

インターネット・ウェブページ・メディアを用いた物理教育システム

赤間 啓一¹, 赤羽 明¹, 勝浦 一雄¹, 向田 寿光¹

(2001年10月17日受理)

インターネット・ウェブページ・メディアは教材、教科書、教育システム作成に新しい有力な手段を提供する。ここではその機能を利用した基礎物理教育教材開発と教育の実践についての、著者らの試みを報告する。

はじめに

近年のインターネットの普及には目覚ましいものがあり、社会の各領域の様々な活動に大きな変革をもたらしている。学習や教育の分野でも、インターネットは色々な新しい手段を提供する。我々は、前回、インターネット・ウェブページ・メディアの機能を利用した基礎物理教育教材開発の準備的研究を報告した[1]。ここでは、平成12年度に発足した新しい研究計画[2]に基づいて行った教材開発と教育の実践について報告する。

1. インターネット・ウェブページ・メディアの特徴

我々が教材開発と教育の実践にあたって注目し、利用するウェブページ・メディアの機能の特徴は次のようなものである。

(1) 運動の表示

アニメーションなどを用いれば、図や文字が動き、学生の興味を引き、印象にも残り、かつ直観的理解を促すことができる。特に基礎物理教育においては、運動その他の動く図解ができ、込み入った論理をわかりやすく提示することができる。これは紙メディアや黒板では実現できなかった著しい特徴である。

(2) インタラクティブで、参照能率が高い

学生のマウス、キーボード操作に応じてヒントや解説、穴埋めの答などを表示することができ、図中への表示、アニメの制御などは特に威力を発揮する。また、同教材内、LAN上またはインターネット上のウェブページへのリンクにより、ただちに参考資料を参照でき、能率は著しく向上する。

いろいろなリンクが便利に用意されているため、効率とは裏腹に自ら苦労して考えて探すという能動性が減るという難点があるが、一面、常に応答やリンクを自ら選んで操作しながら学習を進めるということは、別の意味で能動的態度が要求され、思考過程が活性化されるので、使い方によっては大きな効果が期待できる。このインタラクティブで、参照能率が高いという特徴は従来の教育映画やビデオ教材などの映像メディアでは実現できないものである。

(3) 容易で広範なアクセス

上記、(1)(2)の特徴はコンピューター上の教育システム、教育用ソフトウェアであれば、原理的に実現できるものであるが、現実には十分に活用されていない。その原因は、作成のためのプログラム言語が本格的で、プログラミングの専門家の助けを必要とし、一般の教育担当者が気軽に作れないこと、また、完成した教育システムの利用にも、高価なソフトが必要であったりして、利用環境の整備にかなりのバリアがあったためと考えられる。この点ウェブページ・メディアは、インターネットとブラウザの普及により、今や、多くのオフィス、学校、家庭に浸透し、パソコンがあればいつでもどこでもアクセス可能であり、特定のソフトの入手、インストールといった手間も必要ない。しかも、今日、ウェブページはワープロ並みの使い勝手に作成でき、HTMLなどの簡単なプログラムは一般の教育担当者も十分使いこなせる範囲にある。ウェブページ・メディアによる教材は、講義、演示の補助として用いるほか、独立の教育システム、予習・復習、宿題、試験などの参考として、自宅や遠隔地からアクセスすることができ、

¹ 埼玉医科大学物理学教室

学習・教育の自由度と利便性を大幅に拡大する。ウェブページ・メディアは従来の紙メディア，黒板，映像メディア，教育ソフトなどでは実現できなかった強力な教材，教科書の可能性を拓くものといえる。

2. 教材開発と教育の実践

次に我々の 2000 年度前期，後期および 2001 年度前期の試みを紹介する。これらの教材は埼玉医科大学物理学教室のホームページ [3] に公開しているので参照しながら読み進めていただきたい。

1) 2000 年度前期

講義の補助として，物理学教室ホームページにインタラクティブな教材を用意し学習させた。内容は高校物理未履修の大学 1 年生を対象とする力学の初歩における予習のヒント，小テストのヒント，宿題のヒントおよび試験の解説である。教育対象は埼玉医科大学 1 年生のうち高校物理未履修者，A 1 クラス 26 人(部分的に A 2 クラス 23 人)である¹⁾。これを実施した背景は次のようなものである。

①カリキュラム上の背景 全学における 6 年一貫教育のカリキュラム改革のため，物理講義が週平均必修 135 分から必修 60 分および選択 60 分に，実験が通年隔週 180 分から半期隔週 120 分に圧縮された。教育内容は厳選するにしても，時間不足は否めないことから，予習復習，自学自習の強化が必要となった。

②学内 LAN，計算機室（パソコン 40 台）の整備，AV 講堂（LAN コンセント 120）の整備が進み，この年度から学生にノートパソコンの購入を斡旋し，独自に準備した者も含めてノートパソコン所有者が 90%にのぼるなど，コンピューター・ネットワーク環境が充実してきた。

我々は，実際に現場で様々な方法を試しながら教材作成を進めた。宿題のヒントは各学生が教室，計算機室，AV 講堂，自宅等からアクセスし，宿題のレポートを作成する。特に，物理学 A 1 クラスのうち，さらに選択科目の「物理学特論」を選択した 11 人の学生に対しては，この教材を用いた直接の指導も行い非常に好評であった。

次に各教材の概要と特徴を述べる。

教材 1.1 宿題 1-1, 1-2 のヒント「自由落下，エレベーター」

講義第 1 章「直線運動」の宿題ヒントである。最初の試みで，リンクなどは使っていない。

教材 1.2 宿題 2-1, 2-2 のヒント「投げたボール，輸送機からの物資投下」

講義第 2 章「平面運動」の宿題のヒントである。ヒントの中の式などをはじめ隠しておき，学生が考えながら読み，そこをクリックすると表示され，またクリックすると非表示になるようにした。表示と非表示を切り替える部分は gif ファイルを用いて，Java Script の命令による Image オブジェクトの src (ソース) プロパティの切り替えによって実現した。

教材 1.3 宿題 3-1, 3-2 のヒント「紐でつながれた物体，ひとが立ち上がる」

講義第 3 章「運動の法則」の宿題のヒントである。問題を整理させるための表の中で教材 1.2 と同様の手法を用いた。また，図とリンクし，表中の力ベクトルや運動方程式の関連欄で「表示」の項をクリックすると対応する力ベクトルが図中に表示されるようにした。運動方程式の立て方をスムーズに理解させることをねらった。図中の表示も gif ファイルを用いて，Java Script の命令による Image オブジェクトの src プロパティの切り替えによって実現した。(図 1)

教材 1.4 3 章プリント例題 2(1)'のヒント「斜面をすべるそり」

教材 1.3 と同様の手法を用いたが，直感的イメージを与えるため，図解入りの Java アニメーションを付加した。(図 2)

教材 1.5 4, 5 章予習のヒント「仕事，エネルギー，運動量」

教材 1.4 までと同様の手法に加えて，クリックにより説明のウィンドウを開くようにした。Java Script の window.open メソッドの引数指定により，開くウィンドウのサイズも決まったものになるようにした。

