

接続型教育を目指して

第1報 基礎物理演習を通して

井上 光*・尾崎 徹**・鈴木 貴***
中西 助次****・茂木 博****・森滝美治郎*****

(平成13年10月25日)

Toward a Linking Education The First Report: On Exercise in Basic Physics

Hikaru INOUE, Tōru OZAKI, Takashi SUZUKI,
Suketugu NAKANISHI, Hiroshi MOTEGI
and Yoshijiro MORITAKI

(Received Oct. 25, 2001)

Abstract

Due to insufficient learning in mathematics and science, there is a decline in the students' scholastic performance in these subjects in colleges. A lot of freshmen have difficulties in keeping up pace with lectures of regular level in colleges. A new kind of curriculum is, therefore, urgently needed for the effective compensation of the gap between the level achieved in high schools and the level required in colleges. In this paper, we report on our development toward a linking education in the field of physics at our Institute.

Key Words: Linking Education, Exercise in Basic Physics, Remedial Class

1. 接続教育のかかえている問題

大学で増加する補習授業

ここ数年、国公立を問わず、補習授業を開設する大学が増加しつつある。工学部の場合、理工系で不可欠な数学や物理の学力が不十分なまま入学してくる学生の増加、その結果、既に高校で履修していることを前提にした正規の大学の講義について行けない学生が多くなってきたため、それを補うための授業「補習コース」が必要というのである。科学技術立国を掲げ、さらに、工学は日本の産業を支える屋台骨であるとする一方で、その人材育成の基盤が揺らいでいるのである。

なぜそうなったのかについては、種々の議論のあるところ

であろう。ただ、大学の立場からすれば、現実に目の前にいるそういった学生を何とかして、社会の要請に応えるべく教育する義務がある。本報告は、この問題にどう対処してきたかについて、物理教育に限定して、その現状を報告するとともに、今後の対応策と問題点は何か、について検討する。

物理補習授業の経緯

本学での補習教育は、平成5年度の職業高校特別推薦入試合格者を対象とした「入学前ガイダンス」の実施に端を発している。この制度での入学者が数学、物理に弱いことはあらかじめ想像され、それに対処したものである。詳細については省略するが、英語、数学、物理担当の教員が、入学前の3ヶ月の間に、彼らの基礎学力の補強を促すこと

* 広島工業大学工学部建設工学科

** 広島工業大学工学部電子・光システム工学科

*** 広島工業大学工学部電気・デジタルシステム工学科

**** 広島工業大学工学部機械システム工学科

***** 広島工業大学工学部知能機械工学科

を目的に指導をしたものである。いわゆる、入学前の補習教育といえる。平成7年度から、これを発展的に「補習授業」として正式に導入することが決定された。ただし、科目は工学教育の基礎である数学と物理の2科目とし、受講者は原則として希望者、年間を通じて両科目とも毎週2回開講、あくまでも基礎学力養成の為の授業であり単位としては認定しない、としたものである。

授業の実施は、各年度ごとに物理担当教員グループと学務部（教務）とで検討した当該年度の実施計画に基づいて行われている。

物理の補習授業を受講した、そのことが他の科目の成績向上に繋がるという効果を上げた例もあるが、その一方で、原則希望制であるため受講者が少なく、特に受講する必要がある学生の参加をいかに促すかが問題として残っている。

補習教育の検討課題

当初、高校の補習的機能まで大学が引き受けるべきことなのかといった意見が、僅か数年の間に、「いずれにせよ選抜の結果として受け入れた以上、それに応じた教育体制を整備することの必要性は高い」との認識に変化した。このことは本学に限った状況ではなく、たとえば IDE 中・四国支部は1999年よりこの問題をテーマに議論してきている¹²⁾。つまり、いまや補習授業の問題は避けては通れない教育問題の一つとして位置づけられたといえる。ところが、その実行は正規の授業でそのレベルを下げて実施すれば済むといった簡単なものではない。本学のような私学の場合、入学生の履修歴は多様で、しかも学力レベルにはかなりの広がりがある。そうした状況下で、学力的・心理的ハンディキャップを持った学生を動機づけ、訓練し、一定の学力レベルまで引き上げる営みは、これまで大学が制度として経験しなかったことである。ところで、補習授業に対する学生の持つイメージは図1(a)のような高校での授業のおさらい程度のものであり、教員のねらいとする高校と大学との授業の接続のため開講されているといった認識に欠けている。もっと積極的に、単なる知識の不足を補うためのものから、図1(b)のような接続型の教育プログラムの構築が重要と考える。高校教育と大学教育の接点を担ってきた基礎教育担当教員の経験とその蓄積をどう活かすか。専門教育との連続性を考慮して、専門科目の担当教員がどう関わってゆくのか。この種の授業は家庭教師的になりがちで、自ら学ぶ能動的姿勢の芽を摘む危険性をはらんではいないかなど、検討すべき課題は多い。

補習型教育から接続型教育へ

補習授業を導入した当初は職業高校と普通高校との学力差の解消がねらいであった。ところが、問題はそれのみにはとどまらない状況になってきている。そこで、これを解

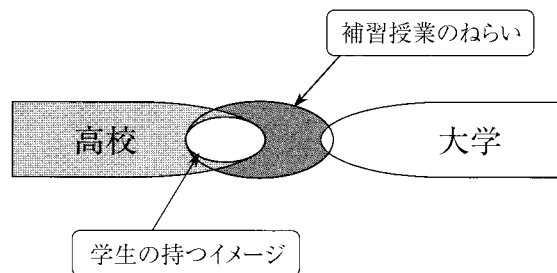


図1(a)

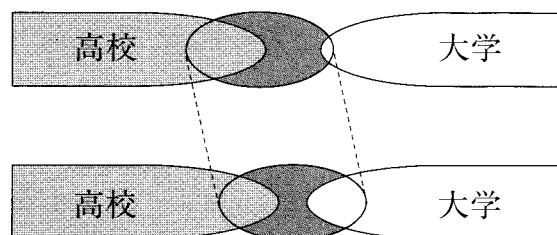


図1(b)

