



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	授業応答システム“クリッカー”による能動的学習授業：北大物理教育での1年間の実践報告
Author(s)	鈴木，久男；武貞，正樹；引原，俊哉 他
Citation	高等教育ジャーナル：高等教育と生涯学習，16，1-17
Issue Date	2008-12
DOI	https://doi.org/10.14943/J.HighEdu.16.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/38784
Type	departmental bulletin paper
File Information	No1601.pdf



授業応答システム“クリッカー”による能動的学習授業 —北大物理教育での1年間の実践報告—

鈴木 久男^{1)*}, 武貞 正樹¹⁾, 引原 俊哉¹⁾,
山田 邦雅¹⁾, 細川 敏幸²⁾, 小野寺 彰¹⁾

¹⁾ 北海道大学大学院理学研究科, ²⁾ 北海道大学高等教育機能開発総合センター

Active Learning in the Classroom using the Response System Clicker: Report of a Physics Class in Hokkaido University in 2007

Hisao Suzuki,^{1)**} Masaki Takesada,¹⁾ Toshiya Hikihara,¹⁾
Kunimasa Yamada,¹⁾ Toshiyuki Hosokawa²⁾ and Akira Onodera¹⁾

¹⁾ Graduate School of Science, Hokkaido University,

²⁾ Center for Research and Development in Higher Education, Hokkaido University

Abstract — Use of the Classroom Response System (CRS) device called “Clicker” is wide spread among universities in the United States and is now considered an essential tool for teaching. The clicker is introduced for the teaching of a physics class in Hokkaido University, which was its first use in Japan. We will explain the function of the clicker and consider the reason why it is widely used in teaching in the US. We also report the effect on the teaching in the physics class in Hokkaido University.

(Revised on 17 May, 2008)

1. クリッカー

表題にある“クリッカー”とは、授業で学生が応答用に用いるリモコンのことである。クリックするものであることから通称“クリッカー”と呼ばれている。

クリッカーの正式名称は、Audience Response

System, つまり直訳では、聴衆応答システムという。クリッカーは会議や一般向け講演などに導入しても効果が大いなのだが、ここでは教育向けに特化して話を進めていこう。このため狭義には Classroom Response System や Student Response System, つまり授業応答システムあるいは学生応答システムとも呼ばれる。北大では、2007 年度よ

*) 連絡先: 060-0810 札幌市北区北 10 条西 8 丁目 北海道大学大学院理学研究科

**) Correspondence: Graduate School of Science, Hokkaido University, Kita 10 Nishi 8, Kita-ku, Sapporo 060-0810, Japan

り日本の高等教育機関としては初めて、このクリッカーを導入し、一年にわたって使用してきた。本論文ではその導入の動機と使用した効果についての報告をする。ところで、アメリカにおいて、2003年から2007年の間に700万個ものクリッカーが売られている (Wikipedia 文献参照)。現在、アメリカの大学では導入していないところはまれなくらいである。たとえばコロラド大学での2007年春の調査では (Keller et al 2007), 70学院の94の講義において使用され、延べ10,011人の学生がクリッカーを利用している。そこでまず、アメリカにおいてどうしてクリッカーが普及したのかを考えると直接クリッカーの利点が見えてくるはずである。そこで以下にまずアメリカでの普及の理由について見ていこう。

2. アメリカでクリッカーが普及した理由と講義の欠点

2.1 講義スタイルによる授業の欠点

まずアメリカにおいては、大学に入ってくる層が非常に多種多様である。たとえば、通常の高校を卒業したばかりの学生だけでなく、兵役を終えたばかりの学生などもある。基本的に入学試験は日本ほど選別が厳しくないためであり、入学者の学力は非常に多様化している。また、コスト意識が強いため、講義は250人から400人程度の大教室で行うことが多い。このような状況の中で大教室の授業をいかによく運営していくかが最も大きな課題である。アメリカにおいて、クリッカーが普及した背景の最も大きな原因は、通常の授業での欠点が教員に広く認識されたことにある (Wikipedia 文献参照, Banks 2006, Caldwell 2007)。

2.2 講義中の短期的記憶の問題

講義の最も大きな欠点は、通常の講義の形態そのものにある。講義とは、限られた時間の中で知識の伝達に最も適したものであることは言うまでもないだろう。短期間に多くの情報を教員から発することができる授業形態である。よく準備された授業では、

講義の各ステージで、学生が理解しつつ進むことができる。しかし、短期記憶の容量には限界があるため、講義を終わった段階で、学生が講義で覚えていることは平均して2,3項目に過ぎない (Wikipedia 文献参照, Banks 2006, Caldwell 2007)。このため、学生が自習しない限り、講義の内容は学生に記憶されずに終わってしまう。試験前の勉強も結局は短期的記憶となる。こうした現象は、私たちも簡単に経験することができる。たとえば、私たちが専門あるいは専門以外のセミナーに参加していても、セミナーを聞いていたときは理解していたつもりでも数週間後には思い出せないといった現象が起こる。また、なぜこうしたことが起きるのかは後に詳しく述べることにする。

2.3 長期的集中力の欠如

講義スタイルのもう一つの欠点として、学生の長期的集中力の欠如があげられる。通常人間の集中力の持続は、10分から15分間である。そのため、講義においては集中力が欠落した状態が不可避である (Abell&Lederman 2007, Herron 1996, Psamentier et al 1998, Hartman&Glasgow 2002)。従って、このような講義の受け取りの欠損がないように、重要な情報は授業中に繰り返し与える必要がある。しかし、基本的にその作業を安定的に行うには、学生の反応を注意深く見守る必要がある。しかし、大規模授業では、学生の反応は多種多様であるのでそうしたことは困難である。さらに、このような知識の伝達の欠損は、積み重ね的な理解を必要とする科目にとっては深刻である。すなわち、授業において集中力がとぎれた学生は、その後の流れが理解不能となり、教員の板書をただノートに書き写すだけの状態となる。しかも、大人数の教室では、授業に参加していながら授業を聞いていない学生の割合が増加する傾向がある。

2.4 学生理解度の把握の問題

講義では、学生の理解度の把握が難しい。理解度の把握には、小テストをすればいいのだが、大規模授業では採点なども大変な作業になり、採点が終わった段階ではもう先に進んでいる状態になること

が頻繁に起こる。また、長年の経験から理解度を予想しても、同じ学部で同じ学科であっても、学生の平均レベルが年度ごとに異なることが多い。学生の理解度を把握できていないと、学生が理解しないまま一方的に教員が話をする講義になりやすくなる。

