

Advancing Physics を利用した理科の初年度講義

広瀬 敏行* ・ 伊藤 克美**

要 旨

英国の新しい物理教育のコース Advancing Physics を利用して、理科教育専攻向けの講義 Study Skills I を行った。講義時間の半分程を実験・発表にあて、学生の主体的参加を目指した。我々にとっても新しい試みであったので、講義終了後にアンケートをとった。ここに講義の内容とアンケート結果を報告する。課題は残るものの割合肯定的な意見が得られた。また、発表・討論の機会の少ない学生にとって希少な経験となったと思われる。

1 はじめに

学校教育課程理科専攻の学生の入門科目として、Study Skills I を2002年度から開講している。当専攻の学生教育の中の位置づけとしては、「物理学プレセミナー」（伊藤が担当）を受け継いだものであり、初年度教育として以下の様なことの経験を目指している。

1. 興味を喚起する、自分で考える習慣を付ける。
2. 仲間と議論して（自分の意見を言い合って）結論を出す。
3. 人に分かりやすいレポートを書く。
4. 聞いている人たちに分かりやすい説明（の構成）を考える。

経験した人ならすぐに理解して頂けるだろうが、目指しているのはかつて我々が経験した「自主ゼミ」の手応えである。だから、目標自身は新しいものではなく、他大学でも広く試みられて来ていることでもあると思う。

しかし、どこでも言われていることだが、こういう地道で当たり前のことの実現がとても困難になっているのが現在の大学の状況であると思う。

さて、本年度は（次に述べる様な特徴を持つ）Advancing Physics という新しい教材に取り組ん

だ。この教材が、我々の目的に合致しているのではないかと判断したためである。

以下で Advancing Physics がどんなカリキュラムなのか簡単に説明する。本稿の次節以降の構成は以下の様になっている。2 節では、Advancing Physics からどんな話題を取り上げたのか、説明した。また、「探求型」の講義をするにあたって工夫した事柄についても手短かに記述した。本講義では実習・実験が大きな部分を占めた。取り上げた実習・実験の内容と目的を3 節に記載した。4 節では、講義の合間に我々が作ったメモを元にして、実際の講義の様子を紹介した。5 節では学生に依頼したアンケートの結果を述べる。最後6 節で我々自身の講義評価を記述した。

Advancing Physics という新カリキュラム

Advancing Physics は英国で2000年から使用されている物理学の新教育システムである。英国物理学協会 (IoP) によると「Advancing Physics は現代のためのコース」であり、「16歳以上の、物理を勉強する学生数の減少に対応する策の一端として、英国物理学協会により開発された。」[1]。掲げられた目標には、多様な学生に受け入れられるものとする、毎日の生活とのつながりを示すものとする、個々の興味に応じられるものにする、などとあり、意欲的なものとなっている。コースにはテキストの他に、様々な資料およびソフトウェアが含まれる CD-ROM, メーリング・リストなどが準備されており、学生にとっては複合的な学習システム、教師

2003.11.28 受理

*hirose@ed.niigata-u.ac.jp

**itoh@ed.niigata-u.ac.jp

にとっては学習支援システムとなっている。コースはAS (Advanced Subsidiary) とA2 (Advanced Level) の二つに分けられており、AS コースを学んだ後、A2 コースと進むこととなる。

典型的な物理のカリキュラムとは異なり、力学から始まるわけではない。しかし、章ごとに物理の基礎概念、計算、物理数学などが配置されている。

CD-ROMには各章ごとに、教師学生のための、実験、問題等に関する文章が用意されている。絵画、計算式の表示、シミュレーション等のソフトウェアもついており様々なスタイルでの学習が可能となっている。

この従来にない新しいカリキュラムに対して、日本でも研究会が組織され [2]、公開講座の形で利用への取り組みが始まっている [3]。また内容的にも「高校大学の連携」に利用できるものと判断され、取り組まれている [4]。

今回我々は大学初年度の物理入門コースとしてこのカリキュラムを利用した。最近では、理科をしっかりと学んで入学してくる学生が、以前にも増して減っている。物理を履修して来た学生もして来なかった学生も混じっている集団に、それなりの意義を見いだせる様な教材を見いだすのは大変である。学問は知識と理解の積み上げの連続であり、特に理系科目は言葉が良く定義されている分だけ、学生間の格差が生じ易いと考えられるからでもある。

Advancing Physics のスタイルがどう受け止められるのか、興味を持って講義を始めた次第である。我々の今回の取り組みは、大学初年度における実力の異なる学生に同時に意義のある学習方法として利用できるか、という点を検討する意味で、新しいものであるだろう。

2 講義の実際

本講義では、学生同士で議論して結論を探してもらおうなど、普通の講義ではやっていないことにも重きを置いている。また、Advancing Physics それ自身も探求型のカリキュラムで、実習・実験が重視されている。そのために講義のやり方に多少を工夫したので、手短かに説明しておきたい。

2.1 どの様な体制で行ったか

受講者23人を4人ないし5人の班で分けた。半年の間、この班単位で実習・実験を行うこととした。その他に講義の中で分からないことが出てきた場合

には互いに相談する習慣を付けてもらおう、という意図である [5]。また、本講義で行ったことは他の方法で補うことは不可能な内容だったので、出席の確認をした。

教材はすべて英語であったので、新入生に読ませるのは無理と判断し、訳を作り配布した。しかし、講義の後のアンケートによると英語も含めて資料はかなり読まれていた。^{*1}

実習・実験についてはCD-ROMに膨大な資料がある。あまりに大量なので我々は全体像を把握し切っていないが、必要に応じて利用する様になっているので、選択して実習・実験に必要な資料を作り配布した。

講義の内容は、TAの畠山さんを含めた3人で相談しながら決めて行った。卒業生の坂田さん、富山さん、それに現4年生の鈴木さん、篠島さんにも相談に乗ってもらった。理科教育研究室の学生さんたちにも手伝ってもらい何度か予備実験を行ったりした。

2.2 Advancing Physics の何を取り上げ、どう利用したか。

半年の講義で扱うことが出来たのはASコースの最初の2章のみである。1章、2章は3章と共に一つのユニットを成し、コミュニケーションという話題を異なる側面から見た内容を持つ。1章は画像、2章はセンサーを扱っている。ASコースの章立てを表1として示した。

最初の2章を取り上げたのは、我々自身初めてであった他に、京都で研究会を開いているグループの報告を物理学会で聞いて興味を持ったためでもある [6]。

第1章、第2章の内容を簡単に紹介しておこう (表2を参照)。

第1章のタイトルはImagingである。最初に超音波で捕らえられた胎児の画像が載せられているのを初めとして、現代科学・技術の先端的部分で得られている画像が次々と出てきて目を引く。例えば、宇宙における銀河分布、走査型顕微鏡で得られた画像などである。

テキストでは次の様な基本的事項について説明されている：

1. デジタルな情報としての画像がどう構成されているのか、

^{*1} 英語も含めて読まれていたことは、正直のところ驚きであった。

2. 画像がどの様な方法で得られたものか (音, 電磁場, 波の伝播に関する基本的な事柄),
3. また, 画像がどの様に処理され得るか (これについては講義で実習を行った)。

この後, 我々の視覚と光学の説明が続く。^{*2}

第2章, Sensing では, センサーに関連する話題を扱うが, 第1章同様, 話題はきわめて現代的である。センサーに関連して, 電気回路の基本的な事項, オームの法則から, 電位分割などが説明されている。これらの理論は, 極めてミクロな (現代的) センサーなどを具体例として説明される。