図1 接続教育の概念

消すべく平成12年度より、数学・物理の2科目について、前期15駒（30時間）1単位（要卒）の演習科目が正規のカリキュラムに導入された。本論文はこの物理演習科目の具体的授業実施プログラムについて報告するとともに、今後大学の導入教育で問題になるであろう、どんな履修歴をもった学生にも対応できる到達度ベースのプログラムを検討し、単なる補習という枠組みから一歩出て、積極的に高校教育と大学教育の接続をねらいとしたプログラムの在り方についても考察する。

2 授業の実施方法

本節では、「接続教育」としての基礎物理演習の授業がどのように実施されたか、その方法について説明する。

担当教員の構成は本学の物理学担当教員と非常勤教員（高校教育の経験者を含む）である。それに、大学院生がTAとして参加した。教員どうしはたびたびミーティングを持った。

前期の授業回数は曜日により、15回か14回であるが、オリゼミのため実質13回の学科もあった。第1回目はガイダンスに充て、以後の14～12回で1回1テーマを目標に、共通に用意された12テーマの演習を行った。ゆとりの回数がクラスにより異なることになった。各回の具体的なテーマ内容については次節で詳しく述べるが、1テーマにつき4、5問の問題をB4版プリントとして配布し、学生はその解答をプリントにじかに書き込むという方法をとった。

前節で接続教育の意義と重要性を述べ、この種の科目は教員ではなく学生が主体となって授業に臨まなければなら

ないことを指摘した。その立場を堅持しながら効果を上げるためにはどのような授業形態にすれば良いであろうか。この点について、昨年度の経験を踏まえながら、学期開始前に担当教員の間で十分検討した。その結果、①数学の基本的なこと、特にベクトルを最初のテーマに選ぶこと、②授業形態については昨年度と同様で行うこと、を決めた。また、情報交換の必要や問題点がでてくれば、その都度ミーティングを開いて議論することにした。

今年度の担当教員の間で決められた基本方針は、

1. 学生が問題を解き、その解答を口頭発表する。
2. この発表は、グループを単位として行う。

この2点を柱として授業を構成することである。以下、この2点についてさらに詳しく説明し、それぞれのメリットと懸念される点について述べよう。

1. について：

全ての学生が全ての問題に取り組みなければならない。その解答を教員が与え、学生は答え合わせをするという方法も考えられる。しかし、それでは普段の講義と何ら変わるところがなく、「学生が主体」という主旨には沿わないばかりか、自分の思考のどこが正しく、どこが間違っているのかが明白にならない。

発表することによって、自分の思考の筋道を再確認できる。また、間違いを指摘され、それについて考えることで理解が深まる。一方、プレゼンテーションに慣れさせるというメリットの反面、人前で話すことになれていないことや、人前で間違ふことの不安から消極的になるのではないかという懸念もあった。

2. について：

各クラスを5人から8人程度のグループに分割し、1問(3, 4題の小問を含む)を1つのグループに割り当て、グループ内で責任をもってその問題を解き発表する。誰が発表するかもグループに任せるが、最低1人1回は学期中に発表するようにする。

グループによる方法のメリットを挙げておこう。

- ①グループ内で学生自身が責任を持って全てを行うことで自主性が養われる。
- ②力のある者が分らない者を教えることで、理解度を確らし合い、双方に有益である。
- ③各人が自分のレベルを知ることができ、今後の学習の参考になる。
- ④皆で議論することによって、1つの解答に至る様々な経路を発見する機会が持てる。

このようなメリットが考えられる反面、中にはグループに頼り自分では問題を解いてこない学生が出てくるという懸念もあった。また、グループ内での議論も本当に活発に行なわれるのだろうかという心配もあった。たしかに、問

題を一人ずつに割り当て、一人で解答を導くことも大切なことではあるが、「接続教育」という観点から考えると、学生が自分たちの立場でお互いに議論した方が有効であると考えられる。

次に、1回の授業(90分)の流れについて説明しよう。

- ①授業が始まるまでに前日に割り当てられた問題の解答を黒板に書いておく。
- ②授業開始後は1問ずつ担当グループの担当者が発表する。他の学生はその解答および発表に対して質問やコメントを行う。教員は学生の理解が深まるような質問を行う。これを全ての問題について行い、その日のプリントを終わらせる。(約70分程度)
- ③次回のテーマのプリントを配布し、そのテーマについて若干の解説を教員が行う。
- ④最後の残り時間では、その日の内容の復習のための問題を1題与え、学生はその日のプリントに解答する。問題の内容は、各教員に任されている。

さらに、前期の中頃(5, 6テーマ終了後頃)に1回、それまでの確認のため中間テストの実施が提案された。黒板を写しているだけの学生が多いことが目立つためである。テスト問題や実施形式については各教員に任せられた。なお、全てのプリントは学期末にまとめて提出させた。

以上が今年度前期に行われた物理学演習の実施方法である。ここで述べた授業形態のメリットが本当に機能するかどうかは未知ではあったが、今年度は以上の方針で行い、状況を見ることにした。また、クラス分割についても能力別にすることも考えられたが、今年は単純に学生番号で分割し学生の反応を見ることにした。

最後に、TAの役割について述べよう。毎回の出欠状況の確認が主な仕事であるが、学生の質問に答えることや、クラスによっては、プリントの予習具合の点検、次回テーマ内容の解説なども行ってもらう、きわめて有効であった。

3. 演習の内容

新入生の学力

高校物理の範囲はかなり広い。全範囲をマスターしていても、時間をかけて勉強してきた学生はそれだけの資産をもって入学している。しかし、そのような学生は少数派になっている。アンケートの節を見て頂きたい。大多数の学生は物理の勉強にあまり時間をかけていない。習ったけど、よく分らなかった、苦手だった、との回答が多い。まったく習わなかった、と書く者も少なくない。事実のほどは、授業を始めてみれば、やがて明らかになることである。実際は、勉強の仕方がよく分らなかった(ので手をつけなかった)と言う方が当たっているように思える。