3. クリッカーにより授業にどのような改善が見こまれるか？

以上が通常言われている講義の欠点である。それではこれがクリッカーの使用によりどのように改善されていくのかを見ていこう。そのためにまず、クリッカーによる授業がどのようなものであるかを説明する。

3.1 クリッカーによる授業の進め方

まず、学生にはリモコン（図 1）が配られる。そして授業では、簡単なクイズやアンケート（図 2, 3）をおよそ 10 分から 15 分に一度くらいの頻度で出題する（Banks 2006, Caldwell 2007, Robertson 2000）。その意見分布の結果はすぐに学生にフィードバックされ、スライドに映し出される。その後、正解を提示したあと、この正答についての解説をしたり、また新しい話題の導入にクイズを出したりし

て授業を進めていく。また 30 分に一度くらいの頻度で、授業の進み方や難易度に関するアンケートを実施する。やり方は非常に簡単である。しかし、たったこれだけのことでどのような効果があるのだろうか？

3.2 学習理論的側面から見るクリッカーの利点

学習とは、教員から学生への単なる知識の伝達ではない。学生は、今まで蓄えてきた知識、先入観、好き嫌いなどそれぞれがみんな異なったものをもっており、同じ情報を与えてもどのように受け取るかは様々である。この意味で、教員から発せられた情報は学生に直接伝わるわけではなく、一度認知フィルターを通ることになるのだ（図 4）。

そして認知フィルターを通った情報は、短期的記憶領域に保存される。この短期的記憶領域は Working Space ともいわれ、考え、解釈するための場所でもある。ここでの記憶する作業は非常に速く行われる反面、記憶容量は少ない。短期記憶の記憶容量は 7 ± 2 つとして知られており、平均的な学生で通常 7 つくらいが限界であるといわれているが、最近ではさらに少なく 5 つであるという検証実験もある（Johnstone 1997, Miller 1956）。情報量が多くなり、短期記憶のオーバーフローを起こすと、初期の記憶を消去するかまたは、新しい情報



図 1. リモコン

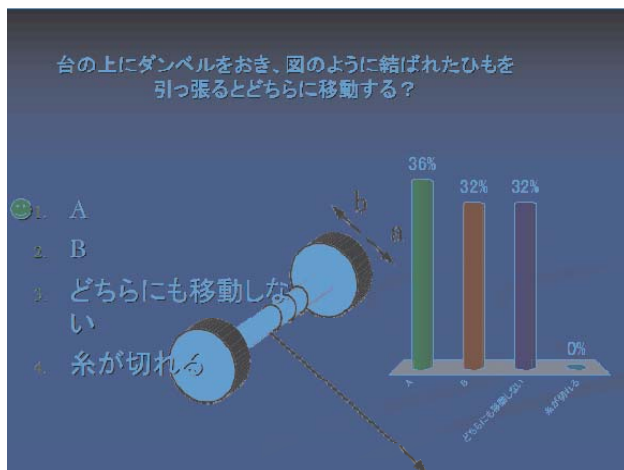


図 2. クイズの例

図 3. 回答する学生

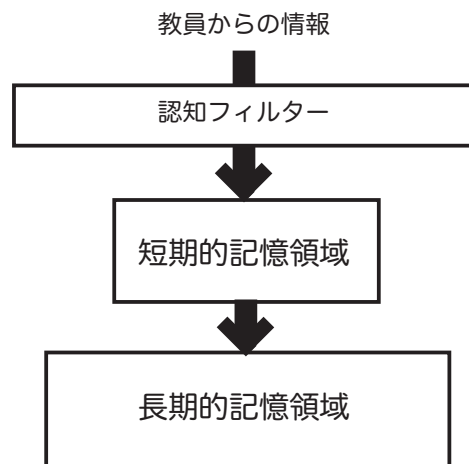


図 4. 記憶のプロセス

を受け付けられない状態になる。もっとも、訓練すれば短期記憶の容量は多くなることが知られている。たとえば訓練すれば講義中の項目をすべて短期記憶に入れることもできるようになるが、講義後急速に失われてしまう。また、次の講義の短期記憶のために意識的に忘れるようにする必要がある。そして試験前にも同様の対応が必要になる。このように、この短期的記憶はそのままの形ではすぐに失われてしまう。

この記憶を長期的に保持していくためには、情報

を短期的記憶から長期的記憶に移行する必要がある。このプロセスは学習者が、自ら考えたり、新しい問題に対して応用したりする能動的プロセスを通じて行われる。すなわち、いったん長期的記憶に入れ、さらにこれを考えることにより短期的記憶に戻し、思考などの活動的な作業をする。この過程によって知識は初めて長期的記憶として定着していく。このような作業は、優秀な学生においては、通常の講義中でも自然に行われていることに注意しよう。つまり、教員からの情報を自分の中で自問自答したり、

教員に質問したりして、長期記憶に移しつつ授業を聞く作業をしている。現在教員になっている人の多くがこうした訓練を受けてきているものと推測される。

しかし、大多数の学生は、自問自答していると教員が言っていることについていけなくなりがちである。特に情報量の多い講義をするクラスでは顕著になる。そのため、平均的な学生は自ら思考し、疑問に思うことよりも、授業中は思考を止める作業を優先するようになる。ときには、板書を筆記するだけで精一杯になることもある。こうなってくると、家に帰ってノートを見ても何が書いてあるかもわからないため、結局自習を放棄する方向に走る。

このような状況はクリッカーによって大きく改善される。すなわち、クリッカーは学生に考える機会を与えることにより、短期的記憶から長期的記憶に受け渡す作用をすると同時に、短期記憶のスペースを解放し、短期記憶のオーバーフローを抑える働きをする。したがって、講義後の記憶保持率を向上させる効果が期待できる。実際に講義後にもクイズで正解だったか不正解であったかにかかわらず、それぞれの印象は強烈に残るため、長期的な記憶が期待できるのである。

3.3 クリッカーによるリアルタイムフィードバックの効果

クリッカーによる最も大きな効果は、学生の理解度のリアルタイムフィードバックである。たとえば普通の授業で、学生が全くわからない場合、何を質問したらよいかすらわからなくなる。そのため、教員は質問がないからといって先に進めても、それは学生が理解しているとは限らない。このため、定期試験をして初めて学生のあまりの不理解に気づくことも起こる。しかし、クリッカーにより理解度を試す質問を行うことにより、教えていく過程でその都度教え方の修正が可能となる。つまり、学生の不理解がリアルタイムにフィードバックされるため、理解していない学生が多い場合、その事柄を繰り返し説明しなおすことにより、ドロップアウト率を下げることができる。また、このことは学生に対しての理解の向上だけにとどまらない点が重要である。すなわち、学生が理解しにくい事柄のリアルタイムで

