

## 物理学教育におけるコンピュータ演示機能活用の工夫

赤間啓一, 赤羽 明, 勝浦一雄, 向田寿光

埼玉医大 物理学教室

**要旨** 高校物理未履修の大学生に対する力学基礎教育について, 論理自体のアニメーション化をする手法により, 分かりやすく効果的な教育システムを構築し, 教育を実践した. 学生にも好評で, 成績向上にも効果があった. 各年次, システム適用直後に行なった試験の成績を解析したところ, システムを適用したクラスの成績に有意の向上がみられた.

### § 1. はじめに

今, 大学生の基礎科学学習を取り巻く環境には, 非常に厳しいものがある. 大学専門教育拡充の名のもとでの基礎科学教育の圧縮と小・中・高校での基礎科学教育縮小の, 上下からの圧迫のため, 学生の基礎科学学習の機会は大きく制限され, 科学的資質・能力は著しく低下している [1]. 将来の社会を支えていく人々の科学力の低下は見過ごせない問題であり, 例えば医者や技術者になる人達の科学力不足は社会にとって脅威でさえある.

この事態のひとつの大きな原因は, 過度な行政介入による制度的不備にある. 例えば, 物理, 化学などの基礎科学の選択を阻む高校理科選択制度 [注 1], 学習指導要領と検定教科書における基礎科学科目の非科学的な構成 [注 2], 基礎科学教育を担ってきた教養部の廃止など, 不合理なものばかりである [2]. これらは緊急に是正されなければならない.

しかし, もっと本質的な基礎科学学習圧迫の要因は, 科学技術自体の急速な発展にともなう教育内容の加速度的な増加にある. 物理学, 化学などの基礎科学でも, 医学, 工学などの応用科学でも, 年々新しい発見や技術革新があり, その成果にはめざましいものがある. それにともなって, 各分野の教育内容が増加していくのは避けられない動向といえる. しかし, だからといって, 基礎科学をおろそかにしたのでは, 自らの首をしめることになろう. 将来的には, 教育期間の延長など抜本的な改革が必要であるが, 基礎科学にも高密度で効率的な教育が求められる. そのために, 学生に対する十分なケアと同時に, 新しい方法の開発が強く望まれる.

幸い, 科学技術の発展は, その福利として, 我々に様々な新しい手法を提供する. 特にコンピュータの可能性には計り知れないものがある. 我々はそのような新手法のひとつとして, 物理学や数学の内容伝達におけるコンピュータ演示機能 [注 3] の活用を提案したい. コンピュータの教育への応用は広く研究され, 利用されている [3]. 筆者らも, 過去に教育支援システムを作成し, 実際の教育に使用してきた [4]. しかし, 筆者らのものを含め, 多くはコンピュータの情報参照機能, データ処理機能, 通信機能などの利用にとどまっている. 我々はここで, 演示機能を使って, 論理自体のアニメーション化をすることにより, 分かりやすく効果的な内容伝達が可能であることを強調したい. 筆者らは, 近年, この手法を用いて高校物理未履修の大学生の対する力学基礎教育のための教育システムを構築した. これは, コンピュータ上の講義演示, 学生自習兼用の教育・学習支援ソフトウェアと, 配布プリント, 各種課題を系統的に用意し, 計画的に教育を進める包括的教育システムである. また, このシステムを埼玉医科大学1年生の高校物理未履修クラスに適用し, 一定の成果があった. ここにそのシステムを紹介し, 成果を報告する [5].

## § 2. システムの概要

このシステムが対象とする教育内容は力学の基礎で、次の6章からなる。

1. 直線運動 2. 平面運動と空間運動 3. 力と運動
4. 静力学 5. 仕事とエネルギー 6. 力積と運動量

各章ごとに1回の講義(65分)と1回の演習(65分)を行う。このシステムでは各章ごとに、

講義演示用コンピュータファイル、講義用プリント、講義レポート課題、宿題、

演習演示用コンピュータファイル、演習用プリント、演習レポート課題、小テスト

が用意されている。コンピュータファイルは埼玉医科大学物理学教室のホームページの電子教科書のページ [6] に掲載されているので参照されたい。

それぞれのコンピュータファイルは、マイクロソフト・パワーポイントのアプリケーションで、演示機能を駆使して物理学の内容を分かりやすく伝達できるよう様々な工夫をこらしたものである。講義の内容は各章の理論的展開、要点のまとめ、例題からなる。演習の内容は各章の演習問題2～3題からなる。それぞれのプリントはコンピュータファイルの演示画面と同内容であるが、演示機能を実現するため付加したものを除去し、さらに適宜内容を伏せて穴埋め枠とし、学生が記入するようにしたものである。学生は、このプリントを参照しながら講義、演習の授業を受ける。これらのコンピュータファイルは、上述のように、物理学教室ホームページにアップロードされており、学生はいつでも閲覧して復習することができる。

