

クリッカー顛末記



井上 慎 大阪市立大学大学院理学研究科

1. 東京大学から大阪市立大学へ

筆者は2015年3月にそれまで准教授として10年間在籍した東京大学を辞し、新たに大阪市立大学に教授として赴任した。この異動は私の属する研究環境、家庭環境だけでなく、教育環境にも大きな変化をもたらした。その変化の要点を表1にまとめてみた。

要約すると、それまで主に物理を目指す大学院の学生に原子物理を教えるといった非常に専門的な立場から、工学部の都市学科や機械工学科の学部1年生、2年生にも力学や熱力学を教える立場に変わったのである（後期には物理学科の学生向けの授業も担当する）。

この変化を経験して感じたことを友人の先生に話したところ、本誌への投稿を勧められた。変化に直面した直後のフレッシュな感想を読者と共有したいと思う。

表1 筆者の2015年4月における「相転移」

	2015年3月まで	2015年4月から
大学	東京大学	大阪市立大学
対象学年	主に大学院	学部1年, 2年
学科	物理工学専攻	都市学科, 機械工学科
内容	原子物理(専門)	力学, 熱力学

2. コミュニケーションを特に意識

4月から担当した授業は2コマ、学部1年生の力学と2年生の熱力学である。それぞれ都市学科の学生と機械工学科の学生が主な対象であり、両方とも「物理」を専門としていない。このことは授業の準備に2つの影響を及ぼした。

1つ目は、学生のモチベーションを上げる工夫をする必要がある、ということである。始めか

ら、学生が物理を「面白い」と思ってくれることはあまり仮定できない。むしろ、授業を通して物理に興味を持ってもらう必要がある。そのためには90分の授業で数回は「なるほど」というネタを用意する必要があると考えた。

2つ目は、内容の簡潔さと導出の丁寧さを綿密に両立させる必要があるということである。毎回、授業の終わりに、「結局何だったのか」が学生に伝わっていないと、興味が長続きしないであろう。そのためには、要点をなるべく簡潔な言葉で、ダイレクトに伝えきる工夫が必要である。しかし、簡潔にしすぎるのも問題で、式変形を省略すると、今度はそこで止まってしまう学生が出てくる。以前より一層内容を吟味するようにし、中身を絞って丁寧に説明するのが肝要であると心がけた。

以上2点をまとめると、東大での授業よりはるかに「学生とどうコミュニケーションを取るか」に意識を割いたことになる。果たしてどれだけ実行に移せるか、成算があったわけではない。最終的にはこちらが時間をかけて授業を工夫しているのだということを感じ取ってもらって、そこからポジティブなメッセージを受け取ってもらうしかないかな、とも思っ初回の授業に臨んだ。

3. 結果的に、クリッカー以外は普通のスタイル

具体的な授業の形式は以下のようなものである。まず、基本的には教科書¹⁾に沿った順番で内容を板書で丁寧に説明する。ただし、内容によっては、適宜、他の教科書の説明の仕方を採用した。授業の理解を助けるために典型的な問題をレポートとして出題し、次週に回収、採点の後、模範解答を



図1 授業で使用したクリッカー²⁾

説明し、採点済みレポートを返却した。評価は期末試験で行い、レポートや授業で扱った問題の類題を出題した。

学生の興味を引くために行った工夫は演示実験とクリッカーの2つである。演示実験は特に力学と相性が良い。振り子の性質や、斜面を転がり下りる剛体の性質の理解を助けるために、重りをひもでつるしてゆらしたり、木球を転がしたりした。スタートの高さをいろいろ変えて振り子を揺らし、どういふときにひもがたるんでしまうかを求める問題では、希望者にひもを配り、五円玉や五十円玉に結びつけて実験をしてもらった。思ったより教室全体から積極的な参加があり、目先を変える上ではそれなりの意味があったと思う。

4. クリッカー使い始め

クリッカーは欧米の大学では非常によく使われている。MITの博士課程の同期で、米国で教鞭をとっている友人の場合、彼の大学では学生一人に1台渡されていて、授業ではクリッカーを用いた質問を出すことが義務付けられているという。その際、なるべく答えが定性的かつ議論のネタになりそうな質問を出し、学生の間で議論に発展させるのが理想的と言われる。

