

# 物理学分野の授業

## 1. 物理学教育の目標と問題点

科学技術が高度・細分化している現代では、学生が、その科学・工学の全般を鮮明にイメージすることは難しくなってきた。しかしながら、多様化している社会において物理学を学ぶことにより、物事の本質を知る能力を身につけ、科学技術に関して的確に、かつ積極的に行動できる学生を育成することは可能である。そのことから物理学教育は、学生に対して科学の各分野の基礎となる物理現象の法則や概念、および未知の世界への知的探求心と各分野で総合的に問題解決できる能力の育成を目標としている。

物理学の教育現場での問題点は、理工系離れによる学生の学力の低下と入試の多様化である。大学に入学してくる学生の物理学や数学の基礎学力が低下している、または、物理学を高校で履修していないために、大学で高校レベルの授業を補習しなければならなくなっている。そのために、教員は正課授業以外の時間帯に補習授業を行うなど、本来行うとしている授業と補習授業との落差に意欲がそがれ、理想とする授業の展開に支障を来している。また、正課授業においても様々な入試や入学目的によって学習目標の多様化が進行しており、物理学に対する知的好奇心の喚起をいかに高められるかという問題がある。

## 2. 授業改善のための IT 活用の意義

物理学に関する学生の基礎学力や意欲は低下傾向にある。このような中で授業の実績をあげるには、高度な知識を分かり易く、かつ学習テーマの本質を理解させるように授業方法を工夫することが必要である。それには、物理学の現象や概念を文字、音声および動画などのマルチメディアを駆使して可視化を行い、さらに、教育現場で実験不可能な現象をコンピュータ上で再現し、検証できるシミュレーションが行えるようにするなど、視覚的かつ直感的に理解できる工夫が必要である。他方、基礎概念や基本法則を学生の理解度に合わせて学習できるようにするため、学生がコンピュータ上で難易度の区別がなされた解説を学習し、学力に即した課題演習やシミュレーション演習を行うなど、CAI教材による授業が欠かせない。また、新しい活用として、インターネットのリンクで構成された物理学講座が開講されている。これは、インターネット上の個々のサイトにある教材をコースウェアに従ってリンクすることにより学習がなされる。リンクによって教材の有効利用や異なるコースウェアの作成が容易になる。これらITを活用することにより、一斉授業では対応が難しい個人個人の学力や理解度の違いに対応した教育を実現することが可能となる。なお、高校レベルの補習を行うためにも、マルチメディアによるCAI教材による自学自習は効果的であり、大学にとって不可欠な学習システムを構築することができる。

## 3. IT 活用の課題

授業でのITの活用は万能ではないことを十分理解した上で、メディアの特徴を利用した授業方法を工夫することが重要である。物理学では、数式により物理現象を表現するが、単に電子教材での数式展開の説明だけでなく、その意味や物理学構成上の展望を丁寧に説明しなければ、理解度の面で効果が薄い。むしろ、黒板に式を書きながら学生の理解に合わせて口頭で説明することが、学生にとって分かり易い授業となる場合もある。さらに、理解を確実にするために、学生

にその場で演習を行う必要もある。教員はこのようなITの可能性と限界を理解した上で、教育現場で利用する技術を研修などで会得する必要がある。

物理学教育において学生の理解力や学力は、毎回の授業内容の蓄積に反映されるので、これを積極的に取り入れたシステムを導入する。授業ごとに、コンピュータを利用した課題を一斉に学生に解かせたり、質問に対する回答を電子メールで行い、その結果を成績評価に反映させる教育システムである。このシステムは、強制的に学習する効果や授業出席および学生の理解度をその場で評価できるなど、フィードバックが可能な教育情報が得られ、IT活用の教育システムとして設けることを提案する。詳細は、本協会の物理学情報教育研究委員会で開発の「Webベースの授業支援システム」として次ページに掲載したので参照されたい。

教材コンテンツの作成は、個々の教員が行うには大変な作業と技術が必要になる。大学に教材作成の支援をする組織、例えば、「教材作成支援センター」を設置し、電子教材などをモジュール化し、格納しておく。その上で授業に必要な教材を、モジュール化した教材データベースから取り出し、組み合わせることで授業に使用することが望まれる。そのためには、支援センターに教育にも精通したコーディネータや技術専門家を配置することが必要となる。

教育現場でのIT活用を推進する啓蒙活動が必要である。教員が学生と対峙して必要に迫られるのではなく、積極的に授業で利用するような仕組みとして、教員のIT活用による授業活動の結果を教育業績として教員評価の対象に含めることが望まれる。

IT教材の大規模な共有システムを構築する必要がある。教員が全ての分野の教材を作成することは困難であるが、各大学の教員が得意とする分野の教材を大学のWebサイトに掲載し、Webサイトの所在リストから教材を利用できるようインターネットリンク集の充実が急がれる。

その際、著作権の問題を明確にする必要がある。この課題を具現化した例として、本委員会が構築した「インターネット物理学のリンク集」を紹介する。

### インターネット物理学のリンク集

Webサイトに公開されている様々な電子教材について、インターネットを介して相互利用することの有効性を見極めるため、実験として委員会のホームページ上にポータルサイト（「インターネット物理学のリンク集」）を置き、物理学の5分野（力学、電磁気学、熱力学、量子力学、物理実験）を対象に、公開されている教材にリンクさせたシステムを構築。コンテンツは、講義ノートや資料、シミュレーション、練習問題などの教育資源があり、リンクによって使用できる。図1は、委員会ホームページにある「実験プロジェクト・物理教材の共有化」のページと、さらにその中にある「インターネット物理学のリンク集」のページである。

情報教育研究委員会  
物理学情報教育研究委員会  
OPEN 教材科目一覧・他情報

### 実験プロジェクト:物理教材の共有化

私立大学情報教育協会・物理学情報教育研究委員会では、次のような情報の提供を計画しています。ネットワーク時代のマルチメディア物理教育を考へ・実現している多くの教育にたずさる方々にとって、これらの情報が役立つことを願っています。

- **インターネット物理学のリンク集**  
既に多くの方がインターネット上に物理教材を公開しています。その中より、大学における物理教育にふさわしい内容のものを網羅していく計画です。
- **授業で活用できるCAI演習問題の例**  
本当の学力を養うには適切な演習問題を解くことが必要です。しかし、作成方法や作成教材があまり明確になっていない状況下、CAI演習問題の公開は非常に稀です。幸い、東海大学工学部での実践例を紹介することができました。
- **物理JAVAシミュレーション(予定)**  
数式にされた物理法則の直観的な理解の上でシミュレーションはいへん有力なCAI教育方法です。動画に比べてネットワーク配信上の負荷が少な、とても大きな長所です。既に、幾つかの公開教材がありますが、体系化されたオリジナル教材を提供したいと計画しています。
- **latex2htmlによる電子教科書の作成**  
既存の教科書や教材を電子化して公開する上では数式の表現が問題となります。数式を得意とする LaTeX で書かれた教材ならば簡単に HTML 化できるツールがあります。latex2html においては数式は画像(Texの美しい数式のまま)に自動変換されます。