講義レポート課題は、講義中の例題の類題1題で、穴埋め式の誘導があり、学生が講義当日記入し、提出する。演習レポート課題は、演習問題の類題1題で、記述式で、学生が演習当日記入し、提出する。宿題は、演習問題の類題2～3題で、講義時に出题し、演習の授業を参考に、記述式で記入し、次回講義開始時に提出する。小テストは記述式で、次回講義冒頭に行なう。講義の中で行なった各章要点のまとめを穴埋め形式にして、講義レポート、宿題、演習用プリント、演習レポート、小テストの冒頭で繰り返し記入させる。提出された講義レポート、演習レポート、宿題、小テストは、添削し、解答を付けて各回演習時に返却する。講義レポート、宿題、演習レポートは、「色々なものを参考にしてよいが、よく理解して書くこと」とのルールを設け、「概ね自分で解いた、ひとのを見たがよく理解して書いた、ひとのを写したがまだ理解していない」の選択肢からひとつを選んで作成状況を自己申告させる。6章終了後、記述式の試験を行う。

これらのスケジュールをまとめて表1に掲げる。このスケジュールは教員にとっても、学生にとっても、かなりハードなものであり、提出が遅れがちになる学生もあるが、教員の側で精力的に各過程を遂行すると、多くの学生は真剣に取り組み、熱心に学習するようである。対象学生(高校物理未履修者)は60人程度で、30人程度のふたつのクラスに分け、2003、2004年度はそのうちのひとつのクラスに、2005年度は両方のクラスにこの教育システムを適用した。学生たちはこの後、力学応用(回転運動、弾性体、流体など)、電磁気、波動、近代物理分野の講義を受けることになっている。

表1 講義・演習の配布・演示・提出スケジュール

	解 答 方 式	問題数	講 義		演 習		次回 講義始	次回 演習始
			始	終	始	終		
講義プリント			配布					
理論展開			演示					
要 点			演示					
例 題	穴埋式	1,2 題		演示				
講義レポート	穴埋式	1 題		提出	返却			
演習プリント					配布			
演習問題	穴埋式	2,3 題			演示			
演習レポート	記述式	1 題				提出		返却
宿 題	記述式	2,3 題		出題		提出		返却
小 テ ス ト	記述式	1 題				提出		返却

### § 3. コンピュータ演示機能活用の工夫

では、次に第3章理論展開後の例題を例にとって、このシステムのコンピュータ演示機能活用の工夫を紹介しつつ、背景にある考え方を述べていきたい。この例題は2005年度使用したものに多少改良を加え、2006年度使用予定のものである。この例題のコンピュータファイルは埼玉医科大学物理学教室のホームページの電子教科書のページ[6]に掲載されているので参照されたい。

前述のように学生は配布資料として講義用プリントを手に行っているが、この例題に関する部分は図1のような内容になっている。これは画面に表示される内容にそったもので、学生は穴埋めの部分をノートする。学生に答を考えさせてから答を表示することもでき、教員の裁量で適宜使い分ける。穴埋め式のノートをさせることによって、学生のノートの負担を軽減しつつ、集中を維持させる効果がある。負担が軽くなる分、自分で気づいたポイントを欄外にノートする余裕も生じる。

スクリーン上には、図1上のような画面によって問題が提示され、運動のアニメーションが表示される。これによって、学生は問題の運動を視覚的にイメージすることができる。初心者のひとつの大きなつまずきはイメージ形成の困難ないし失敗にある。イメージの把握には実物を見るのが望ましいが、時間的、労力的制約がある。また、図式化したアニメーションは、実物では埋もれてしまう本質を抽出したイメージを与えることができるという利点もある。運動のアニメーションはコンピュータ画面演示の特性を活かす有力な手法といえる。

