

## サイエンススキル「力学の基礎」の講義計画

千代 勝実  
(山形大学基盤教育院)

今回多くの学生に支持して頂いてベストティーチャー賞を受賞することになったが、私が担当している講義のうち最も受講生が多いサイエンススキル「力学の基礎」について、講義計画を説明する。私としても、理系科目特に数学や物理学のうち座学は学生の評価を得にくいという印象があったが、システムを工夫することによってそれなりの好評を得た。この部分について分析していきたい。

### はじめに

「力学の基礎」は理系、特に工学部の学生に受講推奨指定がかかっている1年次向けの物理学基礎講義である。工学部生の需要に応えるため前期6コマ、後期2コマでの開講となっている。理系基礎科目の適正受講者数は授業内での演習の都合もあり50-100名というのが担当教員の暗黙の了解であろうから、おおよそ800名弱の学生の受講を受け入れることになる。担当教員は基盤教育院から私が3コマ、残りを理学部の5名の教員で担当している。

基盤教育共通科目部門長としての立場から考えると、このように同じ内容の講義が複数走っている場合には大きく2つの教育上の挑戦がある。一つは受講制限を最大100人ではなく、教育効果を落とさずにスケールアップに200人でも300人でも1人の教員が担当できるような効率化が図れないかということである。つまり1人で300人担当できれば2人の教員は担当する必要がなくなり、人的リソースについて3倍の効率化となる。

もう一つは新任教員や若手教員のように教育経験が少ない担当教員へ、有形無形の援助を提供することによりそのような教員の負担を減らすだけではなく生きたFDとしてのトレーニンググ

ラウンドを形成することができるのではないかと、ということである。単に講義ノートを提供するだけでも始めて担当する教員にとっては心強いものであるし、蓄積されたさまざまなアドバイスや工夫を継承し継続的に発展させていくことが可能になる。

まとめると、効果を維持しつつ授業を徹底的に効率化すること、不慣れた教員でも利用可能な教育のひな形を提示すること、の2点を追求することになる。前者は具体的かつ定量的な教育効果の追求であり、後者は教員の属人的な個性を取り除いた再現可能な教育手法の開発である。つまり双方とも教育の客観的な効果改善という意味で一つに統合される。

### 講義計画

「力学の基礎」では教育する単元・小項目が申し合わせにより決まっている。このため、学生は何ができれば良いと判断するのか、教育上の達成度に関する合意はできている。さらに講義の内容は基礎的な力学なのでほぼ違いを生じることはない。しかし学生による授業改善アンケートの総合評価に関する結果を見ると「力学の基礎」の評価は、5点満点で4点台後半から3点台まで分布している。総合評価が学生の授業に対する好評度だと考えると、教員にとっては教育効果という軸がもっとも重要な点であるが、学生から見ればそれに加えて授業の親しみやすさや学習のしやすさといった点も評価の対象ということになる。

学生は理系、特に工学部生が中心であるが、工学部のほぼすべての学科で履修推奨がかかっており、このため機械系や電気系だけでなく化学系や生物系のように物理を高校で本格的に履修していない、もしくは入試で物理を全く選択してい

ない学生も含まれる。また昨今は入試科目として物理を選択していても、物理の概念を理解せず単に数式に数字を当てはめてそれらしい計算結果が出れば解答とする、というような受験テクニックのみで入学してくる学生も存在する。このため物理学・力学の基本概念が確実に理解できるように教育内容を構成する必要がある。

次に授業のスケラビリティについて検討する。クラスサイズが50人でも100人でも、さらには300人でも同じ講義をすれば、同じ学生評価や教育効果になるというわけではないのは当然である。つまり学生からすれば、クラスサイズが2倍になれば、教員が自分にかけてくれる時間は単純計算で2分の1になるわけで、教室が広くなることによるコミュニケーション上の距離の遠さという点も相まって、教育効果も教育評価も下がってくるというのが素朴な考え方である。実際、授業改善アンケートの総合評価とクラスサイズの関係を見ると、少数のセミナー形式の授業は総合評価が高く、クラスサイズが大きくなるにつれて総合評価が下がってくる（ただしクラスサイズ100～200名を極小値としてサイズが大きくなると評価が高くなるという見解もある）というのがどこの大学でも共通の傾向であろう。

これらを考慮すると、50人や100人に最適化された講義計画をさらに多人数のクラスに適応させるのは難しい。そこで学生評価の低くなりがちな200人程度のクラスサイズを仮定して授業構成をその規模での教育効果に最適化し、これを50～100人程度のクラスにも適応させる方針とした。これによりどのようなクラスサイズにも一定水準以上の教育効果と効率で対応できる講義計画が策定できるとともに、はじめて「力学の基礎」や他の理系基礎科目を担当する教員にとって容易に教授法をコピーし実践することができるようになる。