図1 「実験プロジェクト・物理教材の共有化」のページ  
<http://www.shijokyo.or.jp/senmon/butsuri/open/index.html>

インターネット物理学のリンク集 分野別のボタンを押すと左下にその索引が表示されます。  
力学1 力学2 電磁気学 熱力学 量子力学 物理実験

目次: 力学1

- 0 概論
- 1 序論
- 2 運動の法則
  - 2.1 運動の基本概念
  - 2.2 ベクトル
  - 2.3 運動学
  - 2.4 力
  - 2.5 力積と運動量
- 3 運動の法則
  - 3.1 慣性の法則
  - 3.2 運動方程式
  - 3.3 作用反作用の法則
  - 3.4 万有引力の法則
  - 3.5 放物運動
  - 3.6 粘性抵抗

力学1

3 運動の法則

- 3.1 慣性の法則
  - 慣性の法則  
教材群: 「力と運動」のスライド講義 東海大学基礎教育系 松浦航
- 3.2 運動方程式
  - ニュートンの力の第二法則  
教材群: 「力と運動」のスライド講義 東海大学基礎教育系 松浦航
  - 微分方程式の数値解法  
教材群: Mathematicaでは微分方程式を数値的に解くための関数DSolveが用意されている。計算はルンゲクッタ法を用いている。奈良教育大学物質情報専修 橋沢保徳
- 3.3 作用反作用の法則
  - 作用反作用の法則  
教材群: 「力と運動」のスライド講義 東海大学基礎教育系 松浦航
- 3.4 万有引力の法則
  - ケプラー  
教材群: 理科教育卒業論文「理科教育におけるコンピュータ活用について」 新潟大学 教育学部
  - 万有引力

「インターネット物理学のリンク集」  
<http://www.shijokyo.or.jp/senmon/butsuri/open/link.html>

リンク集上部のタブをクリックすると各物理学分野を選択できる。また、画面の左側には各章と節を、中央には教材のリンク先を表示してあり、各章や節の表示をクリックすることにより各学習項目に移動する。学生は各学習項目ページ内の教材名と提供者の教材群をクリックすることができる。学生がこのページの教材文字の表示部分をクリックすれば、物理学のリンク先のページにジャンプする。

本リンクシステムは、Webサーバーの中に教材データベースを構築し、必要なデータを蓄積してある。それには教材提供者の氏名やURLが収集されている。委員会は、データの生成から更新および削除までを行うことが可能である。また、Web上でのリンク集は、リンク表示機能を利用して階層を浅くして利用し易く表示されている。リンク集を運用する場合、時間が経過すると提供されているURLが変更になって繋がらない場合も起こる。そのため、データベースの保守が必要となるが、本委員会ではリンク先検索ロボットを開発しており、それを使用することにより、簡単にリンク先の更新を検索して新鮮さを保たせることができる。検索ロボットは、データベースより順次URLを呼び出し、リンク先に接続させる。繋がらない場合はフラッグを立て、保守作業に入る。保守の更新は、1週間に1回程度行っている。

現在、教材開発先とのリンクの拡大を進めている。教材資源の活用は、開発した多数の方の協力と利用者の利用上の倫理が必要である。リンク条件は、ホームページ上に記載してあるが、現在、これらの著作権と使用権等について、当協会で詳細に検討を加えている。

Webサイトによる教育効果測定のための小試験システムの開発が必要となる。共通の小テストによる測定がWebサイトでいつでもどこでも可能になり、教育レベルの設定を統一的に実施できる特徴がある。委員会で小テスト実施などのために構築した「Webベースの授業支援システム」を以下に紹介する。

### Webベースの授業支援システム

このシステムは、学生が事前にネットワーク上で予習できるように、理解度を測るための小テストを設けたもので、講義に関する状況や情報をWebベースで管理し、授業の総合的な支援システムとして運用することが可能である。技術的には、Webサーバー(Apache)+データベース(PostgreSQL)へのアクセスを標準関数として持っているサーバーサイドスクリプト(PHP)という組み合わせにより実現している。従来、この手の管理システムは、個人のプログラミング方針に任せており標準がなかった。例えば、講義に関する予備知識を問うために、予習テストのモジュールを新たに組み込むことも簡単にできる。個人を認証すると、問題が提示され(選択肢の表示がランダムに変わるようにできている)学生が選択した結果はすぐに採点表示されるようになっている(図2)

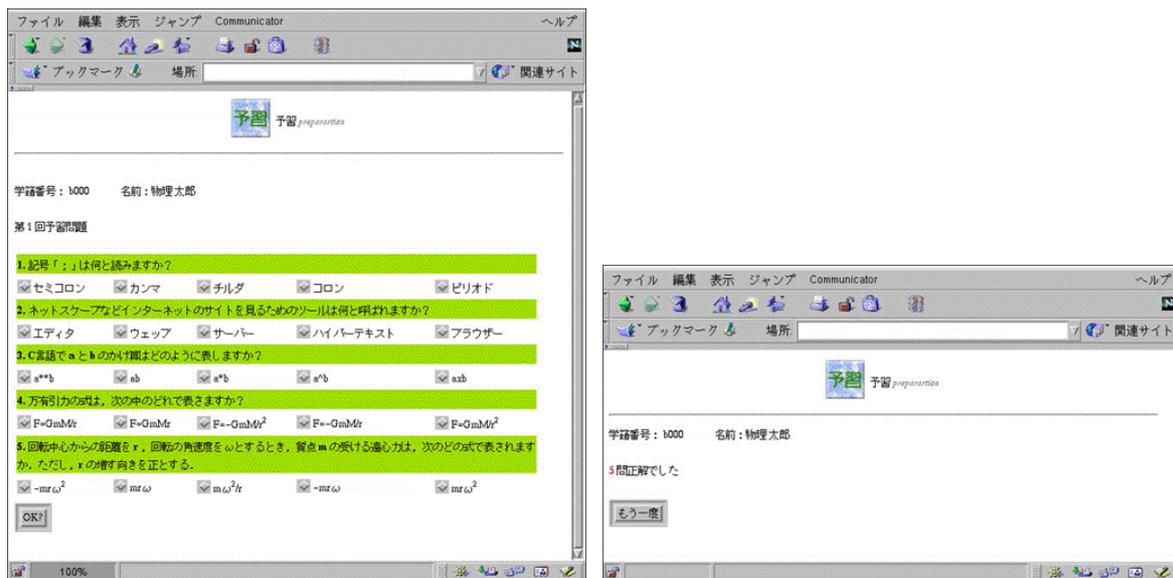


図2 予習問題の提示と採点表示

掲示板(Q & A)や資料集のページもあり、ユーザー認証を行うこともできるため、大変使い勝手がよい。

## 4. ITを活用した授業モデルの設定

ここでは、Webサイトに公開されている教材をリンク集として活用する事例も含め、物理学教育に有用な事例を紹介する。

「**電子テキストによる物理学講義**」は、黒板で授業をしながらマルチメディアを利用する教育方法で、板書やOHPを中心とした授業にパソコンを利用して、電子化した講義テキスト、ビデオ教材やシミュレーションを積極的に用いる授業モデルである。学生の興味を喚起し、学生の反応を見ながら教材提供を行うことができる特徴がある。