全ての表示はクリックまたはカーソルキーによって次に進み、カーソルキーで戻ることもできる。これを講義演示用として用いる場合は、教員が状況に応じて緩急自在に進むことができ、必要に応じて繰り返し表示することもできる。これを学生自習用として用いる場合は、理解度に合わせて能動的に学習を進めることができる。条件判断による分岐は原則として設けない。内容は極めて基本的なものであり、教案は十分な吟味のうえで計画的に組まれたものであるから、やらない部分があるのはよくないと考えるからである。復習の時などで、すでによく修得している部分は、確認のうえ、能動的に早送りすればよい。極めて高速で早送りすることができる。

アニメーションの次に、図2a右下のような枠の中に「運動の予測」と題する解法のまとめが提示される。これは直前の理論展開の要点のところが登場したものと同じで、例題、演習で同じものを繰り返し使用して学生に

力学基礎第3章 例題

物体1 質量  $m_1=5.0\text{kg}$   
 物体2 質量  $m_2=4.0\text{kg}$   
 摩擦なし  
 両物体の加速度  $a$   
 ひもの張力  $T$ 、  
 垂直抗力  $N$ を求めよ

$m_1=5.0\text{kg}, m_2=4.0\text{kg}$       $g=9.8\text{m/s}^2$

運動方程式 (質量)(加速度)=力

物体2 鉛直成分  
 =  
 物体1 水平成分  
 =  
 鉛直成分  
 =

運動の予測 ①物体毎に加速度と受ける全ての力(接触、重力)を図示  
 ②物体成分毎に運動方程式をたてる 質量×加速度=受ける力の総和 ③解く

$m_1=5.0\text{kg}, m_2=4.0\text{kg}, g=9.8\text{m/s}^2$

方針 ○未知数  
 (3)より  $N$ 求める  
 (1)+(2)  $T$ 消去  $a$ 求める  
 (2)より  $T$ 求める

(3)より  $N = \text{ } = \text{ } = \text{ } \text{答}$   
 (1)+(2) ( $T$ 消去)  
 (解く)  $\text{ } = \text{ } = \text{ } = \text{ } \text{ (計算) (2桁)}$   
 $\therefore a = \text{ } = \text{ } = \text{ } = \text{ } \text{答}$   
 (2)より  $T = \text{ } = \text{ } = \text{ } = \text{ } \text{答}$

図1 3章講義プリント 例題の部分

印象付ける。解法のみはこの位置に表示され続け、その時点で行う項目を強調表示してガイドする。学生は、難しい論理展開の細部に集中するあまり、大局を見失いがちである。ガイドの表示は、逐次自分の位置を確認するのに役立つ。

最初に、「①物体ごとに加速度と受ける全ての力（接触、重力）を図示」の部分強調表示され、「物体ごとに」の部分の背景が点滅して、ここから図中の両物体位置へ点線矢印が伸びて学生の視線を誘導し、物体2を選んでスポットライトがあたる。学生はこうして心的負荷なく対象に注目することができる。初心者の困難感の原因のひとつは対象や参照情報の検索、妨害情報排除の心的負荷にあり、苦手意識、挫折につながるケースも少なくない。初心者の最初の段階では、障害はできる限り除いておくことが望ましい。しかし、最終的にはこのような負担に耐えられるように鍛えなくてはならない。演習、演習レポート、宿題、小テストと進むにつれて自力で考えるように誘導する。視線を誘導した点線矢印は、次のステップでは消去される。これを一々消去しないで残すと、画面中矢印だらけになり、何も分からなくなってしまう。必要な要素を随時表示し、不要な要素を消去できるのは、コンピュータ画面の有力な利点で、通常の紙面ではこのようなことはできない。

次に、「①物体ごとに加速度と受ける全ての力（接触、重力）を図示」の「加速度」の部分の背景が点滅して、ここから図中の物体1へ点線矢印が伸び、図中に加速度のベクトルが図示され、文字aが表示される。図2aはこの場面である。同様にして、ガイドにそって、点線矢印で視線を誘導しながら、ひもとの接触点における張力ベクトルと重力のベクトルが図示される。学生は、これらを配布プリント上にノートする。次に、スポットライトが物体1に移りへ再びガイドにそって点線矢印で視線を誘導しながら、加速度、張力、垂直抗力、重力が図示される。適宜、学生に考えさせてから図示の表示を進める。

