

# 物理学教育の授業

## 1. コア・カリキュラムを意識した教育の到達目標

物理学は、自然界の現象に普遍的な法則があると考え、物理現象とその性質を物質とその間に働く相互作用によって理解すること、物質をより基本的な要素に還元して理解することを目的とする。

大学の物理教育では、物理学を学ぶことを通して、科学する心を持ち、学生自らが能動的に学習に取り組み、物理的な手法や思考方法を活用する能力を身に付けることが求められている。

一般教養としての物理学では、自然現象の理解に限らず、物理学を基礎に発展した科学技術を理解するための素養を身に付けることが到達目標として考えられている。

科学技術を専門とする理工系学部では、あらゆる専門分野の基盤を固めるだけでなく、事象を論理的に思考する方法や現象を数理的に処理する方法に触れ、それを専門分野の問題に駆使できるようになることが到達目標として考えられている。

最近では、JABEE(日本技術者教育認定機構)により、特に工学系の学部における教育内容が提示され、これに対する到達目標を大学自らが定め、教育の質を確保しようとする動きもあり、その重要性は高まっている。

## 2. 教育現場での課題

### (1) 深刻な学力低下

物理の教育現場は低学力対策に喘いでいる。高校理科の履修格差だけなら大学で補えるが、数学力や読解力の不足は物理を学習する上で大きな障害となっている。初等数学が身に付いていないこと、簡単な論理的思考ができない。さらに大きな難題として、学生の心構えや慎重さが不十分なため学生が教員の話の正確に聞けない。教員もいろいろ工夫するが、学生の多種多様な反応に追いつくことができない。多くの事例が「日本リメディアル教育学会」に報告されているが、いずれも教科以前の学習基盤が未確立である。これでは大学の教育として成立し得ない。

こうした超低学力層は10年前で定員の5%、今や大学によっては40%を超えている。ユニバーサル化した大学において、もはやリメディアル教育は不可避であり、物理だけで解決できる問題ではない。一方、少子化で定員は慢性的に充足されず、大学経営の観点から低学力層を入学対象から外すこともできない。

### (2) 物理教育改善のオープンな議論

標準的学力を対象とする物理教育の改善は、本質的な課題である。教材・授業設計にインストラクショナル・デザインが必要であり、実践には教員相互のピアレビューが要請される。ところで、ファカルティ・デベロップメントが叫ばれて久しいが、教育成果を教員の努力だけに期待するのは無理があるといっても過言ではない。もはや教員個人が悩む段階ではなく、大学だけでは解決しえない。物理教育に関わる全ての人々の英知を結集した組織的な取り組みが必要である。

## 3. 教育改善のための授業設計・開発・運営の方向性

授業設計を考える上で重要なことは、学力低下と教育現場の課題を付加しなければならない。さらに、対面授業に代表されるアナログ教育の良さを認識しつつ、ファカルティ・デベロップメントによる教員の創意工夫と意識改革、ITの効果的な活用が考慮されねばならない。教員の授業に対する自

己評価が可能な教育システム、学習の履歴を目に見える形にして学生自らが理解度を判断できるシステム、成績評価に対する多様な観点の導入など、多元的な授業の設計に向かわなければ大学の教育機能は低下する。このような授業設計にITは随所で問題解決に不可欠な要素となっている。

持続性のあるインセンティブな教育は、単にeラーニング教材を配信するだけでは実現しない。どの部分でどのように教員が介在して教材を用いるのか、学生との効果的なコミュニケーションとは何かなど、ITを併用して目標を実現していく姿勢が重要であり、議論と試行錯誤なくしては進まない。この基本的な考え方をもとに、授業改善の中でITがいかなる形態で活用されることが望ましいか、その要点を具体的な授業の開発、運営と関連させて紹介する。

#### (1) 演示実験の充実

実験は、物理教育の中心となるべきだが、多人数教育では物理的制約によって不可能なことがある。この場合、演示実験がこれに代わる。演示実験は、仮想実験も含め、eラーニング教材の活用で魅力的な授業の一部となりうる。特に、教員の介在によって実験を強く印象付け、教員による生の解説は科学する心を刺激する。同時に学力低下を補う情報を効果的に付与することができる。また、実験に関する種々の情報をネット上で共有することによって、学生を議論の場に巻き込むことでインセンティブの持続に役立つ。

#### (2) 自学自習と学習指導

予習段階では、理解度テストやドリルなどと併用してeラーニング教材を活用するのが必須である。また、この部分にリメディアル教育の要素を導入することで、高校から大学への教育の橋渡しが可能となる。高校から提供される教材としては、ビデオ・オン・デマンドや数分間のビデオクリップなどが考えられる。これを学生が聞き流さないようにする工夫として、課題を与えインタラクティブな議論のできる仕組みが不可欠である。予習の効果を上げるには、予習教材の利用状況を全てデータベースに記録し、対面時の学習指導に役立てることが重要である。

#### (3) 獲得知識の点検・確認

学習内容の位置付けの認識は、インセンティブを持続させることや応用能力の養成に重要な役割を果たす。学習内容が他科目の内容とどのように関連しているのかを示したコンテンツ、例えば後述の「ドリルコンテンツのつながりマップ」のようなデータベースは、学習した知識を体系的に積み上げていくのに役立つ。特に、学習済や理解済など、情報が更新できる学生参加型のものが効果的と考えられる。学習した知識を体系化することは、知識を忘却しても再び応用する場面に遭遇したとき、それを思い起こす道筋や方法を与えることになる。

#### (4) 討論・コミュニケーションの導入

実験や講義に共通して望まれることは、質疑応答の活性化である。学生一人々に学習意欲を持たせるには、教員と学生とのコミュニケーションが必要である。教室での質疑応答は限られた学生になることから限界がある。基本は学生全員と何等かの方法で討論に参加できるよう、仕掛けが必要である。50人から100人の講義科目で半期に千件程度のコミュニケーションを実現させなければ、学生の関心を講義に引き付けておくことはできない。一つの方法としては、成績評価に連動させることが効果的である。教室授業の後で、ネットワークを介して討論し、一人々から課題について回答、意見を電子掲示板に返信させる。その上で、評価を行い学生にフィードバックする。単機能で使いやすいコミュニケーションツールの導入が望まれる。

## (5) 教育情報のオープン化

応用への期待感を持って学習に取り組めるようにするには、授業で学習することが専門教育の段階でどのような重要性を持ってくるのか、いかなる先端応用分野と密接な関係にあるのかなど、分かりやすく提示されなければならない。インセンティブを持続させるためにも、学生各自が知識を体系的にまとめていける学習の仕組みが必要である。それには、授業科目の教育情報、とりわけ授業で得られる知識、知識活用の範囲など、授業科目の位置付け・役割をWebサイトに明示するとともに、目標を達成させるための工夫や事例などを学内外から集積し、オープン化することが不可欠と考える。