電位分割の考え方を応用してセンサーを構成できる。今回の講義では, 雨量を測定するセンサーの作成を行い, テキストに展開されている内容を理解することを目指した。

ここまでの説明だけでも理解できる様に, 内容はかなり高度で, 話題も豊富である。本当に良く消化しようと思えば骨が折れる。しかし, 一方でかなり読者を楽しませる内容でもあり, テキストもそれに見合ったスタイルを保っている。参加した学生さんたちにもその辺は了解された様子 (「読書の楽しみ」!) がアンケート結果から伺われる。

表1 : Advancing Subsidiary (AS) コースの章立て Course Guide (Advancing Physics) より。

現場の物理 (Physics in Action)	
コミュニケーション (Communication)	新しい物質を創る (Designer Material)
1. 画像を作る (Imaging)	4. 材料を試験する (Testing Materials)
2. 感知・計測する (Sensing)	5. 材料の内部を覗き込む (Looking inside Materials)
3. 信号を送る (Signalling)	
過程を理解する (Understanding Processes)	
いろいろな波と 量子的振る舞い (Wave and Quantum Behaviour)	空間と時間 (Space and Time)
6. 波動的な振る舞い (Wave Behaviour)	8. 空間と時間の地図を作る (Mapping Space and Time)
7. 量子的な振る舞い (Quantum Behaviour)	9. 次の動きを計算する (Computing the Next Move)

^{*2} 1.3節。この部分は時間の都合で省略した。

表2 : 1章および2章の各節の予定時間

節	題目	時間
1.1	見えないものを見る Seeing invisible things	3時間
1.2	画像の情報 Information in images	3時間
1.3	目とともに With your own eyes	4時間
2.1	とても小さなものを作る Making very small things	3時間
2.2	小型回路 Miniature Circuit	6時間
2.3	電位差の制御と測定 Controlling and measuring potential difference	2時間
2.4	センサーと私達の感覚器 Sensors and our senses	4時間
2.5	よいセンサーを作る Making good sensours	5時間

CD-ROMには様々な形態をとった実習方法が文章の形で収録されている。学生実験, ソフトウェアを用いてパソコン上で行う実習, 家庭でできる実験, 演示実験などがある。今回の講義ではこれら実習のうち, 1章ではパソコン上で行う実習, 2章では学生実験を主に行った。

1章では収録されている実習のうち, 実習50S「水星の表面」[7]^{*3}, 60S「イオ (木星の衛星) の火山」[8], 70S「X線の医療への利用」[9], 80S「超音波の医療への利用」[10]の実習を行った。2章では収録されている実習のうち, 実習110E「デジタルマルチメーターを用いて抵抗を測る」[11], 120E「直列および並列の抵抗」[12], 150E「電気特性」[13], 200E「電位分割器」[14], 280E「雨量の測定」[15]の実習を行った。

最初の2章だけであるが, 与えられた半期の時間の内にこなせた量としては妥当な程度だと判断している。これだけの章でも, 本来6週間, 30時間で行うことになっているのを, 16回, 24時間の講義で行ったことになる。結果として, 斬新な話題に触れたこと, コンピュータ実習ができたこと, デジタルマルチメーターを使った回路の実習, センサーを使った「装置」の作成などかなり新しい試みを紹介できたと思う。我々も楽しんだし (大変だったが), 学生さんにも興味を持ってもらえたのではないかと考えている。

^{*3} 50Sなどは実験などにふられた番号 (CD-ROM参照)。

3 実験：内容と目的

講義では、演示実験、パソコンを用いた実習、学生による実験を行い、後者2つについては、班ごとの発表をしてもらった。

学生発表では、自分たちで行ったことを他の班の人たちに簡潔にわかりやすく説明することを目標としてもらった。パソコン実習と電気回路の実験、それぞれについて班ごとの発表をしてもらった。聞いている側も分からなくなったら質問するように促した。

分かりやすく簡潔に、というのは要求するのは簡単だがとても難しい。十分うまくやれたところはなかと判断しているし、学生さんたちが達成感を感じるところまでは行けなかったと思う。

ただ、後述のアンケートの記述からも分かる通り、質問を出して発表者と議論して理解を進める態度、他の班の発表を自分たちの問題に引き付けて考える習慣においてかなりの改善があったと言って良いのではないかと思っている。

3.1 超音波距離センサーによる演示実験

講義の最初に、演示実験を二つの目的をかねて行った。ひとつはセンサーの利用例を具体的に示すこと。もうひとつは速度の概念を確認することである。超音波センサーを用いたので、ASコース第1章の話題を理解する上でも好都合だった。

この演示実験では、音波のセンサーが教育機器として役立っている例として、『距離センサー』を紹介した。^{*4} 距離センサーは、音を出し物体に反射してもどるまでの時間を測定して距離を割り出す。短時間の内に複数回音を出すので、速度、加速度を計算できる様になっている。それらの測定結果はパソコンの画面上にリアルタイムで表示される [16]。

実験では斜面を運動する台車の等加速度運動を示した。センサーの紹介、速度の確認ということが主目的であったので、あえてニュートンの第二法則などの解説は行わなかった。しかし、それを補うために演習問題を配布した。

3.2 実習：パソコンを用いた画像処理

実習はCD-ROMにある「Scion Image」[17]というソフトウェアを用いて行った。多少の重複を除いて、各班に別々の課題を与えた：「水星の表面」

「イオ（木星の衛星）の火山」「X線の医療への利用」「超音波の医療への利用」。実習に共通する目的は、画像が数値として保存されていることを確認し、その処理をすることである。

「水星の表面」では、画像からノイズ除去し、また、ピクセル数を数えてクレーターの直径・面積を求めたりした。一見すると背景にある大気（宇宙）に隠れてしまっている「イオ（木星の衛星）の火山」が、コントラストや色を変えたときに浮かび上がってくるのは印象的だった。「X線の医療への利用」と「超音波の医療への応用」では、画像の改良を行い画像の解釈や簡単な測定をした。

実習は時間内に終了できない班もあった。発表、実習を行うために講義外の時間を使って課題に取り組んでももらった。

発表に関して大まかな時間の指示以外はしなかった。3回の講義を発表に当てた。液晶プロジェクターを利用し、パソコン操作の様子を他の学生に実演しながら説明できる様に準備した。班の1人がパソコン画面を操作し、他の者が発表する形式で発表が行われた。「水星の表面」の発表の途中に伊藤がいくつか質問した：例えば、平滑化に対する数値処理がどのように行われるか。これで、発表の間に質問をしても良いと思ってくれたらしい。これ以降、学生から質問が出るようになった。

3.3 デジタルマルチメーターを用いて電圧・電流・抵抗を測る (110E)

デジタルマルチメーターは電圧・電流・抵抗など、電気に関する複数の物理量を測定できる機器である。抵抗の測定については、ASの実習110E「デジタルマルチメーターを用いて抵抗を測る」をもとに実験を行った。その他、デジタルマルチメーターの利用に慣れるように電圧および電流を測る実験を用意した。また電気の単位に関する文章および機器に関する文章を用意した。

回路の作成にブレッドボード [18] を用いた。ハンダ付け不要、抵抗などの再利用が可能、必要なクリップ作成数を減らせる、などの長所があると判断したためである。

電圧を測定する実験では単1電池の電圧を測定した。デジタルマルチメーターの扱いに慣れるほかに、1.5V表示の電池が異なるレンジで1.52V等と表示されることから有効数字の考え方を理解することをねらいとした。電流を測定する実験では、電池に豆電球を繋いだだけの回路に、電流計としてのデジタ

