作業のプロセスは大いに楽しん

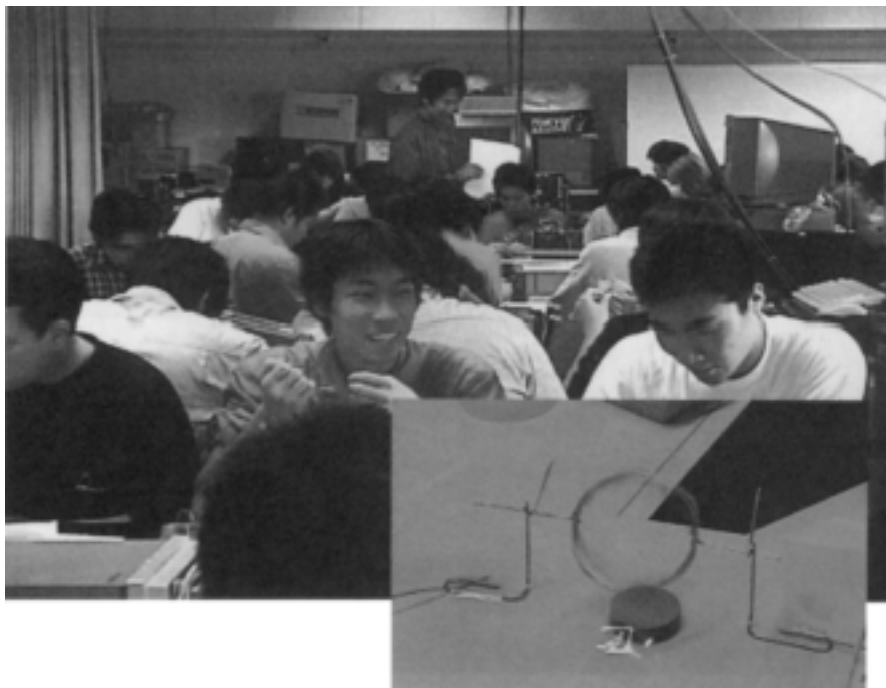


図10 自ら電磁気の実験をしてみる(物理実験室へ行ってクリップモーターの作成)

でいるようで、この授業の目的にはかなっていない(図10)。しかし、試験でこのクリップモーターでの電流と力の関係を図示させたりする問題を出すと、多くの学生が自分で説明できるほどには理解できていないのがわかる。一方、他大学でデモ実験だけでなく体験実験も数多く入れて授業を組む例があり、筆者が知っているのは東京理科大学の授業である(加納誠ほか, 2003)。ここでは3人一組でプラスチックボックスに入った実験キットを使って普通の講義室の机の上で簡単な実験を体験しながら学習している。これは準備が大変かも知れないが、数人の教員・技術職員などチームで担当できれば可能と思われる。費用の問題もある。東京理科大学ではこの授業だけの教材費を別途徴収しているようである。

4. シラバスと授業のアプローチ

全体のシラバスはホームページに載る。各々の授業の最初にはその日のより詳しいシラバス(A4判1枚)を配付する(四方・木場, 2003)。授業は Semester 完結で週に2コマ(1コマは90分)なので、試験を除けば合計26回程度の授業になる。間に中間試験を挟むことを考慮し、4つのステップに分けている。

第1ステップ：第1週から第3週

- ・微小なミクロの世界から宇宙規模のマクロな世界へ；
- ・測定と物理量；数式とグラフ；運動の表し方

第2ステップ：第4週から第6週

- ・力，運動の法則，運動量と角運動量

第3ステップ：第7週から第9週

- ・エネルギーと仕事，振動と波動，光と電子の粒子性と波動性

第4ステップ：第10週から第13週

- ・電磁気現象とその法則，電子と電流，物質の中の電子の動きを確かめよう

以前のシラバスでは法則の単純さ，美しさを発見していくことに主眼がおかれていた。習熟度の高い物理学のクラスでは今もある程度そのパターンを踏襲している。しかし初習者向けのこのクラスでは次のように少し違うアプローチを試みた。

