

Html と Java による物理学電子テキストの作成

川 畑 州 一*

Making of the Hypertext of Physics by means of Html and Java

Shuichi KAWABATA

Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics, 1583 Iiyam, Atsugi,
Kanagawa, 243-0297 Japan

The development and the diffusion of the personal computer have opened new possibilities in the field of education. The computer simulations enable the student to understand the essence of the phenomenon visually and intuitively. Video clips that represent the demonstration experiments will attract the interest of the student for the natural phenomenon. Multimedia and Internet will also give a great contribution to the field of education.

We have produced a hypertext of physics for freshmen. The text is written in Html (Hyper Text Markup Language) and can be seen by using an internet browser Netscape, Internet Explore and so on. The hypertext consists of not only a text including figures and photos but also simulations and video clips. The simulation programs are described with Java and they also can be operated on the internet browsers.

1. はじめに

最近の高校での理科履修の多様化，本大学入試における理科の一科目入試などの影響の為か高校で物理を履修しなかった学生も本学に入学している実情がある。また，受験年齢層の減少により本学への入学はかなり容易な状況になりつつある。従って，高校において物理を履修した学生と言えども，その習熟度が未熟な学生が多い。

さらに，学生の基礎学力分布にもかなりの幅があり，講義クラスでの学力レベルを設定することがかなり難しい状況にある。また，ひとつの事を理解するのに，要する時間が個人個人まちまちで，全員が同じペースで学習していくことが極めて困難である。

一方，活字を主体とした教科書と参考書だけの従

来の学習環境では，勉学に対する確固たる意思がない限り，勉学意欲を持続するのは難しい。しかも，本学の学生の中には何をどう勉強すればよいか良く把握できていないため，適切な指導がない限りは勉強に飽きて挫折してしまうのではと危惧される。

このような学生の大部分は，

- (1) 勉強の仕方がわからない。つまり，何をどう調べればよいかかわからない。
また，教科書および参考書に書いてあることすらあまり良くは理解できない。
- (2) 活字だけでは物理現象や法則を具体的なイメージとして描けない。
- (3) 自分が何が分からないか，また何故分からないかを良く把握していないし，自分自身，理解できているかどうかあやふやである。

などの勉学における潜在的な障壁がみられる。従

* 東京工芸大学工学部基礎・教養助教授
2000年8月30日 受理

って、これらの学生たちに対して、講義ノートを板書するだけの旧態依然とした授業方法にだけ依存していたのでは、工学部の基礎科目たるべき物理学を十分に習得かつ理解させることは非常に困難であると言わざるを得ない。まして、集中力を欠く学生に対しては講義内容が浸透せず、教育の空洞化を促進するだけである。つまり、“講義はすれども学生の身にはつかず”と言った状況が懸念される。

このような状況下において講義の空洞化を打開する一つの対策として、電子テキストを自作し、それを教材として用いることを試みた。その基本的な構想は、

- (1) なるべく学生の勉学に対するハードルを低くし、勉学への興味を持たせるようにする。その為に、既成の教科書ではなく講義の要点が明確に分るような自作のテキストを作成する。
- (2) シミュレーションや Video を多く用いて視覚的かつ直感的に理解できるように配慮し、授業の内容を分かり易くかつ印象づけて覚えさせる。

せる。

- (3) 学生が自分に合ったペースで学習できるように配慮する。

などである。すなわち、学生にとって分かり易いテキストと自発的な勉学を促すような学習環境を作ることが学生の学習効果の向上につながると確信する。ここでは、今回作成した電子テキストと本学におけるその活用環境について報告する。

2. 電子テキストの基本構成

電子テキストは Html(Hyper Text Markup Language)で記述され、Netscape Navigator(Ver. 4.6 以上)や Internet Explore(Ver. 4.0 以上)などのインターネット用ブラウザで見ることができる。また、内容に関連したシミュレーションは Java で書かれており、同様に、インターネット用ブラウザで見ることができる。Java のプログラムであるアプレットは Html テキストの中のボタンをクリックすることによって起動される。シミュレーションではスライダーによりパラメータの設定ができるようになっていて学生自身でそ

2. 速さと速度および加速度

物体が運動しているとき、進んだ距離 x [m] を移動に要した時間 t [s] で割った量 x/t [m/s] を平均の速さという。しかし、運動における速さとは、平均の速さではなく、この時刻における時間の速さを意味する。すなわち v [m/s] の速さとは物体がそのままの速さで運動すると仮定すると、1秒間に v [m] の距離を進むことを意味し、 v [m] の距離を1秒かかって運動した場合の平均の速さとは異なる。物体の時刻 t における(瞬間の)速さを求めるには、まず