教材 1.6 宿題 4-1, 4-2 のヒント「飛び込み，ジェットコースター」

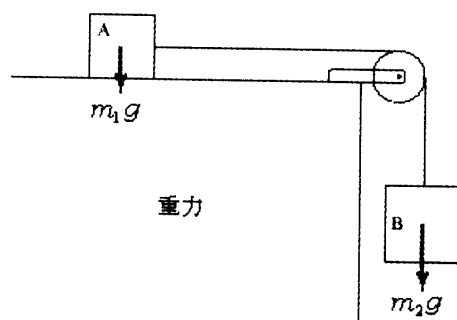
講義第 4 章「仕事，エネルギー」の宿題のヒントである。問題を整理させるための表の中で教材

下の文の「」の部分をクリックすると式が表示され、再クリックすると消えます。自分であてはまる式を考えてからクリックしましょう。

宿題3-1

物体A,Bそれぞれに働くすべての力を図示しよう。一般に力は次のような時に働く。「」に当てはまる言葉を考えて後、クリックして確かめ、その力をすべて図示しよう。「表示」の文字をクリックすると正しい図示が右図中に表示される。自分で考えてからクリックしよう。

状況	力	作用点	方向	
すべての物体	重力	重心	鉛直下方	表示
紐で引っ張る				表示
他の物体と接触している				表示
				表示
力を非表示		力をすべて表示		



(a)摩擦のない場合。紐の張力を T 、物体2に対する面からの抗力を N 、両物体の加速度を a として整理すると

物体	成分	正の方向	質量	加速度	力	運動方程式 (質量)×(加速度)=(力の和)
A	水平	右方向				①
	鉛直	下方				①'
B	鉛直	下方				②

①+②で張力 T を消去し、加速度 a を求めることができる。また、これを①に代入すれば張力 T が求められる。

図1 宿題「紐でつながれた物体」のヒント 表中の空白をクリックすると答が表示され、「表示」の項をクリックすると対応する力ベクトルが図中に表示される。

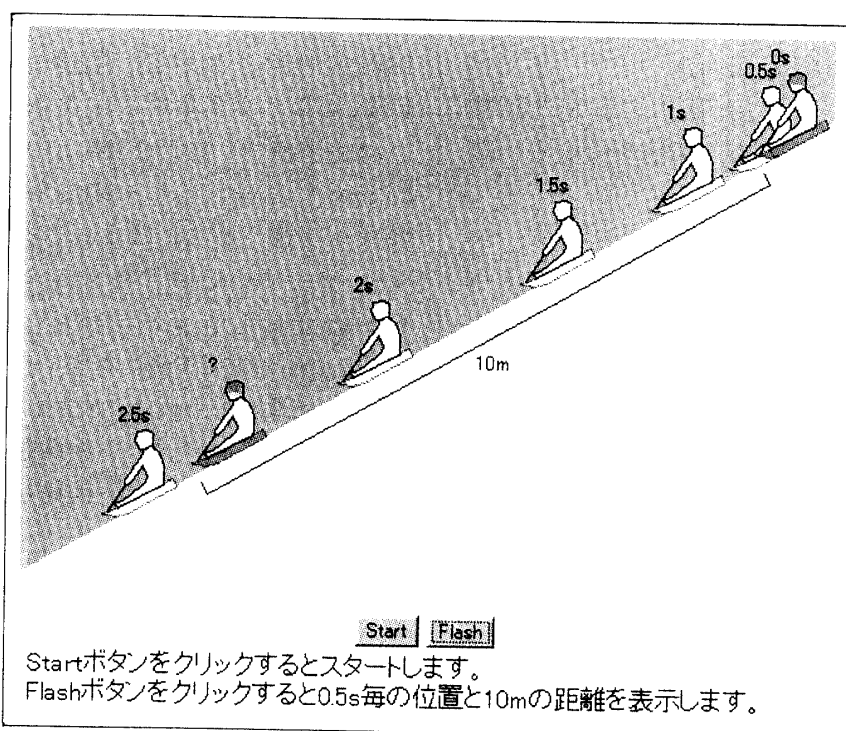


図2 宿題「斜面をすべるそり」のヒントに付加した Java アニメ Start ボタンをクリックするとそりが滑り降りる。Flash ボタンをクリックすると、そりが滑り降りるときに図のようなストロボ様の痕跡が残る。

1.3 と同様の方法を用いた。

教材 1.7 宿題 5-1 のヒント「運動量保存, 粘上の小球と物体の衝突」

講義第 5 章「運動量」の宿題のヒントである。問題を整理させるための表の中で教材 1.3 と同様の方法を用いた。

教材 1.8 宿題 6-1, 6-2 のヒント「バケツを振り回す, カーブするスケーター」

講義第 6 章「円運動」の宿題のヒントである。教材 1.3 と同様の方法を用いた。

教材 1.9 練習 7-1, 7-2 のヒント「荷物を吊るした棒のつりあい」

講義第 7 章「静力学」のヒントである。教材 1.3 と同様の方法を用いた。

教材 1.10 7 章プリント例題 4', 5 のヒント「骨格, 筋肉の釣合い」

順番にやらないと解答が出ないようにし, 順番を間違えた場合, そのむねのポップアップ警告が田るようにした。かえってわずらわしくて, 意欲をそぐかもしれない。これを実現するプログラムは複雑である。

教材 1.11 A 1 クラス小テストの解答「自動車のブレーキ, 斜面上の荷物, 腕のトルク」

教材 1.3 と同様の方法を用いた。

教材 1.12 A クラス 9/13 テストの解説と解答「垂直跳びとエネルギー保存, 荷物を持つ人の腰にかかる力」

一部 DHTML を用いた。DHTML アニメーションも用いた。DHTML は HTML に比べてより多くのことができるが, ブラウザ間の互換性がないので, それぞれに対応する記述を用意しなければならない点が不便である。また, 回転する矢印の gif アニメーションを用いてトルクをビジュアルに表示した。(図 3)

これらの教材は主に A 1 クラス 26 人を対象として, 答えを伏せたまま画面を出力したものに答えを記入してから使用するよう指導し, 答えを記入したものも提出させた。A 2 クラス 23 人に対しては, 教育内容は同じだが, 別の計画で教育を行ったため, 教材については存在は知らせたが特に使用は奨励しなかった。この学期終了後 A 1, A 2 クラスに対して行ったアンケートの結果を

図 4 に示す。積極的に使用を指導した A 1 クラスでは好評であり, 効果もあがったように思われる。また, A 2 クラスでも一部活用した人があったことは興味深い。

2) 2000 年度後期

前期の試みの成功を受けて, 後期は講義の一部の波動, 相対性理論についてインタラクティブな教材を用意し学習させた。内容は解説と物理教材サイトの教材へのリンク集, 対象は埼玉医科大学 1 年生全員, A クラス (高校物理未履修者) 49 人, B クラス (高校物理履修者) 54 人である。