「**CAIシステムを用いた個別授業**」は、学習意欲を高め、理解度に合わせた授業を実現するコンピュータを全面的に用いたIT活用授業で、授業内容のレベル調整を選択できる特徴がある。

「**Webサイトを利用した授業**」は、全面的にWebサイトを利用した授業モデルで、教材をWebサイトに公開する。また、委員会が開発した「インターネット物理学のリンク集」等で教材の共有化を利用できるモデルで、いつでも、どこでも学習が行える特徴を持っている。

以上、設定した授業モデルは、既に実施されている事例をとりあげた。これで、すべてが解決されるわけではなく、教室等での実体験の教育など五感を使用した授業と連携することにより、問題解決能力や創造性能力を高めることが可能となる。

以下にITを活用した授業モデルを紹介する。

### IT授業モデルの紹介

## 事例1. 電子テキストによる物理学講義

### 1. 授業のねらい

最近のマイクロコンピュータの飛躍的な進歩に伴い、教育の分野でもコンピュータシミュレーションなどマルチメディアを用いた電子教材が多く開発されつつある。高度な知識を分かり易く、かつ、学習テーマの本質を理解させるように工夫を凝らした教材の開発には、マルチメディアの活用は不可欠と思われる。

ここで用いられる電子テキストは通常のテキスト、図および写真の他に、シミュレーションプログラムやデモンストレーション実験などの様子を写したビデオクリップなどから構成されている。

### 2. ITを活用した授業の概要

主なる授業内容は板書によるテキストや図で行われる。それに加え、電子テキストが利用される。電子テキストには、学生に授業内容をより視覚的かつ直感的に理解させるよう工夫されたメディアが用意されている。電子テキストによる授業を行う場合、最低限、コンピュータとその画面を投影するプロジェクターおよび大画面のスクリーンさえあれば実施可能である。

ここでは、「波の性質」についての授業を題材にIT教材の使用例について説明する。

#### (1) 電子テキストを中心とした「波の重ね合わせの原理」の講義

波動に関する講義は、板書を中心として学生の反応を見ながら行うが、物理現象の臨場感や現感を写真や図などで学生に提示する場合は、電子テキストを利用する。

「波の重ね合わせの原理」の講義を行う場合、講義途中で電子テキストを使用して、二つの波が出会うときの静止画（図3(a)）を示し、波動の重要な性質である「波の独立性と波の重ね合わせの原理」について口頭で解説し、学生にその内容を理解させる。さらに、波動発生機と静止画を利用して、二つの逆向きに進んできた波が出会うとき、波は互いに影響を受けることなく相手をすり抜けて進んでいくことを図3(b)の電子テキストを提示して理解させる。

その後、板書によって波動を表す物理量の振幅、位相および波長を講義し、それらによる二つの波を学生に強調する。さらに、図4に示すシミュレーションを利用して、二つの波が重なり合うときの様子を動的に解説する。学生には、重なり合った二つの波の変位の和が合成波の変位であるという現象を、シミュレーション実験を行って理解させる。

