

# 新入生が最初に出会う講義の試み

## — 物理科学 —

明石 義人<sup>1)</sup>

### 1 はじめに

中学校、高等学校の学区制の廃止の傾向、学力の絶対評価による競争意識の低下傾向などに関連して高校新課程の生徒に対し、高校教師による次のような評価が報告されている。生徒は自分の学習スタイルを持たず、学力、学習に対する基礎的スキルを十分発達させないまま大学に進学している。このような傾向は九州大学の学生相談に基づく報告においても認められ、生徒スタイルの学習から、学生スタイルの学習への移行を促す指導の必要性が指摘されている。このような状況を踏まえ、大学入学者への初年次教育の必要性が説かれ、その一つの要素として、教科書の読み方、ノートの取り方、レポートの書き方などの基礎的学習スキルを身に付けさせるための指導が求められている。このような問題は、オーストラリアの大学でも取り組まれていることの報告がある。(平成18年度 IDE 大学セミナー報告; <http://www.eden.miyazaki-u.ac.jp/~cerp/>大学教育研究企画センターのホームページ)

上記の指摘は、状況に対する適切な対応を述べていると思うが、素直に読むと新たに初年次教育プログラムで基礎的学習スキルを身に付けさせればよいようにも理解される。果たしてそれで十分であろうか。新入生の記憶しようとする学習態度を、考え、理解しようとする学習態度に変えていくためには、更に一步進めて、初年次の幾つかの授業そのものにおいて、学生スタイルの考える学習を促す内容を取り入れる必要があるのではないかと考えるようになった。教科書に沿って講義を淡々と行うのではなく、或るときは問題に対する必要な情報を提示・説明し、学生に課題を与えて考えさせる試みも必要であろう。或るときは、まず結果の式を提示し、それに基づく計算結果と実験値を比較させ、式の評価をさせ、その後で用いた式を導出する講義を行うことも必要ではないだろうか。

本報告において、まず、考えようとする学習態度が身につくような講義を計画するに当たって作成した基本的な考え方について述べる。次に担当する授業の具体的な計画について述べる。最後に、学生による筆者の授業に対する評価に基づいて授業内容や授業方法を評価し、まとめを述べる。

### 2 講義を計画するための基本的な考え方

講義を計画するに当たり、以下の6点を考慮することとした。①毎回の授業にテーマを設け、テーマの下で講義を実施する。学生に課題意識を持たせ、それに対し考えるための材料を講義し、講義内容をテーマの下で総合的に理解できるよう計画することが重要だと考える。

②授業ごとのテーマに相互関連性を持たせる。はじめの授業は学生の疑問を出発点として実施し、学生の疑問が本質的に何に関わる現象なのかをはっきりさせる。その後、現象をどのように捉え、理解することが重要か、明確にしながら授業を進める。

③授業の題材に応じて、授業の進め方を種々工夫することが大切だと考える。教科書通りに進めるばかりでなく、教科書を逆にたどる授業も有効な場合がある。授業に演習的な要素を取り入れ、演習を通して理論と実験の対応を意識させ、講義で理論式を導出することも大切だと考える。問題を考えるための基礎知識を幾つか講義し、それらを関連させて考える問題を与えることも意義がある。

④授業の最後の2、3回は総合的な内容の講義とし、物理学と他の分野との関わりの状況を伝える。これにより、この科目が専門教育の基礎であると同時に、技術者の素養を身につける教養教育でもあることに対応できる。

⑤講義の最後の20分でミニテストを行う。これにより講義の内容がどの程度学生に伝わったか確認することができる。また、文章で解答することを通し、学生が考え

1) 工学部

を整理する習慣を身につけることができる。解答するためには、講義の際の口述内容を記録する必要もあり、ノートを取り方の訓練にもなる。

⑥講義とは別の時間を設け補講を実施する。補講は必ず学生の質問に基づいて行い、単なる授業の繰り返しではない。学生の質問事項は、授業の内容を優先するが、授業の範囲を超えた質問に対しても時間の許す限りできるだけ対応する。これにより理解の足りない学生への対応に限らず、積極的な学習姿勢の学生への対応も可能になる。