学力という言葉には、①到達している知識のレベル、②

新しい技法等を学び取る能力, ③創造的な発想力, などの意味がある。個人の中では, これらはそう独立なものでもなく, むしろ渾然一体となっているものであろう。外から見え易く, 試験などで比較され易いのは①であり, この低下が問題になっている。それは認めるとして, 教育の場では②を伸ばすべきである。③はその上の「ゆとり」として現われるものであろう。②を信じること, 養うことで教育が成り立つ。

新学期に, 大学で聞く物理の話に大きな期待を持つ学生がいるに違いない。苦手とは言いながらも, 新しい意欲を燃やしている学生も多数いるであろう。この時期, キーになるのは, 学力よりは意欲である。将来につながる動機づけこそが大きな力を与える。最初の機会を外さないことが大切である。

本学での物理教育

まず, 力学でトレーニングを行う。これは工学部の新入生が学ぶ物理として, 標準的なコースメニューであろう。新カリキュラムでの1年次の基礎物理学I, IIはこの方針で進められている。力学と並ぶ電磁気学や熱物理学, および物質科学の基礎づけを行う原子系の物理学等は各学科の工学的な見地からの要請に合わせて, いろいろな名称の専門科目に分割されて取捨選択されている。どの科目も速習は難しく, それぞれに時間をかけることが大切である。基礎物理学では, 力学を主要な題材としながら, これらの広範な分野につながる概念や技法の基礎をしっかりと身につけておく。なおも検討を重ねるべき点はあるが, 本学での物理教育は現在大体こうなっている。

基礎物理演習の位置付け

物理の予備知識をあまり期待せずにやる。これが基礎物理演習の要件である。はじめに述べたような状況から, 今後の4年間に予定されている各学科のカリキュラムにうまくつながねばならない。

高校物理には, 昔からの, もどかしい点がある。それは微積分法を表立っては使わないことである。ある段階までの完結性と教科としての独立性からの制約であろう。しかし, 微分の考えをまったく使わないのではなく, 「小さな変化」とか「変化の大きさの比」という程度の使い方をする。つまり, Δt までは使うが dt にはしない点である。このため, 運動方程式は $ma = F$ 以上には進化させ得ないし, 万有引力の力の式とポテンシャルの式は関係のありそうな別々の式となる。一方で, $W = p\Delta V$ などの混合式表現にも出会う。結果として, よく考える前に, まず覚えねばならない式が次々と出てくる。物理が受験生の間で「暗記物」と呼ばれるようになって久しい。式を正しく使うための条件も覚えこまねばならないが, これは式そのものよりも難しい。これなら歴史年代を覚える方が楽であろう。

物理の知識資産を持つ新入生でも, それらを微積分法に基づいて簡潔に整理している者は少ない。少数ではあるが, 微積分法を大学で初めて学ぶ学生もいる。解析的な基礎付け等の本格的なことは数学の専門科目に委ねられる。厳密ではないが, 近道として, 力学を通して微積分法に入るルートがある。一直線上を運動する質点の速度や加速度は微分の発想を直観的に把握する材料として適している。具体的な現象のイメージはすでに十分ある。それを式で表し, 言葉で言い換え, また式に戻すようなトレーニングコースをつくることはできる。まずは, このような題材提供から始め, 問題を解く過程で発見的な出会有ることに期待する。資産持ちには有利ではあるが, 持たないからとてそれほど不利でもない。どちらにも物理学の方法を基礎から考える機会となるようにする。資産家が「公式覚えて代入して」(これも必要ではある)のパターンから離れずにいる間に, 無一文であっても最初から微積分法と同時に力学を学んだ学生が1年後には高いレベルに達していることはこれまでにしばしば経験されたことである。

実は, 最初のアンケートによれば, 新入生の96%が $f(x) = 5x^2$ なら $f'(x) = \underline{\hspace{2cm}}$ の間に正しく答えている。ところが, その意味を授業のショートテストで書かせてみると, 実は, 中々適切には書けない。頭の中の数学と物理の2つの領域を「接続」できればよいことである。

具体的なメニュー

以上のような考えでつくった12回分のテーマを表1に示す。始めの2回でベクトルの例と演算法を行う。テーマ3~6は運動学であり, ここで, 微積分法を取り入れる。テーマ7から力学に移る。いろいろなスケールでのイメージを描き易くするために, 各テーマで具体的な数値例を多く使っている。一方で, 抽象化も重要なので, 要所で記号のみでの演算も行っている。扱う運動の種類を放物体, 円運動, 単振動の3種とした。昨年度とくらべて, 内容には大差はないが, テーマの順序と問題の組み合わせをかなり変えた

表1 基礎物理演習のテーマ

テーマ番号	表題
1	ベクトル
2	ベクトルと座標系
3	座標系の使い方
4	平均速度と瞬間速度(微積分法)
5	加速度
6	放物体の運動(1)
7	力と運動の法則
8	放物体の運動(2)
9	万有引力
10	円運動
11	運動方程式の役割
12	単振動

ものとなった。問題の例として、テーマ11を付録に示す。

演習問題は解き終わった時点がより深い理解への出発点である。問題のつかみ方や考え方を自分の言葉で説明することが大切である。解き終わった問題を再構成してみると、要するにこういうことなのだ、と短くつめる試みをするうちに、ものごとの学び方の経験を積むことになる。とにかく、経験しなければ分らない。

自明のことであるが、これは学習者自身が行うものである。演習問題を「解けた、済んだ」で終わるのはつまらない。「写した、済んだ」となると、学習者にはほとんど何の役にも立たない。「分った、どう説明しよう」が後に続くときにトレーニングの効果が高まる。クラスで説明するには、とにかくこのように行動しなければならない。そこで、作業が楽しいものであれば、その効果が上がる。そのような場を用意することはわれわれ教員の仕事である。と言うものの、学生の要望とマッチさせることは中々うまくゆかず、多くのギャップができ、すれ違いが起こる。教員も失望と落胆の経験をもとに次の知恵を引き出さねばならない。おいしいメニューを豊富にそろえるのは年月がかかる。