教材 2.1 波動—教材とアニメリンク集

われわれが作成したアニメ教材と, インターネット・ウェブ上の物理教材サイトの波動に関するアニメ教材へのリンク集である。そのリストと簡単な説明を表 1 に掲げる (実際のページでは下線部にリンクが貼られている)。われわれが作成したアニメ教材は, 「波動方程式」で, 「波動方程式の導出」と「波動方程式の解と意味」の 2 ページからなる。「波動方程式の導出」は模式的なアニメーションにより音波の波動方程式導出を解説する。クリックによってアニメーション図中に圧力や変位ベクトルが動的に表示され, 波動方程式導出の論理の理解を助ける (図 5)。穴埋め表示には DHTML のタグオブジェクトの InnerHTML プロパティの切り替えを用い, アニメーションには Image を含むレイヤーの position プロパティを順次切り替えることによって実現した (DHTML アニメーション)。これらの機能は Internet Explorer にしか対応していない。同じ効果を Netscape の DHTML を用いて実現するのはきわめて困難と思われる。「波動方程式の解と意味」も簡単なアニメーションと解説からなる。「波動—教材とアニメリンク集」の残りの部分は, 9 ウェブサイト 26 教材へのリンク集である (表 1 参照)。

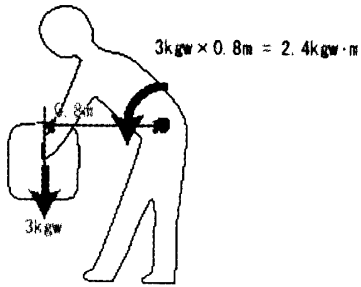
教材 2.2 相対性理論

相対性理論に関する解説で「Galilei 変換と光速のなぞ」「特殊相対性理論」「Lorentz 変換のグラフ」の 3 ページからなる。「Galilei 変換と光速のなぞ」はアニメーションと穴埋め表示を用いて Michelson Morley の実験結果の意味を解説する。

荷物と上体(図中、黄色の部分)に働く力は

- ①荷物に働く重力 3kgw (表示) (非表示)
- ②上体に働く重力 40kgw (表示) (非表示)
- ③腰後側で上体と脚を結ぶ筋肉の張力 F (表示) (非表示)
- ④腰の関節を通して脚が上体に及ぼす力 F (表示) (非表示)

である。
荷物と上体が静止しているとき、これらの力の鉛直成分のつりあい、水平成分のつりあい、トルク(力のモーメント)のつりあいが成り立つ。ここではトルク(力のモーメント)のつりあいを考える。腰を支点とするので、力 F によるトルクは0となり、考えなくてよい。

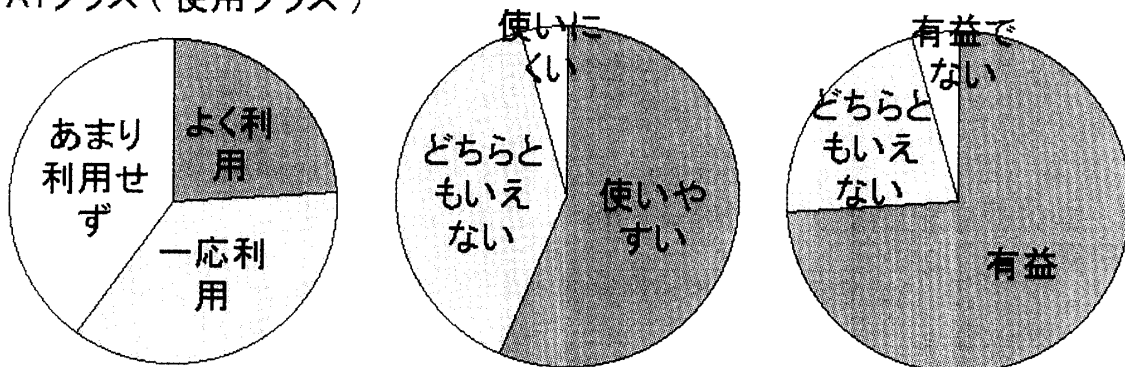


トルク	表示	式	方向
荷物への重力によるトルク	(表示)	$3\text{kgw} \times 0.8\text{m} = 2.4\text{kgw} \cdot \text{m}$	⌚
上体への重力によるトルク	(表示)	click here	⌚
腰後側の筋肉によるトルク	(表示)	click here	⌚
	(非表示)		

トルクのつりあい (表示) $F \times 0.1\text{m} = 2.4\text{kgw} \cdot \text{m} + 12\text{kgw} \cdot \text{m} = 14.4 \text{kgw} \cdot \text{m}$
ゆえに $F = 14.4 \text{kgw} \cdot \text{m} \div 0.1\text{m} = 144 \text{kgw}$

図3 テスト「荷物を持つ人の腰にかかる力」の解説と解答 表中の空白をクリックすると答が表示され、「表示」の項をクリックすると対応する力ベクトル、距離、回転する矢印が図中に表示される。矢印は gif アニメーションである。

A1クラス(使用クラス)



A2クラス(未使用クラス)

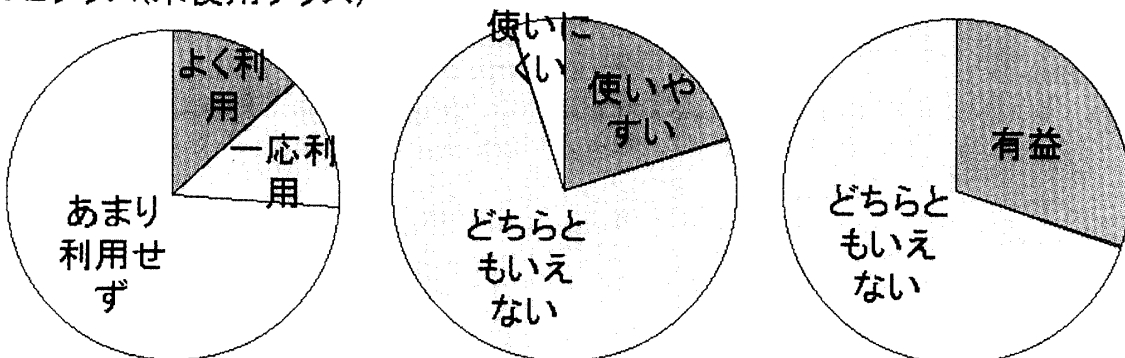


図4 学期終了後アンケートの結果 積極的に使用を指導した A 1 クラスでは好評であり、効果もあがった。別の計画で授業を進めた A 2 クラスでも一部活用した学生もあった。