の把握が、その場での教員サイドでの教授法に変更を加える動機を与える。このため、教員サイドでも、ごく自然に教授法の進歩が見込めるのである。実際、クイズの正答率などのデータは、そのまま保存され、次年度の教え方について有益な情報となる。このように、この双方向性を持つ授業の効果は、単に学生に対してだけでなく、教員サイドにも非常に大きいのである。

3.4 集中力の維持への効果

クリッカーのもう一つの効果として集中力の維持があげられる。これは、クイズがコマーシャル的な役割を果たし、ただ聞いている状態から思考する状態へと移ることなどにより、学生に適度な休息を与えることができる。また、学生が授業に能動的に参加しているという意識が生まれ、これが集中力の維持に効果がある。

3.5 出席率の増加

大学において、学生は授業に出席することをあまり重要視していないように感じる。とりわけ大学初年度の学生は、色々な分野に渡って幅広い知識を身に付けなければならない時期であるから、自分にとって興味が薄い分野であるからと言って授業に出席しないのは問題である。実際に、出席を取らない授業では、ほとんど出席しなくても学期末に授業のノートやプリントを友達にコピーしてもらい、試験を受けることで単位を取得する学生がよくいるのである。たとえ出席を取る授業においても、大人数の授業では、名簿を回すことで出席を確認することが多いため、友達に代行してもらっている場合が多々あり、さらにたちの悪いものになると、出席をとったら教室を出て行ってしまうことまでである。

このような状況を改善するためにもクリッカーが有効である。クリッカーはリモコン1つ1つを識別が可能であるから、学生の投票を成績に反映させることを周知させておくと、学生の出席率は格段に上昇するのだ。

実際にCaldwellが2005年に同じ授業でクリッカーを使用しない場合と使用した場合の出席率を

比較した報告がある (Caldwell 2007)。それによるとクリッカーを使用しない場合は出席率が 50 から 80% の間で毎回ばらばらであったのに対し、クリッカーによる投票を 10% 成績に反映させるとした場合はコンスタントに 80 から 90% の出席率を得ることができたのである。ただし、Merovich や Zelkowski によるとクリッカーの回答の成績へ反映率を 5% 以下にした場合では出席率の増加はほとんど見られなくなった (Caldwell 2007)。

さらに、クリッカーの使用は学生が履修を途中であきらめてしまうことを抑制する効果もあるようだ。通常 8 から 12% の学生が定期試験までに履修をやめてしまっていたが、クリッカーの使用により約 4% に抑えられたのである。

また、名簿をまわすなどで出席を取る場合は正確な出席率を得られないばかりではなく、大人数の授業になればなるほど、教員はその管理に莫大な時間を奪われてしまうというデメリットがある。これに対しクリッカーを使用することで、授業中に投票を行ったか否かで既に出席は取れていることになるのである。これは IT 機器を使用することによる大きなアドバンテージである。

3.6 成績への効果

先に述べたとおり、クリッカーが授業内容を長期記憶にする効果があるのだが、それでは実際に成績にはどのような効果が現れるであろうか。これについては Mays によって次のような報告がなされている (Caldwell 2007)。

同じ教員が同時期に受け持つ 2 つの同じ内容の数学の授業において、クリッカーを使用した場合としない場合で成績を比べた。すると、成績を上から A, B, C, D, E, F, 履修取り消し、と評価するとき、クリッカーを使用した場合、A を取った学生は 4.7% 上昇し、D, F, または履修取り消しであったものは 3.8% 減少したのである。

3.7 使用者のからの反響

クリッカーにより学習効果が上がるということを見てきたが、学生は従来のものに比べ、クリッカーを使用した授業をどのように感じるのだろうか。

また、教員側はどうであろうか。それでは、実際に海外の大学で、クリッカーを実際に使用した人から寄せられている意見を見てみよう。

まず、クリッカーを授業で使用することは「楽しい」、「有用である」、「使用すべき」であるかという質問に対し学生の解答はほとんど大学に依らず 70% 以上がポジティブな評価を下している (Beekes 2006, Bunce et al 2006, Simpson&Oliver 2006)。成績という無機質な値だけではなく、学生の授業に対する満足度も同時に上昇するのである。それを象徴するように次のような意見が学生から上げられている。クリッカーを使用した授業では、学生から見た教員は通常よりも良く見えるというのである。具体的には、学生が何を必要としているかとか、授業スタイルへの配慮に教員がよく気をくばっているように感じられ、さらには、親しみやすく、身近に感じるというのである (Jackson&Trees 2003, Nichol&Boyle 2003)。この教員と学生との間の壁を取り除くという効果は、通常では教員の個性によるものが大きくなかなか得がたいものであるから、この恩恵を考えただけでもクリッカーを使用したいと感じる教員は多いであろう。

また、「プリントでの質問とは違い、すぐに解答や正答率が見られるのがいい」「周りの人と相談しながら使用できるスタイルが好きだ」「良い休息になるし、理解したかどうかの確認になるので非常に楽しい」など、先に述べたクリッカーの主な有用点も学生に支持されている (d'Inverno et al 2003)。しかし、多くの学生がクリッカーに歓迎ムードではあるが、当然全てがポジティブな意見だけではない。例えば、「器具をいじりまわすのはやめて、通常のスタイルの良い授業に戻ってほしい」(Beatty 2004) という意見に代表されるような、紙と鉛筆のスタイルを好む学生からの不満も存在する。

一方、クリッカーを使用した教員はどのように感じたのだろうか。やはり、学生の意見と同様に多くはポジティブな意見であり、「簡単にリアルタイムで学生の理解度をチェックすることができ、活性化されるし、学生の集中力が増し、授業をするのが楽しい」というのが主な意見である。他にも「クリッカーを使用している授業では居眠りしている学生を見たことがない」(Beatty 2004) など、その効果に感激している教員も多い。また、教員からのネガティ

ブな意見は主としては、IT 機器のトラブルに関するものとなっている。

3.8 コミュニケーションとクリッカー

クイズなどで比較的総合的な問題や高度な問題の場合、正答率が低くなる。このようなときには、みんなで話し合いをさせてもう一度答えさせる。わかっている学生はわかっている学生を説得する技術を学び、わからない学生は議論する技術を学ぶことができる。最も、議論の時間は短期間であるため、コミュニケーション能力の向上については限定的な効果であろう。実はこうした議論は学習理論的にも有用であることが知られている。社会的認知構成主義学習理論という立場では、みんなで共有した知識は、より長期的に記憶が保持されやすいということである。