物理の基本法則は微分方程式で表され、個々の現象はその解で表される。前者は簡潔であるが、後者は数多の関数と定数を含む多彩で変化に富むものとなる。このことをなるべく早い時期に把握することが望ましい。その辺りまで到達できれば、物理としての「接続」はひとまずの区切りといえよう。学習プラン作りはいろいろな可能性を持っている。

4. 実 施 例

教材には共通のものを作成し、教室での使い方も標準的な方式を担当者ミーティングで打ち合わせた。しかし、開講曜日やオリゼミ等によって、実施時間数に若干の違いができるし、クラスの数や雰囲気も様々である。各クラスの担当者はこれらに臨機応変に対応してきた。実際に授業を進めてみて、どのような場面があったか、学生の応答ぶりはどうであったかなどについて、一般的なクラスでの例を紹介する。

知能機械工学科 a クラス

受講者は48名で、1グループ5、6名で構成される8グループが、それぞれ12回のテーマに取り組んだ。テーマの構成は回を追うごとに内容が発展的なものに設定されており、内容が大学教育への接続として欠かせない部分については、演習時間を2回とり説明を行った。学生が「やらされている」という雰囲気になっては演習の意味も薄れるため、初回の授業では、演習問題への挑戦意欲を高めさせ、

それが持続できるよう説明に心がけた。したがって、演習時間の間は知識の伝達者というよりは学習の促進者に徹するよう心がけた。そして、理解不足のグループに対しては、考え方を示し問題を整理させた。こうした取り組みのなかで解答者は回を重ねるごとに、緊張もとれ、ゆとりを持って解答するようになった。解答者として板書説明する学生は、グループにまかせていたが、全員1度は解答者になっていた。解答回数は1、2回の者が17名、3、4回の者が27名、5回以上の者が2名であった。しかし、解答者になっていない学生は解答者あるいは教員が板書した解答を書き写す作業に注意が向き、全テーマにわたって積極的な質問はでなかった。しかし、大切なことは、個々の学生がグループの中で責任を共有するとともに、個々のペースでそれぞれの問題に取り組む姿勢が重要であるから、できるだけ個々の学生に質疑に応じるように努めたが、期待したほどの深まりは見られなかった。

ここで、大学教育への接続として重要と思われる内容について、実施例の一部を記す。

問題（テーマ5、問3）

時刻 $t=0$ に位置 $x=0$ にあった物体が、 x 軸上で一定の加速度 $a[\text{m/s}^2]$ で運動を始め $t[\text{s}]$ 後に速度 $v[\text{m/s}]$ となり位置 $x[\text{m}]$ に達した。 $v(0)=0, x(0)=0$ とする。

(1) v と x を a と t で表せ。

(2) a と t を v と x で表せ。

この問題で解答者の学生は下記のように板書した。

解：(1) $v=at, x=at^2/2$

(2) $a=v^2/2x, t=2x/v$

正解である。しかし、解答に至る経過説明は公式によるものであり、座標については全くふれなかった。学生の頭の中には「公式」が浸透していることを痛感した。こうした学生に対する対処法としては、このような問題を何回か繰り返す中で、質疑し、直接答えてゆくことが重要であろう。この問題では、まず、座標の役割の重要性を説き、 x 座標を用いれば加速度は $d^2x/dt^2=a$ で与えられること、この式を積分すれば速度が $v=dx/dt=at+c_1$ で与えられること、さらに積分すれば位置が $x=at^2/2+c_1t+c_2$ として与えられることをきちんと板書し、式に現われた c_1, c_2 は不定積分定数で、与えられている条件より、 $c_1=0, c_2=0$ と決定され、その結果として、解答者の解答に結びつくことをていねいに説明した。この問題の場合は初期条件が与えられているが、実際は問題を読み、初期条件を自ら決定し、座標を用いて解くという手続きをふむことになる。これは学生にとってかなり難問のようであった。したがって、このような内容を含むテーマについては、再度演習時間を設け、きめ細かい対応をとった。アンケート結果では、「自分に役立った」と答えた学生がテーマ4で17名、テーマ5

で16名、テーマ6で14名と、思ったよりも多く、成果は得られたものと考えられる。なお、実施した12テーマの中で「難しいと思ったテーマ」についてのアンケート結果は「円運動」と答えた学生が21名で一番多かった。この結果は、弧度法と角速度の関係を座標を用いて理解することが十分でなく、物体の運動状態を把握することが困難であったことを示していると考えられる。

演習授業を通しての教訓

(1) 他のグループの問題に挑戦していた学生は見あたらず、板書された解答を書き写す作業に追われていた。そのため、全体として、グループ間の相互啓発につながらず、質問者も少なかったものと思われる。

(2) 演習は学生主体の活動であり、割り当てのない問題にも取り組ませるよう考えないと演習の本質を見誤りかねない。

いずれにしても、それぞれのテーマについて、学生個人が早い時期に、それぞれの理解不足の箇所を復習すれば演習効果はより高まるものと考えられる。

建設工学科 a クラス

カリキュラム改訂時期の関係で、建設工学科だけは基礎物理演習を選択科目としている。このため、学生の取り組み方に他学科とやや異なる動きが見られ、はからずも「選択の場合」としての比較例を提供している。学生には、他学科では必修科目であることが説明され、受講が促された。大多数の学生は普通に受講し、単位をとった。しかしながら、要卒単位でないので取らなくてもよいとみて、二つの目立つ動きがでた。

まず、はじめからこの科目に受講届をださない学生が学科全体で5名いた。シラバスを読んだ判断であろう。当初は危惧も感じたが、結構なことに、これらの学生は全員が基礎物理学 I に優れた成績を修めている。高校での学習に自信の程が覗かれる。このことは本学での教育に新しい課題があることを示唆している。「接続」教育として、将来、もっと早く進めるコースを設けることの可能性である。