表 1 波動—教材とアニメリンク集

波動方程式	<u>波動方程式の導出</u> ⁽⁰⁾ 気体、液体、弾性体の弾性による音波縦波の波動方程式導出の解説 (DHTML アニメ, Internet Explorer4.0 以上)
	<u>波動方程式の解と意味</u> ⁽⁰⁾ 進行波、後退波、波の速さ、重ねあわせの原理的説明(DHTML)
波動の性質	<u>波動の性質</u> ⁽¹⁾ 神川定久氏による「高校授業ノート」から 波の種類について学習する。重ねあわせと独立性を学習する。干渉の現象について学習する。波の反射と定常波について学習する。物体の固有振動について調べる。
進行波	<u>横波および縦波進行波</u> ⁽²⁾ 横波、縦波のアニメーション
	<u>水波の3次元表示</u> ⁽³⁾ 一点から広がる表面波紋の3Dアニメーション
	<u>電磁波の伝搬</u> ⁽³⁾ 振動する電気双極子から広がる電磁波の3Dアニメーション
反射・屈折	<u>ホイヘンスの原理による反射・屈折</u> ⁽⁴⁾ 反射・屈折のアニメーションによる図解
波の重ねあわせ(1D)	<u>波の重ねあわせ</u> ⁽⁴⁾ 対向するなめらかなパルス波の重ね合わせ、正+正
	<u>波の重ねあわせ2</u> ⁽⁴⁾ 対向する三角パルス波の重ね合わせ、正+負
	<u>2つの波の重ね合わせ</u> ⁽⁵⁾ 重ね合わせ、定常波のアニメ、解説、設問
	<u>サイン波の重ね合わせによる合成波</u> ⁽³⁾ 倍振動の重ね合わせによる波形の生成、インタラクティブな静止画
定常波	<u>定常波</u> ⁽⁴⁾ 対向波による定常波生成のアニメーションによる図解
	<u>定常波</u> ⁽²⁾ 横波と縦波の定常波のアニメーション
うなり	<u>うなり</u> ⁽²⁾ 振動数の接近した2音によるうなりの音声とアニメーション
反射波との干渉	<u>合成波1</u> ⁽²⁾ 正弦波の反射波と直接波の干渉、強めあいと打ち消しあい
	<u>合成波2</u> ⁽²⁾ 正弦波と反射波の干渉による定常波
	<u>波の反射1 (正弦波)</u> ⁽⁴⁾ 正弦波とその反射波の干渉による定常波
	<u>波の反射2 (パルス波)</u> ⁽⁴⁾ パルス波とその反射波の干渉
弦、管の定常波	<u>弦の定常波</u> ⁽³⁾ 弦の定常波の基本振動、2倍振動、3倍振動のアニメーション
	<u>管の定常波</u> ⁽³⁾ 開管、開管内の空気の定常波の基本振動、倍振動のアニメーション
干渉(2D,3D)	<u>球面波の干渉</u> ⁽²⁾ 2点から発する球面波の干渉、2Dアニメーション
	<u>波の干渉</u> ⁽¹⁾ 2点から発する表面波紋の干渉、3Dアニメーション
ドップラー効果	<u>ドップラー効果</u> ⁽²⁾ ドップラー効果のアニメーションによる図解
	<u>ドップラー効果</u> ⁽⁶⁾ ドップラー効果のアニメーションによる図解
超音波の応用	<u>超音波</u> ⁽⁷⁾ 札幌医大 医用電子工学講義 超音波 1. Pulse Doppler と Power Doppler 2. 超音波内視鏡 超音波最近のトピックス 1. Tissue Harmonic Image 2. Pulse Inversion
	<u>超音波のページ</u> ⁽⁸⁾ 自治医大 中央部門による解説 超音波の性質、画像の作成のしかた、ドプラ法、カラードプラ法、探触子について、アーチファクトについて、安全性について、超音波用語について、超音波画像のトレーニング

電磁波の 応用	やさしいX線写真(入門編) ⁽⁹⁾ 富士メディカルシステム株式会社による解説 1. 光とX線 2. X線の発生と装置 3. X線フィルムとは 4. スクリーンとは 5. カセットとは 6. 撮影架台とグリッド 7. 直接撮影法について 8. X線の撮影方法について 9. 現像仕上げとは 10. 現像の仕組み 11. X線写真の観察 12. X線写真の保管 13. FCRについて 14. FCRの機能と特長 15. FCRの装置 16. FCRの感光材料 17. 新医療用画像記録フィルム 付表 X線フィルムの簡単な特性実験 1. X線フィルムの現像 2. X線フィルムの定着
	X線検査 ⁽⁷⁾ 札幌医大 医用電子工学講義 X線検査の神髄、断層撮影、DSA(Digital Subtraction Angiography)、CT(Computer aided Tomography)、CTにおける画像処理、CT最近のトピックス
	MRI ⁽⁷⁾ 札幌医大 医用電子工学講義 MRIの原理、MRIの実際、MRI用造影剤、多彩な撮影法

(0)当物理学教室 original(担当 赤間)

(1)神川 定久, [Kamikawas'ページ](#) [4] [高校物理授業ノート](#) [5]

(2)鈴木徹夫, [JAVA VIRTUAL LAB](#) [6]

(3)北村俊樹, [たまきちの物理 HomePage](#) [7] [Java アプレットのテストルーム](#) [8]

(4)加藤徳善, [のりさんのパソコン物理](#) [9] [電子黒板で使える JAVA アプレット](#) [10]

(5)高見澤 實, [物理問題研究会「物理の教室」](#) [11] [動く物理、動かないけど物理](#) [12]

(6)北村俊樹, [in 物理教育ネットワーク NEP](#) [13] [JAVA アプレット物理教材](#) [14]

(7)永倉久泰, [札幌医科大学 放射線医学講座](#) [15]

(8) [自治医科大学](#) [16] 講座案内 中央部門

(9) [富士メディカルシステム株式会社](#) [17]

波動方程式の導出

上図は縦波が進む時の媒質の動きの模式図である。波は左から右へ進んでいるが、媒質のそれぞれの部分に着目すると同じ場所の付近で伸び縮みしながら振動している。(図示)(色消去)
この運動は両側からの圧力による力によって起こる。(図示)(消去)
スローモーションで見てみよう。(スロー)(ノーマル)
密度が高くなると圧力が大きくなり、密度が低くなると圧力が小さくなる。
前後の圧力の差によって加速度が生じ、振動する。の部分の運動方程式を考えよう。
の元の幅を Δx とし、進行方向に垂直な断面積を S 媒質の密度を ρ (図示)(消去)
の重心の元の位置からの変位を ξ (図示)(消去)
に左から働く圧力を p 右から働く圧力を $p + \Delta p$ (図示)(消去)とすると
の質量、加速度、に働く力と運動方程式とそれを整理した形は次表のようになる。

	質量 ヒント	加速度 ヒント	力 ヒント	運動方程式 ヒント	整理、 $\Delta x \rightarrow 0$
リセット	答を考えたからクリック	答を考えたからクリック	答を考えたからクリック	答を考えたからクリック	答を考えたからクリック ①

の左端の変位と右端変位の差 $\Delta \xi$ は元の長さ Δx からの伸び縮みである(図示)(消去)。
媒質の静止時の圧力を p_0 、弾性定数を k 、とすると応力と歪みの関係は次表のようになる。