^{*4} テキストでは超音波センサーの医療での利用を紹介。

ルマルチメーターを直列につなげた。「デジタルマルチメーターを用いて抵抗を測る」ではマルチメーターの扱い方、20本の抵抗の測定値の平均値および中央値を求めるなど、簡単な統計処理をねらいとした。同じ表示の抵抗器でも実際は異なる値を持っていることを確認してもらった。

抵抗を20本測るということをすぐに納得してもらえないという問題が生じた。抵抗器は温度により値が変化するため、指で抵抗器の部分を持たないように注意が必要であった。

3.4 電気特性 (150E)

ある素子にかかる電圧を横軸に、素子に流れる電流を縦軸にとって特性曲線を書くことが課題。特性曲線からオームの法則が成り立つかどうかを確認する。また素子の特徴を見る。素子として、抵抗器、抵抗値が温度によりかわらない金属線、電球、ダイオード、サーミスタを用いた。抵抗器については全ての班で実験を行ったが、他の素子は班ごとに分担した。ブレッドボードを用いたが接続の際に手間がかかるようであった。特性曲線を測る抵抗に合わせて可変定抵抗を選び電源をつないだが、回路がやや複雑に思えた。電圧を変えられる電源を用意できれば良かったと思う。

3.5 直列および並列にされた抵抗器 (120E)

直列および並列にした抵抗器全体の抵抗、コンダクタンスを測定する実験。実験者には結果を予測し、実際の測定値と比較することが求められる。直列につないだ抵抗器の抵抗は電位分割器の考えにつながる内容であるため、これ以降の講義の理解にとって重要である。実験自身は、場合によって省略可能であると考えられるが、基本の確認を兼ねて行った。

3.6 電位分割器 (200E)

固定抵抗器、可変抵抗器、抵抗の変わるセンサーなどを用いて電位分割器を作り、電気信号を取り出す方法を学ぶ実験。センサーとしては、温度で抵抗が変わるサーミスタ、光の強さに応じて抵抗が変わるCdS（硫化カドミウム）セルを用いた。

結果を発表してもらった。測定値の電位差が理論値より小さくなっていた。理由としては、デジタルマルチメーターの内部抵抗が考えられるが、内部抵抗については詳しい説明、実験を行っていなかった。発表に際して質問をし、内部抵抗のことに触れたが、理解を確認する時間をとった方が良かったかと思う。

3.7 雨量の測定 (280E)

この実験では、雨量の測定を動機付けとして、水位が上がったときに出力電圧の上がるセンサーを作り、そのキャリブレーションを行った。目的はキャリブレーション、電気信号の取り出し、機器の解像度などセンサーの基本事項を理解すること、および報告の仕方を習得することである。

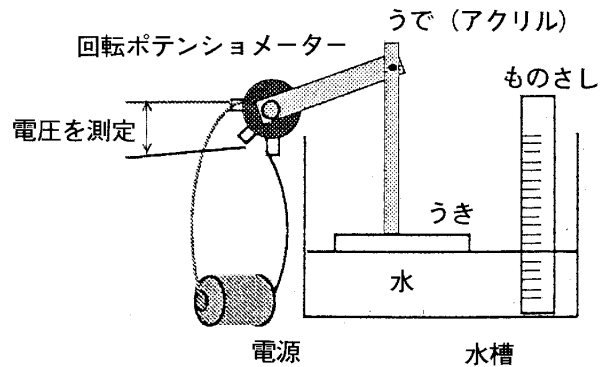


図1：実験装置の模式図

組み立てた例を前で見せ、装置を組み立てさせた（図参照）。装置は次のように働く。水位が変わると浮きと腕により、腕の根元の回転ポテンシオメーターの軸を回転させる（図では腕の根元の小さな○にあたる）。回転ポテンシオメーターの軸が回転することにより抵抗が変化し、測定する電圧が変化する。この水位の変化による電圧の変化を記録した。水位はものさしで記録した。測定結果より水位と電圧の変化であるキャリブレーションのグラフまたは表を作成した。

4 半年間の活動の記録

表3に実際に行った実習・実験の内容を日程表として示した。何も記載のない日にはテキストについて講義のみを行った。半年間の講義の間、講義に直接関与した畠山、広瀬、伊藤の3人はそれぞれ気付いたことを記録している。今回の講義は様々な意味で新しい側面がある。それに対する学生の反応を含めて、我々のとった記録から一部をここに記載しておきたい。

5月6日

全体を5班に分けた。1班は4人ないし5人で、実習・実験などで相談しながら進んでもらって自分の意見を出してもらおうのが目的。自習がほとんど不

表3：実習・実験の予定

日	実習・実験
4月22日	
5月6日	超音波距離センサーによる演示実験
5月13日	水星の表面 (50S)
	イオ (木星の衛星) の火山 (60S)
	医療におけるX線の利用 (70S)
	医療における超音波の利用 (80S)
5月20日	学生発表
5月27日	学生発表
6月3日	学生発表
6月10日	デジタルマルチメーターを用いて 電圧・電流・抵抗を測る (110E)
6月17日	電気特性 (150E) 直列および並列につないだ抵抗 (120E)
6月24日	
7月1日	電位分割器 (200E)
7月8日	雨量の測定 (280E)
7月15日	
7月22日	学生発表
7月29日	学生発表

可能な教材を用いるので出席を確認することを伝えた。

テキストが、問題提示→考えさせる→説明、という形式で書かれていることを指摘。テキストの内容に関連して、波についての基本的な事柄(振動数, 速度, 波長)について学生に説明をしてもらった。割合特徴的な反応が帰って来た: 1) 高校で物理をやっていないと分るはずがない、と思っている学生が多数いる様子であること, 2) テキストには始めに具体的な話があり後に公式が出てくる、これについて「なぜ公式が後に出てくるのか?」。

最後に広瀬による演示実験。等加速度運動をしている台車の位置, 速度, 加速度をセンサーを用いてパソコンに表示。

波の性質について簡単な問題を課した。

5月13日, 20日, 27日, 6月3日

1.2節 Information in images を解説 (2進法, 対数, 情報などについて。30分程度)

パソコン実習 (水星, X線画像, 超音波画像, 火山), 班ごとに異なる課題を出し, それぞれ全体に向けて発表してもらった。実習の進め方を説明したプリントを用意し配布した。

実習は楽しんだ様子。全体に良く参加していた。最初の班の発表に90分かかった。経験がなく, 何を発表するのか分からない, と想像された。後の班に

なるほどこの状況は改善された。他の班の発表内容も利用して, プリントに書いていないことも試しているのが分かった。

発表した人はレポートを提出し, 感想を書くように指示。発表の様子を見て一部の人だけでやっているのではないかと思われる班があり, 発表後のレポートにそれぞれの役割を書いてもらうことを伝えた。

6月10日

2章の説明と簡単な電気回路の実験を予定。

オームの法則を知らない人が4人いたので, 班で話し合ってもらおう。後の回路実験の準備として, 電流が荷電粒子の流れであるとか, 基本的なことを説明。オームの法則を解説。

2.1節と2.2節を解説。電気回路の実験。特に, デジタルマルチメーターの使い方を学ぶことが大きな目的 (電圧, 電流, 抵抗の測定)。全員が実験に参加していた様子だが欠席が7人。

6月17日

欠席2人。予定: 回路を構成する素子 (抵抗, コンデンサーなどの部品のこと) に電流が流れているときの状態について理解する。目標: 抵抗器の特性曲線を描く。オームの法則を理解してもらう。