実際にクリッカー²⁾を使ってみたところ、結果的にその使用法は回を追うごとに変わっていくこととなった。はじめはなるべく定性的な問題を出し、ピア・インストラクションを意識して議論も喚起してみた。

やってみて面白かったのは、教室の前方に座る学生と後方に座る学生で反応が少し違ったことである。普段はうるさかったり、暇そうにしたりしている後方の学生のほうが、いざ議論となると割とアクティブで、「エネルギーで解けばいいんでしょ?」「いや、変だって」「振動するはずだから～」などと言いながら議論が長く続き、注意深く聞いていると、徐々に正答に収束していく場合も多かった。他方、教室の前方に座る学生の間では必ずしも議論が長続きせず、聞いてみると「僕はこう思うんですが、周りの人は違う意見みたいです」といった返答が返ってきて、議論というよりは正答を教わるのを待っている学生が少なくないように見えた。過剰にステレオタイプに分類するのは危険だが、受け身の授業が嫌いで、能動的に関わりたい学生にチャンスを与えるという意味ではクリッカーは優れているように感じた。

なお、クリッカーの使用にはデメリットもある。たとえば、安易に使用すると授業時間を過剰に消費してしまう。これはばかにならない問題で、筆者は始めのうち余裕をもってシラバスを消化していたが、中盤でクリッカーを導入した途端に遅れをとり、とうとう最後まで挽回できなかった。

5. クリッカーを使った演習

時間に追われながら必死に授業を展開するわけだが、次第に力学固有の事情に気づいた。前半の運動方程式やエネルギーの部分は、高校物理で基本的には習っており、その内容を微分を使って書き直すだけでそれほど学生も苦しめていない。しかし後半に入ると突然、角運動量や慣性モーメントといった、新しい概念が登場し、入試の時の貯金だけでは追いついていけなくなる。従って、習った概念を使えるかどうかといういわゆる「定着」の重要性が増してくる。「定着」作業にクリッカーを使えないものか考えた結果、レポートのスタイルを変えることにした。具体的には「レポート課題」から「理解度チェック」と改題し、4択の選択問題とし、難易度を下げ、問題数を増

やした。さらに解説の際にまずクリッカーで各自の回答を聞き、その正答率の分布を見ながら正答率の高い問題は簡単に、低い問題は詳しく解説することで定着率の改善を狙った。

4 択方式のレポートを始めてから気がついたことは、実は選択肢方式は概念的な理解を確かめるのに向いているということである。

例えば次に挙げた問いは熱力学の授業で使った問題であるが、(公開されている GRE³⁾の物理の練習問題を日本語に訳した問題)、物理学科の学生でも、現象を良く理解していないと意外に答えられない。

[問 1] 理想気体の定圧比熱は定積比熱よりも大きい。これは

- (A) 圧力一定で温度を上げたとき、気体は外部に対して仕事をするからである。
- (B) 温度が一度上がるときに流入する熱量は圧力一定でも体積一定でも変わらないからである。
- (C) 温度を一定に保てば気体の圧力は一定に保てるからである。
- (D) 気体の内部エネルギーの上昇は、体積一定のときより圧力一定のときのほうが大きいからである。
- (E) 気体の圧力を一定に保ったときより、体積を一定に保ったときのほうが必要な熱量が大きいからである。

自分が学生るとき、「選択問題は記述問題に比べて易しい」としか感じなかったが、教える側に立ってみると、本当に学生に身につけて欲しいのは [問 1] について議論できる能力で、その意味では選択肢問題は良く機能していると思うようになった。

6. 「学問」と「問題が解けること」のバランス

授業も終盤になって振り返る余裕が出てくると、「そもそも」的な疑問が頭をよぎるようになる。そのひとつが題材の選択に関する疑問である。

「学問」と「問題が解けること」のバランスを

どうとれば良いのか？

たとえば、方程式はたてられるが、それを具体的に解くのは授業の範囲を超える場合、その問題をそもそも授業で扱うか、という問いである。たとえば万有引力で相互作用する 2 個の質点の運動が良い例である。換算質量を導入して 2 体問題を 1 体問題に帰着させ、さらに角運動量を導入し、最終的に角度を距離の関数の積分で表して楕円軌道を導くこの一連の道筋の中には物理の重要な概念がたくさん詰まっており、学問的見地からは是非紹介したい問題である。しかし、具体的に最後の積分を実行するにはそれなりの計算力が必要であり、授業でそこまでカバーするのは難しい。方程式を解くのは数学で、方程式をたてるのが物理だと思えば、このような例も授業で積極的に紹介したくなる。しかし果たして

$$\varphi(r) = \int^r \frac{L}{r'^2} \frac{dr'}{\sqrt{2\mu(E - U(r') - L^2/(2\mu r'^2))}} \quad (1)$$