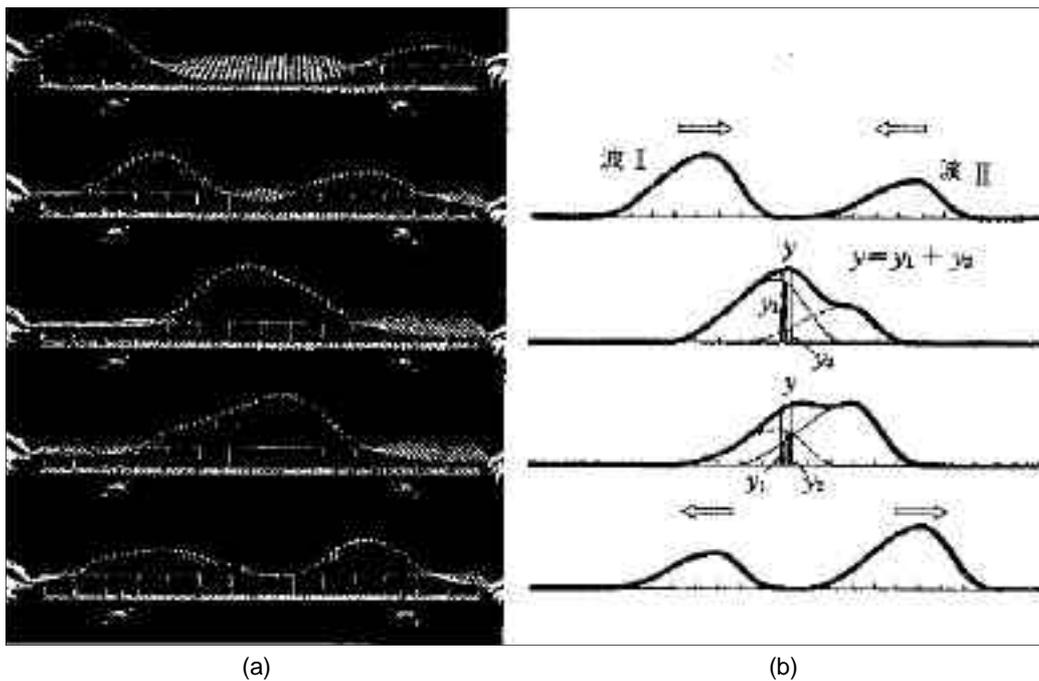


図3 波の独立性と重ね合わせの原理

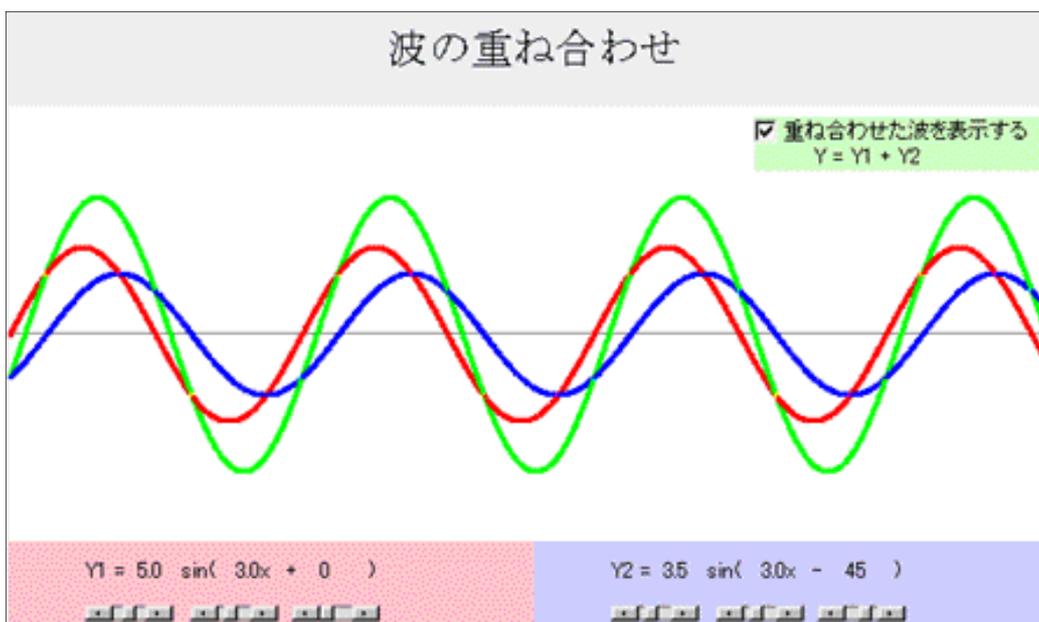


図4 波の重ね合わせのシミュレーション

## (2) 講義で数式展開にシミュレーションを利用

物理的にも工学的にも重要な物理現象である「定常波」について、数式を展開し、数式の持つ意味をシミュレーションを行って理解させるための定常波の教材コンテンツを示す。板書によって「波の重ね合わせの原理」に基づいて、互いに逆向きに進む振幅・周期・波長の等しい二つの波が作る合成波について解説し、式を展開する。シミュレーションによりその合成波は腹と節を持ち、定常波と呼ばれる進行しない波となることを学生に理解させる。

板書によって数式の繋がりを説明しつつ、数式を以下のように展開する。

互いに逆向きに進む振幅・周期・波長の等しい二つの波の重ね合わせについて、 $x$ 軸を正の向きに伝わる進行波を  $y_1$ 、負の向きに伝わる後退波を  $y_2$  とする。これらの波はそれぞれ、

$$y_1(x, t) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y_2(x, t) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$

と表される。そして、これらの波が重なり合ったときの合成波  $y(x, t)$  は、波の重ね合わせの原理より

$$\begin{aligned} y(x, t) &= y_1(x, t) + y_2(x, t) \\ &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \\ &= 2A \cos \left( 2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \sin \left( 2\pi \frac{t}{T} \right) \end{aligned}$$

となる。これは合成波において、原点から距離  $x$  における点が振幅

$$2A \cos \left( 2\pi \frac{x}{\lambda} \right)$$

で振動していることをなどを理解させる。

これらの式の展開は、学生が式の展開についていけるように、ゆっくりと黒板に板書しながら講義していく。学生の反応を見ながら、場合によっては必要な公式の説明や補足的な式の展開も行う。以上の結果を視覚的にも印象づけるために、図5に示すように波の物理量を変化させるとともに数式と定常波の間の関連をシミュレーションで視覚的に見せながら解説し、理解させる。

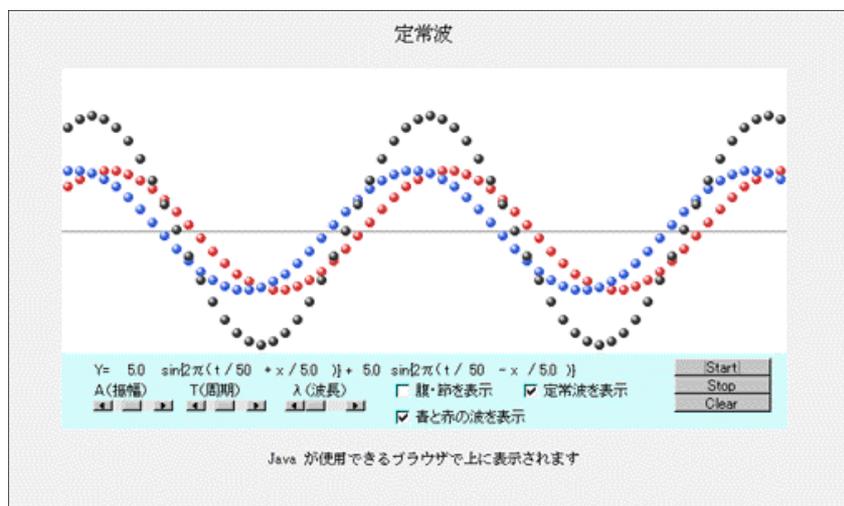


図5 進行波と後退波の重ね合わせによる定常波のシミュレーション

### 3. 今後の課題

電子テキストの作成においては、物理の概念や物理現象を、図や写真およびビデオなどのマルチメディアを用いて視覚的かつ直感的に理解できるように配慮した。さらに、重ね合わせの原理やそれに基づく定常波とうなりの現象をシミュレーションするプログラムを自作し、これらの現象を分析的に解説できるようにした。

他方、基本となる式の説明や展開は、学生の理解に合わせてゆっくりと黒板に板書しながら進めた。また、学生に式の展開を理解させるためには、電子テキストでの提示のみだけでなく、途中の式の展開を学生自身にも課題として行わせる必要がある。

本授業例は、従来の板書による講義にIT教材を加えた形式である。そのため、次のような問題点があった。それは「学生は集中できているか」、「学生は授業についてこられているか」および「学生は授業に参加できているか」の点で、これらは従来型の授業に共通した問題点である。

この問題点を克服するために、前述した小テストやQ&Aおよび課題を課して、その結果を回収、成績評価に反映させるようにすることも必要である。そうすれば、学生は自分の理解度が相対的に把握できて、授業への励みになる。

勉強の主体は学生である。そのためには、学生の興味を引きつけつつ、分かり易いテキストを今後とも学生の反応を見ながら模索していく必要があると同時に、その効果的な活用法も考え実施する必要がある。

## 事例2. CAIシステムを用いた個別授業

### 1. 授業のねらい

この授業は、教室で動画等の映像を用いて物理現象の確認を行い、その上でコンピュータを利用した解説と数式展開によって物理学の基礎概念や基本法則を学び、さらに学生の学力に合った課題演習を通じて、理解を深めることを目的としている。コンピュータで課題演習を解くようにしていることから、能動的な学習態度を養う教育でもある。とりわけ、ビデオテープによる物理現象の紹介は、現実感覚を持たせ学習の動機付けを行う。CAIシステムでの物理現象の解説、課題演習およびシミュレーションは、教育レベルを選択することができるので、基礎学力が異なる学生に対して、個別に理解度に応じた学習の展開が可能である。

### 2. ITを導入した授業の運営

情報メディア利用を中心とした集団講義の中での個別学習の事例を紹介する。講義科目の名称は「CAI物理学」で、講義はコンピュータおよびマルチメディアが利用できる講義室で行われる。

授業は、最初に講義の主題である物理現象をVTR等の視聴覚メディアを用いて、学生全員に解説を行う。その後、学生の理解度や興味の持ち方により、コンピュータを使用して物理現象の解説を学習し、シミュレーションや演習問題を行い、学生個別の進度と方法で学習を行う。また、単にコンピュータを利用するだけでなく、小実験などの実習と講義室では、数名の教員が学生の質問やサポートに対応する対面教育もなされる。したがって本講義は広い意味のコンピュータ利用教育「CAI物理学」である。シラバスの構成は、次の通りである。