## 4. ITを活用した授業モデルの紹介

### 演示実験とシミュレーションを活用した力学授業

#### 1. 授業のねらい

力学の授業では、科学の規範として力学を学び、科学的なものの見方を理解し、その威力と価値を認識することを教育目標としている。力学の基本法則は物理量間の関係を数式で表現するが、数学するように力学を学ぶだけでは不十分であり、数式に現象のリアリティを伴う必要がある。学んでいる対象が目の前にある実体であることを認識させ、力学の基本法則に則って現象を解釈する態度を養うことを目指している。

#### 2. 授業のシナリオ

理工系1年生を対象とした、必修（機械工学科）および選択（情報システム工学科）科目で半期2単位15回、授業規模50名程度の講義科目である。本授業は、力学することを意識したリアリティを伴う教育を目指し、毎回の授業において演示実験とシミュレーションを導入している。具体的には、以下のようなシナリオで実施する。

導入：15分（演示実験・シミュレーション）

講義の最初に導入用の演示実験やシミュレーションを実施し、観察させて当日の学習内容を体験させる。何が問題なのか、何を議論するのかを明確にする。日常的認識による予想を裏切るような実験の場合は、先に結果を予想させてから演示実験を実施すると効果的である。

解説：30分（概念と理論）

演示実験・シミュレーションの理論的な解説を通して、力学の一般概念を導入し、基本法則を説明する。

展開：15分（実例と概念・法則の紐付け）

同じ力学概念で解釈できる様々な例、今、議論している概念を活用した技術などの実例を探させる。その後、全員で列挙して確認して行く。その際、実例となる映像を提示するとより現実感が増す。このようにして、自然現象と力学概念・法則を確実に紐付け、力学概念・法則の理解を深める。

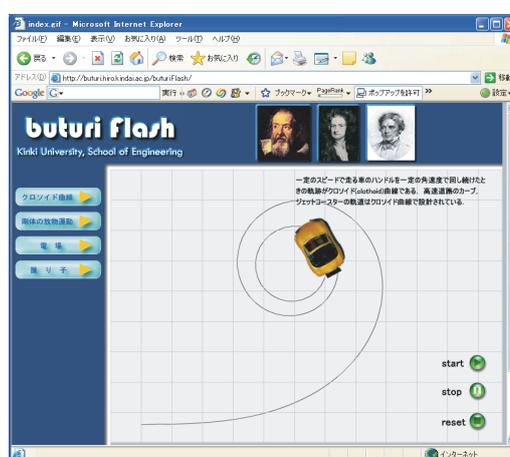


図1 高速道路のカーブ

定着：30分（リアリティのある例題と演習）

リアリティのある例題を解説し、幾つか演習問題を課す。例題や演習問題はよく配慮し、リアリティが感じられるものとした。学習意欲を高め、物理学の価値に気づかせ、さらなる学習の動機付けに繋がるようにする。実証に基づいて積み上げられた物理学的認識と感覚的な経験に基づく認識とに、差異があることを端的に知らしめるような例題や演習問題を収集または考案する必要がある。

### 3. IT活用の詳細

大教室での一斉授業で効果的に演示実験を提示するには、カメラとプロジェクタを活用し、演示実験を拡大投影する。実物による演示実験が何よりも教育効果が高いが、取り扱う現象によっては実物実験が困難な場合や適さないこともある。また、非現実的な場合、シミュレーション、デジタル・ムービーを活用することにより、教育効果が期待できる場合もある。そのようなメディア教材を用いることで、時間的に効率的な授業運営が可能となる。写真や動画はインターネット上を検索すれば教育的価値のあるものが見つかるので、これらの活用も積極的に検討するとよい。

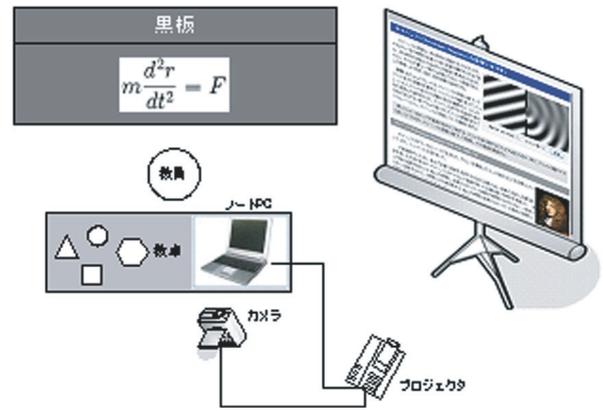


図2 演示実験とシミュレーションに対応した講義室

授業時のPCプレゼンで数式を表示する際には、Flashやビデオを活用し、解説付の動画で数式を展開するプロセスを提示すると、より深く認識させることができる。また、シミュレーションは数式中のパラメータを変えて実施し、現象・数式・物理量、これら3つの間の対応を確認するように心がける。ま