次に、はじめは出席しているが、途中から受講を放棄する者が少なからず出る結果にもなった。成績が D、E の者の数は学科全体で20名に達している。多くの場合、自分のグループに問題解答の順番が回ってくるときに欠席が始まるようであった。このため、出席者の方が少なくなるグループが常時2、3グループあった。結果として、出席している者は毎回のよう解答「当番」を勤めることになる。入学したてのときに、これは確かに大変なことに違いない。当事者の学生はグループの崩壊を訴えて再編を希望したが、1人出席でもグループは健在、としてグループの併合

とか他グループへの編入には応じなかった。この状況で皆動を通した学生は、問題の説明もよくできるようになり、終りのアンケートには、「前に出て話すのが何でもなくなった」と記す成長ぶりを見せた。一方で、懸念していたとおり、欠席を続けた学生の約半数は基礎物理学 I の単位も未修となっている。

次回テーマの内容の解説は始めのうちは教員がやっていたが、途中から TA に任せることにした。学生にとってはその方が新鮮な印象で聞けるようであった。

ほとんど毎回、終りの10数分を当日出題の問題の解答に当てた。出来た者から一人ずつ順番に口頭試問ふうの説明を聞いた上でプリントに検印を押して返した。TA と二人で別々にこれを行うわけだが、どちらにも数人の待ち行列ができる状況となった。そこで、面接練習をしてきたように、大体は同じことのやりとりになるのだが、それでも毎時間に1回は自分でやったことを直接に担当教員や TA に説明する機会を持つことは効果があるように思えた。理解の浅い学生へのアドバイスの機会にもなった。

知的情報システム工学科 a クラス

私がこの演習を担当するのは初めてであり、手探りしながらの実施であった。以下にその概要を述べる。

学生数はちょうど60人だったので、1グループ6人として名簿順に10グループを編成し、座席もグループ毎に順番に並べた。テーマ毎の問題は4ないし5問あり、グループ順に一問づつ割り当てた。一つの問題はいくつかの小問に分かれており、一つの小問をグループメンバーの1人が担当することにし、その人選は各グループに任せた。全員が満遍なく当たるよう指導したが、二人だけ最後まで前に出て解答しない学生がいたので、最後の授業で解答するよう教員の方で強制的に割り当てた。勉強してこない学生ではなく、レポートはしっかりしていた。人前に出てやるのが苦手ということであった。その他の学生は2~4回担当していた。自主性に任せたのでは、中々均等には担当しないものだ。

問題の担当者は、次の時間の初めに問題の解答を板書し、その日の担当者全員の板書が済んだところで、それぞれ担当した学生が解答の説明をした。人前で説明する機会はいままで余り経験しなかったようで、初め戸惑いも見られたが次第に上手になり、中には新鮮に感じた学生もあったようである。担当者の説明にたいする学生の質疑は余り活発ではなく、教員の方から時々質問をはさんで、学生の理解を助けるようにした。初めの数回は内容的にも易しかったので、順調に進み時間にも余裕があった。

レポートの提出については、第一回目は問題解答終了後ただちに教員および TA の学生まで持参させ、その場で

点検検印して即返却した。しかし、内容把握や時間的な面で無理を感じたので、二回目からは全員提出させ、次回に返却することとした。レポートの点検検印作業は全てTAの学生に任せたが、良くやってくれた。最後の時間に全部のレポートをまとめて綴じたものを提出させた。綴じ方は紐やホッチキスなどまちまちであったが、ただ重ねただけで綴じてないものを提出した学生も7人いて、ちょっと驚きであった。

提出されたレポートを見ると、担当者が板書したものをそのまま教室で丸写ししていると思われるものが、数多く見られた。そこで4回目から、その日に解いた問題に関する小テストを行うこととした。そうすることで学生が事前に問題を解いてくること、あるいは担当者の説明を学生がしっかり聞くことを期待した。ただし、テストというよりその日の演習の確認として、解けない学生にはその場で個別指導をするようにした。最後の感想文の中に、「小テストのおかげで時間中真剣になれた」との感想も寄せられた。

演習担当者会議では、次回の問題を配布したとき、問題の簡単な解説をするように言われたが、問題を見ると教科書の内容に即しており、易しい問題だったので、授業との重複を避けて説明は省略し、様子を見ることにした。比較的力のあるクラスだったようで、最初の内はそれで特に問題は無さそうであった。しかし、後半に入ると内容的に難しくなり、授業とのずれもでてきたのか、スムーズに進まなくなった。担当者が問題を解けず、授業が始まるとまず質問に来るというケースが増えた。「前もって質問に来なさい」というのだが、最後まで事前に教員室まで質問に来るものはなかった。基礎物理学Iの授業終了後に時々演習の問題についての質問を受けたが、私が担当した演習のクラスの学生も基礎物理学Iの担当の先生に質問していたのだろうか。というわけで、最後の3回程、小テストをする時間はおろか、次回の問題解説をする時間も無くなり、ただその日の説明に追われてしまった。今年の経験と反省に基づき、来年度はより学生の役に立つ演習を目指したい。

5. アンケートの分析

基礎物理演習を接続教育の一環として実施し、今後への改善策を得るために、初回と最終回の2回、受講生に対してアンケート調査を行った。初回のアンケート（アンケート1）では、高校での物理の履修状況と数学の実力を把握することを目的とした。これに対して、最終回のアンケート（アンケート2）では、アンケート1に基づいて作成した演習問題が適当であったかどうか、グループ編成方式が機能したかどうか、さらに学生自身の取り組みと達成感を把握することを目的とした。アンケート1、2とその集計結果は付録にまとめた。

5.1. アンケート1の分析

本学入試での物理の選択状況（アンケート1設問1）

入試部の調べによると、本年度の工学部新入生のうち、本学の一般入試の前期と後期またはセンター試験のいずれかで物理を受験した者の割合は34%である。このことは、本年度の工学部新入生のうち、少なくとも34%が何らかの形で物理の受験勉強を経験したことを示している。アンケート1設問1の集計結果は、そのことを反映している。