### 3 授業概要、授業テーマ、及びミニテスト

授業全体の流れは以下の通りである。2回目、3回目の授業で、音と光に関する学生の疑問を波の発生、伝播、受信の観点から整理し、疑問に率直に答える。4回目の授業において、授業のテーマである波動は波の伝播を取り扱うこと、波動により伝播されるものは変位であることを明確にし、波動を特徴付ける変数がどう定義されるか説明する。5回目、6回目の授業では、波動において媒質自身が変位し、媒質が変位を次々と伝えることから、波の速度を決めるのは媒質自身の特性であることを指摘する。従って、媒質の変形の仕方が波のモードを決め、固体の場合3種類の波が存在できることを示す。7回目の授業で波動方程式を導出し、波動方程式の解の形を示す。8回目の授業では、ミニテストを中間試験として実施する。9回目の授業で振動と波動の関係を考える。10回目の講義は光の分散、光の回折格子について考える。11回目の講義は屈折とレンズの集光作用を説明し、レンズが曲率を持つことの意味を考えさせる。12回目では、顕微鏡と望遠鏡の基本原則について論述する。14回目では、目の空間・時間分解能等と印刷、テレビ、映画等の技術の関わりについて紹介する。終盤の2,3回の授業は、技術者の素養を身につける教養教育としての構成を意識した。

以下において、授業の回を追って、授業概要、授業テーマ、及びミニテストの質問事項を記載する。なお、学生の解答状況に満足できない設問は、繰り返し説明し、繰り返し質問している。

最初の授業では、シラバスを配布し、講義の狙い、講義の計画、及び成績評価の方法等について説明する。本

学科のカリキュラムでは物理学概論を7科目に分けて講義し、共通の教科書、原康夫著、物理学基礎第3版(学術図書出版社)を用いることについて説明する。また、物理学の特徴と学習上のアドバイスについても簡単に述べる。ミニテストは学生の入学時点における学習状況を把握するために用いる。ただし、最後の質問は次回の授業のために設けた。

【ミニテストのテーマ】波、あるいは波動現象についていいたい何だろう。

- ① 小学3年生から「波ってなあに」と聞かれました。どう説明しますか。
- ② 大学で波動を説明しなさいといわれました。どう説明しますか。
- ③ 波を数式により表わしてください。使った記号について説明して下さい。
- ④ 波動に関わるいろんな現象がありますが、2,3例を挙げてください。
- ⑤ 「音」について不思議に思うこと、疑問を書いて下さい。

【第2回の授業テーマ】音の波について考えてみよう。

学生から寄せられた音についての疑問や不思議に思うことを整理したプリントを配布し、学生の質問に順次答えていく。ミニテストは話した内容に関連した質問と次回の授業のための質問である。

- ① 音を発生するものを音源といいます。音源の例を5つ挙げてください。
- ② 音を記録することが出来ます。どのように記録するか説明して下さい。
- ③ 高い音と低い音は、音の波の何がどう異なるためでしょうか。
- ④ 大きい音と小さい音は、音の波の何がどう異なるためでしょうか。
- ⑤ 「光」について不思議に思うこと、疑問を書いて下さい。

【第3回の授業テーマ】光の波について考えてみよう。

学生から寄せられた光についての疑問や不思議に思うことを整理したプリントを配布し、学生の質問に順次答えていく。ミニテストは話した内容に関連した質問で構成した。

- ① 光を発生するものを光源といいます。光源の例を3つ挙げてください。
- ② 光を記録することが出来ます。どのようにして記録するか説明して下さい。
- ③ 暗い光と明るい光があります。光の波の何がどう異なるためでしょうか。
- ④ 青い光と赤い光があります。光の波の何がどう異なるためでしょうか。
- ⑤ ガラスの屈折率の図(OHP)を見て下さい。 $\lambda = 300\text{nm}$ の光と $\lambda = 700\text{nm}$ の光を同じプリズムで曲げました。どちらの光が大きく曲がるでしょう。その理由はなぜですか。

【第4回の授業テーマ】これまでの授業を振り返ってみよう。

これまでの3回の授業を振り返り、波動はどのような運動形態で、どのように数式を用いて表現されるか、波の速度はどう表されるかなど、高校で習った内容を確認しながら復習する。ミニテストは授業の内容の理解を問うものである。