(1) 微小な時間間隔 $[t, t + \Delta t]$ での平均の速さ $\Delta x/\Delta t$ を考える。

ここで、 Δx は微小時間 Δt の間に物体の進んだ距離である。そして、

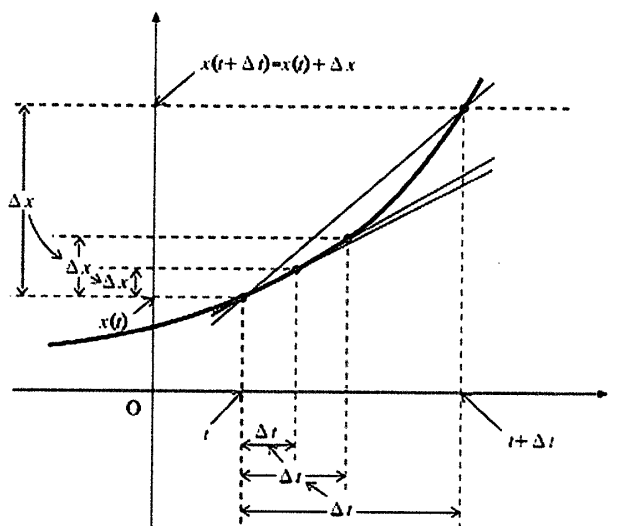
(2) $\Delta t \rightarrow 0$ における $\Delta x/\Delta t$ の極限值を求める。

この極限值が時刻 t における物体の速さである。これは距離 x を時間 t で微分することと同じである。

一般の運動においては速さは一定ではなく、時々刻々変化するが、速さが一定の運動を等速運動といい、この場合、物体の進む距離は時間に比例する。

速さは運動の大きさは表すが運動の方向は不明である。大きさだけの量はスカラー量とよばれ、他に時間、距離、質量などの物理量がある。一方、運動の大きさと運動の方向を表す量が速度である。

そして、このような大きさと向きのある量をベクトル量という。



位置-時刻図 ($x-t$ 図) と速度。直線の勾配 $\Delta x/\Delta t$ は時間 Δt での平均速度を表す。これらの直線の $\Delta t \rightarrow 0$ での極限の直線は、時刻での $x-t$ 曲線の接線と一致する。この接線の勾配が時刻 t での速度(時間速度)である。

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

図1 電子テキストの表示画面

のパラメータを変化させてさまざまな動作を確認することができるようになってきている。また、電子テキストには動画のボタンもあり、関連する説明やデモンストレーション実験を見ることもできる。動画は最長60秒である。

コンピュータのディスプレイ上に物理の基本事項の解説が図や写真と共に表示され、学生はそれを読むことによって基本的な知識を得る。

また、説明だけでは分りにくい物理量あるいは物理現象についてはコンピュータシミュレーションやビデオが用意されていてそのボタンをクリックすると動作し、視覚的に理解を助けてくれる。とくに、コンピュータシミュレーションでは自由に変数の値を変えられるようになっていて、変数の値による現象の変化を試してみることができる。例えば、摩擦力に関するコンピュータシミュレーションでは、斜面の傾きを自由に変化させて物体に作用する重力、垂直抗力および摩擦力の様子を矢印のベクトル表示で見ることができる。また、ばねによる振動では、ばね定数やおもりの質量を変えると振動の周期がどのように変わるかを調べることができる。このようにシミュレーションでのパラメータの値をいろいろ変化させて実験を行うことは、その現象についてより深い理解を促すものと期待される。

電子テキストとは別にCAIによる問題演習も

用意されていて、学生は解説に関連した問題を解くことによって、自ら理解度を把握することができる。問題演習では、学生が立ち往生して挫折ないように、問題にはヒントを用意し学生がなるべく自力で学習が進められるように配慮してある。ただしヒントは、学生がヒントボタンをクリックしたときだけその問いのヒントが表示されるようになっている。

電子テキストはこのように、解説、シミュレーションおよびビデオだけではなく、問題演習と組み合わせても利用することができる。ただし、CAIによる問題演習はVisual Basicにより書かれているので動作する環境がWindowsに限られる。