3.9 能動的学習授業の容易な実現

このように、クリッカー導入の利点を見てきたが、この過程で意識の大きな変革があることに気づく。すなわち、授業では教員がどれだけの情報を“言ったか”ではなく、学生がどれだけ理解できたかが重要である点である。このように、教えるという教員側の行動と学習という学生側の行動を分ける必要がある。そして、最も効率よい学習のための授業を授業の第一に置く必要がある。すなわち、クリッカーによる授業の改革の要点は、今までの教員が授業を完全にリードしていくという、教員中心の授業から、学生の理解度や意見によって授業を運営していくという、学生中心の授業に変革している点であろう。

一般に従来の学生が受動的に授業を受ける形態を離れ、自ら考えたり議論したりすることを教える授業を、「能動的学習授業」(Active Learning Classroom) (Hake 1998) という。このような学習形態は、認知構成主義的な学習理論に基づき提唱されている (Redish 2003, Mazur 1997, Crouch&Mazur 2001)。特に先入概念と教えられる法則との衝突が激しい物理の分野において盛んに研究されてきた。たとえば、物理の分野では MIT の「Technology Enabled Active Learning」(Technology-enabled active learning 文献参照)

が現在代表的な例である。ここでは、授業と実験、議論などを少数グループに分けて一括して行う。このような学生が自ら考えることを主眼とする授業形態は、様々な形が提唱されている。

しかし、ほとんどの場合、運用する教員に過度な準備や運用のテクニックが必須となる。このため、込み入った能動的学習授業の形式では、教員によっては通常の講義の方がよい結果になる場合も多い。その典型的な例が日本の小中学校で実施された例であろう。日本の小中学校において社会的認知構成主義的理論により、議論をする授業が推奨された。しかし実際にはこうした授業が破綻した原因もこのような能動的学習の不安定性が一因であるものと思われる。

一方、クリッカーによる能動的学習授業では、こうした不安定性がほとんどない。それは、クイズの導入は通常の授業に大きな変更を及ぼさないからである。つまり、通常の講義に、クイズを導入するだけで簡単に能動的学習授業が実現できるのである。クイズでは、みんなに議論させてもその影響はクイズ内で限定的であり、議論の運用の失敗はほとんどない。もちろんクリッカーを導入したりしなくてもクイズ形式の授業は実現可能である。実際に、北大物理でも、クイズ形式の授業とそれを支える自習のシステムを構築してきた (鈴木久男 et al 2006, 鈴木久男 2007)。このクイズ形式の授業が、クリッカーの導入でどう変わったのかは後の章で報告する。

4. 日本におけるクリッカーの必要性

4.1 卓越性と平均性の確保

アメリカでは以上のような理由によりクリッカーが非常に普及してきた。それでは日本の大学でクリッカーが有効になってくるのであろうか？まず、日本の主な大学の事情について振り返ってみよう。大学にとって、すぐれた学生には高度な教育の機会を与えると同時に、全体の学生には最低限度の教育を保証するという、「平均性と卓越性」の確保が非常に重要な課題である。

日本において、少子化の影響などにより、大学

全入に近い状態が実現されるようになってきた。競争意識の低下や、高校における受験への効率的な対応法の進化などにより、同一大学であってもその学生の学力の多様化が進んできている。このような多様化に対しては、きめ細やかな対応のためには少人数教育が有利である。実際に様々な大学が少人数教育を打ち出す傾向がみられる。これは、学生の父兄などが、学生が手厚い教育を受けているかどうかの目安としているのも原因であろう。しかし、この少人数教育は、教員間のチーム的取り組みがなければ教員間に教える内容や教え方などの格差を生じさせる。その結果、少人数教育では教育に必要な平均性の確保が困難となる傾向がある。

また、能力別学習は大学においては必ずしもうまく働かない側面がある。それは、多くの学生が知的好奇心でのみ授業を受講するわけではなく、できるだけ最小の努力でよい点数をとるという最適化作業を行う傾向が強いからである。したがって、難易度別クラスでは、できるだけ易しい授業に集中する傾向が見られるのである。

それでは、大教室の授業ではどうであろうか。大教室の授業においては、平均性の確保が容易な反面、多様な学力に対する対応が問題となる。特に、大規模授業では、授業についていけなく、無気力な学生の割合が増加する傾向にある。どのレベルにターゲットを絞ればよいのか、同じ学年の同じ授業においても年度ごとに平均レベルが異なることもあり、対応が困難になる。このように、平均性と卓越性の確保はどの大学にとっても難しい課題である。

4.2 大規模授業の改良の利点

現在、教員の負担軽減の観点や収益性の観点からでも大規模授業は避けられない。先に述べたように、平均性の確保のためには、大規模授業は有用である。このため、大規模授業ならではの平均性の確保を生かしながら、少人数教育のきめ細やかな対応を導入することが、良い授業を安定的に供給する上で不可欠の要素であると言える。このような日本の状況は、もともと多様性の社会であるアメリカの状況に近づいてきている。そのため、日本においても大規模授業においても少人数教育のような学生からのフィードバックをかけることが重要となってくる。この意

味で、日本においてもクリッカーが有用であろう。実際、学生全員に個別のクリッカーを持たせることにより、授業や説明会の出席確認や、小テストなども簡単に行うことが可能となり、大学として事務系統のコスト削減と、教員にとっても採点や集計の省力化など利点が多い。

5. クリッカーのその他の利点

5.1 クリッカーの通信手段の種類

クリッカーの通信手段としては、大きく分けて2種類存在する。一つは、テレビのリモコンなどと同様の、赤外線を利用したタイプである。これは、リモコンが安価であるという利点がある。たとえばアメリカの大学では、大手の出版社により赤外線タイプのリモコンが売られており、10ドル程度で購入することができる。赤外線タイプは安価である反面、到達距離が5メートル程度であり、大教室で用いるためには、多くのアンテナをあらかじめ天井などに取り付ける必要がある。もう一つは電波を利用したタイプである。無線LANと同じ周波数帯の電波を用いるため到達距離は60メートル程度となりレシーバーが一つですむ。そのため、教室にあらかじめレシーバーを設置する必要はなく、大規模教室では電波タイプの方がすぐれている。ただし、リモコンは1つ1万円以上と高価である。アメリカでは学生からデポジットをとって学生に配布し、必要がなくなった学生から回収するシステムをとっているところもある。このようなシステムを採用すればクリッカーの導入は比較的容易なものになっていくだろう。

5.2 コースマネージメントシステムとの連携

Web-CTなど大手のコースマネージメントシステム(CMS)が学内にある場合、受講者リストの入手やクイズの結果をCMSに報告することが容易に行えるためより利点が大きい。ただし、残念ながらここ北大ではそうしたCMSは採用していないため、クイズの結果を成績に反映させる場合、出席やクイズの結果が記されたエクセルファイルを集計する必