この日の様子: 実験150Eと120Eがやれないかと用意したが, もう少しで150Eを終えられなかった班がひとつ。120Eにはどこも手つかず。前回デジタルマルチメーターの使い方の練習をしたが, やはりすべて1回で覚えてもらうのは無理だったか。大きな問題は生じなかったが, 配布文章の不備もあり, 多少混乱があった。今回の実験の簡単なレポートを課した。

6月24日

150E, 120Eの実験の残りをやった。1班から150Eの実験の発表。実験で得られたグラフの理解・解釈までいかず, 解釈の部分は我々3人で考えることになった。

7月1日, 8日

実験。電位分割器 (可変抵抗) を用いた回路の実験。そこで理解したことを発展させて, 水位を測定するセンサーを作り実際に測定する実験。ほとんどの人が議論に参加して, 実験にとりかかっていたが, 他人に任せきりの人がいた。自分で実験していなければ, レポートを見れば分かるだろう。

7月15日

7/8の実験についての解説とテキストの2.3-2.5節の理解を予定した。後者については, 班を単位に分担し, 代表を出し解説をしてもらった。不足分は

補足。例えば、次の様な記録がある。

○君の発表：読んできてはいるが、文章を理解する力が足りないというのと、言葉で表現する力が足りないという2つの原因があったため、うまくいかなかった。文章を読み解く力が足りないのは頻繁に感じる。日頃の読書量の不足か。

レポート最終締め切り 8月1日(金)

7月22日, 29日

実験について各班ごとの発表。これが終わったら講義は終了。分担は、電位分割器(1班), 電位分割器(センサー)(2班, 3班), センサー(4班, 5班)。

1班 実験値と理論値の違いがある。温度の違いによって抵抗値が変化, 測定値のばらつき。問題点, 測定値(電位差)が理論値より小さくなっている! この点は学生さんたちに問題にして欲しかったのだが。今後の課題。

3班 形だけの発表をしようとしたので許さず説明を求めた。結果の分析が十分できていない。理論的分析は班で集まっても難しい作業だという感想。サーミスタの実験結果について質問が出たので説明。

本講義の「評価」と改善可能性について学生にアンケートを依頼した。提出は任意とし強制はしなかった。

この節の最後に7月8日に行った実験「雨量の測定」から得られたキャリブレーションのグラフをお見せしたい。使った装置は図1に示した簡単なもので、はっきりした結果を得るのは難しかった様子だったが、このグラフを得た班だけは工夫しながら丁寧に実験を行い次に示した結果を得た。このキャリブレーション曲線を用いると水位の変化がmm単位で測定できると思われる。^{*5}

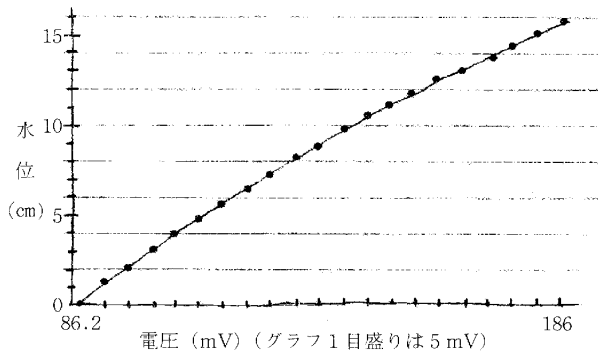


図2：雨量の測定のグラフ

^{*5}実験としては測定回数を増やして精度をあげることが可能であると考えている。

5 講義をどう評価するか

講義の最終日に学習内容のチェックとアンケートを配布し、任意で提出してもらった。提出数は受講数23名のうち12名と半数程度である。主に講義に協力的な学生が提出したと考えられ、講義に参加した全体についての判断はできないが、今後役に立てられそうな材料が含まれていると考える。

以下アンケート結果の概要を示す。次の小節では、講義で扱った具体的な項目について個別に理解の程度を確認したので報告する。

5.1 学生に依頼したアンケートから

(1) 最初に講義全体に関わる質問を行った(図3参照)。

(1-a) 「本講義を始める前物理は好きでしたか」：好き(2名), どちらでもない(5名), きらい(5名)。好悪の主観は必ずしも学力と一致はしないだろうが。

(1-b) 「高校のときに物理を選択していましたか」：はい(5名), いいえ(7名)。

(1-c) 「高校のときに物理を選択してない人へ：講義を受けて物理を学んでみようと思いますか。」積極的に学びたい(0名), 学んでみようと思う(4名), 苦手である(3名)。

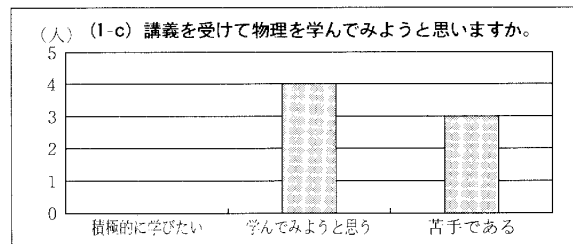
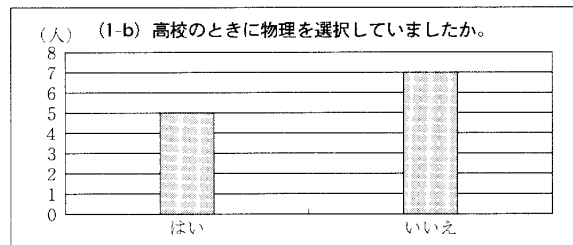
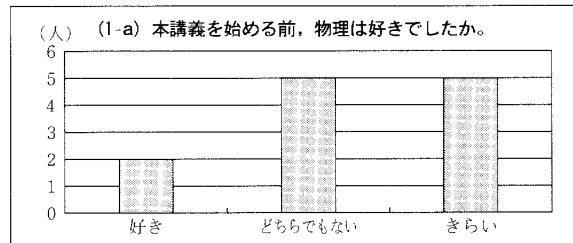


図3：講義全体についての質問

(2) 講義に関連して (図4 参照)

(2-a) 「講義の内容はどうでしたか。」

難しい (5名), 適当である (7名), やさしい (0名)。物理を高校で選択していた学生がいたにも関わらず, やさしいと答えた学生がいない。

(2-b) 「配布した文章を読んできましたか。」

英語の文章は, 読んだ (3名), 目を通した (6名), 一方, 日本語の訳は, 読んだ (6名), 目を通した (5名)。当然日本語の方が読まれているが, もとの英語の方も良く読まれている。勤勉さの現れではないか。英語の文章を読まなかった (3名), 日本語の文章を読まなかった (1名)。

(2-c) 「読んだ」または「目を通した」を選んだ人へ: 内容をどうおもいましたか。」

面白い (5名), 特にない (5名), つまらない (1名)。

(2-d) 「新しい話題を取り込んだ教材であったことについてどう思いましたか。」(記述による解答を求めた) 肯定的意見としては,

- どのように取り組めば良いのか最初はとまどったが, 講義を通してとても楽しく学べた。
- 高校物理を選択していなかったが, 持っていた印象が違って, 物理は面白そうと思った。
- ただの勉強のみの教科書と比べてずっと面白かった。

などがあつた。問題点としては, 英文を読むのがつらかった, パソコンに操作に時間がかかり過ぎ, などがあつた。パソコン操作については個人差が大きいと思われる。

(3) 班を単位に活動したことについて (図5 参照)

(3-a) 班を構成する人数については, 今回程度の4, 5人が適切と考えていることを確認できた(グラフなし)。

(3-b) 「班でコミュニケーションは, 十分とれた (4名), とれた (8名), あまりとれなかった (0名), とれなかった (0名)。

(3-c) 「班でコミュニケーションはとれましたか」に対して答えた理由を書いてもらった。「あまりとれなかった」「とれなかった」と答えた学生はなかったので以下は「十分とれた」または「とれた」と答えた理由である。