電子テキストの内容は本学における物理学IA(前期)、IB(後期)に対応する内容となっていて、一年次の講義科目である。IAの講義内容は質点の力学でIBの講義内容は剛体および波動である。Appendixに電子テキストの目次とそこに含まれるシミュレーションおよび動画ファイルについて説明する。demo_・・・とあるのはシミュレーションのプログラムで動画_・・・とあるのは動画ファイルである。

3. 電子テキストの特色と教育効果

電子テキストをHtmlで作ることにより、コンピュータの機種に関係なく動作させることがで

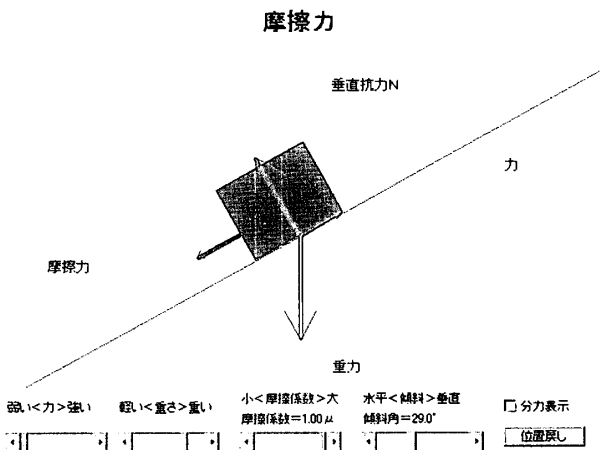


図2 摩擦力のシミュレーション画面

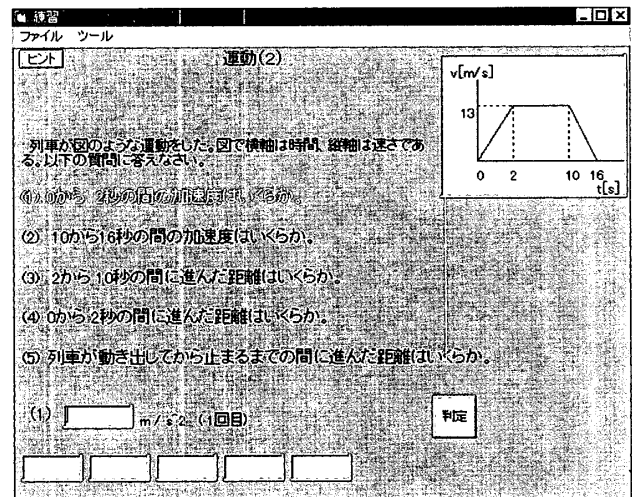


図3 CAIによる演習画面

き、しかもインターネットを介して、学生が自由にいつでもどこでも学習することを可能にする。電子テキストを用いる学習の特色として、

- (1) 学生は自分に合ったペースで学習を進めることができる。
- (2) 活字だけでは物理現象や法則を具体的なイメージとして描けない学生にとって、コンピュータシミュレーションおよびビデオが視覚的にその理解を助けてくれる。しかも、コンピュータシミュレーションにおいては学生自らが試してみることができ、より深い理解を促すことができる。
- (3) CAI による演習では問題の数値は個々の学生によって異なり、グループ学習においても、学生は安易には他人の正解だけを真似ることはできないようになっている。従って学生は自発的な学習への取り組みを要求される。

などが挙げられる。

学生は CD-ROM を借り出すか、あるいはインターネットを介して自分で好きな時間に好きな場所で自分に合ったペースで学習することができる。そして、学習の理解度を CAI による問題演習で学生自らが確認することができる。また疑問点や分からない事があつたら、学生には直接質問に来るだけではなく、電子メールで教師と質問のやり取りをするように促している。電子メールではリアルタイムでの受け答えはできないが、時間の制約を受けることなく自由に質問することができる。また折角、教師を訪ねて行っても留守であったなどの労力の無駄も省ける。

実際、この電子テキストの CD-ROM を用いてマルチメディア教室で前期の講義を行った。マルチメディア教室は大型のビデオスクリーンが 3 面あり、学生の机にも CRT のモニターが設置してある。学生に、コンピュータシミュレーションを見せながらの説明を行ったが、概ね好評で板書での説明に比べてはるかに分かり易いとのアンケート結果も寄せられた。