高校での物理の履修状況と理解度（アンケート1設問2、3）

高校物理の科目名は、物理IA、物理IBと物理IIである。物理IAは、日常生活と関連の深い事物と現象を取り上げており、主に職業高校で開講されている。その内容は、（1）光と音、（2）物体の運動、（3）エネルギーと生活、（4）情報とその処理、（5）物理学の影響である。これらのうち、（3）と（4）の他に1項目以上を履修させることになっている。これに対して、物理IBと物理IIは、物理学の基本的な概念や原理・法則を理解させることに重点をおいており、主に普通高校で開講されている。物理IBの内容は、（1）力と運動、（2）エネルギー、（3）波動、（4）電流と電子であり、物理IIの内容は、（5）運動とエネルギー、（6）電気と磁気、（7）原子と原子核、（8）課題研究である。物理IBと物理IIの範囲は大変広範であるために、普通高校の理系クラスでも、物理IBだけを履修させて、物理IIを履修させないところがある。

初回のアンケート1では、高校で物理を履修したかどうか、さらに物理IA、物理IB、物理IIのうちどの科目を履修したかについて単刀直入に聞いてはいない。しかし、履修した項目（アンケート1設問2）の集計結果から推測することができる。「力と運動を全く受けていない」ことを「高校で物理を履修していない」と読み替え、「電気と磁気を全く受けていない」ことを「物理IIを履修していない」と読み替える。すると、工学部の新入生のうち93%が物理IA、IB、IIのいずれかを履修しており、7%が物理を履修していないことになる。さらに、工学部の新入生のうち86%が物理IBとIIを履修しており、7%が物理IAまたはIBだけを履修していることになる。ただし、電気と磁気、原子の順番で履修した量が減少しており、これは明らかに、物理IIの授業が1年間で完結しなかったことを示している。以上から、工学部の新入生のうち、実に93%が力と運動を学び、その36%が力と運動について受験勉強をしている。その結果、力と運動を学んだ者の42%が大体分かったと思っている（アンケート1設問3）。このことは、本学の新入生の大半が、投げ上げた物体が放物運動することを知っていることを示しており、好条件の下で基礎物理演習を始めることができる。しかし同時に、暗記科目としての

物理から、基礎工学としての物理学へ頭を切り返させることの困難さを示している。

数学の実力（アンケート1設問4）

数学、とくに解析数学は、物理学のいわばリタラシーとして物理学から生まれた。その典型がニュートン力学であり、速度、加速度、運動方程式は、微分積分と直結した形で表現される。このことは、力学から微分積分の意味を理解させることが易しいことを、必ずしも、意味しない。むしろ、力学と微分積分を双方向から理解することが重要であり、そのためには、予め簡単な関数の微積分の例とベクトルの意味を知っていることが重要である。

簡単な数学の演算（アンケート1設問4）の集計結果で注目すべきことは、新生生の96%が整関数を微分することができることである。（整関数の積分ができる割合は少し落ちることが分かっている。）これらのことは、整関数の微分積分をよりどころにして演習をスタートできることを示している。これに対して、基礎物理学を1年間学んでも、ベクトルを理解していない学生が少なからずいることは悩みの種であった。そこで、演習の初めに、ベクトルの復習を取り入れることにした。

基礎物理演習への期待（アンケート1設問6）

これから始まる基礎物理演習への期待（アンケート1設問6）を集録するかわりに、回答に含まれるキーワードを紹介する。3大キーワードは、「分かり易く」、「ゆっくりしていねいに」、「面白く楽しく」、であり、ほとんどの学生がこれらを使用している。これに、「問題をたくさん解きたい」、「きれいに板書して」、などが続く。少数派として看過できないのは、「高校よりも進んだ内容にしてほしい」という希望である。いずれにしても、演習をとおして実力をつけたいと学生は願っている。学生の期待にこたえて、私たちは、物理の本質を示す易しい例を使って物理学の体系だった内容を理解させ、それを学生自らに展開させるように努力した。問題数も1回当たり4-5問に抑えた。

3大キーワードには、次節で述べる、高校物理の印象が強く反映されている。

高校物理の印象（アンケート1設問7）

高校で学んだ物理の印象（アンケート1設問7）を集録するかわりに、ここでも、回答に含まれるキーワードを紹介する。まず、ネガティブな印象のトップは、「難しかった」であった。「努力した」けれども「難しかった」という悲鳴に近い回答もあった。その内訳は、「公式の暗記がつかかった」、それを教える側に転嫁して「教え方が悪かった」となっている。これに対して、ポジティブな印象のトップは、「実験が面白かった」であった。これに、「面白い分野があった」が続く。「数学で身の回りの現象が表わせることに感心した。」と答える少数派がいた。演習の時

間内に実験をする余裕はないので、演習問題の題材をできるだけ日常生活から拾い、そのなかで仮想実験をするという主体的な筋立てにすることによって、解答者に臨場感を与える必要性を感じた。

5.2 アンケート2の分析

演習問題の内容（アンケート2設問1）

演習問題の難易度を聞いた（アンケート2設問1）集計結果は、明らかに、学生間の学力差が大きいことを反映している。平均的な回答は、「演習問題はやや難しく、高校の内容とややギャップを感じる。しかし、問題数は4-5問であり、1週間でこなす量としてはちょうど良かったと思う。」である。しかし、このように感じた学生は50%に満たないであろう。「問題が難しく、高校の内容と大きなギャップを感じた。たとえ4-5問でも1週間の量としては多すぎる。」と感じた学生もかなりの割合を占めると思われる。一方、「高校の内容とうまくつながっていると思うが、問題が易しすぎる。問題数が少ないためにバラエティーにも欠ける。」と感じた学生が5%はいると推測される。

テーマ別の感想としては、「テーマは回を追うごとに易しくなくなり、難しくなった。しかし、易しいテーマは易しいなりに、また難しいテーマは難しくなりに、ためになったと思う。」と答えているようにみえる。