- 集まって話し合ったり実験で協力したり, 結果について考えをかためていったりしたため
- 分からない部分を教えあつたりして協力できたから

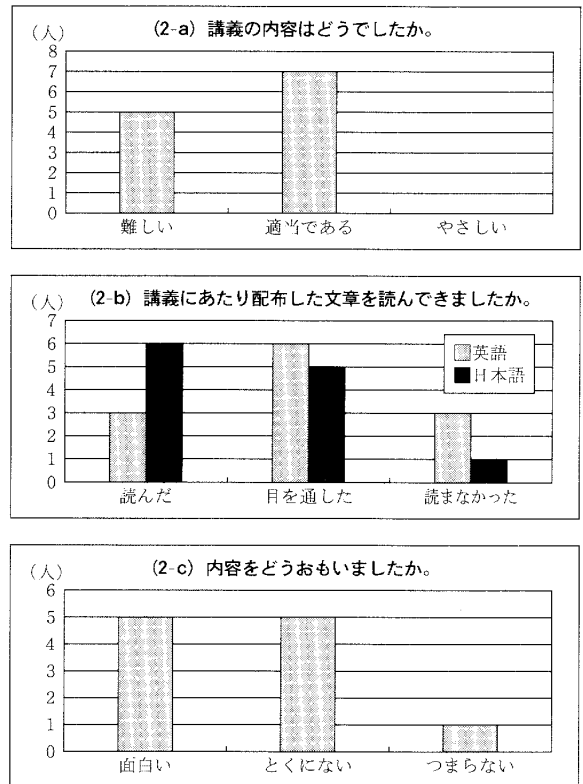


図4: 講義内容についての質問

他に, 班の仲間が真剣に課題に取り組んだ, 一緒に実験を進める内に皆仲良くなった, 実験・発表のときに良く話すことができた, などの記載もあつた。

(3-d) 話し合いの機会について尋ねた。「高校までの授業, 大学の他の講義において話し合う機会はありましたか。どんなときですか」

詳細は省略するが, 「理科の授業」で話し合ったと答えた学生が1人で, 中学校のとき。「高校での物理の授業」と答えた学生はなし。高校レベルの物理分野において, 自分で考えたことを周囲の人と話し合い確かめる機会は少ないと推測される(グラフなし)。

(3-e) 「今回の講義で話し合いをしたときの感想・気になった点」記述による回答。肯定的な意見を以下に記す。

- 自分が分からないところを班の人たち等に聞いて理解できたのが良かった。
- 1つの結果でもいろいろな捉え方があることに気づいた。自分の気づかないことを気がつく人がいてすごいと思った。
- 意見をぶつけあうのは楽しい。意見が飛び交っていて面白かった (TBSの番組みたい)。

気になった点, 問題点としてあげられる意見を以下

に記す。1人1人の予備知識の量が違うので、進める時に、わかる人だけが先に進んでしまうことがしばしばあった。意見を出す人が決まっていたと思う。分からない部分を教え合えたのはよかったが、リーダー的役割の人がいなかったせいか話合いが止まってしまったことがあった。

(4) 口頭発表について

(4-a) 「高校までの授業、大学の他の講義において発表する機会がありましたか。それはどんなときですか」

詳細は省略。「理科の授業」で発表する機会があったと答えたのは12人中2人。いずれも中学校での経験（グラフなし）。

(4-b) 「今回の講義において、自分で発表することで学んだことがありますか。」以下は記述による解答である。

- ・自分の意見を人に伝えるのは難しいと思いました
- ・頭の中で理解していても言葉を使って他人に分かりやすく説明するのは難しいということを学んだ。

さらにどうすれば、よりわかりやすく発表できるかまで考えた意見もあった。

- ・発表する内容を自分なりにわかりやすく、かみくだいてから人に伝えなければいけないということ
- ・自分で分かっていると思っていても、発表すると分かっていたなかったことに気づくことあり。
- ・図とか計算式を書いて説明することは有用だと思った。

また次のような意見もあった：気を付けていないと他人の立場にたって考えることができない、疑問を解決しておかないと質問された時困る、上手にできなくても発表後それなりの達成感があった、など。

(5) 実験について（図5参照）

(5-a) 実験の機会について質問を行った。「高校までの授業、大学の他の講義において物理（理科）の実験をする機会がありましたか。それはどんなときですか。」

中学校で理科の実験をする機会があったと答えたのは7人、高校で理科または物理の実験をする機会があったと答えたのは3人であった。高校での実験は中学校での実験に比べて少ないように推測される（グラフなし）。

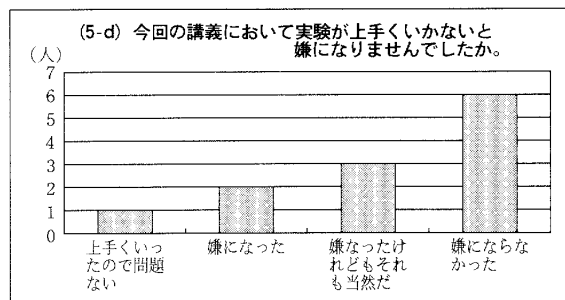
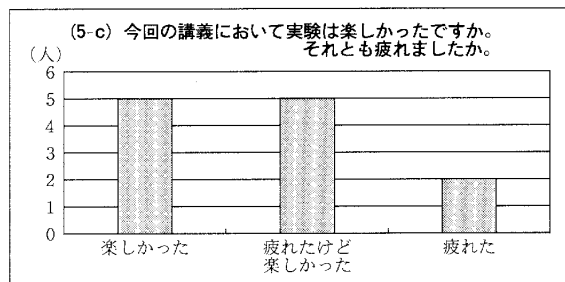
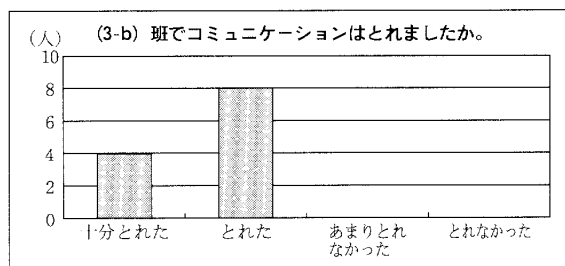


図5：班活動と実験についての質問

(5-b) 「実験をした感想・学んだと思うこと・気になった点」以下は記述による解答である。

- ・物理の分かっている人に頼りぎみになったことが反省点。協力できたのが良かった。
- ・予想通りか、それに近い値が得られたときはやっぱり楽しかった。
- ・第2章の実験では実験から得られた結果が全てではないことを学んだし、実験の結果を出すことは大変なことだと思った。
- ・オームの法則を実感できたことがよかった。実感することの重要性を改めて感じた。ただ話を聞くより、実際に目で見た事は頭に入りやすかった。
- ・新鮮だった
- ・協力することの大切さを学んだ、私は物理を中学までしか学習していなかったの、ついていけるかどうか不安だった。でも同じ班の人達がわからない部分を教えてくれたり、自分でも他の人がやるのを集中してみているうちに、次第に理解できるようになっていった。