<p>基礎学力支援プログラム「物理」</p> <p>近畿大学・工学部</p> <p>テーマ：力積 ---力が物体に及ぼす効果---</p> <p><b>【学習目標】</b> 力積の定義を説明できる。物体の運動量の変化はそれに働いた力積に等しいことを理解する。力積概念で説明できる身の回りの現象を複数挙げることができる。</p> <p><b>【演示実験】</b> 力が物体に及ぼす効果について、吹き矢を例に考える。ストローとマッチ棒の吹き矢による実験（板倉聖宣・塩野広次「吹き矢の力学」仮説社）</p> <p>ストローでマッチ棒を矢として吹き飛ばす。ストローを連結して長くすると飛び出すマッチ棒のスピードは増すだろうか、減少するだろうか？</p> <p>・学生の判断を求める。</p> <p>マッチ棒のスピードは 1. 増す 2. 変わらない 3. 減少する</p> <p>・実験で確認。</p> <p><b>【講義】</b> 運動方程式、運動量変化と力積</p> $m \frac{dv}{dt} = F \quad m \, dv = F \, dt \quad \int m \, dv = \int F \, dt$ $m \mathbf{v} - m \mathbf{v}_0 = \langle \mathbf{F} \rangle \Delta t \quad \text{運動量の変化はそれに働いた力積に等しい。}$ <p><b>【例題】</b> 吹き矢の筒の長さLと飛び出す矢の初速度vの関係を求めよ。また飛距離RとLの関係を求めよ。</p> $m \mathbf{v} = F \, t, \quad \text{等加速度運動と見なせば } t = L/v \quad \text{より } m \mathbf{v} = F L/v,$ <p>よって <math>v = (2FL/m)^{1/2} \dots (1)</math> 筒の長さを4倍すると飛び出す矢の速度は2倍 また飛距離 <math>R \propto v^2</math>, (1)より <math>v^2 \propto L</math>, よって <math>R \propto L</math></p> <p><b>【事例】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>狩猟用の吹き矢の筒は長い（1 m以上）。スポーツ吹き矢の筒は120 cm、矢は140 km/h以上の速度で的に当たるという（<a href="http://www.fukuya.net/">http://www.fukuya.net/</a>）</li> <li>遠距離砲ほど砲身が長い。 大和の主砲は、45口径46 cm砲で、砲身が20 mあり、1.5 tの砲弾を800 m/sで発射し、20 kmから40 kmの飛距離があったという。（下は大和ミュージアム入り口にある戦艦「陸奥」の主砲、全長18.8 m、内径41 cm（45口径）、初速780 m/s、射程38 km） また、第1次世界大戦の末期1918年にドイツは超遠距離砲を開発した。砲身34 m、外径1 m、砲弾1 m、直径21 cm、質量120 kg、発射速度2000 m/s</li> </ol>	<p>で、115 km離れたバリを砲撃した。大きな仰角（52度）で発射した砲弾は空気抵抗の非常に小さい成層圏を通過して115 km先のバリに急角度で落下した。（ペリマン「おもしろい物理」東京図書 p.56）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>効率的な投球動作とはボールを長く押すことである。ボールを離すまでの移動距離を長くすることである。</li> <li>幅跳びや高飛びで、跳躍前に沈み込むのは、上向き力を作用させる時間を長く確保し、力積を稼ぐためである。</li> <li>飛び降りる際に着地時に膝を曲げて静止するまでの時間を長くすれば衝撃力は弱まる。</li> <li>ボクシングで、打たれるときに顔面を後ろに引きながら相手の拳を受け止めれば（スウェーバック防御）、拳が静止するまでの時間が長くなり顔面が受ける衝撃力は弱まる。</li> <li>キャッチボールでグラブを引きながら捕球することで、ボールが静止するまでの時間が長くなり手に加わる衝撃力が弱まる。</li> <li>バンジージャンプではゴム紐が徐々に伸びながら落下速度を減速するので、人間には働く力はそれ程大きくはならない。また、登山家は伸びるナイロンロープを好む。</li> <li>自動車は衝突時の衝撃を和らげるために車体が適度に潰れるように設計されている。</li> </ol> <p><b>【まとめ】</b> 力は運動量の変化を引き起こすが、運動量の変化量に等しいのは力ではなく、力積である。力積は力の時間積分で、どれくらい力がどれだけ時間働いたかを表現する。運動量の変化量はそれに働いた力積に等しい。</p> <p><b>【演習】</b></p> <p>(1) 質量10gの弾丸が長さ15cmの銃身より400m/sの速度で発射した。火薬の爆発による圧力が弾丸が銃身から出るまで一定であると仮定して、弾丸に加わる力積と力を求めよ。</p> <p>運動量と力積の関係より、力積は <math>F t = m v = 10 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 400 \text{ m/s} = 4 \text{ N} \cdot \text{s}</math> 弾丸の発射速度をvとすると、発射されるまで等加速度運動なので、 平均速度 <math>v_{\text{av}} = v/2</math>、発射されるまでの時間 <math>t = L/v_{\text{av}} = 2L/v = 2 \times 15 \times 10^{-2} \text{ m} / (400 \text{ m/s}) = 7.5 \times 10^{-4} \text{ s}</math>。弾丸に加わる平均の力は <math>F = mv/t = 4 \text{ N} \cdot \text{s} / 7.5 \times 10^{-4} \text{ s} = 5.3 \times 10^3 \text{ N}</math></p> <p>センターファイアー・カートリッジは右図のような構造になっている。プライマー（雷管）には、叩くと爆発する火薬が入っている。平玉火薬みたいなもの。撃針によって叩かれたプライマーは爆発しその火を推進火薬に引火させる。推進火薬は爆発でなく急速に燃焼する。燃焼圧力によって弾頭はケースを押し出され銃身に彫っているライフルリングにより回転力を受け銃口より飛び出してゆく。オートマチックの場合、残った圧力でスライドを後退させ排莖、次弾装填を行う。 <a href="http://www1.bbq.jp/yonyon/cartridge/index.html">http://www1.bbq.jp/yonyon/cartridge/index.html</a></p> <p>(2) あなたが0.5 mジャンプし地面に着地するときの速さはいくらか。また、着地時の衝撃力を体重の2倍を超えないようにするには、あなたは膝を曲げて衝撃の時間を何秒以上に引き延ばす必要があるか。</p>
--	--

図3 授業シナリオ「力積」

た、グラフも静止画ではなく動画で描画して、物理量間の関係を明確に認識できるように配慮する。

毎回の講義を授業シナリオとしてまとめ、Webを活用し、教員間で広く共有することで授業改善を普及促進させることができる。また、物理教育の継続的な改善のためには、各教員の努力を有効活用できる場をWeb上に設けることが望まれる。

#### 4. 授業効果

講義は、各学科約100名の1年生を対象とし、機械工学科はA・Bの2クラス(53名、57名)に分け、情報システム工学科では1クラス(87名)で実施した。科目名は「基礎物理学」、「物理学」と異なるが、内容はほぼ同じで初等力学である。図3の授業シナリオに従って「力積」の授業を実施した後にアンケートを行った結果、約8割の学生が「演示実験で学習に対する興味が増し」、「演示実験は物理概念の理解を深めることに役立つ」と回答しており、演示実験が学習の動機付けとなり、身近な実例が力学概念の理解を深めていることが判明した。以下に、アンケート内容を掲載する。

##### 【アンケート結果】

1. 演示実験(デモンストレーション)で学習に対する興味が増しましたか。  
A. 増した(78%) B. 変わらない(22%) C. 減少した(0%)
2. 演示実験で学習すべきことは何かが明瞭になりましたか。  
A. 明瞭になった(60%) B. 変わらない(40%) C. かえって分からなくなった(1%)
3. 力積に関する沢山の事例(砲身の長さや飛距離、効率的な投球動作、バンジージャンプなど)で、物理学に対する興味が増しましたか。  
A. 増した(68%) B. 変わらない(32%) C. 減少した(1%)
4. 力積に関する沢山の事例は「力積」の理解を深めるのに役立つと思いますか。  
A. 役立つ(81%) B. 変わらない(19%) C. あまり役立たない(0%)

##### 【アンケート自由記述欄】

- \* 吹矢の実験は予想と違ってビックリした。
- \* 目の前でしてもらえたので分かりやすかった。
- \* 「あれって力積が働くからなのか」という発見があった。
- \* 他に実例がありそうなので、探してみたくなった。実例を挙げることで理解が深まると感じた。
- \* 高校のとき、力積は公式だけを覚えてあまり意味は分からなかったけれど、今回実例を見て公式の意味が分かりました。