## 授業の流れ

私の担当している「力学の基礎」では、15回の

うち最初の1回目をガイダンスと大学での勉強の仕方の解説に当て、評価の対象として演習、持込不可の中間テスト・期末テストを実施している。学生評価での点数の比率は40:30:30となっている。授業ではまず電子授業資料（パワーポイント）を用いた座学が約60分、次に座学の内容を実践する演習を30分としている。電子授業資料はWebClass（LMS）に授業の前日までにアップロードしており、学生はそれを見て予習することが可能である。また授業中はプリントアウトを持ち込むもしくはパソコン・スマートフォンなどでの閲覧を認めている。

電子授業資料はアニメーションなども使用してビジュアルな説明も導入している。連成振動のモードと組み合わせなど微分方程式とその解やアニメーション・ビデオをみるだけでは実感しにくい題材については、身体感覚を与えるために演習実験を行っている。

## 概念理解と演習

先に、入試科目として物理学を選択していても学生は物理概念を本質的に理解しているわけではない、と述べた。実はこれは特別に憂うべき問題というよりは、学生の学びとして一般的な発達過程であると考えべきである。米国高等教育での物理教育の先進的実践理論書である「科学をどう教えるか」（エドワード F.レディッシュ、2012）によれば、基礎的な概念をきちんと理解することは、単に力学の問題の計算ができるというよりも高度な理解が必要である、と評価されている。当然のことながら、その先の物理概念を道具として未知なる問題に適応させるということはさらに難しい。したがって、学生にとっては基本的な課題に対して計算できること、問題が解けることは必要であるが十分ではなく、さらに概念が適切に修得できるような教育が必要である。その上で概念を理解すること、それを適用することによって学生が今後直面するさまざまな分野での問題—それらは往々にして解を得ることが難しかった

り、解がない問題であったりする一に挑戦していくことになる、という、主体的な学習人となるための見通しを与えていく必要がある。

学生によっては簡単すぎるように感じるかもしれないが、そのくらい物理の概念を丁寧に教授すること、そして概念獲得のために学生が取り組むべき演習を用意すること、これにより受験テクニク的な学習方法、受動的な解き方を覚える学習方法から脱却し、自ら考える学習法に移行することができる。

### 演習の実施方法

クラスサイズ 200 人の講義は、特に数学や物理学の授業では成立しにくい。この最大の理由として演習の存在がある。つまり学生が問題に取り組んだ後の採点や評価をどのように行うか、ということである。演習を含む場合 50～100 人規模のクラスサイズにするのが普通であるが、それができない場合、二つの手法が用いられる。一つは TA などを利用して、ブルートフォース的に採点を実施する手法である。当然のことながら教員以外の人員は必要になる。もう一つは全員分の演習の採点をあきらめて、例えば代表する学生数名に黒板で解答を作らせて評価することである。学生は自分の解答を個別にチェックしてもらえないので満足度が下がりやすい。

そこで私の講義では、第三の道を選んだ。学生同士で交換させて採点する（採点者名は記入させる）という方法である。自分で採点するのではなく学生同士交換することによって他者の解答を客観視できること、他者がどのくらい理解しているのか意識するようになること、である。当然クラスサイズが変わっても学生が採点する枚数はペアの学生の解答用紙 1 枚であるので、演習のスケラビリティは保証される。

さらにクラスサイズが大きくても教育効果上がるようもう一つの工夫を入れた。これは、演習中にうまく解けない、納得ができていない学生は周りの学生に考え方や解法等を質問してよい、

という誘導である。これは尋ねられた学生にとって他者に説明するとなれば改めて自分の理解を整理する必要がある。理解が足りなくて解けない学生は他者に質問することにより学びの時間をさらに確保できる。また相互のコミュニケーションが生じるため学び合いの環境が発生し、学習のコミュニティが自然発生することも期待できる。

採点は学生にマークシートで正答した問題番号をマークさせてスキャナでコンピュータに取り込むことによって自動化する（図 1）。この際、教員と学生が行った採点が適切であるかスキャンされた答案を見ながら確認するが、慣れてくると 1 人当たり数秒で目を通すことができ、リターンキーや矢印キーでどんどん次の答案に移動していける。このため、演習の整理は 200 人分を目を通しても 30 分もかからない。また演習の答案は返却しないとしているので、学生は必要があれば写真を撮るか内容をノートなどにメモしておくかを推奨している。