- (1) 最初に「物」ありき：なぜなら「物」理だから，学生が対象を常に意識できるようにする。
- (2) 法則を神様にしない：数式で表現すると簡潔で美しいが，その計算のやっかひさととらわれて現象をなかなかつかめないのでは困る。
- (3) 対象の物のイメージをできるだけつかめるようにする：この方が法則への興味を持ってもらえるのではないか？
- (4) 代表的な「物」を設定する：
 - (a) マクロな世界の「物」とニュートンの運動方程式
 - ・ボール(「ボールの大倉シャンツェ」の実験のボールベアリング)
 - ・地球と太陽
 - ・人工衛星
 - (b) ミクロな世界の「物」と電磁気
 - ・電子
 - ・光

これらの「物」に関して，質量，大きさなどの大体の「寸法」を覚えてもらう。もちろん光のように形ある寸法とか質量を与えられないものもある。電子のように質量や電荷は決められても大きさは定義しにくいものもある。しかし定義できる量について特徴的なものを一度は学生に暗記してもらう。暗記の程度は，数値のオーダーと単位が正確であるという要求にとどめる。上記のシラバスの第1のステップで表記の仕方を含めてこのようなことに慣れてから，第2のステップの運動の話と第4のステップの電磁気の話へ進める。運動と電磁気で共通の概念の一つに，エネルギーがある。それを第3のステップで両方の「物」を題材にしながら学習する。特に電磁気分野では，電流や電位が出てきても，物質の中の実体としては何が重要な物なのかがわからないまま話が進みやすい。そこで，少し一般性を欠くことを覚悟して，電子の動きやエネルギーに注目できるように，第3ステップから粒子性/波動性の2重の性質の理解を含めつつ進むことにする。ここでは電磁波も光の一種である，または逆に光やX線も電磁波の一つであるとの理解をさせながら進めていく。

このような流れで欠けているのが，多粒子の集合系の物理である。例えば，熱学とか統計力学，また流体系，固体系などがある。熱学などは入門の物理としても重要なものとは思うが，別の科目として組むこ