#### 5. 問題点・課題

演示実験を含む講義は、学習の動機付けと概念理解には一定の効果を発揮すると思われるが、問題解決能力の育成には十二分な演習が欠かせない。各自の理解度に応じ、飽きないで演習を継続するようになる学習環境を提供する必要がある。その際にはeラーニングの活用を積極的に検討すべきであろう。

### eラーニングで学習支援する物理入門の授業

#### 1. 授業のねらい

物理入門の授業は、現実の現象を通じて物理学の基本コンセプトを学び、物理的な知識にもとづいて、物理量(測定量)の初等数理的な取り扱いの修得を目的としている。このため、対面授業では、演示実験や簡易な学生実験の実施や考察と数量を扱う演習に十分な時間を取れるよう、コンテンツ学習、知識確認のドリル演習、教員の発問に対するリアルタイムな回答集計などに、eラーニングシステムを併用する。さらに、授業の予習復習、学生の自主学習を推進するために、授業時間外の学習にeラーニングを活用させている。

## 2. 授業のシナリオ

工学系学部の大学1・2年生を対象とした、入門レベルの物理学の選択科目「物理学」(半期週2回、4単位)、「熱とエネルギー」、「振動と波動」、「電気と磁気」(いずれも週1回、2単位)などの授業で、共通プラットフォームのeラーニングを予習復習、対面授業時のコミュニケーションと学習記録に活用する。なお、学生数はいずれも30~40名程度である。

対面授業では、演示実験を軸にして、教員からの発問、リアルタイムな回答収集・集計、意見交換などの教室一斉のコミュニケーション活動をeラーニングのネットワーク機能を活用して行う。ドリル学習などでは学習者個別の活動を行う。ここでは「仕事」の導入授業の例を紹介する。

## 3. IT活用の詳細

### (1) 予習のeラーニング

学生はeラーニングコンテンツを予習して、記述ドリル(図1)を解答するとともに、感想や質問を送信し、教員がオンラインでコメントする。

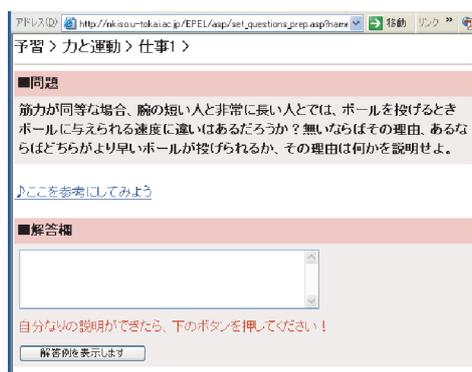


図1 予習ドリル画面の例  
質問なども別に記入送信できる。

### (2) 対面授業

eラーニングシステムにログインして授業を開始する。

仕事概念の基礎になる「力」と「変位」についてのサマリーと仕事概念の簡潔な説明を行う。

人力で物体にする仕事、重力が落体にする仕事、バネの力が物体にする仕事などの例について演示実験で解説する。

仕事概念について初歩的な発問を行い、PC画面上選択肢方式およびチャットで回答させる。リアルタイムな集計をしつつ、チャットの発言に対し教員もコメントしていく。

eラーニングコンテンツを用いて初歩的な計算の説明を行い、各自短時間のドリルを行う。

数値計算の紙ベースの小テストを行う。後日採点結果と解答例を配布する。得点もeラーニング上から確認できるようにして、授業の進行とともに成果が明示されるようにする。さらに、追加の課題などにより成績が思わしくなかったところは、常に自ら補えるようにする。また、学生全体の成績状況の中で個人のポジションを明示する。

### (3) 復習のeラーニング

選択肢ドリル、計算ドリルを中心として行い、個別学習支援システムを活用させる。また、小テストやeラーニング学習の評価状況を確認させる。

### (4) eラーニングの環境

入門レベルの物理学各分野の授業と自宅学習とで、共通のプラットフォームとなるeラーニングを構築している。自宅学習では、個々の理解に応じて必要な教材や発展的内容を開拓的に学習しやすいことが望ましい。そこで、各学習項目と前提知識となる項目とをリンクして、各項目の論理的なつながりの構造が明瞭になる「トピックマップ」を解説と各種ドリルで共通のポータル表現形式として用いた。図2に選択肢型ドリルのトピックマップを示す。項目ボタンをクリックするとコンテンツが表示される。

トピックマップは個別学習支援システムと連携しており、学習者個々に対して、コンテンツ別に学習予定か、既習かなどを明示し、ドリルの場合には既習ドリルの理解度評価も5段階で表示している。この理解度評価は、学習者に各ドリルについてその正答率履歴に応じて反復学習を促すものである。個々のドリルについて、より最近の正答率に大きな重みをつけ、学習後の経過日数とともに記憶が緩和的に減退することを加味した評価関数を適用している（図2下端の凡例）。