これでガイドの①の力の図示は終り、強調表示が「②物体成分毎に運動方程式をたてる」に移る。次ページで使う図と、後で使う「 $m_1=5.0\text{kg}$ ,  $m_2=4.0\text{kg}$ 」の情報を残してページが切り替わる。後で使う情報は滑り移動させ一定枠内に整理しておく。こうして連続的に情報を残すと、情報の同一感が自然に直観的に保持され、一時記憶による心的負荷が軽減される。

ガイドの「②物体成分毎に運動方程式をたてる、質量×加速度 = 受ける力」の「運動方程式」「質量×加速度 = 力」の文字の位置から視線誘導の点線矢印が伸び、複写された文字が点線の先端に乗って滑り移動する。複写移動には必ず視線誘導の点線矢印を同期して表示し、軌跡を残す。複写移動だけだと、出発点を見失う恐れがあり、検索の心的負荷が生じるからである。滑り移動は同一のものを書き込むときだけに用いるというルールを設け、学生に知らせておく。これによって学生は同じものを書き込んだということを瞬時に直感的に理解することが期待される。

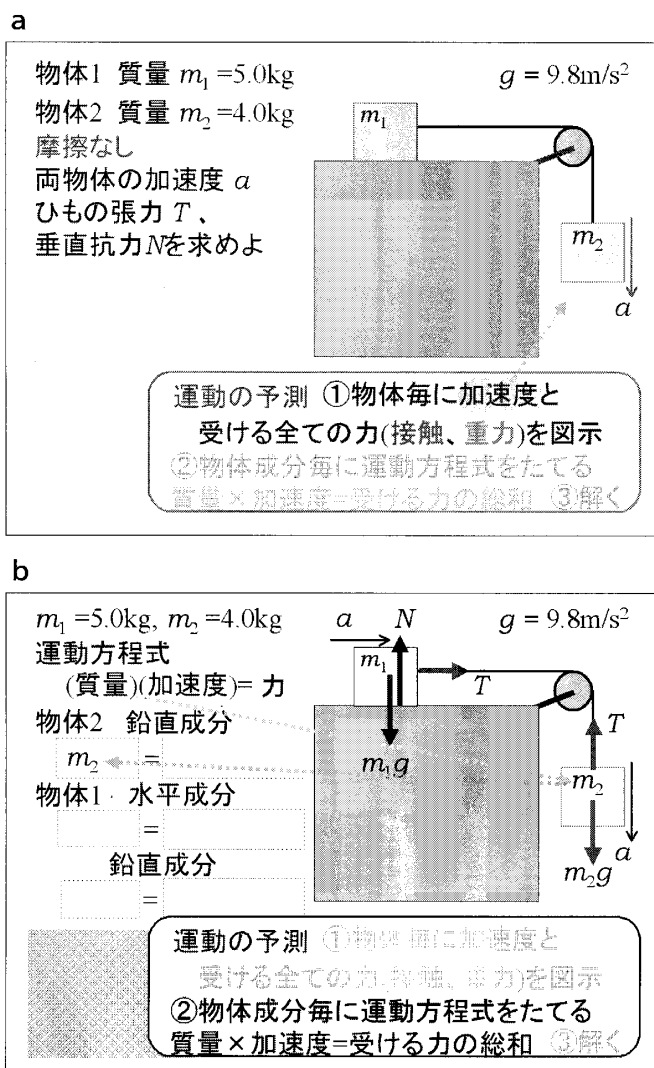


図2 a 3章スライド 例題の1ページ目 b 同2ページ目

物体2にスポットライトを当て、以下のよう  
に鉛直成分の運動方程式を書き下す。(9)で表  
示された「質量×加速度=力」の「質量」の部分  
の背景が点滅し、この例で「質量」に対応する記  
号を記入するための穴埋め枠が表示される。ここ  
で学生は穴埋め枠に記入すべきものを図中から検  
索する。次に「質量」の文字から物体2の図中  
の質量の文字「 $m_2$ 」に向かって視線誘導の点線  
矢印が伸び、記入すべきものは「 $m_2$ 」であるこ  
とを指し示す。次に文字「 $m_2$ 」を穴埋め枠に複  
写移動する。図2bはこの場面である。学生はこ  
れをノートする。この一連の過程を指示代入と呼  
ぶことにする。同様にして「加速度」に対し「 $a$ 」  
を、「力」に対し張力「 $T$ 」と重力「 $m_2g$ 」を指示  
代入する。加速度と力の正の方向が同じになるよ  
うに力の符号を選ぶことを説明する説明枠が表示  
され、消去される。このようにして、物体2の  
鉛直成分運動方程式が完成する。