第1回 ガイダンス (コンピュータの使用方法 数式の可視化法)	第7回 運動方程式の応用2
第2回 落体の法則と運動学	第8回 仕事とエネルギー
第3回 速度・加速度・力	第9回 保存力とポテンシャル・エネルギー
第4回 ニュートンの法則1	第10回 運動量保存則
第5回 ニュートンの法則2 (積分)	第11回 円運動
第6回 運動方程式の応用1	第12回 惑星運動
	第13回 惑星運動2

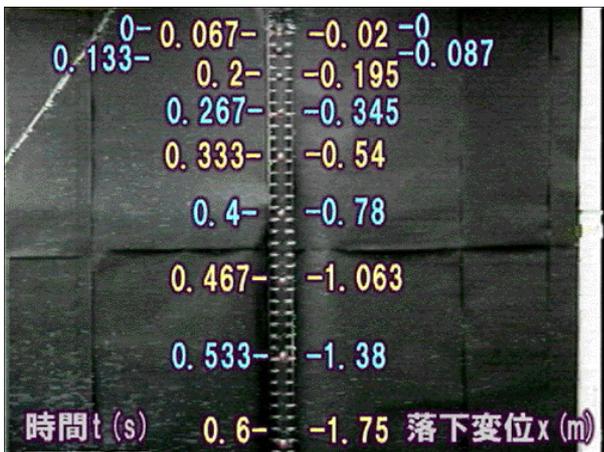
ここでは、「力学の落体の法則」を中心として、ITを活用した三つの学習方法を紹介する。

### 3. IT活用授業の内容

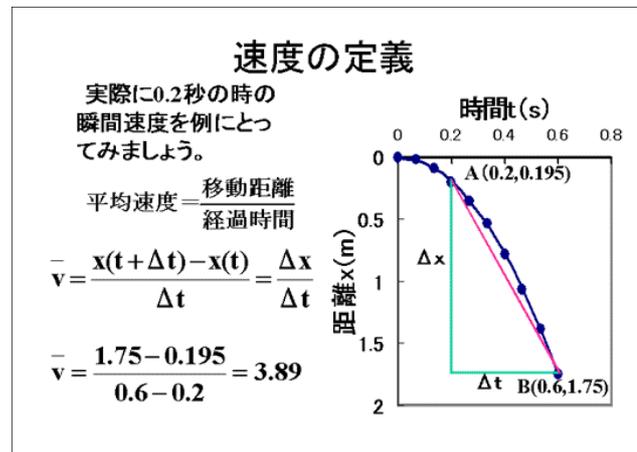
#### (1) CAIシステムとVTR映像による微分の学習

この教材コンテンツは、落下の実験によるVTR映像とOHPを組み合わせ、微分概念が未修得である物理初学習の学生を対象とし教育を行う。学生は「物体の落下の実験」のビデオをコンピュータ上で観察し、データ解析を行って、手を動かしながら微分の定義、力および加速度を実習的に学習する。

図6にコンピュータ画面および講義室のスクリーンに放映される落体の実験映像を示す。VTR映像は、金属球を自由落下させ、その映像から得られた落下距離と時間の関係を提示する。それから平均の速度および瞬間の速度をOHPの例に従いながら学習する。画像と数値は、データベースに保存されており、CAIシステムによってCAI-OHPとして個別にアクセスし、学生が収集できる。また、その実験データより、平均速度および平均加速度を計算し、瞬間の速度および瞬間の加速度の実習的な学習を行う。



(a) 金属球の自由落下のビデオ教材



(b) OHPによる微分の解説

図6 VTR実験映像とOHPによる速度と微分の解説

#### (2) 自動学習システムによる課題演習を利用した授業

図7に自動学習のためのCAIシステム演習問題の画面を示す。演習問題は、数値代入式と解答選択式を用いている。このシステムは、物理現象の解説や数式の取り扱い、さらに、学生のシミュレーションによる数式の理解と興味の喚起を目的として運用される。電子メールでレポート提出ができるように、授業用メールアドレスが設置されている。それらは、コースウェアとして講義内容が作成され

ているので、学生はそれに従って演習問題やシミュレーションを行っている。ディスプレイとキーボードを操作し、ノートに記録しながら学生自身のペースで進行させる。コースウエアの内容に難易度の選択を持たせることにより、基礎学力の幅に対応させている。また、コースウエアのデータは、データベース化されているため、学内LANに接続されていれば、いつでも、どこでも学習することができる。演習問題は、飛行機を題材としてベクトル計算等を学習する。その際、機器操作指導と内容指導については、ティーチング・アシスタントが具体的に学生の相談にあっている。

**落体の法則 — ガリレオ —**

<平均の速度と瞬間の速度>

(1) 平均の速度：平均の速度は移動した距離  $X_2 - X_1$  を移動にかかった時間  $t_2 - t_1$  で割る。

$$V = \frac{(X_2 - X_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

(2) 瞬間の速度：平均の速度の時間間隔を極微小 (0) にしていく。(曲線を時間微分する)

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{dX}{dt}$$

時間を極限 (0) にする。

(3) 速度：距離の時間微分 (ベクトル表示)

$$V = \frac{dR}{dt}$$

問 題 (運動学の問題： 移動距離＝速度×移動時間)

飛行機が大気中を速度 80(m/s)で飛行している。次の気象状況で、飛行機が1.5時間、飛行した。それぞれの気象状況で、地上に対する飛行距離(m)を求めなさい。

(1) 無風の上空で飛行した場合。

(2) 向かい風で風速 10(m/s)で飛行した場合。

(3) 追い風で 風速 20(m/s)で飛行した場合。

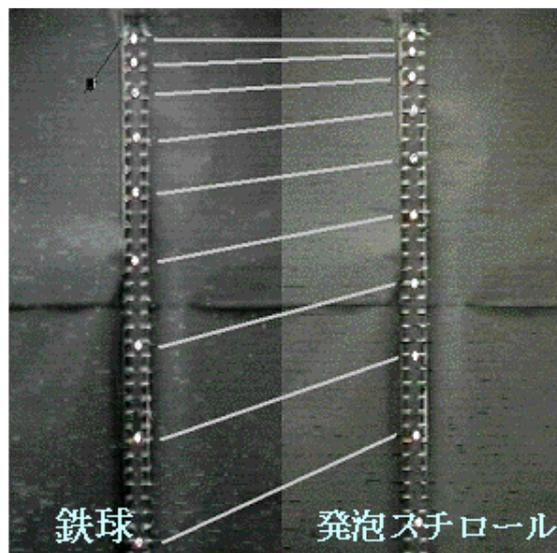
飛行機の進行方向と風の吹く方向は同じである (向きは異なる)。  
もし、方向が異なる場合は単純な計算ではありません