(5-c) 「今回、実験は楽しかったですか、それとも疲れませんか。」

「楽しかった」(5人), 「疲れたけど楽しかった」(5人), 「疲れた」(2人)。

今回、90分まるまる実験にあてることもあった。長時間作業しつづける経験が少ないと思われる学生にとって実験は疲れるのではないかと思いアンケートを行った。

(5-d) 「今回の講義で、実験が上手くいかないとき嫌になりませんでしたか。」

上手くいったので問題ない(1人), 嫌になった(2人), 嫌になったけれどもそれも当然だ(3人), 嫌にならなかった(6人)。

今回行った実習・実験は、概ね大きな障害の起こらないものであったと思われるが、それでも予想通りにいかないのが常である。様々な問題が生じたことが考えられる。問題が生じたときに学生がどのように感じるのかを知るために質問した。

高校において物理を選択していない学生7人のうち、講義を受けて物理を学んでみようと思うと答えた学生4人いた。ある程度、講義の成果はあったのかも知れない。班による話し合いの意義、発表の経験を通じて意見を他人に伝えることの難しさ、この2点が了解されたことが分かる。また、多少実験がうまく行かなくても講義の進行に支障が出ることはなかった様だ。

5.2 どの程度理解してもらえたか：CD-ROMの理解度チェックリストを利用して

CD-ROMには各章ごとに理解度を量るチェックリストが収められている[19]。質問は「I can show that … (学習内容)」あるいは「以下の事柄について、効果、考え方、あるいは関係を記述し、説明できますか。」というものであったりする。質問がかなり明確な表現で提示されていることが良く分かる。この姿勢には学ぶべきところがあると思う。

講義で扱った事柄について、チェックリストから選びとって質問に答えてもらった。以下に設問と結果を示す。もとは二者択一方式だが、「よくできる」「できる」「あまりできない」「できない」の四択に変更して行った。結果は図6～9に示してある。1-1は1章に関連する問いであることを示す。

1-1: 「以下の事柄について記述し説明できますか。画像がコンピュータに数値として蓄えられていること、数値を操作することにより画像が変わること」

1-2: 「数値画像が平滑化およびノイズの除去により改良されること」

図6の結果を見て頂きたい。以上2項目は、実習を通じて理解されたのだと考える。

1-3: 「以下の用語および語句を正確に用いて物理の理解ができますか。コンピュータ化(数値化)された画像について:ピクセル, ビット, バイト, 情報量, 解像度」

1-4: 「『情報量=ピクセルの数×1ピクセルに対するビット数』の関係を用いて、画像における情

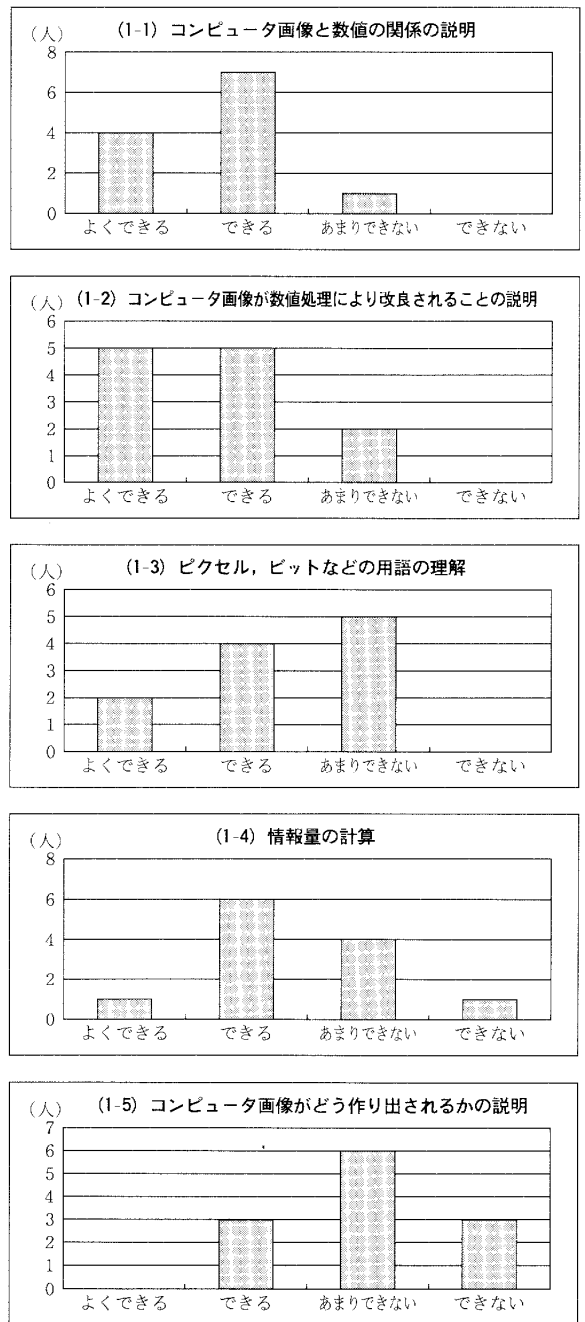


図6：1章の内容の理解度

報量を計算できますか。」

以上の2項目は、あまり理解されていない。2進数に対する理解が不十分だと考える。

1-5: 「物理またその応用において画像がどう作り出されるか、具体的な例について説明できますか。但し、説明では以下の事柄について言及すること

- ・画像を作るときに利用される物理的過程（例えば、フィルム、ビデオ、超音波スキャン、CCD (charge-coupled devices)、走査型顕微鏡)
- ・画像を作る本来の目的のために、上の物理的過程がどの様に有利あるいは不利であるのか

講義ではフィルムやビデオなどについては十分触れなかったもので、知識が試されたと思う。講義でとりあげた超音波スキャンについての理解ができて、それを他のセンサーにも類推して画像との関わりが捉えられれば十分。「あまりできない」と答えた学生がどこまで理解していたかはわからない。

2-1: 「電荷の流れである電流とはどのようなものであるか。例えば、金属内の電子、半導体の電子またはホール（正孔）」

2-2: 「電気回路または回路の素子をまたぐ電位差の考え」

上記2項目は良く理解されている様子が分かる。

2-3: 「抵抗およびコンダクタンスが意味すること」コンダクタンスに関する計算は実験の際で行ったが、説明はしていなかった。

2-4: 「素子を直列および並列につなぐと回路の電位差および電流には何が起こるか。抵抗およびコンダクタンスの考えを適切に用いよ。」

2-5: 「起電力の意味すること」起電力、また内部抵抗について解説はしていなかった。

2-6: 「オームの法則に従う抵抗であれば、もし外的な条件（温度など）が同じなら、 V/I の比が一定である」

「よくできる」または「できる」と答えた学生は11名であり、多数が理解している。実験、討論により理解ができたと思う。

2-7: 「電位分割器の動作について理解しているか。例えば、位置や角度を測るセンサーの応用場面において、入力する電位差に対して出力を減らしていること。抵抗の変化から出力電位差を作っていること。