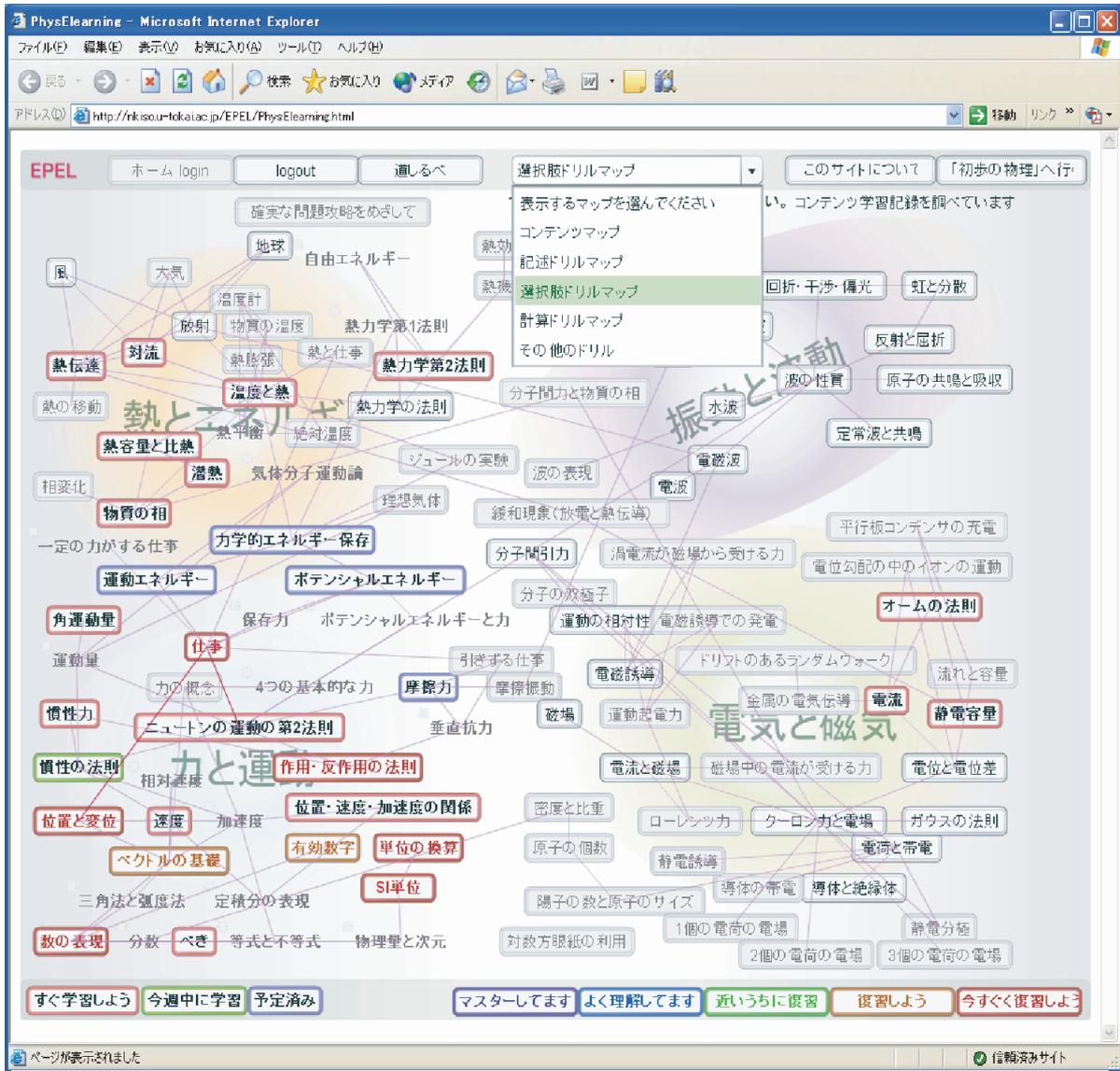


図2 トピックマップの例

選択肢型ドリルのマップ。各項目はそれが基礎とする項目と線で結合されている。既学習ドリルは理解度評価が文字色により段階表示されている。

さらに、対面授業時のコミュニケーション支援機能として、マルチユーザー・アプリケーションを活用している。Flash Communication Server（現Adobe Flash Media Server）とデータベースを用いて、利用者のマウス位置にIDを表示し、全員のマウスの動きを可視化するIDマウス、テキストチャット、リアルタイム回答集計などのマルチユーザー機能を構築し、教員、学生のPC上での活動を可視化した（図3）。

図3では、教員が講義中に項目ごとに確認の質問を出し、各学生がYES/NO選択肢へマウスを移動し、チャットを入力する様子を可視化している。解答集計もリアルタイムに表示する。チャットでの

解答に対して、学生、教員がさらにコメントを追加し、教室全体で意見交換している状態にする。この可視化により学習の場の共有感が強まる。また教員の発問に一齐に回答するなど同期的活動と説明後に学生個別にドリル学習するなどのメリハリがつけやすくなる。

#### 4. 授業効果

図4に示すように、学生は概ねeラーニングの併用を評価している。学生の感想を総合すると、「予復習がしやすい」、「学習の達成度が明示されるので何をすべきかが分かる」、「自宅でインターネットが利用できない」、「操作に不慣れなどの場合、授業中にeラーニングシステムを活用してもらえると助かる」といった感想を持っている。

学習内容の理解に対する反復学習支援機能については、授業終盤にドリルの反復学習が進んだ段階で、その効果を評価する感想が増加している。理解の定着には学習記録データを活用した反復学習が役立つといえよう。

マルチユーザー・アプリケーションの利用については、動きがあるのでおもしろいという感想が多い。マルチユーザー・アプリケーションを活用した回答集計にはレスポンスが高く、物理的な概念をどの程度理解したかを調べるのに役立つ。

チャットや種々の感想欄の書き込みなども率直な発言が目立つ。さらに、それらの記録が残り学生が後で授業を振り返るために役立つ。

#### 5. 問題点・課題

対面での説明はもっとも動的で臨機応変であり、多くの学生にとって最も効果のある理解形成の第一歩であるようだ。しかし、その前後で教材を活用した学習を行うことで、理解が補強、修正、精緻化、定着、統合される。これを支援するのがブレンディング教育でのeラーニングの役割であろう。その機能を学生が効果的に活用できるように、学生にはeラーニングの機能を十分体験し、よく理解してもらう必要がある。

学生に馴染み深い紙印刷教材やノートは、持ち歩いていつでも見直し、直接書き込みして手になじませることができる。これは記憶や理解の形成に強い効果を果たす。eラーニングにおいてもその記録性と共有性を活用して、学習者全体と個人にとってより「手になじむ」機能を開発することも必要であろう。

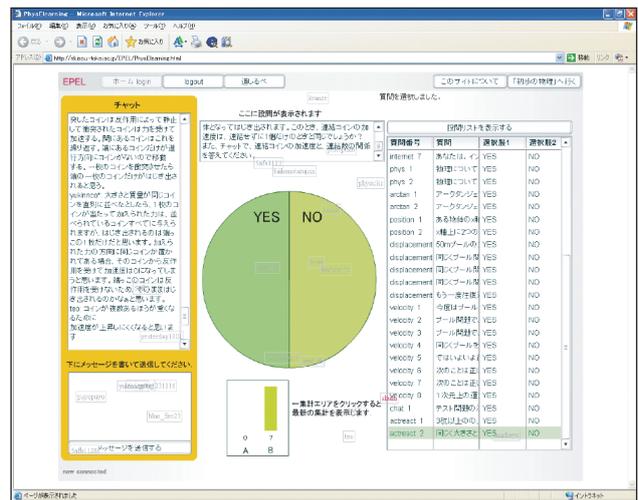


図3 リアルタイムな回答集計画面

参加者の活動をリアルタイムに可視化するマルチユーザー機能の例。学生各自のIDを各自のマウス位置に表示している。右側に質問リスト。中央上部に解答を求める設問。中央はこれに対する2選択肢解答のボタン。参加者が教員の指示に応じて選択肢を選ぶ活動がわかる。中央下部は解答分布のグラフ。左のチャット欄で、文章での解答を集める。表示された内容に応じて教員や学生がコメントを追加していく。