図7 コンピュータを利用したCAIシステムの運動学の課題説明画面と演習問題

### (3) 実験映像VTRと課題演習を発展的に利用した授業

CAIシステムのレベル選択機能を利用し、より高度な知的欲求のある学生に対する授業例を以下に示す。

学生は、同じビデオ教材の高度学習レベルを選択し、鉄球と発泡スチロール球による自由落下のビデオ映像教材を利用する。これは、ビデオ実験教育とそれを題材とした個別学習システムの組み合わせによる速度の2乗に比例した空気抵抗を求める学習である。CAI-OHPにある実験のデータを利用して、平均の速度から、瞬間の加速度を求める。その結果、発泡スチロール球が速度の2乗の空気抵抗を受けていることが示される。さらに、微分概念を学習し、CAIシステムの微分の学習へと進む。学習が進むと、速度に比例した抵抗と速度の2乗に比例した物理現象を解いていく演習課題に取り組む。また、インターネットを利用して物理現象のシミュレーションが公開されている空気抵抗等のサイトにアクセスして学習する。特に、インターネットを利用するこの学習は、物理への興味の喚起に利用できる。(図8)



**問題**

半径  $R$  の球状の物体が初速度  $0$  で高さ  $H$  から空气中を落下している。  
この時、物体は空気による抵抗を受けている。  
空気の抵抗力  $F$  は物体の速度に比例し、速度の方向と逆向きに働くとする。

$$F = 6\pi\eta R \cdot V$$

である。ここで  $V$  は物体の速度、  
 $\eta$  は粘性係数および  $R$  は物体の半径である。  
物体の質量を  $M$  とする。ただし、自由落下であるから  $Z$  軸のみのスカラーで表す。  
運動方程式を立て、それを積分して速度を求める。

問1. 速度を表す式の組を選べ。  
但し、 $A = 6\pi\eta R$  とする。

(A)  $V = -\frac{gM}{A} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{A \cdot t}{M}\right) \right\}$

(B)  $V = -\frac{gM}{A} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{A \cdot t}{M}\right) \right\}$

(C)  $V = -\frac{gM}{A} \left\{ 1 + \exp\left(-\frac{A \cdot t}{M}\right) \right\}$

1

採点 戻る 進む  
ビデオ 直上のメニュー 終了

図8 VTR実験画像による速度の2乗に比例した抵抗力と微分方程式の学習画面

#### 4. CAIシステムによる教育効果

個人授業の教育効果を測定するために、高等学校で学習する物理用語の認識度を調査した。出現頻度の多い物理の用語について、「1：知らない」、「2：聞いたことがある」、「3：少し知っている」、「4：少し説明できる」、「5：説明できる」、「6：演習も含めて十分理解している」の6段階でアンケート調査を行った。図9に力学分野の物理用語の認識度変化を示す。春semesterにCAIによる個人学習を受講した新生は延べ64名。物理用語の認識度は、高校物理の履修状況で分類し、平均値で表した。また、アンケートは、講義の初回と最終回の2回行った。その結果、高校で物理を履修してきた学生は、初回では認識度3.0の「少し説明ができる」から最終回では11%上昇した。また、高校物理を未履修の学生は、用語認識度1.9から2.5へと31%上昇した。講義終了時のアンケート値の上昇は、本教育システムで学んだ学生が物理学の内容の理解に自信を持ったことを示している。

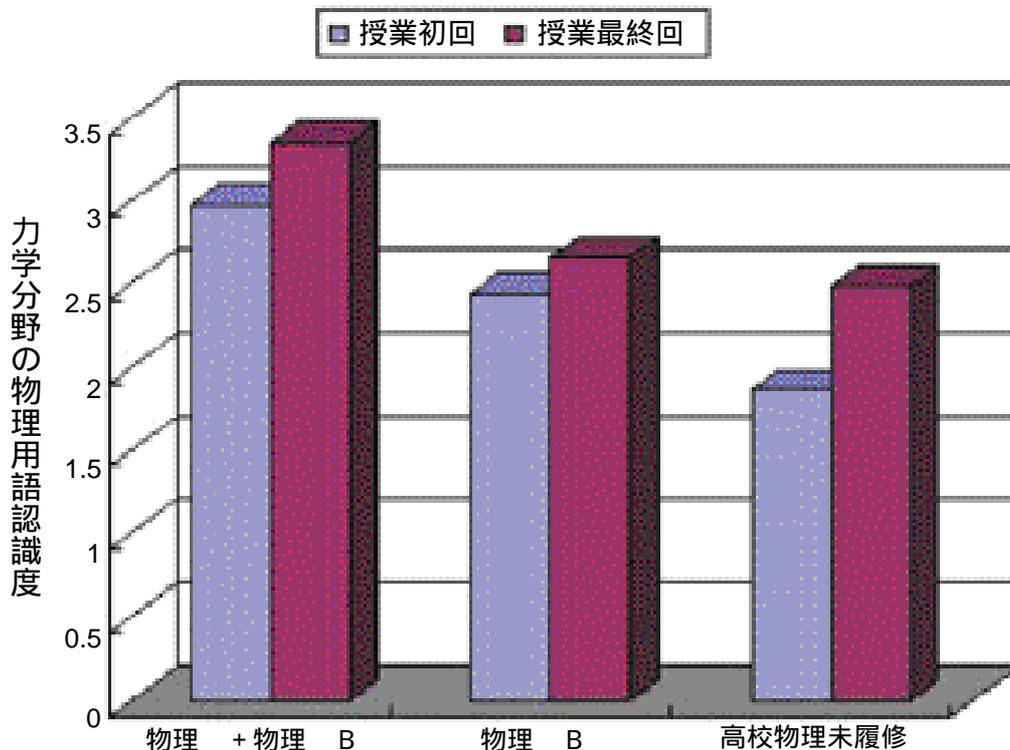


図9 力学分野の物理用語の認識度変化

#### 5. 今後の課題

これらのコースの学習は、学生が興味をもって自主的学習が行え、大変有効である。特に、コンピュータによるCAIは、物理学演習として個別的で実力養成に有効に働き、教育効果があった。このCAI物理学の教育システムの特徴は、コースウェアが数種類のメディア教材を適時に組み合わせて作成されている点にある。ビデオテープを用いて物理現象を映像で提示し、コンピュータを全面的に使用した数式の取り扱いの訓練、および実体験を経験させる小実験、インターネットの利用等、各メディアの特徴を有機的に組み合わせた点にある。今後の展開としては、質問等のアナログの情報の処理は、電子メールのみではなく、時間帯を決め、Web会議で用いられている会議システムを利用する等の双方向性を考える必要がある。そのために、画像の配信方法、通信速度等の環境を解決する必要がある。

## 事例3 . Webサイトを利用した授業

### 1 . 授業のねらい

本協会の物理学情報教育研究委員会で構築した「インターネット物理学のリンク集」を利用することにより、物理の基本概念や基本法則を学生に分かりやすく、かつ、興味を持たせた授業展開を行う。特に、リンク集で該当するシミュレーション教材が多数存在するテーマについては、物理現象を理解させる上で学生の興味を喚起するとともに、学習意欲を高める効果があると思われる。