次に、物体1にスポットライトを移し、まず、  
水平成分の運動方程式を書き下す。そのために、  
物体1の図中に図示されたベクトルのうち、鉛  
直成分を淡く表示して水平成分のみを濃く残す。  
指示代入によって水平成分の運動方程式を完成させ

る。その後濃淡表示を切り替え、鉛直成分を濃く、水平成分を淡く表示して、指示代入によって鉛直成分の運動方程式を完成させる。完成した運動方程式にスポットライトを当て、これが要点であることを示す。ガイドの項目の強調を「②物体成分毎に運動方程式をたてる」から「③解く」に移す。運動方程式と必要な情報を次ページに送る。運動方程式を解く方針を示すガイドの枠が表示される。初めに運動方程式の中の未知数を丸で囲んでマークする。未知数の配置から方針をたてる(図3a参照)。

初めに(3)式を解いて $N$ を求める。「 $N=$ 」の文字と穴埋め枠が表示される。「 $N=$ 」の $N$ の部分の背景が点滅し、(3)式の中の $N$ に点線矢印が伸びる。(3)式から $N$ は $m_1g$ に等しいことが分かる。そこで文字「 $m_1g$ 」を穴埋め枠に複写移動する。学生はこれをノートする。この一連のプロセスを等値代入と呼ぶことにする。この後、式に現れる文字に等値代入を繰り返し、数値の計算式になるまで式の変形を進め、最終的に数値の計算を実行する。振動する電卓のアイコンはここで数値計算を実行することを示す(図3b参照)。紙上で式の辺々の加減や定数倍、相殺消去などの習慣的な記法〔+〕、横線、消去のための斜線などを一時的に画面上に表示して演算を遂行し、穴埋め枠に結果を代入する。その際、複写移動などの動作を利用する。

この例題には登場しないがシステム全体では、さらに、表2に示すような手法も利用している。

**a**

$m_1 = 5.0\text{kg}, m_2 = 4.0\text{kg}, g = 9.8\text{m/s}^2$

$m_2 a = m_2 g - T$  (1) 方針 ○ 未知数

$m_1 a = T$  (2) (3)より  $N$  求める

$m_1 0 = m_1 g - N$  (3) (1)+(2)で消去  $a$  求める

(2)より  $T$  求める

(3)より  $N = m_1 g$

**b**

$m_1 = 5.0\text{kg}, m_2 = 4.0\text{kg}, g = 9.8\text{m/s}^2$

$m_2 a = m_2 g - T$  (1) 方針 ○ 未知数

$m_1 a = T$  (2) (3)より  $N$  求める

$m_1 0 = m_1 g - N$  (3) (1)+(2)で消去  $a$  求める

(2)より  $T$  求める

(3)より  $N = m_1 g = 5.0\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 49\text{N}$  答

(1)+(2) ( $T$ 消去)

$(m_1 + m_2) a = m_2 g$

解く  $\therefore a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2} = \frac{4.0\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2}{5.0\text{kg} + 4.0\text{kg}} = 4.36\text{m/s}^2 = 4.4\text{m/s}^2$  答

(2)より

$T = m_1 a = 5.0\text{kg} \times 4.36\text{m/s}^2$

図3 a 3章スライド 例題の3 ページ目の始の方の場面  
b 同 終の方の場面

表 2 その他の手法

- 式の演算で、移項、分母をはらう、逆算、置換代入などをアニメーションでビジュアルに行う。
- 複写移動と点線矢印の視線誘導を同期して行い、最後に定数倍、微分などの変形を加えてから代入する加工代入。
- 参照してオブジェクトや操作を生成する参照生成、式や図解の参照のための視線誘導の点線矢印。
- 枠を設けて説明、定義、定理、公式などを表示し、視線誘導の点線矢印で参照する。または枠と点線矢印の代わりに吹き出しを用いる。
- 説明のためのシートを一時的に出現させる。
- アニメーションのコマ撮り図解。
- アニメーションによるグラフの生成。
- 穴埋め枠に「？」を点滅させ記入すべきものを考えさせる。
- 整理された複数の穴埋め枠に、文を上から読み下しながら該当箇所を記入していく。
- 複数組の対応関係を示すため、対応するものを一對ごとに同時に枠で囲んで表示し、順次対応枠を移していく。
- 複数の似た形のものを示しそこから一般形を類推抽出する帰納的抽出。
- 帰結を指示するための点線矢印。