以上のように、テキストを電子化することにより、これからの IT (情報技術) に追随しながらよりきめ細かく、より個別的な教育が可能となる。従

って、多様な習熟度の学生に対するも対応も容易になるものと期待できる。

4. おわりに

ここでは、いかに分りやすく学生に物理学を学ばせるか、その為の一方法としての電子テキストについて報告した。しかし、一方で、教育の内容や到達目標が曖昧では折角のシステムも無用の長物と化す恐れが大である。また、コンピュータでのシミュレーションはあくまでも仮想空間(バーチャル)での現象であり、我々が実際に身の回りで経験する現象(リアル)とは異なる。物理学が自然を対象とする学問である以上、バーチャルな空間だけで物理学を教えることは不可能であろう。その為には、実際に学生が体を動かして自然現象とふれ合う物理学実験が重要な意味を持つと考えられる。すなわち、大学における物理教育の問題を講義と実験をバランスさせて総合的に考えていくことが今後の重要な課題となっていくものと思われる。

ともかく、テキストを電子化し、しかもマルチメディアを取り入れてその内容を分りやすく学生に伝えることは、これからの教育において益々必要となるであろう。これからの IT の発展に伴って、よりきめの細かい、より個別的な教育が可能となっていくものと期待される。その時流に遅れをとらない為にも、今から効率的な教育を模索し、かつ準備しておくことが肝要であると考えられる。

電子テキストの Html 化やシミュレーションプログラムの Java への移植は日本私立学校振興・共済事業団、平成 11 年度私立大学等経常費補助金特別補助の「教育学術情報データベース等の開発」に対する補助を受けて実現しました。

参考文献

- [1] Proceeding of PC Conference 2000, Hokkaido University, 2000
- [2] 私立大学の授業を変えるーマルチメディアを活用した教育の方向性ー, 私立大学情報教育協会 1996
- [3] Shuichi Kawabata, "Hypertext of Physics for Freshmen- Wave Motion-, 物理教育特別号(12 月予定), 日本物理教育学会 2000

Appendix

物理学電子テキスト 目次

力学

第一章 運動

1. 運動とは？

2. 速さと速度および加速度

2.1 速度の合成と分解 → demo_合成速度

流れのある川を船が横断するときの船の軌跡を表示する。船首の角度と速度を変えることができる。また、流速と船の速度のベクトルを表示することもできる。

2.2 相対速度 → demo_相対速度

列車から見た雨粒の軌跡を表示する。列車の速度を変えると雨粒の落下方向が変化することが確認できる。また、列車から見た雨粒の相対速度をベクトルで表示することもできる。

3. 速度図と運動距離 → demo_速度図

横軸に時間、縦軸に速度をとって表された図に従って物体が一次元の運動する。物体の運動の様子その他に速度計、加速度計および距離計も表示される。速度図は学生がある程度自由に変更することができる。

4. 位置と速度と加速度

5. 加速度→速度→位置

第二章 力と運動

1. 力とは？

2. 運動の法則 →動画_慣性の法則

慣性の法則についての説明ビデオ。

3. 重力による運動 →動画_落体の法則

月面で金槌と羽根を同時に落下させた実写ビデオ。

3.1 自由落下運動 →動画_自由落下

空気中と真空中でそれぞれ、コインと羽を同時に落下させ、真空中では同時に落下することを見せる動画。

3.2 放物運動 →demo_放物運動

物体をいろいろな高さおよび速度で投げ出したときの運動の軌跡を見ることができる。また、運動中の物体の速度ベクトルや重力のベクトルを表示させることもできる。

3.3 空気抵抗を考慮した場合の自由落下運動

第三章 質点の力学

1. 質点とは？

1.1 糸で繋がれた二つの物体

1.2 上昇する気球から落下する物体

2. 摩擦力 →demo_摩擦力

粗い床の上に置かれた物体が力を受けたときに生じる摩擦力の様子を表示し、最大静止摩擦力の意味を説明するシミュレーション。このとき作用する、重力、垂直抗力、摩擦力などを矢印で表示する。また、床を傾けたとき、それぞれの力がどう変化するかを調べることもできる。