### 2 . 授業のテーマと前提条件

一般的な力学のシラバスの中で、振動に関する部分を取り上げる。

「単振動」「減衰振動」などは、「インターネット物理学のリンク集」の中に関連のシミュレーション教材が多数存在し、学生に興味を持たせて取り組ませることが期待できるので、90分のモデル授業として、これらの振動に関する部分を取り上げる。

授業展開の前提条件として、SINETに接続されたパソコン教室で、学生は各人パソコン1台ずつを使用してWebサイト上の電子教材を利用できるようになっていることと、パソコンの基本的な使用法はマスターできていることが必要である。

### 3 . ITを導入した授業の運営

#### (1) 授業の環境

教室の環境としては、教員のパソコン画面をモニターに直接、もしくはプロジェクターによるスクリーンのどちらかに映し出されるようにする。さらに、カメラの付いた資料提示装置によりモニターもしくはスクリーンに資料が提示されることと、ビデオ再生装置からビデオを映すことができるようにしておくことが望ましい。また、教室には、ティーチング・アシスタントを配置し、コンピュータ操作やインターネット上での電子教材の利用等に関して、学生への教育補助を行うものとする。

#### (2) 授業の進め方

授業は、「教室での解説」、「リンク集でのシミュレーションの学習」、「自主学習」の三段階で行う。以下に、それぞれの詳細を掲載する。

Web上での電子教材を利用した数式展開等の解説を行う

最初に、学習内容を解説し、学生に十分に理解させるようにする。「インターネット物理学のリンク集」の利用により、学習内容に応じたHTML化された電子教科書や図・写真などを教員がモニターやスクリーン上に提示して説明を行う。関連の数式展開等が既存のWebサイトにない場合には、教員があらかじめ作成してWebサイトに掲載するよう準備しておく。

リンク集を利用してシミュレーションの学習を行う

次に、「インターネット物理学のリンク集」を利用して、該当課題に関するJAVAシミュレーション教材の説明を行う。いくつかの例を提示して、学生に学習内容を十分に理解させるようにする。課題により複数のWebサイトにシミュレーション教材が存在する場合には、それらをコース別に学生に提示して説明する。

その上で、学生各自にシミュレーションの学習を行わせる。学生にシミュレーションのパラメーターなどを変えて該当の物理現象を理解できるようにさせる。この間、教員は学生からの不明な点などの質問を受け付けて返答を行うと同時に、ティーチング・アシスタントは、パソコンの

操作、リンク集の利用の仕方、該当する物理現象の理解などに関して、授業の補助者として教員を支援する。

授業で利用する「インターネット物理学のリンク集」のURLや学習のポイント、ならびに質問事項などを記述した文書ファイルをサーバー上に作成しておき、授業の開始直後にそのファイルを学生のパソコンから取り出させる。URLの部分をクリックしてリンク集を利用できるようにさせたり、学生が気がついた点や質問事項の解答などもそこに直接入力させて、最後にサーバーに戻させるようにする。教員は、これらの学生のファイルの中身をチェックすることにより、受講生の学習評価の一つとして利用できる。

必要に応じて上記のパターンを90分授業の中で繰り返し、学生に飽きを感じさせずに授業展開を実施できるようにする。ただし、パソコン上にリンク先の画面が出てくるまでの待ち時間は、インターネットへの通信速度に影響されるので、使用するパソコン教室の環境によっては、教員がモニターもしくはスクリーン上に提示して説明するシミュレーション画面と、学生が各自で行うシミュレーション学習との割合に工夫が必要になる。また、必要に応じて動画やビデオの教材を利用することも考えられる。

#### 課外での自学自習の催促

課外においても、パソコンのオープン利用室や自宅で、これらの電子教材を利用可能な状態にして、学生各自に自学自習させることにより理解度を高める。必要に応じてレポートを電子メール添付で提出させる。また、学生が不明な点に関しては、電子メールで教員に質問を行い、適切な返答が行われるようにする。これらのメールでの質疑応答は、電子掲示板で公開する。

## 4. ITを活用した授業（1コマ）内容

振動学の90分授業のシナリオは、次の通りとした。

「単振動」の説明	(15分)
「単振動」での力学的エネルギー保存の説明	(10分)
「単振動」のシミュレーションの説明と学生各自の実行	(20分)
「減衰振動」の説明	(20分)
「減衰振動」のシミュレーションの学生各自の実行	(20分)
まとめ	(5分)

以下に、Webサイトを利用した授業の一例として、振動学の90分授業での1コマを紹介する。

### (1)「単振動」の説明

Webサイト上の電子教材により、単振動の説明を行う。教員は、モニターもしくはスクリーン上に内容を提示して、フックの法則、単振動の運動方程式とその解、周期、振幅、初位相などを分かりやすく解説する。また、次のような「インターネット物理学のリンク集」を利用して単振動を理解させる。

<http://www.nep.chubu.ac.jp/chikaura/cryst/rikigaku/tansin2.html>

(九州工業大学工学部・近浦吉則先生作成)

## (2)「単振動」での力学的エネルギー保存の説明

バネの弾力の位置エネルギーと重りの運動エネルギーの総和が一定であることを、Webサイト上の教材もしくは次のような「リンク集」の利用により説明する。

<http://nkiso.u-tokai.ac.jp/phys/matsuura/java/Oscil/oscilplb.htm>

(東海大学基礎教育系・松浦執先生作成)

## (3)「単振動」のシミュレーションの説明と学生各自の実行

バネの先につけた物体の単振動のシミュレーションについて、次の三つの場合について、「リンク集」を利用して機能と操作方法、表示可能なグラフの種類などを説明し、例示する。次に、URLや学習のポイント、質問事項などを記述した文書ファイルをサーバーから取り出させて、学生各自にシミュレーションを実行させ、「位置 時間」、「速度 時間」、「力 時間」、「位置 速度」などのグラフを表示させて、現象を理解するように促す。また、それぞれの質問事項(下記の<>の部分)にも解答させる。

初期位置を変化させて比較する場合

<http://www-rr1.meijo-u.ac.jp/g/prof/physito/UsageOfOneDimMotionClass/SimpleHarmonicMotion12.html>

(名城大学理工学部・伊藤正俊先生作成)

<バネについている物体を離す位置(初期位置)を変えたら、振幅と平衡位置での物体の速度はどのように変わるか>を考えさせる。

初速度を変化させて比較する場合

<http://www-rr1.meijo-u.ac.jp/g/prof/physito/UsageOfOneDimMotionClass/SimpleHarmonicMotion22.html>

(名城大学理工学部・伊藤正俊先生作成)

<バネについている物体が同じ位置(平衡位置)から初速度を持って離される場合、初速度が変化すると、振幅および最大の力がどのように変わるか>を考えさせる。

バネ定数を変化させて比較する場合

<http://www-rr1.meijo-u.ac.jp/g/prof/physito/UsageOfOneDimMotionClass/SimpleHarmonicMotion32.html>

(名城大学理工学部・伊藤正俊先生作成)

<http://www.nep.chubu.ac.jp/chikaura/cryst/rikigaku/tansin1.html>

(九州工業大学工学部・近浦吉則先生作成)