応力 ヒント	歪み ヒント	応力歪み関係 ヒント	$\Delta x \rightarrow 0$	ここで②を①に代入すると波動方程式
リセット	答を考えたからクリック	答を考えたからクリック	答を考えたからクリック ②	答を考えたからクリック

が導かれる。

波動方程式の解と意味のページへ

図5 波動方程式の導出 上欄の波動は DHTML アニメーションである。波動が進んでいく様子と同時に部分の運動、伸縮、圧力の増減などが観察できる。下表の項目に該当するものを選んでから、クリックして答えを表示し、確かめながら進むことにより、運動方程式からの波動方程式の導出が理解できるように仕組みである。

「特殊相対性理論」は穴埋め表示を用いて相対性原理, 光速不変の原理から Lorentz 変換の導出を体験させる。式が順次表示され, そのつど次の操作が指示されるように工夫した。「Lorentz 変換のグラフ」は時間-座標のグラフのアニメーションを用いて Galilei 変換と Lorentz 変換を比較し, Lorentz 変換の意味を理解できるように工夫してある。穴埋め表示には DHTML のタグオブジェクトの InnerHTML プロパティの切り替えを用い, アニメーションには Image を含むレイヤーの position プロパティを順次切り替えることによって実現した。これは内容がやや高度だったため, 進んで勉強する学生の興味を喚起したが, 内容に比してページ数が少なかったため, 高校物理未履修者にはわかりにくかったようである。(図 6)

3) 2001 年度前期

この期は, 埼玉医科大学 1 年生のうち高校物理未履修者, A 1 クラス 29 人, A 2 クラス 28 人に対し, 力学初歩の宿題のヒントとして教材を作成し, 使用させた。また, 東京大学 1 年生理科 1 類 15, 16 組, 2 類 7 組合同クラス(高校物理履修者)に対する力学の授業の一部に 2 つの図解アニメ教材を作成し, 講義中のデモンストレーションとして使用した。

教材 3.1 4/20 宿題のヒント 「直線運動の等加速度運動, 自動車のブレーキ」

自動車のブレーキをかける運動について, 初速度と一定の加速度が与えられているとき, 前方に停止している自動車に追突しないように止めるには何 m 手前でブレーキをかけたらいいか求めさせる問題のヒントである。解説とともに, DHTML によるゲーム風のアニメーションが付けてある。アニメーションでは「スタート」の文字をクリックすると自動車が走り出し, 「ブレーキ」の文字をクリックするとブレーキがかかり始めるが, クリックするタイミングが遅すぎると前方の自動車に追突してしまう。ゲームを楽しみながら物理的内容を実感させることをねらっている。中には熱中してしまう学生もあった。(図 7)

教材 3.2 4/27 宿題のヒント 「平面運動の等加速度運動, 放水された水の運動」

ホースの口から斜め上方へ吐き出された水が何

m の高さまで上がり, 何 m 先に落ちるかを問う問題のヒントである。解説文の式や数値を伏せておき, 学生が考えてからクリックすると表示されるようにプログラムが組んである。リセットをクリックすると, 表示は消え, 再度試みることができる。表示非表示の切り替えには DHTML の InnerHTML プロパティを用いた。

教材 3.3 5/11 宿題のヒント 「運動の法則, 紐でつないだ物体の運動」

二つの物体をひもでつなぎ, 一方を水平な台の上におき, 他方を台の端に取り付けた滑車を介して鉛直に吊り下げたときの運動の加速度とひもの張力を求めさせる問題のヒントである。運動のアニメーションおよびインタラクティブな図解付きの解説からなる。アニメーションは DHTML を用いて作成し, ストロボ様の痕跡が残るモードでも表示できるようにした。解説は整理のための表の空欄にはいる式を考慮してからクリックして答えを表示させ, また図中に力のベクトルを表示させる方式である。これは 2000 年度の教材 1.3 と同様だが, ここでは, DHTML を用いた。ベクトルの表示非表示切り替えには, Image オブジェクトの Visibility プロパティの切り替えを用いた。DHTML ではベクトルの図をオブジェクト化できるので, 2000 年度の教材 1.3 のような全図の Image オブジェクトの src プロパティの切り替えに比べ, イメージファイルの数もサイズも小さくてすみ, 多様なことができる。しかし, Internet Explorer にしか対応しないのが難点である。

教材 3.4 5/18 宿題のヒント 「静力学, 腹筋運動で筋肉と脊椎に働く力」

寝転んで上体を斜めに起こした姿勢を保つとき, 力とトルクの釣り合いから腹筋と腰骨に働く力を求める問題のヒントである。前項と同様の手法を用い, また, 回転する矢印のアニメを用いてトルクをビジュアルに表示した。(図 8)

教材 3.5 天動説と地動説

東大の高校物理履修者クラスの力学の最初の時間にデモンストレーションとして用いたものである。DHTML アニメーションをインタラクティブに操作しながら, 天動説と地動説の論理を比較し, 理解することができる教材である。全体に運動し

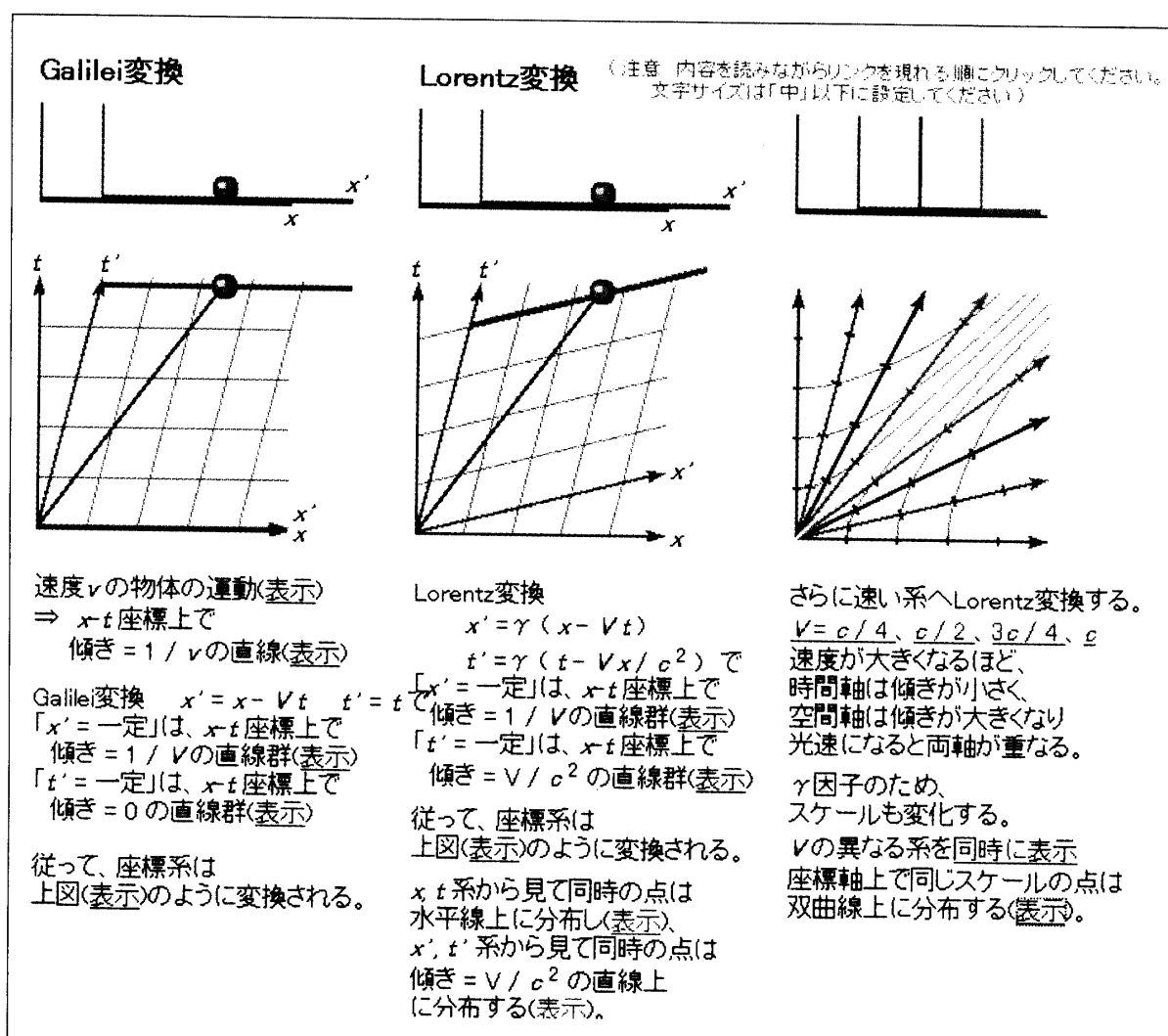
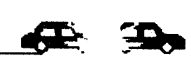