要がある。

6. 日本の大学初となる北海道大学におけるクリッカーの導入

6.1 北大での導入

北海道大学で導入したクリッカーはアメリカの大手の一つである、TurningPoint 社製であり、アジア向けには“Keepad”という製品名で販売されている。アメリカで市販されているクリッカーはどれも機能に大差はないことが報告されている (Burnstein&Lederman 2003)。2007 年 1 月にオーストラリアの代理店との交渉を開始し、2007 年 3 月に 270 個のリモコンと 3 つのレシーバーを輸入、そして 2007 年 4 月より授業での運用を開始した。2007 年前期において、水産学部と医学部の「基礎物理学 I」、そして「入門物理学」の 3 クラスでクリッカーによる授業を実施した。また、後期には、水産学部 2 クラスにおいてクリッカーを使用した。またその他に、他学科への貸し出しや高校生向けの授業などにも活用してきた。その後、東京農工大学などでも導入され、2007 年 12 月の物理教育学会における発表を契機に、現在さまざまな大学において導入が進められるようになった。2008 年現在、この製品は国内でも手に入れることができるようになっている。

6.2 クイズの形態と効果的使用法

これまで見てきたように、授業の活性化、記憶の定着率増加、休憩の役割などクリッカーを使用するだけで比較的簡単に色々な恩恵を受けることができる。しかし、クリッカーをより効果的に使用するには、意識的に作戦に基づいた出題をしなければならない。さもないと、特に視聴者を教育する必要があるテレビのクイズ番組と変わらないものになってしまうのである。それでは、問題はどのようなことを念頭に作成すればいいのだろうか。海外では既に多くの試行錯誤のもと、効果的なクイズの出題の仕方が提案され、書物や論文にまとめられている (Banks 2006, Caldwell 2007)。

クイズは、基本的な概念の理解を問う問題がよいとされる。すなわち、自ら考えることを主題とする問題である。問題にも形態や難易度がある。難易度が高いものは皆で話し合っただけで答えさせることにも用いる。クイズの種類は、新しい話題の導入にして、その問題の解答を出しながら授業を進行していくクイズ番組形式と、概念が理解しているかどうかを試すクイズを入れるフィードバック型の問題とがある。

それではここで、クイズの問題や質問はどのように出題すると効果的であるかをいくつか紹介する。まず、特に授業の初期の時点で行い把握することで、授業の流れを整えるために役立つ質問を見ていこう。

・学生のバックグラウンドの把握

学生は様々な高校から集まり、また、特に近年はその年によって大きく履修範囲が変わったりする。そもそも教員は「これくらいは知っているだろう」と思ってしまいがちである。クラス全体での学習到達度の初期値分布を把握するための質問をすることで、授業のレベル調整を行うことは重要である。また、それを受けてその授業で目標とする到達点、そのために必要となるレベルを学生に明確に示すことも大切である。

・学生に最適な授業ペースの把握

授業の途中または最後に授業内容を自分の頭の中で処理できるスピードで行われていたかをチェックする質問をする (図 5)。昔ながらの黒板で行う授業において、学生は授業のペースが速く、ノートを取るのすら追いつかない、またはノートを取っただけで理解する時間がない、と思っている場合が多い。学生はあまり教員に苦情をいってこない傾向があるため、最後の授業アンケートで初めて知ることがよくあるのだ。これに対し、即座にクリッカーで時々調査してしまう事ができるのである。

次に毎回の授業で行うことで効果を上げられる質問を見てみる。

・予習や宿題のチェック

授業や実験、実習に必要な予備知識を前もって学生に予習しておいてもらう場合がある。また、宿題を出した場合も自宅で学習してもらわなければならない。しかし、学生は授業時間以外に勉強する習慣が乏しく、なかなか実行してくれないのだ。これに対し、それを行えば簡単にわかってしまうようなクイズを初めに入れることで、学生の自宅学習に対するモチベーションを作ることができるのである。

・ 学生の意見を聞く

困ったことに、学生は授業に関してあまり発言してこない。これをクリッカーの気軽に答えられるという利点を生かし、教員側から積極的に学生の意見を求めていく方がよい。近年多くの大学で授業改善アンケートが授業の学期末に行われることが多いが、それを待たずに、こちらからどんどん意見を拾ってリアルタイムで改善したほうが学生は自己アピールの重要性を認識するのである。

・ 前回の理解度チェック

長期記憶を形成するためには、繰り返し学習が必要である。そのため、授業の最初に前回のメインピックに絡めたクイズを行い、思い出させることは非常に効果的である（図5）。また、学生は次のステップに進む準備ができているか

を調査することにもなり、学生全体の習熟度の流れを把握することが出来るのである。

・ 勘違いを見つけ出す

学生が勘違いして間違った理解をする場合には、定番の間違うパターンがある場合が多い。わかりやすい授業にするためには学生が何がわからないかを把握していることが重要であるため、いかに不正解選択肢を巧く作るかに重点が置かれるべきである。

・ 最もらしい選択肢

学問において定義は重要であり、定義に穴があると多くの不適な場合を含んでしまうことを知ってもらうことが深い理解を生む。よって、一見最もらしい選択肢を入れることで、あやふやな理解から正確な理解へと導くことができるのである。

・ 新しい状況への適応

授業で扱った基本事項は、一見簡単に理解できるように見えても、実際に新しい状況にそれを当てはめてみようとしたときに、実は全然理解していなかったということがわかる場合が多い。このような、応用を求める問題に対応できるかどうかを試すことで、本当の理解へと導くことができる。