- ① 波動とはどのような現象か、説明して下さい。
- ② 波長、周期、振動数、振幅について説明して下さい。
- ③ ②の言葉を用いて、波の速度はどう表わせますか。
- ④ たて波と横波はどう違うか説明して下さい。
- ⑤ つりあいの状態が少しだけ崩れたとき、どんなことが起こりますか。

【第5回の授業テーマ】物質中の音速を理論式に従って計算し、実験値と比較してみよう。

液体の音速、固体のたて波と横波、及び棒の縦振動の速度を与える式を板書し、ミニテストに記載した物性値

を用いてそれぞれの速度を計算させた。対応する音速の実験データ(理科年表)を板書し、計算値と対比させ、理論式を評価させた。

水の密度は  $1 \text{ g/cm}^3$  で、体積弾性率は  $1/0.45\text{GPa}$  です。

メチルアルコールの密度は  $0.793 \text{ g/cm}^3$  で、体積弾性率は  $1/1.23\text{GPa}$  です。

アルミニウムの密度は  $2.69 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$  で、ヤング率は  $7.03 \times 10^{10} \text{ Pa}$ 、ずれ弾性率は  $2.61 \times 10^{10} \text{ Pa}$  です。

銅の密度は  $8.96 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$  で、ヤング率は  $1.30 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 、ずれ弾性率は  $4.83 \times 10^{10} \text{ Pa}$  です。

【第6回の授業テーマ】音の波の速度と媒質の変形の関係を考えてみよう

前回の授業を振り返り、波の速度を決めるのは、媒質の物性である弾性定数と密度であることを指摘する。固体のたて波と横波、及び棒の縦振動が、それぞれ固体のどのような変形と対応しているか、教科書109ページから111ページに基づいて説明する。最後にミニテストを実施する。

- ① 伸び変形はどのような変形か、説明して下さい。
- ② ずれ変形はどのような変形か、説明して下さい。
- ③ 無限の媒質中を伝わる波は、伸び変形に基づく波とどんな点が異なりますか。
- ④ 理論計算で求めた音速の大きさは、実験で求めた音速の値をよく説明できていますか。また、その判断理由を述べて下さい。

【第7回の授業テーマ】波動方程式の解について検討してみよう。

教科書130ページに基づいて、弾性体の棒を伝わるたて波の波動方程式を導出する。 $y = A \exp\{kx - \omega t + \phi\}$  がこの波動方程式の解であることが証明できるよう、微分の復習を行った後、偏微分(まだ学生は学習していない)の計算手続きについて説明を行う。いつもより時間をかけて、ミニテストを実施する。

授業で波動方程式を導き出しました。

$y = A \exp\{kx - \omega t + \phi\}$  がこの波動方程式の解であることを証明しましょう。ただし、 $c = \omega/k$  である。

【第8回の授業テーマ】音の波の速度と媒質の変形の間をを考えてみよう。

第1回から第7回の授業を踏まえ、中間テストとしてミニテストを実施した。

- ① 波動とはどのような現象か、簡潔に説明しなさい。
- ② 440Hzのバイオリンの音と、440Hzのトランペットの音は、波の何が異なりますか。
- ③ 波長とは何か説明しなさい。また、振幅とは何か説明しなさい。
- ④ 用いる記号の説明をし、波の変位を表す一般式を書きなさい。
- ⑤ 波の変位が  $u = 3 \sin\{\pi(5t - 0.5x)\}$  と表されるとき、波の波長、振動数、及び波の伝わる速さを求めなさい。

【第9回の授業テーマ】波動と振動の間をを考えてみよう

教科書133ページから135ページについて講義する。自由端と固定端の違いを説明し、固定端で生じる反射波について説明し、入射波と反射波の重ねあわせの結果生じる合成波の変位を計算する。求めた変位の式から、固定端における振動の様子を描く。最後にミニテストを実施する。

- ① 自由端において、入射波  $y_1 = A \sin(\omega t - kx)$  とその反射波  $y_2$  との合成波  $y(x, t)$  を求めよ。
- ② 反射端を  $x = 0$  として、振動の様子を描け。
- ③ 波の変位が  $u = 3 \sin \pi \{(t/0.2 - x/20)\}$  と表されるとき、波の波長、振動数、及び波の伝わる速さを求めよ。