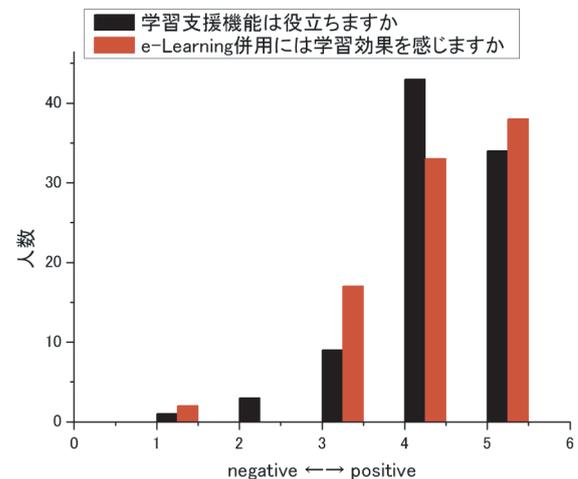


図4 受講生によるe-Learningの5点法印象評価

### 1. 授業のねらい

物理学実験の授業では、学生が実験書の手順に従って訳もわからずに実験装置を操作し、表示された数値を機械的に書き写し、与えられた式で求めた結果を無分別に報告することのないよう、結果についてある程度の予測を持って実験に臨めることを目指している。

物理学実験の内容を理解させる目的で予習課題として実験テキストを読んでまとめるようにと指示をしてきたが、理解度の低下から予習で途中で挫折しないように、テキストを工夫する必要があり、マルチメディア実験テキストを作成し、学生が事前に実験内容を十分把握できるような工夫を試みた。

### 2. 授業のシナリオ

工学部4学科（必修3：選択1）に対して、1年生対象の物理学実験を開講している。実験のコマ数は各学科とも週2コマ、前期・後期に行っている。実験は10テーマからなり、1学科ほぼ120人前後の学生を10グループに分け、各テーマに配置している。各グループはさらに6班に分かれ、実験は2人～3人1組で行っている。そして、週毎にテーマを巡回するようになっている。

実験のテーマは、測定と誤差、オームの法則、重力加速度、ヤング率、熱電対、光の反射と屈折、薄レンズの焦点距離、ニュートンリング、偏光、オシロスコープである。

### 3. IT活用の詳細

#### (1) 実験テキストの構成

- \* 実験テーマに関する理論及び物理法則の概要についての説明
- \* 実験装置とその取り扱いについての説明及び注意事項
- \* 実験手順
- \* データ及び実験結果の整理
- \* 考察課題

上記の構成に沿って、偏光に関する実験テキストのマルチメディア化を行った。

実験の概要では図や写真を用いて、学生が直感的に偏光について理解できるように心掛けた。図1はマルチメディア実験テキストの表紙で写真をクリックすると偏光板を回転させたときの様子が動画で表示される。また、偏光板の機能を図と写真を用いて視覚的に説明した。（図1、図2参照）

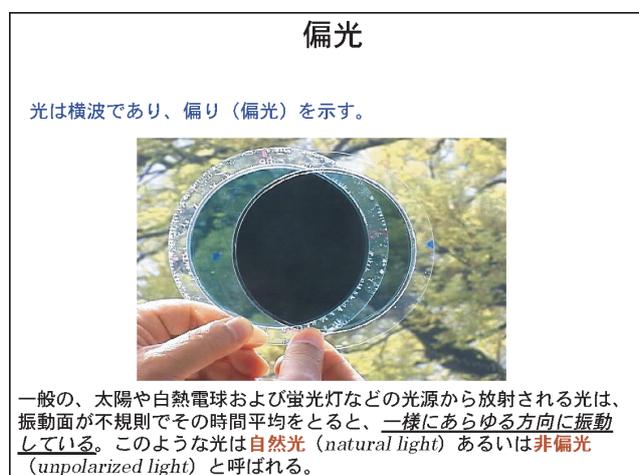


図1

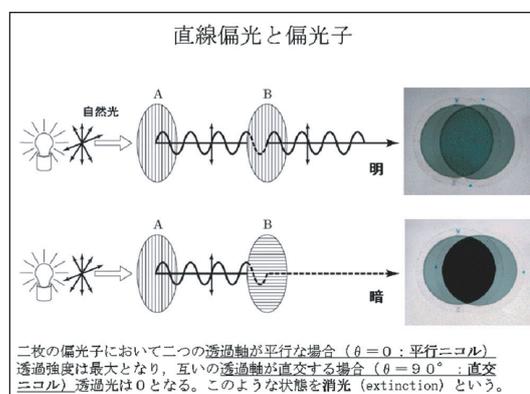


図2

## (2) 基礎的事項の復習

高校で物理を履修しなかった学生が2割程いるので、実験テキストには基礎的な事項も記述し、高校での学習の履歴に関係なく実験に取り組めるよう配慮している。

## (3) 法則の視覚化

実験での法則を説明するのにシミュレーションは大変有効である。マリューの法則の実験では、偏光子の方位角と透過強度の関係を説明するのにシミュレーションを利用した。偏光子の方位角を変えるとその時の透過強度がグラフとなって表示され、学生はあらかじめ測定の結果を予想することができる。これまで、学生は自分達の測定結果が正しいか、間違っているかの判定ができず、測定するだけで終わっていたが、学生がマリューの法則をグラフとしてイメージすることで、測定結果に対して考察を記述できるようになった。

## (4) ビデオクリップの活用

散乱光の偏光では、散乱光が偏光する理由の説明の他に、実際にその様子を示したデモンストレーションビデオを制作し、ページに埋め込んだ。写真をクリックすると動画が再生される。動画は1～2分でありあまり長くないように配慮した。長い動画では説明のポイントがボケてしまい、学生も集中力を欠き学習の効果が激減するからである。