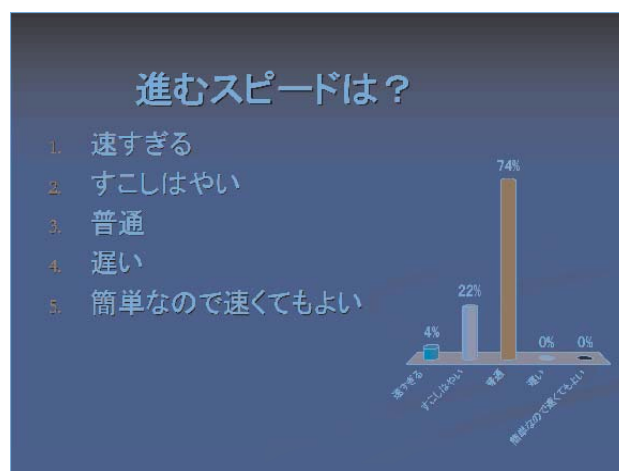
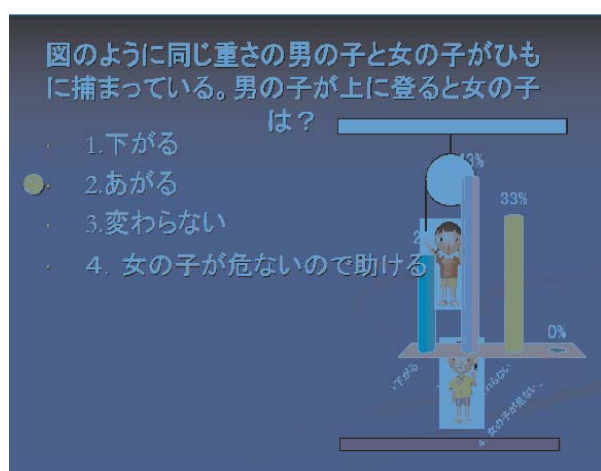


図5. クイズの例

・ 理解度の自己把握

授業の最後には、その日の内容のレビューのようなクイズを行うことで、学生各自が自分でどのくらい理解できたのかを自己確認させるようにしておくが良い。一般に、ノートを取ることで満足し、それを元に試験前に勉強しようとしがちである学生であるが、授業の各回で自分が遅れていないかを明確に把握させるようにするのである。

このように、クリッカーの使用は比較的簡単ではあるが、クイズをよく練るということを合わせて初めて大きな効果を上げられるのである。一般にクイ

ズは短く簡潔なものにし、読みやすく考えやすいものにすることが必要である。そして、学生は受身の立場ではなく、アクティブに自分で考え選択することで、学習に対する意識が変わっていくように支援することがクリッカーの最大の目標なのである。

このように、問題の作成にはいくつかの一般的な処方箋がある。しかし、実際に授業を受け持つ教員はこれらを念頭に、その授業ごとに具体的な問題を作成していかなければならない。大変な作業であるように見えるが、クイズの作成は意外と容易である。まず、主題として言いたいことをそのまま問いにし、間違えそうな選択肢を余分につけるだけでよい。また、大きい順や歴史順などの問題も注意力喚起に効果的である。このように、自分で作るのにな

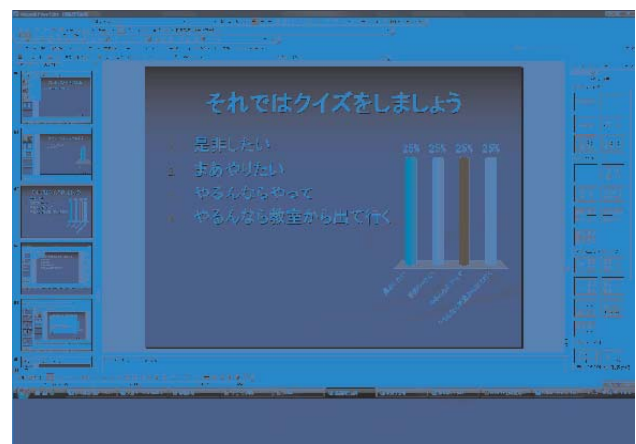
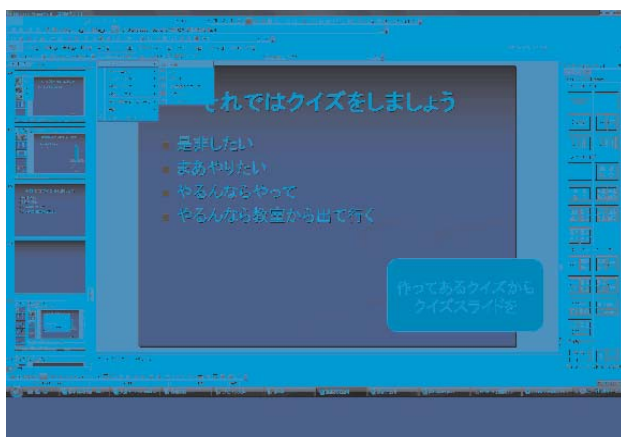
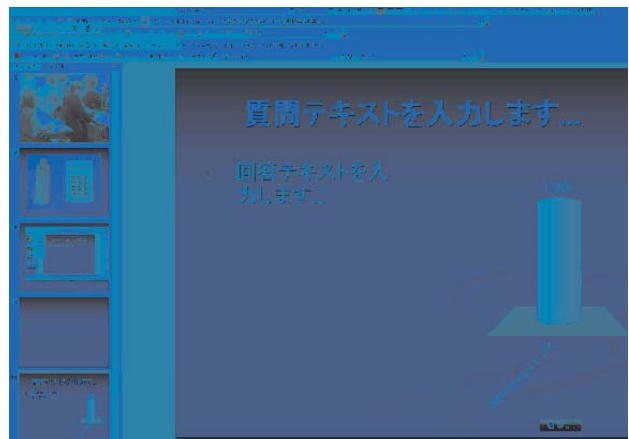
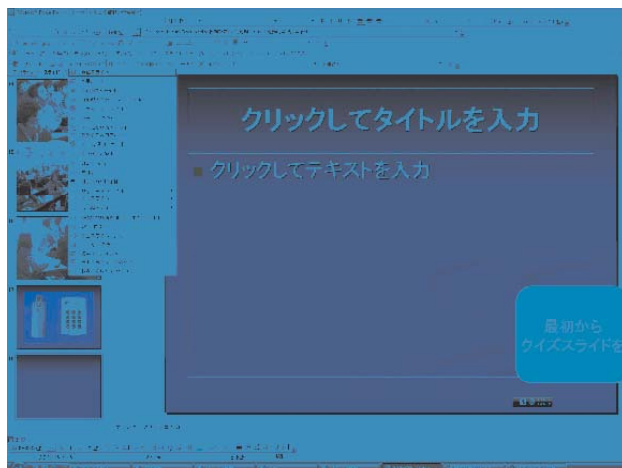


図 6. クイズの作成 “TurningPoint”

ければ、まず、日本の公務員試験や資格試験、および外国の各種検定試験を参考にするとよい。英語では TOEIC などの問題、その他では、SATII, GRE, MCAT, Advanced Placement など、アメリカの各種試験の 4 択問題を参考に作成すればよい。これらの問題集は、主要な本屋のウェブサイトで見ると、簡単に収集することができる。

6.3 クリッカー使用の教員側での準備

教員はまず PowerPoint 用のプラグインとして働く “TurningPoint” というソフトウェアと、USB 接続のレシーバー用ドライバをインストールする。すると、通常の PowerPoint のメニューに新たにクイズスライド用のメニューが現れ、これにより簡単にクイズを作成することができる (図 6)。