表 3 アンケートの質問事項

物理学の授業で使ったパワーポイントのスライドにはいろいろ工夫がしてあります。次の点は理解に役立ちましたか。(複数選択可)			
運動などの動く図解			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
注目するベクトルを濃く表示し他を薄くすること			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
トルクを回転する矢印(右図)で表示すること			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
式の変形、代入などでの点線矢印による誘導			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
式の変形、代入などで、文字や数字が移動して滑り込むこと			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
式の変形などで、途中経過を欄外に別色で表示すること			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
(一部のスライドで)次のページに移る時、前ページが巻き取られように消えること			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
次のページに移る時、前ページの結果を移動させて次ページに載せること			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
全体として			
理解に役にたった	分かりやすい	分かりにくい	あまり印象がない
その他気づいた点を裏に書いてください			

#### § 4. 評価

このシステムを適用して実際に授業を行なったときの、学生の感触は非常に良かった。かなりハードなスケジュールにも拘わらず、学生の授業、学習への態度には熱意が感じられ、この方式が分かりやすいとの声が強かった。そこで、2005年度の力学基礎の講義終了後、学生に対し、この教育システムについてのアンケート調査を行なった。アンケートは無記名で、回収率は49/60であった。質問事項は表3の通りである。集計結果を図4に示す。多くが理解に役立った、分かりやすかったとの回答が圧倒的に多いことがわかる。この中で、「トルクを回転する矢印で表示すること」は分かりにくいと答えた人が比較的多かった。普通は使わない見慣れない記号

だったためと思われる。学生をききながら、さらに工夫をしていきたいと考えている。記述回答は少なかったが、「すごく凝っててよかった.」「分かりやすかった.」「どこで疑問が出たかがはっきりした.」など評価する声がある一方、「進むのが速すぎる.」という趣旨の意見が4人、また「宿題が多くて大変だった」「スライドが雑然としている」という意見が1人ずつあった。

また別に一部の学生(選択科目の「からだと生命の物理学」選択者10名)に対し、記述回答アンケート(記名任意、記名回答2人、無記名回答8人)を行なった。各人が複数の事柄を指摘していたが、概要を整理・分類して次に示す。

1. ○動画で見て勉強できるなんて画期的だ。
  - 工夫が凝らされていてスライドを見ていて面白い。視覚的に色んな色が使っていて、とっつきやすかった。スケートしている図(力積)がとても分かりやすかった。
  - イラストがかわいく、また、頭の中がよく整理することができたのでよかった。
2. ○矢印が出て空欄を埋めるところも分かりやすかった。
  - 代入すべきところに矢印が出たりして次の作業(すべきこと)を教えてくれるので分かりやすい。
3. ○計算過程が一目でわかってよかった。
  - 未知数をマークするところが分かりやすい。
  - 解答で公式が常に右上にあるのが解きやすかった。
4. ○毎回、プリントに要点が簡潔にまとめられていてすごく分かりやすかった。
  - 要点を何度も出してくれたのが良かった。
5. ○物理をやるのは始めてで、難しいという先入観が非常にあったけど、Power Pointを使った授業は良いと思う。
  - この授業様式はすばらしいと思いますが、私は基本的に教科書と参考書で勉強しています。教科書や参考書は公式を導く過程なども細かくのっているからです。
6. ○字が多すぎて読みにくいところがあった。
  - うすいピンクの文字はスライドで見ると少し見づらい。

これらの結果から、本教育システムは、改善すべき点はあるものの、学生に非常に好評であったと結論することができる。

毎年、力学基礎の講義終了後、この範囲で中間試験を行っている。クラス別の平均点の推移を図5に示す。誤差棒は、分布の標準偏差から算出された統計誤差である。2000～2002年度は両クラスとも本システム未適用であったが、クラス間に差は見られなかった。2003, 2004年度は、一方のクラスに本システムを適用したが、適用クラスの成績が向上し、未適用クラスの成績を有意に上回った。2005年度は、両クラスに本システム適用