【第10回の授業テーマ】光の分散、光の回折と干渉について考えてみよう

教科書146ページと147ページについて講義し、141ページのプリズムによる光の分散について復習する。最後にミニテストを実施する。

- ① 教科書(13.3)式を用いて、縦の長さが  $a$  で、横の長さが  $b$  のスリットによる回折パターンはどのような形になるか述べよ。ただし、 $a$  は  $b$  より大きい。
- ② 1 cmにつき10000本を等間隔に刻んだ回折格子に、赤から紫までの色を含む太陽の光を垂直に入射させると、入射光に垂直に置かれたスクリーンにどのようなパターンが得られるか。

【第11回の授業テーマ】屈折の法則を基にレンズについて考えてみよう。

屈折の法則を説明する。レンズが或る曲率の外形を持つとき、界面の法線について説明する。凸レンズが集光作用を持つためには、レンズを通過した光がどのように進む必要があるか説明する。人間の目の構造について説明する。説明の後ミニテストを実施する。

- ① 屈折の法則を基にして、凸レンズの外形がある大きさの曲率半径を持っている理由を説明しなさい。
- ② 人間の目には、角膜があり、その内側に水晶体があります。外から入ってきた光が最も大きく曲げられるのは角膜でしょうか、水晶体でしょうか。理由を付けて答えましょう。
- ③ めがねのレンズをできるだけ薄く作りたいたいと考えています。どのような材料を選べばいいでしょうか。

【第12回の授業テーマ】顕微鏡と望遠鏡について考えてみよう。

顕微鏡の原理について説明し、基本的に何が必要か述べる。光を用いる光学顕微鏡では、光の回折現象により分解能に限界のあることを説明し、電子顕微鏡が開発されたことを説明する。望遠鏡の原理について説明し、基本的に何が必要か述べる。説明の後ミニテストを実施する。

- ① 顕微鏡を作るに当たって、最も基本となるものは何か説明せよ。
- ② 望遠鏡を作るに当たって、最も基本となるものは何か説明せよ。
- ③ なぜ電子顕微鏡を作る必要があったのか。

【第13回の授業テーマ】私たちの目の性能と科学技術。  
私たちの目の性能として、分解能、臨界融合周波数、対応できる光強度範囲、数認識能力について説明する。目の性能を補うための科学技術及び目の性能限界を踏まえた科学技術について紹介する。錯視について説明する。人類の初期においてどのような情報処理が必要であったかを想像させる。説明の後ミニテストを実施する。

- ① 目の分解能（小さなものを見る能力）を制限するものは何か。
- ② もし、私たちの目がもっとすばやい時間変化を見ることができると、どのような不都合が生じるでしょうか。
- ③ 私たちの目の性能には、なぜ限界があるのか、考えてみよう。

【第14回の授業テーマ】回折格子、結晶格子、波の回折  
高校の物理で学んだ回折格子による光の回折について復習する。高校で学んだ結晶構造について復習し、結晶格子の特徴を述べる。結晶と回折格子の類似性から、結晶を回折格子と見なすことができ、光に変わってX線を用いることで、X線の結晶による回折現象が観察できることを述べる。X線の波長が分かっていると、結晶の原子間隔が分かることを指摘する。最後にミニテストを実施する。

- ① 結晶格子はどのような特徴を持っていますか。
- ② 回折格子と結晶格子はどのような点で似ていますか。
- ③ 波動とはどのような現象ですか。簡潔に説明して下さい。

#### 4 授業における工夫の経緯と学生による授業評価

授業を開始した当初は、授業で論述した内容についての学生の理解の状況を、ミニテストで確認し、理解が足りない部分を再度次の講義で詳述することを考えていた。学生の質問、特に試験を落とした学生とのやり取りを通して、何とか正解を覚えることで試験をクリアしようとする学生の傾向が気になりだした。次のステップとして、全てを論述するのではなく、論述で明確にした幾つかの事実を学生自身が取りまとめて答えを出す過程を授業に取り入れることを考えた。また、演習を担当した経験を生かし、理科年表等に記載されている数値を用いて、理論式に基づき速度を計算させ、実験値と比較検討させることを思いついた。