学生の取り組み（アンケート2設問2）

毎回全問を解いてくる学生は稀であり、全く問題を解かずに出席して板書を写すだけの学生がいることは、日頃から察知していた。したがって、演習のために割いた学習時間が1週間当たり1時間以下と回答した72%のほとんどは、1時間以内で解ける問題だけを解いて出席したまたは、当てられた問題だけ解いてきたと解釈するのが適当である。72%の学生が、4-5問を1時間以内に解けるわけがない。それにもかかわらず、78%が1回当たりの問題数4-5問は適当であったと答えているのである（設問1）。4-5問が適当と思うことと、それらを解くことは別であるらしい。むしろ、自宅学習に1時間さえも割くことができなかつたことの方が重大であろう。

前に出て問題を解いた回数は、1回以上が85%であり、目標を達したといえよう。プレゼンテーションの仕方にも少しは慣れてくれたであろうか。5回以上の学生は、班の他の学生から押し付けられたに違いない。友達と議論する機会もあったようである。

学生が達成感を数値化した結果は、学力と同様に広く分布している。平均値55%は正直な数字ではなからうか。この数字を上げるように今後努力していく必要がある。

授業の進め方（アンケート2設問3）

今回試みたグループ編成方式について、48%が良かったと答え、5%が良くないと答えた。良くない理由の内訳は、グループが機能せず特定の人に頼る頼られるという消極的なものであった。残りの47%はどちらとも言えないと答えた。先に述べた達成感の平均値が55%であることをみると正直な気持ちであろう。

実力にあったクラス編成をとる手段として、50%がテストの成績を支持し、47%が自分自身の判断を支持した。全体の3%がこの回答を保留しているが、それぞれの学生に高い達成感を与えるためには、実力にあったクラス編成を試みる必要があるように思われる。

後期補習授業の開講希望（アンケート2設問4）

前期末試験を前にして、29%が受講を希望し、6%が希望しなかった。残りの65%は、期末試験の成績次第で決めようとしていたのであろう。30%の希望者が、後期の補習授業を行う根拠になった。

基礎物理演習の感想と提案（アンケート2設問5）

ポジティブな感想とネガティブな感想が半々であった。それぞれキーワードを多い順にあげると次のようになる。ポジティブな方は、「基礎から学べた」、「考えの流れがつかめるようになった」、「問題が良かった」、「先生とTAの対応が良かった」、「前に出てやるのが良かった」、「面白かった」などである。「面白かった」の中に、「高校で覚えさせられた公式を、自分で導くことができ面白かった」という待ちに待った回答があった。ネガティブな方は、「問題が難しかった」、「人との実力の差が大きいことが良く分かった」などであり、「問題数が少なかった」という少数意見もあった。提案としては、「解答やヒントのプリントがほしかった」、「能力別編成が良い」、「1問を複数の人に当てるのが良い」、「説明にもっと時間を」とがあり、「発表者をいじめないでほしい」という勘違いもあった。

6. 終りに

基礎物理演習を接続教育の一環として位置付けて、その観点から、授業実施方法、実施内容、履修状況などについて報告した。

本科目は、工学部の改組に関して掲げられた6つの教育

課程編成の目標・理念の一つの柱である「高等学校教育からの連続性教育への十分なる配慮」を受けて設けられた科目の一つでもある。したがって、授業担当者は、この科目の持つ意義は重いと受け止めている。

本文でもふれたが、学力的・心理的ハンディキャップを持った学生を動機づけ、訓練し、一定学力まで引き上げるにはどうすれば良いかが目標とされた。ところが、実施途中での授業担当者会議で、「大学で聞く物理の話に大きな期待を持つ比較的学力レベルの高い学生層が存在し、この層の教育はどうあるべきか」が問題提起された。これについては紙面の都合上、本報告では割愛した。このことは、授業担当者が各学科での授業実施時に肌で感じていることでもある。さらに、本文中に建設工学科を一例として述べたように、幅広い履修歴の多様な学生集団を教育するにあたり、教育プログラムをどう設定するのか、本学の教育プログラムに新しい課題のあることを示唆している。

中央審議会の答申³⁾にも見られるように、高校でのカリキュラムの大きな変化と大学での授業との間の接続教育の問題は、今後より一層重要な問題となることが考えられる。

大学にあっては、「学生は勉強すること、大学は組織として学生にその場と環境を整備し提供すること」はあらためて述べることではないが、さらにきめ細かい教育プログラムを検討する時期にきていると考えられる。

謝 辞

授業の実施に大きな貢献をして頂き、さらに本稿をまとめるに当たって数々のご意見を頂きました非常勤講師の石田郁二先生、上田侃爾先生、中藏政儀先生、山中隆順先生に感謝いたします。また、TAとして多面的に協力頂いた14人の大学院生の皆さんにも合わせて感謝いたします。

文 献

- (1) IDE セミナー報告書、「学部教育再考」、2000年3月、55p～63p
- (2) 同上、2001年3月、51p～59p
- (3) 中央教育審議会、「初等中等教育と高等教育との接続の改善について」平成11年11月1日

付録1. 演習テーマの例

基礎物理演習 テーマ11 運動方程式の役割

学生番号 _____ 氏名 _____

運動方程式 $\text{質量} \times \text{加速度} = \text{力}$ の表わし方にはいろいろな方式がある。加速度は、基本的には、座標の2階微分式で表わされる。しかし、軌道を円と決めてよい場合には、半径と角速度または速さ（線速度）を使った代数式で表わされる。力にもいろいろある。万有引力（重力）はもっとも基本的な力のひとつである。放物体の運動や惑星、衛星の運動ではさしあたりこの力だけを考えればよい。日常的な力学現象にはさらにさまざまな名前の力（基本的には電磁気力）やそれらの合力が出てきて方程式の右辺に書かれる。物体に加速度を与えるはたらきをしていれば力と呼ぶ。現象ごとに、（つりあいの課題も含めて）力とは何かを考えてゆくのがよい。運動方程式からエネルギーや運動量などの考え方が出てくる。千変万化の現象が基礎的な方程式に集約され、逆に方程式から現象が予測される。

1. 万有引力の法則と運動方程式から出発して、放物体の運動を表わす一般的な公式をつくる方法を確認しておこう。

鉛直上方を z 軸の正の向きとし、水平面内に x 軸と y 軸をとる。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