実験により理解できたと考える。

2-8: 「次の用語を正確に用いることができますか。電気回路について：起電力、電位差、電流、電荷、抵抗、コンダクタンス、直列、並列」

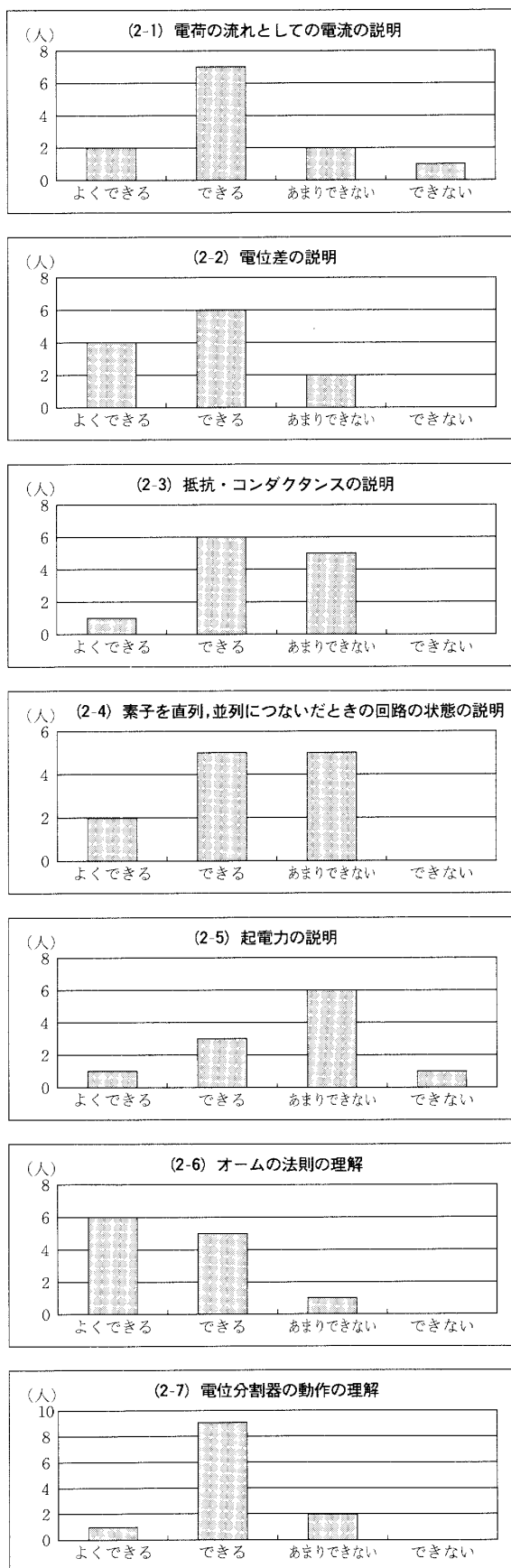


図7：2章の内容の理解度（1）

2-5において起電力の理解が「あまりできない」と答えた学生が6名いたことから、「あまりできない」または「できない」と答えた学生が理解できていないのは起電力と考えられる。

2-9：「次の用語を正確に用いることができますか。機器について：解像度（分解能），感度，応答時間，系統的誤差，ランダムな変化」

2-10：「簡単な回路の例を図で示し説明できますか。」

2-11：「図を示し説明できますか。電位差に対する電流のグラフ，温度に対するコンダクタンス・抵抗のグラフ」

温度に対するコンダクタンス・抵抗のグラフは実際に作っていないが理解できている。

2-12：「以下の計算をすることができますか。 $R=V/I$ の式を用いて回路または素子の抵抗R，また式を変形してVまたはI」

大半が理解していると思う。

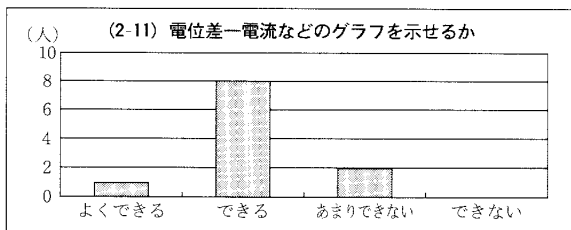
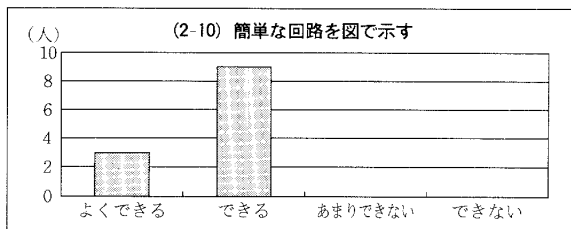
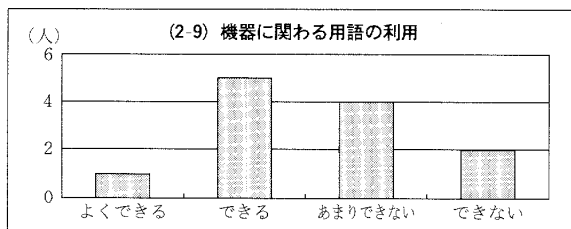
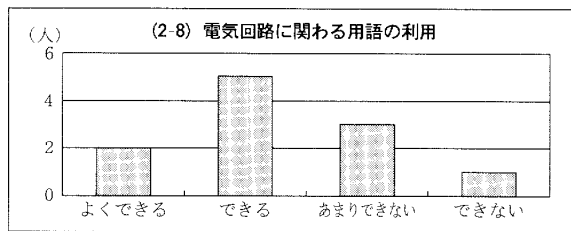


図8：2章の内容の理解度（2）

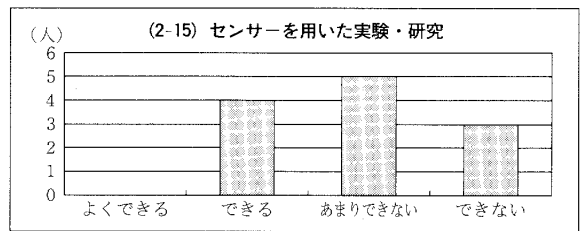
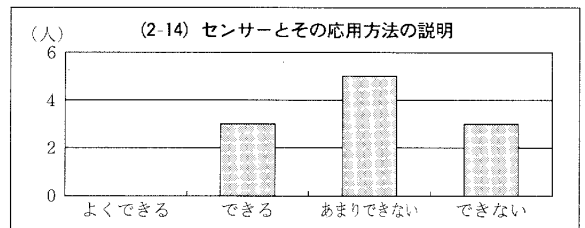
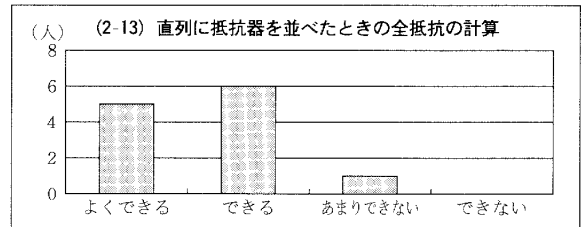
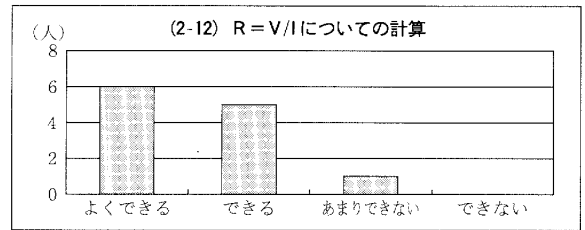


図9：2章の内容の理解度（3）

2-13：「抵抗R1，R2を直列に並べ電圧Vをかける。このときの直列回路の電流，回路の抵抗および電位差を式を用いて説明できますか。例えば，全抵抗=それぞれの素子の抵抗の和であること，など。」よく理解されていると考えられる。

2-14：「次のことについて自分で例をあげ，センサーおよびその応用方法を説明できますか。センサーには能動的なものを受動的なものがあります。

- 能動的センサーは電気信号を作る（たとえば圧電素子，熱電素子，光で電圧がおこる素子）
- 受動的センサーは抵抗が変わる（例えば光で抵抗が変わる素子，サーミスタ）