3. さまざまな運動

3.1 等速円運動 →動画_円運動

円運動における速度ベクトルや向心加速度についての説明ビデオ。

→demo_等速円運動

円運動における速度ベクトルや向心加速度の向きを矢印で表示するプログラム。また、向心力が働かなくなった場合の物体の運動も見ることができる。

3.2 ばねによる運動 →demo_ばね

おもりをつけたばねが振動する様子のシミュレーション。ばね定数やおもりの質量および振幅を変えて試してみることができる。

3.3 単振り子

4. 動方程式による運動の解析

第四章 慣性力

1. 慣性力とは？

1.1 エレベーター

1.2 電車

1.3 遠心力

1.4 コリオリの力 →demo_コリオリの力

回転している座標系から見たときの直進するボールの軌跡を表示するプログラム。あたかもボールが力を受けて曲がるような様子が理解できる。

第五章 仕事とエネルギー

1. 仕事とは？

2. エネルギーとは？

2.1 運動エネルギー

2.2 位置エネルギー

3. 力学的エネルギーの保存則 →動画_エネルギー保存則

力学的エネルギーの保存則について説明するビデオ。

第六章 質点系の運動 →動画_質点系

質点系とその運動の特徴について説明するビデオ。

1. 質点系とは？

2. 運動量 →動画_運動量

運動量についての説明ビデオ。

3. 動量保存則 →動画_運動量保存則

運動量保存則についての説明ビデオ。

3.1 衝突

3.2 はねかえり係数 →動画_弾性衝突

はねかえり係数と弾性衝突についての説明ビデオ。

3.3 二次元の衝突 →動画_衝突

ビリヤードの玉を使って衝突の前後で運動量が保存される様子を説明するビデオ。

第七章 剛体の力学

1. 剛体とは？

1.1 力のモーメント

1.2 偶力

2. 剛体の回転運動

2.1 慣性モーメント →動画_力のモーメント

力のモーメントについての説明ビデオ。

2.2 剛体の重心(質量中心)

2.2 角運動量 →動画_角運動量

角運動量とその保存則についての説明ビデオ。

3. 剛体の運動とエネルギー

波動

1. 波動とは？ →動画_波動

波動についての説明ビデオ。水波の様子についても説明している。

→demo_波動

縦波と横波で媒質の各点がどのように運動しているかを見ることができる。

また、縦波の粗密の変化がどのようにして起きるかを見ることができる。

- 1.1 縦波と横波
- 1.2 波の性質を表す量 →動画_波の基本量
周期，振動数，波長に関する説明ビデオ。
- 1.3 波の基本式
2. 波の方程式 →demo_正弦波
正弦波の式で，振幅，周期，波長の値を変えたときに波の様子が変わるかについてのシミュレーション。
- 2.1 平面波と球面波
3. 波の表示 →demo_波の表示
正弦波をそれぞれ，横軸時間と横軸距離で表示したときの波の様子について説明するプログラム。
- 3.1 波動方程式
- 3.2 波の複素数表示
4. 波の性質 →demo_波の重ね合わせ
振幅や初期位相を変えて，二つの正弦波を重ね合わせたときの波形を表示するプログラム。
→demo_合成波
振幅や波長の異なる二つ以上の波形を順次重ね合わせていったときに，その合成波がどのように変化するかを見せるプログラム。
- 4.1 定常波 →動画_定常波
定常波についての説明ビデオ。
→demo_定常波
逆行する二つの波の重ね合わせから定常波ができる様子を見せるプログラム。
- 4.2 うなり →demo_うなり
わずかに振動数が異なる二つの波の重ね合わせからうなりを生じる波形が合成され，伝わる様子を見せるプログラム。
- 4.3 フーリエ合成 →demo_Fourier
特定の正弦波を無数に重ね合わせて，矩形波やのこぎり波ができていく様子を見せるプログラム。
- 4.4 位相速度と群速度
- 4.5 波の干渉 →動画_干渉
水波の干渉の様子を見せるビデオ。
→demo_干渉
二つのピンホールからそれぞれ広がる，二つの波の山と谷がどのように重なり合うかを見せるシミュレーション。
- 4.6 波の回折 →動画_回折
水波がスリットを通過した後，回折していく様子を見せるビデオ。スリットの幅を狭くすると回折が大きくなることが分る。
5. ホイヘンスの原理 →demo_Huygence
ホイヘンスの原理に従って，波がどのように伝わっていくかを見せるプログラム。波の直進性や回折する様子が分るようになっている。
- 5.1 波の反射・屈折
- 5.2 ホイヘンスの原理による反射・屈折の法則の説明 →demo_反射と屈折
ホイヘンスの原理に従って，どのように波が反射屈折するかを説明するプログラム。全反射近傍で屈折波が界面に沿って伝わる様子も見るができる。