図6 相対性理論「Lorentz変換のグラフ」 説明文中の「表示」をクリックするとアニメーションとグラフが連動して動く。Galilei変換とLorentz変換を比較してLorentz変換の意味を理解できる。

下のスタートをクリックしてスタートし、前方の車に追突しないようにブレーキをかけよう。
 ブレーキをかけるには、下のブレーキの文字をクリックする。

10m/sでスタート 15m/sでスタート 20m/sでスタート ブレーキ

$v = 4\text{m/s}$

 $t = 2.6\text{s}$
 $x = 38\text{m}$

注意 実際は、人の反応時間、ブレーキ性能の限界などのためにさらに20---30m走るものと考えるのが妥当です。

図7 宿題「自動車のブレーキ」のヒントに付加したアニメーション スタートをクリックすると自動車が走り出し、「ブレーキ」の文字をクリックするとブレーキがかかり始めるが、クリックするタイミングが遅すぎると前方の自動車に追突してしまう。

(2) 上体も静止しているので、上体に対して働く力の間にも **つりあいの条件**、「力の総和が0」と「トルクの総和が0」が成り立つ。
ここでは点 P を支点とするトルクの釣り合いを考える。

トルク = (力の大きさ) × (作用線と支点の距離) である。各力によるトルクを次表にまとめよう。

「図示」の文字をクリックして図中に表示し、

自分で考えて、各欄を記入してみよう。

	力の 大きさ	作用線 と支点 の距離	トルク	向き	
<input type="checkbox"/> 図示	—	—	—	—	reset
<input type="checkbox"/> 図示	—	—	—	—	reset
<input type="checkbox"/> 図示	—	—	—	—	reset
すべてトルクを図示					reset

下線をクリックすると答えが表示されます。

上の表で \odot のトルクと \odot のトルクがつりあう。

これを解いて既知量を代入すれば T が求まる。
(3) 力の水平、鉛直それぞれの成分の釣り合いを考えるため、斜め方向を向いている R を水平成分 R_x と鉛直成分 R_y に分解する ☐ 図示。

全ての水平成分を ☐ 図示

よってつりあいの式は $\text{—} = \text{—}$

全ての鉛直成分を ☐ 図示

よってつりあいの式は $\text{—} = \text{—}$

これに既知量を代入すれば R_x と R_y が求まる。

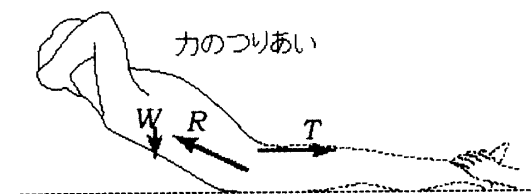
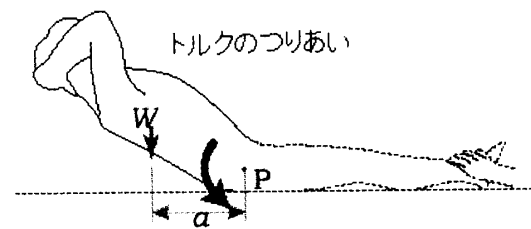
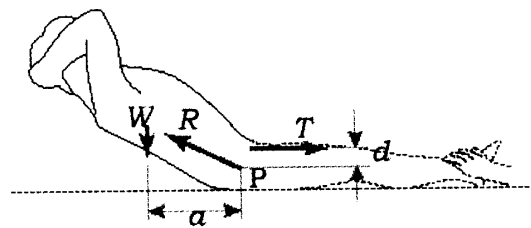


図 8 宿題「静力学、腹筋運動で筋肉と脊椎に働く力」のヒント 表中の空白をクリックすると答が表示され、「表示」の項をクリックすると対応する力ベクトル、距離、回転する矢印が図中に表示される。矢印は gif アニメーションである。

天動説と地動説

スタート ストップ

☐ 天動説

☐ 火星と太陽のみ表示

☐ 搬送円と周転円の入替え

☐ もとの周転円の消去

☐ 太陽を周転円の中心に

☐ 火星のスケールアップ

☐ 太陽を中心に表示 ☐ 地球を中心に表示

☐ 地球の軌道を表示 ☐ 太陽の軌道を表示

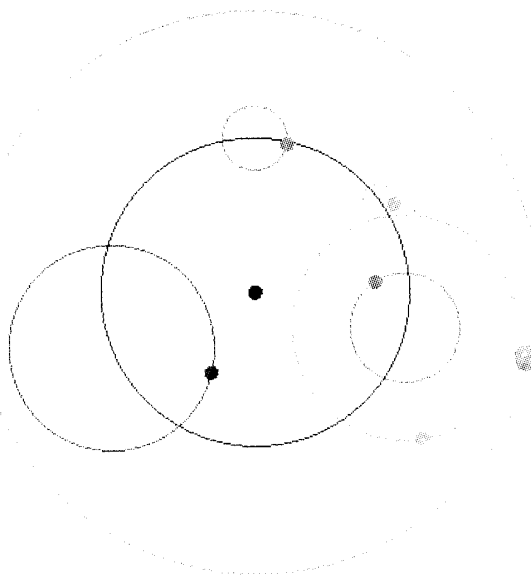


図 9 天動説と地動説 全体に運動しているが、地球を中心に回転し搬送円と周転円を表示するモード (図) から搬送円と周転円を交換したモード、太陽を中心に回転するモードなどに切り替えることができる。アニメーションをインタラクティブに操作しながら、天動説と地動説の論理を比較し、理解することができる。