- (1) x, y, z 各軸方向の運動方程式を書け。かつ、それらをベクトルとして、ひとつの式にまとめて表わせ。
- (2) 時刻 t [s] での速度 $(dx/dt, dy/dt, dz/dt)$ [m/s] の一般形を示せ。任意定数は何個あるか。その意味を説明せよ。
- (3) 時刻 t [s] での位置 (x, y, z) [m] の一般形を示せ。任意定数は何個あるか。その意味を説明せよ。
- (4) 質点は $t=0$ で位置 $(0, 0, h)$ [m] から速度 $(0, v_0 \cos \theta, v_0 \sin \theta)$ [m/s] で飛び出すとして上の定数を確定せよ。

2. 万有引力によって、地球は太陽のまわりを回っている。この軌道は半径 $R=1.5 \times 10^{11}$ m の円で近似できる。

- (1) 地球の速さ v [m/s] を求めよ。
- (2) 地球の加速度の大きさ a [m/s²] を求めよ。
- (3) 地球が受けている力 F [N] を求めよ。地球の質量は $m=6.0 \times 10^{24}$ kg である。
- (4) 太陽の質量 M [kg] を求めよ。万有引力定数は $G=6.67 \times 10^{-11}$ N·m²/kg² である。
- (5) 1秒間当りで考えてみよう。地球の進行方向は何 rad 変わるか。また、等速直線運動から何 m 外れるか。

3. 地球を中心とする半径 r [m] の円軌道上を、角速度 ω [rad/s] で運動している衛星の運動を考えよう。万有引力定数 G 、地球の質量 M 、衛星の質量 m 、地球の半径 R 、地表での重力加速度 g のうち必要なもの（役立つもの）を使うとする。

- (1) 衛星の運動方程式を書け。
- (2) 6時間で地球を一周する衛星の円軌道の半径 r [m] を求めよ（計算に必要な値はこれまでの問題から拾うこと）。
- (3) 地表から見て「静止している」ように見える衛星をつくるにはどのような軌道を選べばよいか。

4. テーマ5の間4でボールの質量が 150g であるとする。

- (1) 投球時および捕球時の動作についての仮定は前問と同じとして、量記号欄の定義をもとに、次の表を完成せよ。

表 質量 150g、速さ 40m/s のボールの投球と捕球に関するいろいろな力学量

項目	量記号 [単位]	ピッチャー側	キャッチャー側
ボールの加速に使う距離	s [m]	2.0 m	0.10 m
ボールの加速度	a [m/s ²]		
ボールの加速に使う時間	t [s]		
加速中のボールにはたらく力	F [N]		
加速中のボールに与える力積	Ft [N·s]		
加速前後のボールの運動量の変化	mv [kg·m/s]		
加速中に力が行う仕事	Fs [J], [N·m]		
ボールの運動エネルギーの変化	$mv^2/2$ [J]		

- (2) 上表で値が同じとなる力学量の組がある。（定義をもとに想像力をはたらかせて）その理由を説明せよ。

- (3) 投球から捕球までの間での重力によるボールの低下高を求めよ。ピッチャーとキャッチャーの間を 18 m とする。

付録2. 授業初日に行なったアンケートの設問とその回答集計結果

設問1, 2, 3の()内の数字は該当項目の回答者数、設問4の()内の数字は正答者数を示す。

基礎物理演習

アンケート 学科 _____ 学生番号 _____ 氏名 _____

1. 大学入試での理科の科目選択について答えて下さい。

大学の一般入試で物理を選択しましたか。 ① はい (252) ② いいえ (93) ③ 一般入試は受けなかった。(530)
 センター試験で物理を選択しましたか。 ① はい (391) ② いいえ (74) ③ センター試験は受けなかった。(417)

2. 下の項目は高校での物理の内容をおおまかに分けたものです。高校ではこれらをどの程度勉強しましたか。それぞれの項目に、右の①～④から選んで、○印をつけて下さい。高校で授業を受ける機会があったかどうかで考えてみて、入試や自分の理解度に関係なく答えて下さい。

力と運動	① (66)	② (90)	③ (361)	④ (370)	① 全く受けていない。 ② 半分程度受けた。 ③ 大体受けた。 ④ 十分に受けた。
波動、熱、光	....	① (114)	② (130)	③ (343)	④ (289)
電気と磁気	.....	① (127)	② (159)	③ (334)	④ (259)
原子	.....	① (169)	② (244)	③ (310)	④ (163)

3. これらの内容について、現時点で自分の理解の度合はどうですか。大まかなところで答えて下さい。

力と運動	① (161)	② (361)	③ (284)	④ (57)	① ほとんど分からない。 ② 少しは分かっている。 ③ 大体分かっている。 ④ よく分かっている。
波動、熱、光	....	① (276)	② (389)	③ (184)	④ (25)
電気と磁気	.....	① (294)	② (419)	③ (143)	④ (19)
原子	.....	① (387)	② (351)	③ (118)	④ (17)

4. 数学はどれくらい勉強してきましたか。次の例題の _____ の答を書いて下さい。間違いを気にせずに。

- (1) $f(x)=5x^2$ なら、 $f'(x)=$ _____ (849) (2) 30° は _____ ラジアンである。 (584)
 (3) $\int \cos(2x) dx =$ _____ (205) (4) $\log[x^2(y+z)] =$ _____ (170)
 (5) $dy/dx+8x=0$ なら、 $y =$ _____ (257) (6) $\mathbf{A}=(3, 4), \mathbf{B}=(4, -3)$ なら、 $\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} =$ _____ (283)

5. 物理などの理工系の基礎科目について、自分に適していると思う勉強方法を数行の文章で書いて下さい。
 (例：授業を聞く、書物を読む、実験をする、他人に聞く、問題を解く、まとめを作る、等々、の組合せ)

6. 授業にどのようなことを期待していますか。内容、方法、注文など、自由に書いて下さい。

7. 高校で物理を勉強して、もっとも印象に残ったことを書いて下さい。