補講の実施は、平成17年度特別教育研究経費の「少人数教育プロジェクト」企画に応じてはじめたもので、今年で2年目を迎えている。学生の自主性を尊重する姿勢をとっている。そのためか、受けて欲しい学生より、積極性を持った学生の受講が多いように思われる。しかし、ぎりぎりの成績で合格した学生もいたことから、当初の意図も一部達成できていると考えている。優れた成績で合格した学生は、授業で物足りないと思っている学生への対応の要素が強いと思われるが、補講に出たことで理解が進み、しっかり勉強した結果優れた成績を得たと考えられないこともない。なお、平成18年度の補講の出席者は平均3,4人であり、決して多い数字ではない。昨年はなかったことであるが、出席しながら質問をしない学生がいることは気がかりなことである。

平成18年度の授業評価の状況では、「受講科目に真剣に取り組んだ」と解答した学生がほとんどである。そして授業内容や授業方法について評価2や評価1をつける学生が多く、「私はこの科目の達成目標に到達した」と解答した学生数は半数であった。学生の自由記述においても、「要点しか書かず説明がなく分かりにくい」、「テストをするが答えを明確に示さない」などの批判的な記述が目についた。しかし、授業では問題の回答説明に時間をかけ、問題に対する重要な概念を板書し、正解の例を口頭で説明している。更に、回答状況の芳しくない設問については、繰り返しミニテストで取り上げている。また、学生の記述に「少人数で教えて欲しい」と書いてい

る一方で、補講の出席者は平均3,4人であるに過ぎない。また、定期試験の結果で見ると、54人が受験し、平均点は70点、最高点89点、最低点25点、合格率81%であった。合格率81%は、「私はこの科目の達成目標に到達した」と解答した学生数50%を大きく上回っている。

新入生は自分が授業について理解でき、ミニテストの問題に正しく解答できる自信がないにも拘らず、補講に出て質問しようとはしていない。しかし、彼らの多くは定期試験の問題については、十分満足できる解答を行っている。学生評価、試験結果、補講の出席状況等をあわせて考えると、学生は高校時代のように問題とその正解をプリントないしは板書で示すことをしない筆者にいらなかったと理解できる。キーワードと口頭説明から自分が正解を記述できる確信が持てず、それが授業評価における、大量の評価2や評価1となって現れたと考えられる。大学における学習では、問題に対する解答を捜し求め、自ら納得できる解答にたどり着く過程が極めて大切だと考えるが、学生の多くは問題を自ら考えて解こうと努力するのではなく、正解を一時的に記憶し試験をパスしようとする傾向を持っていると考えられる。従って、講義する側の意図を、学生にもっと丁寧に伝える努力が必要である。

以上の分析は、最初に述べた報告に述べられている、高校新課程の生徒に対する高校教師の評価、「学習手順がイメージできない」、「すぐに答えを欲しがらる」、「人の言うことが聞けないし、理解できない」、「知識を活用する力がない」、「抽象的思考ができない」に見事に合致する。従って、私の行っている試みは決して間違っていないと確信する。学生の評価を受け入れて授業を改善するよりも、問題に対する解答を捜し求め、自ら納得できる解答にたどり着く過程の大切さを、具体的に授業の中で学生に訴え、教科書の読み方、ノートを取り方、レポートの書き方などの基礎的学習スキルを、より具体的に授業の中で学生に身に付けさせる、一層の努力が必要だと考える。

## まとめ

新入生が最初に出会う授業において、学生スタイルの考える学習を促す取り組みを授業に取り入れる試みを行った。そのための基本的な考えを述べ、それに基づいて実

際の授業をどのように進めたかをやや詳細に述べた。最後に試みを学生がどのように受けとめたかを、授業に対する学生の姿勢や学生による授業評価に基づいて検討した。その結果、学生が授業を通して、基礎的学習スキルも身に付けられるよう、一層具体的な工夫を加える必要のあることが分かった。

本報告は、特別教育研究経費の少人数教育プロジェクト経費の援助を得て実施した2年間の授業に基づいて書いた。工学部FD委員会をはじめとする関係各位に深く感謝する。なお、本報告の一部は、日本工学教育協会の平成18年度工学・工業教育研究講演会（7月28日～30日、北九州市小倉）において講演発表した。