## (5) 実験手順

実験のテキストでは、理論の概要のみならず実験装置の記述も重要である。装置をより具体的に説明するには、写真やビデオクリップなど視覚的な手法が効果的である。

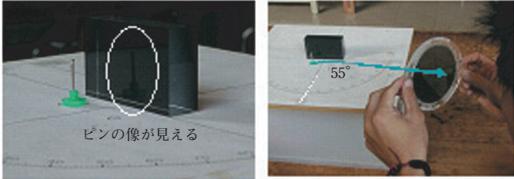
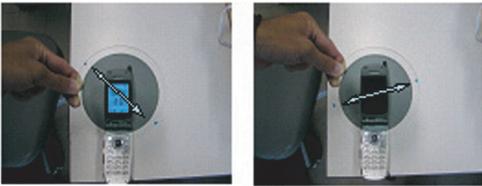
<p>実験課題 (1) 一偏光板の働き</p> <p>重ね合わせた二枚の偏光板を通して覗き、片方の偏光板を回転させると見え方はどう変わるか、確認しなさい。 このとき、消光する位置が<math>180^\circ</math>ごとに2ヶ所あることを確認しなさい。 また、消光位置でのお互いの偏光板の透過軸の関係を記録しなさい。</p>  <p>平行ニコル                      直交ニコル</p> <p>チャレンジ課題 Malus (マリュー) の法則をグラフを描きなさい。ただし、<math>I_0</math> は任意とする。</p>	<p>実験課題 (2) 一偏光の反射</p> <p>ガラスに映したピンの像を反射側 (反射角 <math>5.5^\circ</math>) から偏光子を通して観察する。 偏光板を回転させ見える像の明るさが変わることを確認しなさい。 消光位置での偏光板の透過軸の方位を記録しなさい。</p> 
<p>実験課題 (3) 一散乱偏光</p> <p>青空を偏光子を通して眺め、その偏光子を回転させると、青空の明るさが変化することを確認しなさい。 空からの散乱光の方向と耐用光とが直交する方向 (太陽が右手方向) が一番、空の明るさの変化が大きいことを確認しなさい。 空が一番暗くなるときの偏光板の透過軸の方位を確認しなさい。 空が最も暗く見える方向と、そのときの太陽の位置について調べなさい。 また、このときの偏光板の透過軸の方位も確認しなさい。</p> 	<p>実験課題 (5)</p> <p>携帯電話の液晶表示画面を偏光板を通して観察する。 偏光板の方位を変えると表示が見えなくなる事を確認しなさい。</p> 

図3 実験課題と実験の手順を示すコマ撮り写真

## 4 . 授業効果

実験に対する全体的な理解を学生にもたすために、マルチメディアを活用した物理学実験テキストを制作したが、こちら側の意図が学生にストレートに伝わるとは限らないことを痛感した。説明はなるべく簡潔にして飽きずに読めるように配慮したつもりが、一部の学生には説明不足であったり、誤解を招くような場合もあった。そこで学生への教育の効用を高める方策として、次のような点が考えられる。

### 多様な学力レベルに合わせた工夫

学生が理解できないフレーズをクリックするとより詳しい説明が表示されるような、説明の階層化を図ることも一つの工夫である。複数のウィンドウを用いた階層表示は多様な学力レベルの学生にも対応でき、かつ個別学習を可能にする。

### 順を追った説明と表示

画面の表示ではページの内容が一度に表示されるのではなく、アニメーションなどの手法を用い、ナレイティブに表示するとより効果的である。学生はあたかも教員からの説明を聞くように、そのページの内容を学習することができ、説明の論理構成も明確になる。

### 飽きさせず要点を伝える

動画は学生に最も容易に受け入れられる教育媒体であるが、ビデオクリップなどの動画は、内容的にあまり多くを望まず、簡潔かつ短時間であることが大切である。長くてくどいビデオは途中で集中が途切れ、学生が退屈して飽きてしまう可能性が大である。また、動画では画面の中をハイライト化して、画面の重要部分に学生の目が向くような工夫も必要である。動画の説明では、音声によるナレーションよりテロップの方が画面への集中力を高め効果的である。

### シミュレーションの活用

シミュレーションは物理現象を定量的に分析したり、現象の本質を理解する上で大変効果的である。自在にパラメータを変えながらシミュレーションのプログラムを実行させることで、学生に様々な条件下での物理現象を解析させることができる。工夫によってはバーチャルで実験を行わせることも可能である。

## 5 . 問題点・課題

### コンテンツ作成の負担

マルチメディア実験テキストのコンテンツの作成には、かなりの時間と労力を要する。それにもかかわらず、コンテンツが一つの目的だけにしか利用されないのでは無駄の多い話である。そこで、テキストの内容は細かく分割し、自由な再構成ができるようにしておくことが大切である。

### コンテンツのモジュール化

コンテンツに含まれるビデオクリップの動画やシミュレーションなどが単体として利用でき、また、他のコンテンツでも再利用できるようにしておく方が望ましい。すなわち、コンテンツの中身をモジュール化しておくことが大切である。様々なメディアモジュールの寄せ集めとしてコンテンツを作成する。中身のモジュールの再構成や部分的改訂により、テキスト自体の改訂を容易に行うことが可能となり、学生の要望にも迅速に対応できる。

## 1. 授業のねらい

物理学実験は、学生自身が実験を通して能動的に物理現象を体感し、物理の理解を深めていく学習モデルである。しかし、少人数の学生が取り組む個別実験ではインストラクターの不足により個別対応が難しいこと、実験テキストの手順にしたがいデータを先に取って後で解析を考える学生が少なからずいること、講義と物理学実験の連動性について関心が払われていないことから、物理学実験本来の教育効果を十分に引き出せていない場合がある。これらの問題点を踏まえ、従来の紙ベースのテキストに代わり、ビデオ・オン・デマンド型テキストを実験題目「音の分析」に導入した事例を紹介する。

## 2. 授業のシナリオ

「音の分析」は、「物理学実験2」の実験題目の1つである。「物理学実験2」は2年生を対象とした通年3単位の必修科目で、物理学科の学生120名を2クラスに分けて実施している。授業進行は、2人一組で学生実験室において3時間の実験を2週に亘り行い、その翌週に結果について15分程度の口頭発表を行う。耳にする音（声、携帯電話着信音、モノコード）やソフト的に発生させた様々な波形（サイン波、三角波、短形波、etc）を耳で聞き、その波形をオシロスコープを通して目で見ながら、波形解析汎用ソフトを用いてフーリエ分解し、それをまたフーリエ再合成する実験である。言わば物理数学におけるフーリエ変換・逆変換の内容を音を用いて体感する実験である。

## 3. IT活用の詳細

### (1) VOD型テキストの構成

導入したVOD型テキストは、実験室の音分析実験装置に付属する閲覧用PCを前提としたパワーポイントベースの電子テキストである。数十秒程度の動画を多用して音声ナレーションとともに、従来の紙ベースのテキストでは伝わりにくかった詳細な装置の成り立ち、実験の手順の提示を行い、得られた実験結果にもとづく発問を適時行って、学生に考察を繰り返しながら理解を誘導するインタラクショナル・デザインした誘導型テキストの構成としている。