ているが、地球を中心に回転し搬送円と周転円を表示するモード（図9）から搬送円と周転円を交換したモード、太陽を中心に回転するモードに切り替えることができる。図が実際に動くことで現象の把握が容易で確実になる。

教材 3.6 回転系から見た運動「遠心力、コリオリ力を Java アニメで見る」

東大の高校物理履修者クラスの力学で用いたものである。物体の等速度運動のアニメーションを、インタラクティブに操作しながら、静止系と回転系を切り替えて観察したり、ストロボ様の痕跡を表示したりして、遠心力、コリオリ力が生じる理由を直観的にとらえることができる。Java 言語を用いた的確なグラフィクスと高度な操作性を実現した。（図10）

3. 結論と検討

以上、我々の開発した教材と教育の実践を説明した。我々はインターネット・ウェブページ・メディアの様々な教育場面での使用を想定し、技術的にも様々な方法を試みた。これを整理して考察する。

1) 教育場面としては、次のようなものを想定して教材作成を試みた。

(i) 講義の中での演示

これを主な目的としていくつかの教材を作成した（教材 2.1, 2.2, 3.1, 3.5, 3.6）。穴埋め表示は自学自習用にも有力であるが、講義の演示として用いれば、計画的で効率的な授業が可能になり、板書等とは違った効果が期待される。しかし、効率に過ぎ、人間味に欠けるきらいがあり、また、授業が速くなり、学生の理解やノートが追いつかなくなる恐れがある。穴埋め画面のプリントを配っておき、重要事項にポイントを絞ってノートさせるのもひとつの方法である。それでも理解の速度を超えないよう十分な配慮が必要である。クリックなどのアクションによる動く図解やインタラクティブアニメーションを用いれば、板書やパネル提示にはない動的な表現が可能になり、学生の理解を大いに助けるものと思われる。

(ii) 教材サイトの参照

講義中又は自習中、様々なサイトの教材を有機

的に参照して学習できるように、学習内容の分類に応じた教材サイトへのリンク集を作成した（教材 2.2）。この試みのひとつの理想像は、リンク集というよりは、これそのものが教育システムであり、その中で必要なアニメーションなどの教材をウェブリソースの中から提示するという形である。ウェブ教材作成は実際かなり大変な作業を必要とするが、各教材作者、教育担当者がこういう形でお互いに教材を提供しあい、それぞれの教育に利用できる体制が確立すれば、さらに充実した教育が可能になるものと考えられる。この場合、個々の教材サイトの中からつまみ食いの部分利用することになる恐れがあり、作者の意図に沿わなくなるという倫理的な問題がある。作者の了解を十分とっておく必要がある。

(iii) 予習のヒント、宿題のヒント、試験のヒントと解答

（教材 1.1-1.12, 3.1-3.4）予習、宿題、試験勉強などは、これまでは学生が各自行ってきたが、授業時間の減少、学生自身の基礎力の低下などにより、補助が必要になっている。インターネットはこれに有力な手段を提供する。（i）で述べたような穴埋め表示、動く図解やインタラクティブアニメーションなどを、インターネットを通じて放課後や自宅の学生のパソコンに提供し、学生に自習させれば、授業と同等とまではいかなくても、学生の理解を大いに助けることは間違いない。

2) 技術的には、次のようなものを試みた。

(i) 穴埋め表示方式

（教材 1.2-1.12, 2.1, 2.2, 3.2-3.4）教材の中で、重要な概念や式変形の答などを考えさせてからクリックさせ、表示する方式である。あまり多いとわずらわしすぎ、難しすぎれば考えずに表示してしまうので、そうならないよう、十分に誘導をする必要がある。しかし、一瞬でも考えながら読むことは、思考過程を活性化し、理解に役立つものとする。穴埋めをさらに進めて、問題解答形式（極端には、正答でなければ次に進めない方式）が考えられるが、穴埋めにすべきところをすべて問題にしてしまったのでは、煩雑になり、学習の流れを妨げる恐れがある。しかし、これとは別に、クイズやゲーム性のあるものを導入して、