<バネについている物体が同じ位置(平衡位置)から初速度を持って離される場合、バネの強さのみ変化させると、何が変化するか>を考えさせる。

## (4)「減衰振動」の説明

Web上の電子教材もしくは教科書により、摩擦や空気の抵抗のために力学的エネルギーが熱に変わり振幅が減衰していくことを説明する。速さに比例した抵抗が作用する場合の運動方程式から、減衰振動、臨界減衰、過減衰を説明する。必要な場合には、次のリンク集を利用して理解させる。

<http://www.nep.chubu.ac.jp/chikaura/cryst/rikigaku/gensui.htm>

(九州工業大学工学部・近浦吉則先生作成)

<http://www.cmt.phys.kyushu-u.ac.jp/M.Sakurai/phys/physmath/index.html>

(九州大学大学院理学研究科・桜井雅史氏作成)

<http://www.nep.chubu.ac.jp/nepjava/javacode/gensui2/gensui.html>

(中央大学理工学部・長嶋登志夫先生作成)

### (5)「減衰振動」のシミュレーションの学生各自の実行

速さに比例した抵抗が作用するとき、次の二つの場合に、減衰振動の現象を理解させる。

抵抗の係数を変化させて比較する場合

<http://www-rr1.meijo-u.ac.jp/g/prof/physito/UsageOfOneDimMotionClass/DampedOscillation12.html>

(名城大学理工学部・伊藤正俊先生作成)

<http://www.nep.chubu.ac.jp/nepjava/javacode/gensui/gensui.html>

(中央大学理工学部・長嶋登志夫先生作成)

<減衰振動のグラフと式との関係はどうなるか、また、位置 速さの変化を基にエネルギーはどうなるか>を考えさせる。

バネ定数を変化させて比較する場合

<http://www-rr1.meijo-u.ac.jp/g/prof/physito/UsageOfOneDimMotionClass/DampedOscillation22.html>

(名城大学理工学部・伊藤正俊先生作成)

<減衰振動でバネの強さを変化させると大きく変わる物理量は何か>を考えさせる。

### (6)まとめ

文書ファイルに質問事項の解答、ならびに学習の感想を入力させ、その文書ファイルをサーバーに転送させる。授業のまとめを行い、各自、オープン利用室や自宅のパソコンを利用し、復習を行って理解度を高めておくように指示する。また、自学自習用のために授業で利用できなかった電子教材も積極的に活用するように促す。さらに、質問のための電子メールを受け付け、返答をオープン電子掲示板に掲載することを指示する。

## 5. ITを導入した実験授業の様子と授業の効果

### (1) 実験授業の様子

上記の授業内容に基づいて授業を実施した。約30名の受講生に対して、教員2名とティーチング・アシスタント1名が授業にあたり、数式展開等を含む授業内容のプリントを配布した上で、教員による説明があり、学生による振動のシミュレーションを行った。次いで、「インターネット物理学のリンク集」のURLや学習のポイントを説明し、さらに上記<>の質問事項など格納してある文書ファイルをサーバーに用意。

次いで、授業の開始直後に学生各自にサーバーから取り出させた。学生には、シミュレーションの後、直ちに質問事項への解答を入力させ、授業の最後にファイルをサーバーに戻させた。

この授業では、授業の最初と最後にマークシート方式による同一のアンケート調査を行い、授業前後での理解度などの変化を調べた。授業に参加していた学生は、プリント等を見ながら熱心に各自のシミュレーションに取り組んでいた。60名規模のパソコン教室で受講生が30名程度であったので、インターネットでの画像出力の待ち時間を殆ど感じさせない良好な状態であった。



## (2) 授業の効果

授業効果について、アンケートによると、「減衰振動の運動方程式について」は、講義前には半分以上が「聞いたこともない」であったが、講義後には「少し知っている」や「少し説明できる」が大幅に増加しており、授業での教育効果が生じていることがわかる。

授業に利用した電子教材の感想については、6割程度が評価しており、この授業を実施したことによって効果があったとしており、全体的にこのような授業形態を受講生は良好と捉えていることが窺える。

ここで提案した授業モデルは、教科書での式の展開から得られた結果の説明直後に、直ちにシミュレーションを実行させ、学生の直感的な理解を助ける点で大きな効果が期待できる。特に、パラメータや初期条件などをいろいろ変えてシミュレーションさせることにより、該当する物理現象が理解しやすく、また、興味を持って取り組ませることが可能となり、学習意欲を高める。それ故、このような授業形態は、シミュレーション教材が存在する分野では有効的であると言える。

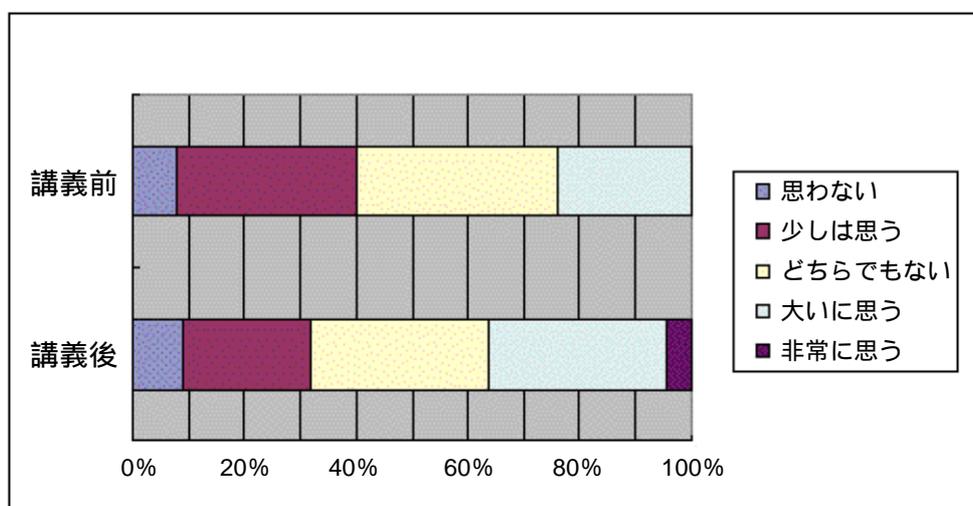


図10 「減衰振動の運動方程式」についてのアンケート調査

## 6. IT導入に伴う今後の課題

### (1) 「インターネット物理学のリンク集」に掲載される電子教材の充実

物理学の各分野で電子教材の作成に取り組むことを強く働きかけるとともに、オープン化が重要である。教員が一人で全ての分野の電子教材を作成することは、多大な努力が必要で困難なことであるが、各人それぞれが得意な分野の電子教材を作成し、広範囲な分野をカバーして大学間での相互利用が図られれば、多大な効果が期待できる。特に、学生に興味を持たせ、学習意欲を高めるような電子教材の開発が望まれることから、今後、大学間での協力体制が重要な課題となる。

### (2) 情報環境の充実

パソコン教室の整備・充実の他、インターネット利用のための通信速度を速めることも、シミュレーション画像が出てくる待ち時間を短縮させる上で重要である。さらに、学生の課外での自学自習環境の向上・支援も望まれる。