のような式を書いて、これが方程式の「解」であり、軌道 $\varphi(r)$ はすでに求まっている、と学生が実感してくれるか自信が出ず、結局、教科書に載っている円軌道の紹介にとどめるという妥協をしてしまった。しかし大学は塾とは異なる。学問を理解してもらおうとともに、その先の未開の地への広がりを紹介するのも大学教員の務めであると思うので、今回はもう少し方法を精査して授業の中身を学問的にも豊かなものにした。

7. 授業評価アンケート結果

夏学期の最後の授業でとった無記名の授業アンケートの結果を次に記す。力学は 36 人、熱力学は 18 人から回答があった。

熱力学を担当したクラスは、授業時間に余裕があって上記の「理解度チェック」に十分時間をかけられたこともあって、学生の理解度と満足度が高かったことが読み取れる。それに比べて、力学を担当したクラスの理解度が相対的に低かったのはやはり「理解度チェック」などの「定着」作業に十分時間をかけられなかったことが影響してい

表2 授業評価アンケート(無記名)の結果

授業の内容は理解できましたか?	力学	熱力学
1) よく理解できた	2%	11%
2) 理解できた	16%	50%
3) どちらともいえない	36%	33%
4) あまり理解できなかった	33%	0%
5) 全く理解できなかった	11%	0%
無回答	0%	5%
この授業の受講は、あなたにとって有意義でしたか?	力学	熱力学
1) 非常に有意義	0%	16%
2) 有意義	38%	72%
3) どちらともいえない	47%	5%
4) あまり有意義でない	8%	0%
5) 全く有意義でない	2%	0%
無回答	2%	5%

ると考えられる。実際、力学を受け持ったクラスの自由コメント欄を見ると、「微分積分関連が難しい感じがしました。演習問題をもっとしたかったです」「後半から少し難しくなつてついでいけなくなりそうでしたが、勉強になれたと思います」など、使っている数学の部分で苦闘しながら理解しようと励む学生の姿が浮き彫りになってくる。

このような時間の限られた中で教員はいわば勝手にクリッカーという新しい機械を出してきたわけで、当然抵抗もあってしかるべきとは思っていた。しかしアンケートを見てみると批判的な声は皆無で、むしろ「時々難しすぎると感じましたが、進行スピードや生徒に匿名の投票形式で意見を聞くやり方は良かったです」「機械を使ったりして高校の授業とは違う所を感じられて良かったです」と前向きに受け止めてくれていた。手元の

ボタンを押す、という作業の心理的抵抗は少ないようだ。学生の支持はあるようなので、これからもクリッカーを積極的に使ってみようと考えている。

8. これから

教育に決定版はなく、試行錯誤が正解と自分に言い聞かせている。それでも、不満を言いたくなくともある。特に1年生の私語の多さはこたえた。国会もやじだらけなので、日本の社会全体の問題なのだろう。仕方がないので板書をどんどん進めると、途端に教室が静かになる。ハイスピードに板書を進めるとこの方法は、私語を鎮める面白い解法のひとつなのかもしれない。

授業を終わってから高校教科書を見たら、一生懸命教えたものかなりの部分が載っていたのも発見だった。次回からは高校教科書を参考に、授業の最初に4択で理解を問い、その結果をもとに新しい部分に時間を多くかけ、演習も手厚くしようと思っている。

今はネットで面白い授業がいくらかでも見つかる時代である。それらに負けない印象的な授業にすべく、今から少しずつ準備に励みたい。

参考文献および注

- 1) 長岡洋介『物理の基礎』東京教学社(2000).
- 2) KEEPAD JAPAN 社製 Turning Point.
- 3) 米国 ETS (Education Testing Service) 社が世界規模で行っているテストのひとつ。Graduate Record Examination の略で、主に米国大学院出願の際に用いられる。練習用のテストが公開されており、ここでは“Practice Test-Physics GRE8677”の14.を日本語に訳して用いた。

連絡先 E-mail: inouye@sci.osaka-cu.ac.jp