センサーを用いて何か具体的に実現することを考えてください。その具体例に用いるのにふさわしいセンサーを選択することができますか」

能動的なセンサーについて具体的な例で実験しなかったことが理解の低さにつながったと思う。

2-15：「以下のいずれかを課題として実験および

研究を実行できると思いますか：1) センサーを作り、その性能を試験する；2) 何らかのセンサーを試験し、性能の良さを測定によって示す；3) センサーを適切な回路に組み込んで、信号を測定する」

2-3, 2-4, 2-14, 2-15などは考える必要が問題である。また後者二つは発展問題であり難しいようである。

6 まとめ

本稿第1節に述べた我々の講義の目標がどの程度達成できたのか、多少反省と改善事項を含めて考えておきたい。また、本年度初年度生と付き合っただけで気付いたことなども書きとめておきたい。

我々が講義の目標として掲げていたのは次の4点であった。

1. 興味を喚起する・考えてもらう。
2. 仲間と議論して（自分の意見を言い合って）結論を出す。
3. 人に分かりやすいレポートを書く。
4. 聞いている人たちに分かりやすい話（の構成）を考える。

興味を喚起できたのかどうか、という点については割合うまくやれたものと思う。アンケートの回答にあった通り、テキストの内容を面白い、と考えた人たちがかなりおり、班ごとの活動が様々な意味で考えるきっかけになった様子も伺える。講義の後半になってからは発表者とか我々に質問などが出る様になった。1) 実習・実験をやった内容が具体的であり、うまく行かないときに、どこが問題なのか、目の前のこととして考える材料があること、2) 実習・実験を4～5人の班に分かれてやったことで、議論し理解を確認する作業ができたこと、などが良かったのだと思っている。目標の最初の2項目についてはまずまずと言ったところだろう。

次の2項目については十分な対応ができたとは思っていない。「物理学プレセミナー」を初年度生に講義していたときにはレポートの書き方についてはもっと具体的な指示と学習方法のアドバイスをしていた。今回十分なことができなかつたのは、新しいことをして時間的にも精神的にもゆとりがなかったということに尽きる。レポートの書き方の教授については今後の改善が可能だろう。

人に分かりやすい話をするために考える作業を教えるのは、うまく方法が思いつかない。今回もそれ

ぞれの発表で気付いたことを伝えている内に多少の進歩が見られる様になった。今のところそう言った地道な方法しか持ち合わせていない。一朝一夕にはどうにもならない。我々自身がある程度スタイルを獲得し提供する必要がある。

内容の理解については、アンケートの結果からある程度知ることができる。既に述べた様に、Advancing Physics ではもっと木目細かな、理解の確認のためのリスト（例えば You have learned としてリストされている項目はかなり具体的な理解を問う）が付いている。我々の講義でも、既に紹介したアンケートの他に、さらに具体的な事柄について理解を問うことも必要かも知れない。すべて理解してもらうのは不可能なので、教材の中から何を選び採るか、にも関わっている。これは今後の宿題として残る。

今回の講義を始めるにあたって、実力の異なる学生たちに同時に意義のある学習方法として Advancing Physics が有効か、という興味も持っていた。もともと多様な学生をねらって作られたものであり、多様な側面を持った教材であったので、それぞれの学生がそれなりの興味が持てたかも知れない。「持っていた物理のイメージと異なり」、「新鮮」という感想は印象的である。発表や提出されたレポートから、少なくとも数人の学生はかなり積極的に学習していた様子を知ることが出来た。また、発表や討論などの学習時間が持てたことも良い経験になったと思える。発表に十分な時間を割いたことは良い方向に作用したと考えて良いだろう。

「物理」を学べたのかどうか、今回の我々の講義だけからは推し量るのは難しい。しかし、入門の講義の試みとしては、刺激にはなつたのではないかと、というのが我々の感想である。「物理」の内容をどう充実させるのか、これから何度か今回の様な経験を積みながら考えて行きたい。時間の制約もあり、扱えるのはほんの一部である。この教材全体の流れの中で、どの部分を扱うのが適当か、選び採った部分をどう提示するのか、まだ検討の余地があると考えている。

最後に、この教材と当世の学生との相性について気付いたことを述べる。Advancing Physics を教材として用いることで、現代的な話題に先進的な方法を使ってアプローチできる。明らかに最近の学生はパソコンに対して積極的なイメージを持っている。だから、パソコン実習で理解を深めたのは良かっただろう。一方で、この教材では、具体的な現象など

が先に登場して興味を持ってもらった上で、説明（物理の理論）が後に出てくる。このスタイルに対して「なぜ、公式が後に出てくるのか」という不満が出たりする。現実から乖離した受験科目として公式を暗記してきた人たちには違和感があったのかと思っている。いずれも現在の学生の「常識」を反映していて、非常に特徴的であると思える。

謝辞

Advancing Physics を教材として扱うという「実験」はとても大変な作業だった。どう講義を進めるか悩みのつきない半年だったが、卒業生の坂田さんと富山さん、それに4年生の鈴木さんと篠島さんに相談に乗ってもらった。特に坂田さんには何週にも渡って大学に来て頂いた。また、小林研究室（理科教育）の学生さんたちにも少し手伝って頂いた。小林昭三さんには、IT センサーの利用に関して助言を頂き、デジタルマルチメーターを入手して頂いた。講義を始めるに当たって、京都・和歌山の Advancing Physics 研究会の活動を参考にさせて頂いた。皆さんの力添えがなくては、それなりのまとまりを持った講義をすることができなかったと思っています。心から感謝しております。第4節の最後に掲載したグラフは5班大平正則さんによるものである。

参考文献

- [1] <http://advancingphysics.iop.org/products/index.html>, 2002, IoP.
- [2] Advancing Physics 研究会（京都・和歌山）
<http://adphys.hp.infoseek.co.jp/>；横浜物理サークル<http://www.asahi-net.or.jp/~HA4K-MYZK/adphy/adphy.html>
- [3] 笠潤平, イギリス型の物理授業で学ぶ高校生, ガリレオサイエンスシリーズ No1, pp.118-127, 2003, 日本評論社.
- [4] 村田隆紀, 「アドバンスング物理」の授業実践による高大連携の試み, 大学の物理教育, 2003-1号, pp.50-53.
- [5] 以下の本に教室の使い方について参考になる提案がある。浅野誠, 大学の授業を変える16章, 大月書店.
- [6] 谷口和成, 岩間徹, 山崎敏昭, 笠潤平, 宮永健史, 村田隆紀, アドバンスング物理・第2章 センシングから学ぶ新たな電流学習の視点—回路学習における電位分割器の位置づけと探求学習の意義—, 2003, 日本物理学会第58回年次大会, 仙台.
- [7] Image processing: The surface of Mercury (Activity 50S), 「Advancing Physics AS 2000」CD-ROM, 2000, IoP.
- [8] Image enhancing: Volcanoes on Io (Activity 60S).
- [9] Medical uses of x-ray images (Activity 70S).
- [10] Medical uses of ultrasound images (Activity 80S).
- [11] Using the digital multimeter to measure resistance (Activity 110E).
- [12] Resistors in series and parallel (Activity 120E).
- [13] Electrical characteristics (Activity 150E).
- [14] Potential dividers (Activity 200E).
- [15] Measuring rainfall (Activity 280E).
- [16] 小林昭三, 笠原健, 村田章知, 力と運動の素朴概念を転換するIT活用法の有効性, 教育実践総合研究, 2003-2号, pp.39-62.
- [17] Scion Image; Scion Corporationの画像解析ソフト. <http://www.scioncorp.com>
- [18] ブレッドボード; sunhayato社の教育実習用ツール. <http://www.sunhayato.co.jp>
- [19] Student's checklist, 「Advancing Physics AS2000」CD-ROM, 2000, IoP.