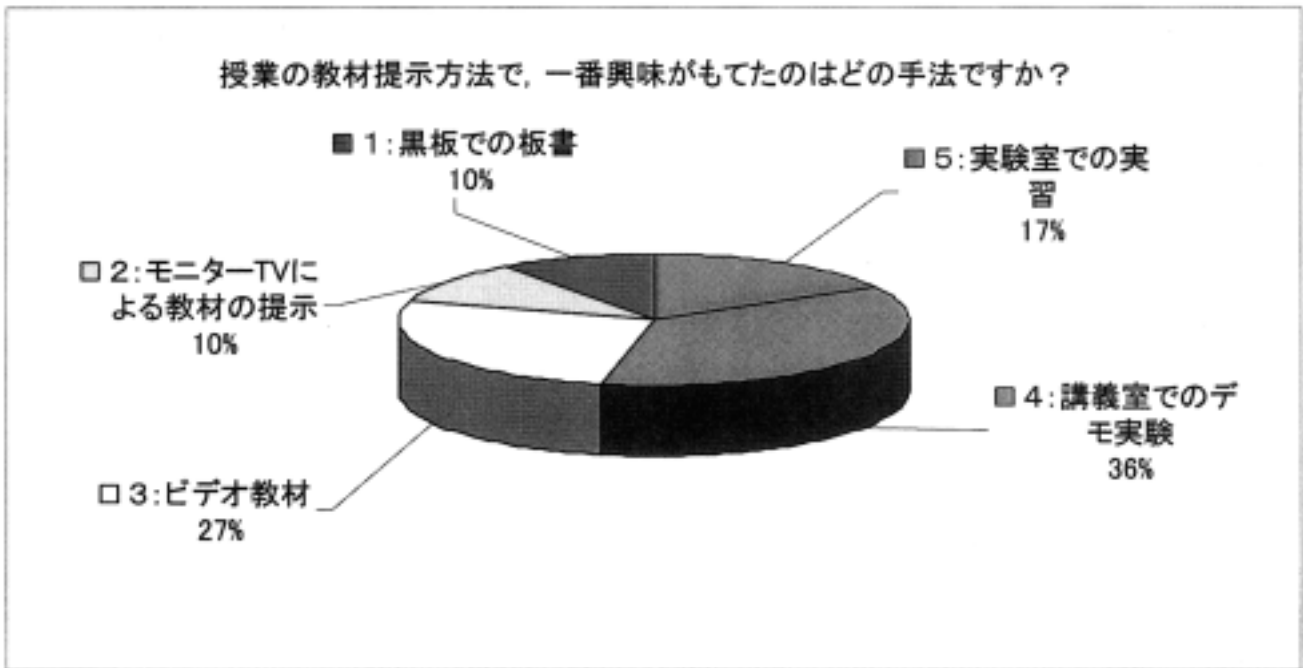


図 11. 教材提示の方法と興味付け

とを提案したい。入門を通った次のレベルの「物理学」の一つとしても良い。

5. 受講生の反応 - 授業評価

セメスター終了時の受講生にとったアンケートから、反応を探ってみた。毎回の授業シラバスについては、もしかしたら親切の押し売り、という気がしたが、7割以上の受講生がその役割を認めている。これは意外な結果であった。同時にホームワークの内容について、どの様な問題が一番勉強になったかの設問では、8割以上が教科書の演習問題から選んだものが役に立ったと答えている。数式だけの学習でなく、日常的な状況での数値を入れて考える問題が多いのが良いのではないと思われる。このようなことを通じて定量的に物事を考えていく習慣ができるのが望まれる。

「おもしろさ」をいかに出すかの工夫について、どの教材提示方法が良いかを聞いた結果が、図11である。現場で見る実験が一番効果的であるようだ。「興味を持たせた方法」と別に「理解しやすい方法」の設問

も用意した。理解のしやすさでは、ビデオ教材、実習、デモ実験の順であった。ビデオ教材はマルチメディアのプロの作品であるから当然かも知れない。デモ実験もやってみるだけでなく、プレゼンテーションにおける演出面でプラスアルファの何かが必要かも知れない。

一方、分野別に興味について聞いたのが図12である。最初の2001年度は、電磁気分野に50%が一番の興味を示した(四方 2002)。これはデモ実験を取り入れたのが電磁気分野だけだったためと思われる。ところが翌年度のこのアンケートでは、デモ実験分野は少し増えただけであるが図12のように「興味」に関して電磁気分野は減って、仕事とエネルギー分野がトップで、振動・波動・光・電子分野が次である。さらに「理解度」の高い分野を聞いた設問では、仕事とエネルギーが理解度の高い第1の分野として46%を占めた。これは非常に興味深い。この分野で一番時間をとったのは、「ボールの大倉シャンツェ」のエネルギー保存の実験とそのデータ解析である。さらに、シミュレーションでも面倒な計算のホームワークを出している。これは、デモ実験を見る