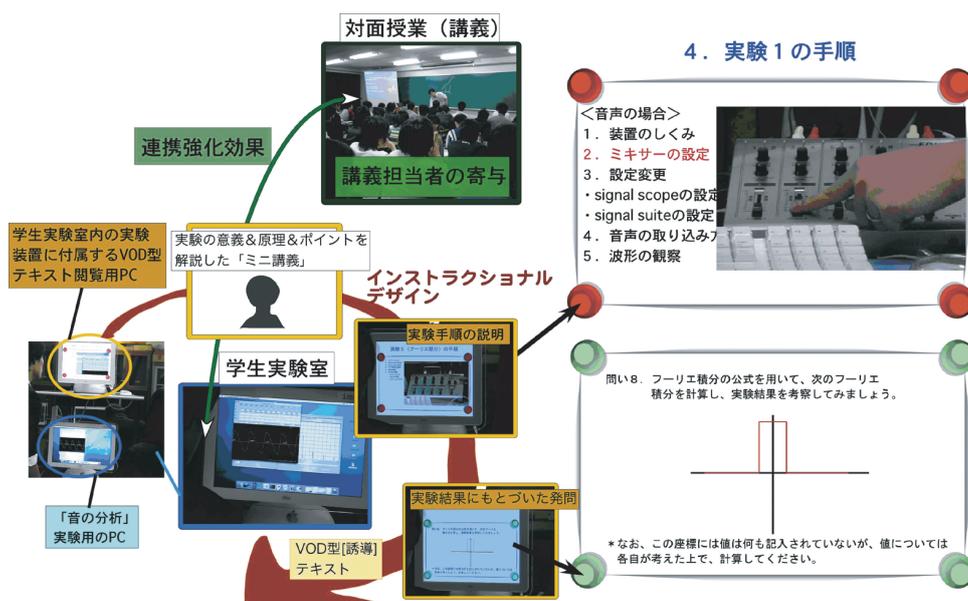


図1 VOD型テキストを基軸とした物理学実験と対面授業（講義）との連携強化の模式図

## (2) 授業での活用法

定性的な理解に重心を置いた演示実験や講義実験では、学生全員に懇切丁寧な説明が同時に与えられている。定量性を積み重ねる物理学実験において、そのような説明をVOD型テキストを活用して個別に随時に与えることができれば、物理学実験において初めて得られると考えられる実験技術、データ解析技術、定量的結果に基づく考察などの習得に、より高い教育効果を得ることが期待できる。また、この事例では実践していないが、解説者(スタッフ)が実験装置の前に立ち、自ら装置を動かしながら実験の意義、原理、ポイントを解説したものを撮影、編集し、モジュール化した10分程度のミニ講義をVOD型テキストに組み込めば、演示実験、講義実験の持つ長所を導入できるばかりでなく、講義と物理学実験の連携強化をもたらすことが期待できる(図1参照)。

さらに、VOD型テキストのミニ講義部分について、実験題目が「どのような物理現象を体感させて、どのような物理の内容をどこまで理解させようとしているのか」、「その内容は関連講義のどこで、どこまで話されているか」といった教育効果の点検・確認を通して、実験課題作成者のみならず関連科目の講義担当者もVOD型テキスト作成に巻き込み、学科単位のファカルティ・デベロップメントの一環として取り組むことができれば、これまであまり関心の払われなかった講義と物理学実験の連携が実現できよう。

## 4. 授業効果

「音の分析」のアンケート調査から得られた効果や問題点から、今後のあるべき姿を考えてみる。

VOD型テキスト自身の効用については、数十秒程度の動画を多用した手順説明はわかりやすく好意的に受け止められた。

VOD型テキスト中に織り込んだ「学習の誘導」については、「一本の筋道を追い過ぎ(せかさられている感じ)」、「時系列で縛っている」、「自身で考えながら実験を進めることのできる学生には窮屈」などがあり、難しさが顕著になった。

物理数学の講義でフーリエ変換を学習するタイミングが、実験の理解度を大きく左右するものであることが判明した。このことは、VOD型テキストのミニ講義部分の重要性が認識されたと言えよう。

紙対画像を考えたマテリアル構成を考える必要性も見出された。テキストの紙媒体がないことへの不満が大きく、学生の多くは紙媒体にプリントアウトしてしまった。一般に、映像は体験させるには良いが蓄積保有するには向かないと言われている。新しい携帯情報端末や携帯音楽プレーヤーなどの普及は、マテリアル構成の考え方を大きく変える可能性があり期待したい。

## 5. 問題点・課題

メディアの特性を考えたマテリアル構成、多様な学生に対して有効な学習の誘導の設計の難しさが見えてきたが、同様な試みが行われはじめており、有効な試みの一つであると確信する。

現時点では、実験室のVOD型テキスト閲覧用PCにのみ格納されているが、今後は授業時に限らず、学生が自宅、大学のPCからWebサイトで閲覧できるようストリーミング配信の提供も必要である。

実験題目の支援ばかりでなく、誤差論や最小二乗法など複数の大学で共通に使えるVOD型テキストなどにも目を向け、大学間で教育資産を共有していくことも課題になろう。

## 5 . IT 活用に伴う課題

### (1) ティーチングアシスタントと授業管理ソフトの導入

学生の知的好奇心や参加意欲を喚起するような、教育効果のある授業を如何にしたら実現できるか、教育現場では試行錯誤が続く。教員の力だけで多人数にきめ細かい指導をするには限界があり、ティーチングアシスタントなどの人的支援が必要となる。

また、ITを活用して教員の負担を少しでも減らすことも考慮する必要がある。一例として、出欠管理、小テストの採点及び集計の自動化、理解度のその場把握などが考えられる。

### (2) 教員の教育力向上

ITを活用しやすい教室環境が整備されてきてはいるが、それを活用した講義の数が少ないなど、高価な設備を十分に活かしているとは言い難い状況がある。

学科や学部などの各階層において、教員の教育力向上のための組織的な取り組み、教員の教育業績評価の確立が必要である。パワーポイントで作った教材を多用する授業よりは、板書中心の授業を望む声が少なくなかったという報告もある。

教員側にも学生の反応を見ながら臨機応変に板書する授業を中心として、それを支援するための補助教材や予習復習の自習用教材にITを活用することが好ましいという意見が多い。利点と欠点を見極めつつ、どのようにITを授業に活用することが有効なのか、教員の真剣な取り組みが求められている。

### (3) 共有化を可能にする教材のモジュール化

ITを活用した教材の作成には多大な労力を要する。個人レベルの対応では限界がある。そこで教材の共有化が考えられるが、個人で作成した教材を束ねるボトムアップ型ではオリジナリティがあって魅力的だがいかにも寄せ集め的で使い勝手が悪い。共有化を前提とした教材作成では、メタ情報の付与、モジュール化が不可欠であり、トップダウン型の共同作業を前提とした組織形成が必要となる。両方の利点を如何に融合し機能させるかが重要となる。

### (4) 教育支援体制の整備

大学の運営支援体制として、電子教材作成センターのような組織を設置し、教員と共同して電子教材を作成する専任スタッフ・インストラクショナル・デザイナーを配置することが望まれる。

電子教材を如何にして学生に提供するかが問題となる。付加価値の創造から普及までをトータルに考えた新しい制度設計が求められる。

今後、eラーニングはオンライン・ティーチングではなく、オンライン・ラーニングを実現する手段として構築されていくものと考えられる。なお、教育システム運用については、一部分に限定してアプリケーション・サービス・プロバイダ(ASP)の依頼を検討することも考えられる。