学生が採点時になんらかの不正を行ったとしてもこの時点でスクリーニングできるが、山形大学の学生はまじめかつ正直であるので、単なる間違い以外での不正はほとんどない。また演習では他者に相談できることから答えの丸写しも可能であるが、そのような不誠実な学生はあまりいないのと、丸写しをするような授業に取り組む能力が低い学生は例外なく出席が足りないか中間期末テストの点数が低下するので、単位取得できないかとれても低い点数になる。

### 授業資料の電子化

授業の資料を電子化するかどうか、さらに事前に提供するかどうかは議論が多い。ただ、ほぼ必修扱いになっている理系基礎科目の場合、学生の事前の知識水準の幅が大きく予習や復習が必要になるので、電子化しさらに事前に提供することがマストである。また電子化による課題として挙げられる点も、教員の工夫で克服可能である。山形大学の学生の場合、授業内容が事前に分かって



いるからといって欠席したり受講の意欲を喪失したりということはあまりない。むしろ教員が授業に対し電子授業資料以上に付加価値を与える魅力や意味づけをおろそかにすると、出席している受講生（これは学生だけでなく他の教員の参観でも同じである）にそっぽを向かれてしまう。

私の担当している「力学の基礎」の場合、授業の魅力として位置づけているのが、十分な概念理解と学生の専門分野へのつながり、である。多くの学生は物理学や力学が数式を解く学問だと考えているが、実際はそうではなく基本的な法則からさまざまな現象を読み解いていくための道具であるということはこの授業で認識させていく。さらに「力学の基礎」で取り扱っている問題は「簡単な解ける問題」のみを扱っているけれども、それ以上（そして学生の専門分野）では解けない微分方程式・プロセスが普通であり、さらにそれを解けるようにしていく工夫自体が学生のみなさんに期待されていることであると説く。このときに必要なのが「力学の基礎」のような解いた簡単な問題を解いたときの構造理解であり、さらにそれ以上に日常生活や皮膚感覚で知っているいろんな現象と微分方程式の関係、出てきた結果がなんとなくあっている、おかしいと感じられる健全なフィーリングであるということあるごとに伝えている。

理系の学生全体を見ても物理学や力学を専門とする学生はほとんどいない。そのような学生たちに興味を喚起させるには、学生が興味を持っている事柄、専門での学びと「力学の基礎」で学ぶ内容がどのようにつながっているか豊富な事例を紹介していく必要がある。例えばエネルギーであれば永久機関（ブラウン・ラチェット）と細胞内のイオンポンプや分子モーターの類似性など、数多くの面白く不思議な具体例を必ず紹介していくようにしている。力学は抽象的な概念であるので、それ単体では興味が無い学生にとっては理解するのが難しいが、連想のためのタグとして興味のある事柄を結びつけてあるので、専門で同様

の内容を習ったときに想起しやすくなる。力学や物理学に限らず教養課程において学生が興味を示しにくい科目については、文字通り教員の「教養」や知識への貪欲さが要求されるということである。このため基盤教育院での教育は私にとっては非常に大きなチャレンジでもある。

## LMS の利用

電子授業資料は前日までに WebClass にアップロードするが、それ以外にも演習の解答、毎回の演習の成績や中間期末テストの成績およびそれぞれの平均点も1週間以内に公表している(図2)。ガイダンス時に単位認定の基準も明確にしているので、学生が自分の学習の履歴をいつでも参照でき振り返りが可能である。このように自分の成績評価がどのようになっているかほぼリアルタイムで確認できるのは、ラーニングポートフォリオの一例である。

## 学生の評価と今後の課題

自由記述欄には、授業資料がいつでも手に入るのがよい、毎回演習を実施してくれるのがその日の授業の振り返りになってよい、準備が丁寧である、という肯定的な回答が多い。逆に中間・期末テストをもう少し難しくしてほしいという意見も極少ないが存在する。傾斜的に易しい問題とチャレンジ問題をいれているが、十分に理解している学生、パズルのような受験時の問題に慣れている学生にとっては歯ごたえがないということで、今後の改善が必要である。

今後、基盤教育においては基盤力テストなどさまざまな改革が実施される。それにいち早く対応し授業構築の見本となるようなシステムを構成し公開していく必要がある。

Redish, Edward F. 2003 Teaching Physics with the Physics Suite. John Wiley & Sons. (日本物理教育学会監訳 2012「科学をどう教えるか—アメリカにおける新しい物理教育の実践」丸善出版)