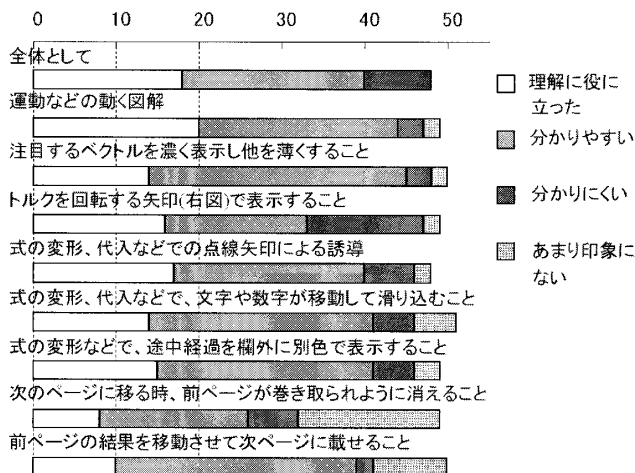


図4 アンケート集計結果

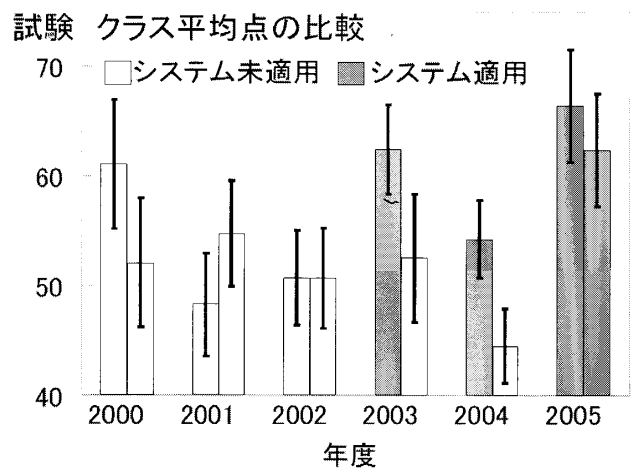


図5 試験のクラス平均点の比較

したが、両クラスの成績が向上し、クラス間に差は見られなくなった。このことから、本システムは成績の向上に有効であったと結論できる。2003, 2004 年度一方のクラスだけに適用し、一方に適用しなかったのは、使用する教室にパワーポイント・ファイルを使用するためのプロジェクターなどの機器が未整備だったことにもよる。意図的に比較実験したわけではない。我々は、教育の現場で一方に不利になるような比較実験を意図的に行なうのはよくないと考えている。それぞれのクラスで、効果の向上を目指して様々な工夫を行なった結果として、たまたまこの手法が効果があることが判明したものである。

## § 5. 考察

このシステムが分かりやすく効果的であることがわかった。その理由を考察してみよう。多くの学生は物理学の内容は難しいと感じている。特に高校物理未履修者は、もともと数理的な思考が苦手な人が多い。なぜ難しいと感じるのだろうか。色々な理由があるが、上の例題に即して考えてみよう。まず、日常あまり目にしない設定を抽象的な文章で与えられて、運動のイメージがわからないということが考えられる。このようなとき、上述のような運動のアニメーションが効果的である。

しかし、もっと大きな問題は、論理についていけないということである。与えられた命題を既得の知識につなげられない。例えば上の運動方程式を立てる場面を考えてみよう。まず学生は、「質量×加速度＝力」ということを思い出す必要がある。これに具体的場面の質量、加速度、力を当てはめるのだと認識し、ここでの質量、加速度、力とは何か、作業記憶の中から検索し、正しく同定して式を書き下す必要がある。数理的思考になれた人には簡単なことだが、初心者には努力の要る仕事である。「ここでの力は物体 2 を上に引っ張っている綱の張力と地球からの重力です。」などの説明が推論作業の支援になるが、説明は、全体としてはかなり冗長なものになり、説明を理解するための心的負荷がさらに加わることになる。ここで簡潔な形で納得できなければ、答を与えられても、知識体系の中に整合的に取り込むことができない。このような心的負担への嫌悪が困難感を増幅し、学習遂行の障害になりかねない。