リモコンは 2.4GHz 帯の電波を利用しており、到達距離約 60m で、同時に 1000 人まで受信することができる。また、受信送信チャンネルの設定により、同時に 83 クラスまで使用することができる。

6.4 授業における実際の運営

クイズの実際の運営では、テレビのクイズ番組の司会者を参考に、問題を読み上げ、解答をさせる。回答数はその都度画面のメニューに現れる。解答を終わらせると、画面に意見分布がパーセンテージで現れる。

正答率が 50% 以下の場合には、みんなで話し合いをさせてもう一度集計してみる。正答率がきわめて低い場合には適宜ヒントを与えていく。集計が終わった段階で、「それでは正解を見ましょう。正解は…」と言ってノートパソコンの Enter キーを押すと、正解を表すマークが現れる。ここで正解をすぐに見せないで、少し間をおくのがこつである。その後、この問題の解説をしていく。学生がクイズ番組の解答者になるので、集中して理由を聞き入る学生がほとんどである (図 7)。

また、学生にコース最初にリモコンを渡すなどしておく、個々の学生の正答率が集計されるので、これを成績に反映させることができる。海外を視察した際に、U.C.Berkeley のスタッフも同意見であった。だれでも、自分の努力が結果に反映されるのを好むわけで、こうしたクイズ結果の成績への反映も学生の意欲をかき立てることになる。確かに、2007 年の後期の授業で成績への反映を実施したが、学生の意欲の高さを確認できた。ただし、学生一人一人にあらかじめ渡しておく、同じリモコンを複数クラスで使うことができなくなる。クリッカーの問題についての注意は文献 (Caldwell 2007) にもまとめられている。

6.5 クイズにおけるクリッカー以外の選択肢

クリッカーと同じことを、学生に手を挙げさせる

図 7. 授業風景

などして行うことができる。しかし、学生は一般に他の学生の意見に影響を受けやすいためクイズが困難である。「基礎物理学」のクラスでは、あらかじめ配った紙で答えさせることも行っていたが、だんだん学生も飽きてくる現象が生まれた。また、クイズの正答率などが記録されないため、次の年の改善にとっては、クリッカーが有利である。こうした匿名性の重要性は海外の文献などでも紹介されている。また、クリッカーの何よりの利点は、クイズの結果がパソコンに保存される点である。これにより、授業では何が理解しにくいかの検討や、クイズの改良などが簡単に行えるのである。

7. クリッカーの欠点と対処法

7.1 クリッカー導入費用の問題

クリッカーの導入での大きな問題の一つが、その導入費用であろう。電波を通信に用いたクリッカーは現状では高価である。これをどのように負担するかが普及の鍵になる。アメリカでも、その方法はいくつかのケースに分かれる。大きく分けると学生が購入するのか大学が購入するのかである。大学が学生にデポジットをとって渡し、学生がいなくなったクリッカーを回収することも行われている。実際学生が個別のクリッカーを絶えず携帯するようにすれば、出席確認なども大幅に簡素化され、クリッカーによる小テストの集計なども簡単に行えるため非常に便利になるだろう。さらに、Web-CTなどのCMSに連動させると授業の管理にも役立つ。ここ北大ではそうしたCMSが存在しないので連動してどのような利点が生まれるのか確認できないのが残念である。

7.2 情報量の制限の問題

クイズ形式の授業では、考えさせるクイズに時間を取られるため、講義に比べて情報量が減少する。この問題をどうするかについては幾つかの選択肢が考えられる。一つは、むしろそれまでの授業では、学生が消化しきれないくらいの情報を発信していると考えられる場合である。この場合授業ですべて

を「言う」のをやめて、自習が可能であるくらいの重要な概念の理解に力を入れることである。この場合、自習あるいは宿題を前提として授業をすることになる。実際、基本概念の理解が授業で行われるようになると、テキストでの自習が容易になる。一般に、学生は授業で解らないと、家でノートをみてテキストを読んでも内容がわかりにくいため、自習時間が増加し、自習自身を放棄する傾向がある。すると定期試験前には理解することよりも短期的な記憶を優先して試験に臨むことになる。一方、授業で基本概念が理解できた場合、自習は容易になることが期待できる。海外でも Just-In-Time-Teaching などの Web-base の自宅での能動的学習と組み合わせる試みがなされている (Caldwell 2007 のリファレンス参照)。

もう一つの考え方は、今までの講義のスタイルを大きく変えることなく、あまり考えなくてもよいクイズを中心に進めていくことである。この場合には、クイズのための時間は最小限に抑えられるため授業には大きく影響を与えない。

7.3 クイズ形式が限られる問題

クリッカーを用いたクイズの場合、択一式などのクイズに限られる。そのため、なぜその答えを選んだのかなど、理由を聞くことに対して制限が加わる。これに対しては、PDA を Web ベースのソフトウェアなどで扱うことにより、クイズの形式を増加させる試みなどがなされている (Robert 2001)。

また、研究などのためには、問題を解くことよりも、自分で疑問を感じ、新しい問題を作ることが重要である。このような能力は択一式のクイズでは養われない。しかし、このことは、通常の講義でも養うことができないので、自由課題レポートなどで補う必要がある。また、宿題で学生にクイズを作ってくるようにするのも一つの考え方であろう。

8. 北大物理授業でのクリッカーの使用報告

以下にそれぞれのクラスでクリッカーの使用の効果をレポートする。クリッカーの医療、保健分野へ

の導入や、経済や法学部などの文系科目への応用は海外の文献 (d'Inverno et al 2003, Schachow et al 2004, Latessa&Mouw 2005, Uhari 2003) を参照してもらいたい。

北大の水産学部を対称とした物理パイロット授業では、海外の能動的学習授業を日本の教育にあわせて改良を続けてきた。クイズ形式の授業においては、物理概念の定性的な解析に重点を置くことになる。授業では、クイズをすることによる説明時間の短縮を、CGを用いた可視化を用いての説明により解消する。また、定量的、抽象的な解析は、自習のための動画入りテキストを作成して克服してきた (鈴木久男 et al 2006, 鈴木久男 2007)。また今現在、Web-baseでの自習システムの制作が進行中である。コースの改良やデータの収集のために教育用実験器具の概算要求によりクリッカーを導入した。

以下の教育上のデータの収集がクリッカーで簡単に行うことができたのも注目に値する。教育用データの簡単な収集により、クリッカーは、教授法の進歩にも多大な影響を与えていくだろう。