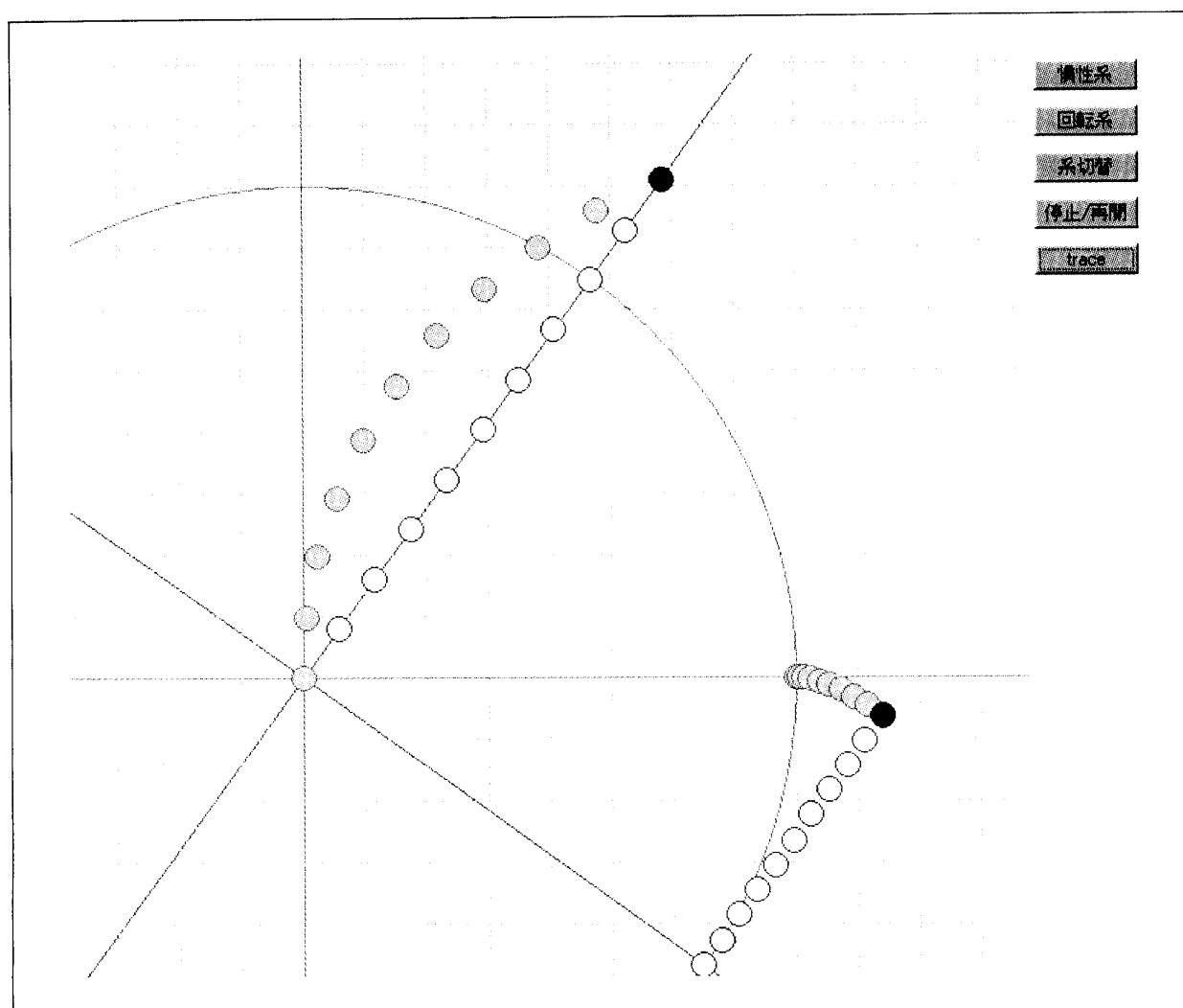


図10 遠心力, コリオリ力を Java アニメで見る 物体の等速度運動のアニメーションを, ボタンを切り替えて, 静止系および回転系から観察することができる. trace ボタンをクリックするとストロボ様の痕跡が表示される. 遠心力, コリオリ力が生じる理由を直観的にとらえることができる.

学生の興味を喚起するのは, 有力な手法となり得る.

穴埋め表示方式をウェブページのプログラム上で実現するには色々な方法がある. ① HTML の Image オブジェクトの src (ソース) プロパティを JavaScript で切り替える方法, ② DHTML のレイヤーや様々なオブジェクトの Visibility プロパティを切り替える方法, ③ タグオブジェクトの InnerHTML プロパティを切り替える方法, ④ Java Applet で repaint する方法などが考えられる. ①は, 簡便であるがそれぞれに gif ファイルを用意する必要があり, ファイル数が膨大になる. ②③は①より機能性が高いがブラウザ間の互換性に欠ける. ④は最も機能性が高いが, 本格的プロ

グラム言語なので作成手続きが煩雑である. このように, それぞれ一長一短がある.

(ii) 図中への表示

(教材 1.3-1.5, 1.8-1.12, 2.1-2.2, 3.3, 3.4) 本文中で参照するベクトルやその他の図の要素を, 本文中のクリックに応じて表示したり, 動かしたり, 消去したりする方式であり, 物理現象の直観的, 具体的理解に威力を発揮する. 幾何学的記述などにおいて, 文章による図形の指示があるとき, それを同定する思考過程の負荷に抵抗を感じてスムーズに進めない学生が多いが, この方式はその負荷を著しく軽減する.

これを実現するためのプログラム手法としてはやはり上の①-④が有効である. ①は図を重ねて

用いることができないので、図の一部の要素を切り替えるためには、全図の gif ファイルを取り替える必要があり、大きな図では容量と転送時間が大きくなってしまふ欠点がある。④は本格的なグラフィックスが使用できるので、非常に機能性が高い。

(iii) インタラクティブアニメーションによる図解
(教材 1.4, 1.12, 2.1, 2.2, 3.1, 3.3-3.6)

百聞は一見に如かずで、具体的な運動の理解にはこれが最も強力である。マウス操作によってアニメーションを操作できるように仕組んでおけば、等加速度運動、振動、波動などにおける様々な概念、論理の把握にきわめて有効である。アニメーションとしては、① gif アニメーション、② JavaScript による Image オブジェクトの操作 (JavaScript アニメーション)、③ DHTML によるレイヤーその也のオブジェクトの position, width, height その也のプロパティの操作 (DHTML アニメーション)、④ Java アニメーションなどが有効である。①はインタラクティブな操作性に欠ける。②および③は簡便に作れ、操作の埋め込みが容易であるが、実行速度が遅く、複雑な動きには向かない。また、本格的なグラフィックスではないので回転などの運動は表現しにくい。④は本格的なグラフィックスが使用でき、速度も速く、高度な表現ができるが、作成には手間がかかる。

おわりに

この研究を通して、インターネット・ウェブページ・メディアを用いた教材、教育システムの作成について、様々な知見を蓄積することができた。今後、これらの成果をもとに、さらに系統的な教育システムの構築に取り組み、実際の教育に役立てていきたい。

謝辞

この研究は科学研究費補助金を受けて行われている。

る研究計画 [2] の一環として行われたものである。ここに関係機関・各位に感謝の意を表する。

文 献

- [1] 赤間啓一, 赤羽 明, 勝浦一雄, 向田寿光, 林昌樹, 埼玉医科大学進学課程紀要 NO.8, 67, (2000).
- [2] 基盤研究「医学と生命科学の題材を取り入れた物理教育」, 課題番号 12680188, 研究代表者 勝浦一雄, 平成 12 年-14 年.
- [3] 埼玉医科大学物理学教室ホームページ 学外向け <http://www.saitama-med.ac.jp/uinfo/butsuri/index.html>, 学内向け <http://smswww/dept/doc9/index.html> (学外向けと学内向けの内容はほぼ同じ)
- [4] 神川定久, ホームページ <http://www.kamikawas.com/>
- [5] 神川定久, ホームページ <http://www.kamikawas.com/webtext/index/html>
- [6] 鈴木徹夫, ホームページ <http://www.asahi-net.or.jp/~zn6t-szk/javalab.html>
- [7] 北村俊樹, ホームページ <http://www.bekoame.ne.jp/~kitamura/index.html>
- [8] 北村俊樹, ホームページ <http://www.bekoame.ne.jp/~kitamura/javademo.htm>
- [9] 加藤徳善, ホームページ <http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/sciencenori.html>
- [10] 加藤徳善, ホームページ <http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/JEFP.html>
- [11] 高見澤 實, ホームページ <http://www2.sbiglobe.ne.jp/~butsuri/>
- [12] 高見澤 實, ホームページ <http://www2.sbiglobe.ne.jp/~butsuri/html/phystable.html>
- [13] NEP ホームページ <http://www.nep.chubu.ac.jp/>
- [14] NEP ホームページ <http://www.nep.chubu.ac.jp/~nepjava/applet.htm>
- [15] 永倉久泰, 札幌医科大学放射線医学講座ホームページ <http://web.sapmed.ac.jp/radiol/>
- [16] 自治医科大学ホームページ <http://www.jichi.ac.jp/>
- [17] 富士メディカルシステム株式会社ホームページ <http://www.fujifilm.co.jp/fms/>

脚注

注 1 埼玉医大 1 年生の物理学の講義は高校物理未履修者の A 1, A 2 クラスと同履修者の B クラスに分けて行っている。