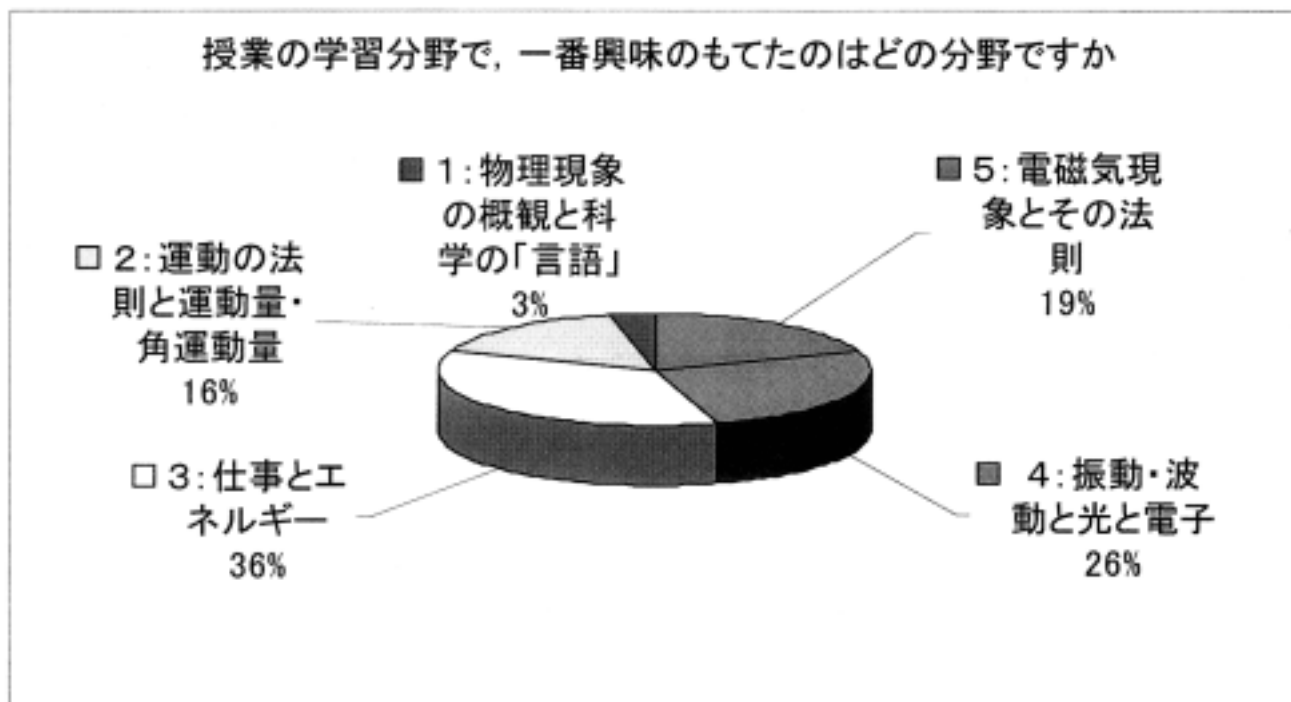


図 12 興味を持った分野

だけでなく、自分で結果の予測やデータの解析・考察をしたように、かなり主体的に参加する場があったからではないかと推測できる。振動・波動・光・電子の分野では「興味」では第2位(26%)であったが「理解度」は第4位(7%)に落ちた。「興味」の点では光と電子についてのビデオ(NHK 1991)や振動のシミュレーション(Interactive Physics II 1992)などが効果を示していたのかも知れない。しかし受講生にとってはかなり目新しいことであり、興味は持ってもらえたがその意味するところの把握や計算・グラフ作成が難しかったかと思われる。

6. まとめと今後の課題

初習者のための物理学のコースを築く試みを示した。デモ実験や実習は興味を引きつける上で有用であった。しかし、理解を深めるには何らかの形で定量的な扱いをする「作業」の場が役に立つこともわかった。今後とも「おもしろさ」と「アカデミックさ」を兼ね備えた内容を工夫していきたい。このようにいろいろな手法を取り込んだ授業は週2コマであった

から可能であった。2004年度から新しいカリキュラムが始まるが、この習熟度の低い方の「物理学」(週2コマ4単位)を「物理学入門」として開講することを提案した。しかしながら週2コマは認められず週1コマの授業になってしまい、3年間試みたこのような形態の授業の実施が難しくなったのが残念である。

参考文献

福原義春(2001),『部下がついてくる人』,日本経済新聞社 p.160
 加納誠,鈴木清光,五十嵐靖則,古屋東一郎,宇田川茂雄,塚本浩司,梅田洋一(2003),「学生とともに創る講義実験。-東京理科大学の講義実験の変遷,「-講義実験の実際」,『日本物理学会2003年秋季大会』(岡山市)
 Shipman, J.T. (1998),『新物理学』(勝守寛,吉福康郎訳),学術図書出版社
 四方周輔(2002),「授業を変えよう 物理学編」,『北

北海道東海大学教育開発研究センター所報』, 14 ,
35-41

四方周輔, 木場香 (2003), 「入門レベルの「物理学」
の試行とウェブ・シラバス」, 『北海道東海大学教
育開発研究センター所報』, 15, 117-126

ビデオ・シミュレーション教材

“ Interactive Physics II ”(1992), Knowledge Revolution,

U.S.A.(現在は “ Interactive Physics 2000, ” M.S.C.
Software, Educational Sales Representative,
California, U.S.A., 日本では同じ物は現時点では販
売されていない。多少高額ではあるが対応する
輸入ソフトウェアはある)

NHK (1991), 「NHK スペシャル・アインシュタイ
ン・ロマン (3) 光と闇の迷宮 ~ ミクロの世界」
(テレビ放送録画, 1991 年 6 月 30 日放送)