これを打開または軽減するヒントになるのが、上述の運動のイメージ形成で有力だったアニメーションの活用である。論理構造そのものにアニメーションを適用する。文章で見ると困難な論理も、図式化すると簡潔になることが多い。例えば上述の「ここでの力は物体 2 を上に引っ張っている綱の張力と地球からの重力です。」という説明は、「力」という文字と図中の張力ベクトルと重力ベクトルを連結する線で類推できる。ここには、このような連結線の意味に関する確定した了解が必要であり、これを心内辞書で検索する心的負荷が加わる。どちらが簡潔と感じるかはリテラシーの問題かも知れない。しかし、筆者らの感覚でも、学生の反応やアンケートの結果から見ても、文章より連結線の方が、直観的、直接的で簡潔のように思える。ただ、この種の図式化を従来の紙の文書上で行なおうとしたら、文章も図もいつ引かれたかわからない線に覆われてしまい収拾がつかなくなるであろう。だからこのような記法は一般化しない。幸い、この種の論理図式は、次の段階に移っていけば、表記しておく必要がなくなるものである。コンピュータ画面上では、消去してしまえばいいわけである。コンピュータ画面上であれば、文字や図を動かしたり、強調あるいは淡くしたり、表現の幅が大きく広がる。§ 3 で説明した多くの手法も、論理をわかりやすく伝えるためのアニメーションになっている。我々のシステムは、この論理のアニメーションを系統的に利用することによって、難解と思われがちな物理学の論理を分かりやすく伝えることをねらったものである。本稿の著者のひとりはこの画面言語という観点から考察した [7]。

この学習システムは次のような利点もある。対話、講義などにおいては、指差し、棒差しなどによってこのような参照対象の明示が行われる。対話、講義が分かりやすい理由のひとつはここにある。しかし、講義そのものでは棒差しは一瞬であり、学生が見逃してしまえば効果がない。また、時には棒差しを省略してしまったり、必ずしもベストの手順で行わなかったりすることも知れない。板書が早すぎたり、あるいは遅すぎて学生の論理の流れを止めてしまったりすることもある。このような学習システムは、講義のエキスパート・ノウハウを分析検討し、系統的に記述することができる。このシステムを講義のプレゼンテーション・スライドとして用いるならば、



ベストの手順を確実にプログラムし, また, タイミングを自在に調節できる. また, このシステムを自習用に用いるなら, 学生自身のペースで学習を進めることができる.

[注 1] 高校の理科の選択制度では, 物理, 化学, 生物などの基礎科学のほかに, 基礎理科, 理科総合 A,B という社会科学的な理科の科目が新設され, しかも後 3 者のひとつが必修になっているため, 物理, 化学, 生物の中の 3 科目はおろか, 2 科目も選択しにくい状況にある. これでは, 着実にバランスのとれた科学的能力を身につけることができない.

[注 2] 例えば, 物理の基礎は力学なので, 力学からはじめないと系統的な教育は困難になるが, 指導要領の物理 I では, 電気, 波動, 運動とエネルギーの順で教えることになっており, 教科書検定でも著者の意図に反してこの構成が押し付けられているようだ. 物理 I までしか選択できないひとが多いことと合わせて考えると極めて憂慮すべき事態である.

[注 3] コンピュータの画面をスクリーンなどに投射して聴衆に示し, 講義や発表の補助とするための様々な機能.

### 参考文献

- [1] 赤間啓一, 大学の物理教育 2002-2, 32.
- [2] 兵頭俊夫, 新学習指導要領の問題点, 日本物理学会誌, 57, No3 (2002) 145.
- [3] 例えば 松浦執, 大学教育と情報, 12 No.3 (2004) .
- [4] 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, 7 (1998) 13; 8 (2000) 67; 赤間啓一, 赤羽 明, 勝浦一雄, 向田寿光, 埼玉医科大学医学基礎部門紀要, 9 (2002) 33.
- [5] この研究は日本学術振興会科学研究費補助金の補助を受けて行われた (課題番号 17500601 研究代表者 赤間啓一).
- [6] [www.saitama-med.ac.jp/uinfo/butsuri/](http://www.saitama-med.ac.jp/uinfo/butsuri/)
- [7] 赤間啓一, 「電子画面言語は難しい物理や数学を易しくする」, 埼玉医科大学医学基礎部門紀要第 11 号.