8.1 「入門物理学」でのクリッカーの使用

「入門物理学」は、最低限度の科学的知識と理解を目指した「入門科学」の一環となる全学共通科目である。北大において2006年度から構成が始

まったが、当初の目標は文系の学生に対しても環境などの社会的問題においても自ら判断できるだけの自然科学的素養をもつことや、科学的世界観の構築など、サイエンスリテラシーの理念にのっとっている。アメリカではこのようなサイエンスリテラシーにのっとったコースとして、「Conceptual Physical Science」(Fies&Marshall 2006) や「Joy of Science」(Hewitt et al 2003) などすぐれたコースが登場している。日本においてもこのような大局的見地にたった科学のコースがこれから整備されていくことが期待される。このコースは、Web-baseのラーニングコースの共有など現在他大学との連携も含めてコース設定を検討中である。担当教員は、2007年度からこのコースを担当し、クリッカーを使用した。このクリッカーの使用については学生からは好評であった。実際学生の95%がクリッカーを使ってよかったと答えている。また、こうしたアンケートもクリッカーを用いて容易に行うことができた (図8)。また、89%が能動的学習を支持した。ただし、クリッカーの使用のための準備のため、コースカリキュラムの設定がまだ不完全であった。テキストについては、40%が、難しいまたはやや難しいという答えであった。実際にクリッカーのための準備を優先したために、テキストやコース整備が未だ不完全であったことを裏付ける結果となっている。これは、外国の同様のコースの検討が不十分で



図8. アンケート

あったことが原因であり、これからの改善事項である。こうした欠点の調査もクリッカーで簡単に行了った点にも注意しよう。

8.2 「基礎物理学」におけるクリッカーの使用

医学部向けの授業でも半期の間クリッカーを使用した。医学部学生は全学でも最もレベルが高い。そのため、クイズとしても容易なものだけでなく、難問も数多く用意した。力学と波動の分野では、現在までで、授業での問題を 150 題以上用意できたので、学生のレベルに十分な対応を取ることができる。ただし、教授内容そのものは、水産学部などと同じである。毎回、2 割程度の正答率の問題もあり、非常に良くできる学生にも好評であった。実際、高校生を対象とした授業のときにも、高校の先生も間違えるクイズもあった。このクラスにおいてもリモコンの使用については 90% 以上が支持した。ただし、クイズの結果を成績に結びつけることをしなかったせいか、当初 100% であったクイズへの回答率が 60% 程度まで下がってしまった。こうした傾向は、クリッカーを用いないときにも見られた。

水産学部における「基礎物理学」では、クイズの正答率を成績に反映させることにした。また、学生の習熟度を把握しながら講義を進めることができ、非常に大きな効果があったと考えられる。効果は受講生を対象にしたアンケート結果に見られる。

学生の感想：

< ポジティブな意見 >

1. クイズは楽しい。
2. Keepad を用いた参加型授業はその場で問題を解き、直ぐに解説があるので良い。
3. クイズについて、面白いし良いと思う。点数に繋がるのも良いと思う。
4. Keepad を用いたクイズ形式は点数に繋がるので、授業中しっかり考えられるし、自分がわからなかったり、出来ないところが直ぐに分るので復習の方法も直ぐ分り役立つ。
5. クイズは気分転換になるので続けてほしい。
6. クイズがあることで授業に集中しやすい。
7. クイズがあったほうが授業中に考えることが

出来てよい。

8. 今回のクイズ形式は今までに経験したことがない参加型の授業で毎回楽しい。
9. クイズは眠気覚ましに丁度良い。
10. クイズが最近、少なくなったみたいなので、今後、少し増やしてもらいたい。(注：電磁気学後半のクイズ数が少ないため、来年度解消予定)
11. クイズの正解率を成績に反映されると、毎回の授業に興味を持って、真剣に聞く気になるのでよい。

< ネガティブな意見 >

12. Keepad システムは良いが、急に入力ができなくなるなど機械ゆえのトラブルが発生したりする。
13. 一旦回答するとその後、選択を修正できないのが欠点である。
14. リモコンが正常に反応しているか毎回不安である。
15. クイズの正解率を成績に反映しないでほしい。
16. 解答時間を成績に反映させるのは、じっくり考えたいという理由から、できれば止めてほしい。

今回クリッカーを導入したクラスから、以上のような意見がよせられた。平成 18 年度、19 年度の水産学部の 1 年生を対象に「基礎物理学 II」でクイズ形式の授業を 2 つの方法で行った。平成 18 年度はクイズの解答をカードで行い、平成 19 年度はクイズにクリッカーを導入し、それぞれ参加型授業を行った。その結果、回答率と学生の受講態度に大きな差が現れた。平成 18 年度に用いたカードで回答を行う場合には、全体の講義回数、14 回において前半は学生各自考えながら約 100% で回答を示すが、後半になると徐々に回答率が低下すると正解率も低下する様子が見られた。これは講義のスタート時は、ものめずらしさと緊張感から学生はクイズに回答するが、学生がクイズ形式に慣れてくると純粋な物理への興味は、眠気に勝てなくなるようである。一方、平成 19 年度にクリッカーを導入した場合には、回答率は講義の第一回から最終回までほぼ

100%であった。正解率に関しては問題の難易度によっても大きく左右されるが、いい加減な回答が平成18年度と比べて格段に減少した。これはクリッカーによって回答率を成績に反映させたため、学生のアンケートでは(15)と(16)のように不評であったが、多くのポジティブな意見にあるように最後まで集中して授業に臨めた結果であると思われる。また、電磁気学においては、クイズの数が十分とは言えず、(10)のような解答もあった。この点は、2008年度に解消する予定である。

9. 結論

クリッカーを用いた講義では、学生の授業に対する能動性が非常に高まることがデータにより確認できた。また、クイズやアンケートなど、クリッカーを用いて簡単に行うことが可能である。このため、学生の理解度のリアルタイムでの把握による、教員の教授法改善に対する効果は非常に高くなる。クリッカーは大規模授業での欠点の解消に効果的であるといえるだろう。2008年2月現在、すでに多くの大学がクリッカーの導入を検討しており、今後教育現場で必須なものとなっていくと思われる。

大学当局が各教員の教授法改善を望むのなら、クリッカーの導入は非常に大きな効果を生むものと思われる。クリッカーの導入は、教員サイドからは、出席や理解度確認のためのクイズが容易に行える点が利点であり、その結果各教員の教授法の進歩が自然に促される。クリッカーは学生に対してというだけでなく、教員の教授法向上につながる有益な道具である。日本におけるクリッカーの導入は今始まったばかりであり、今後その導入により、学生の現状把握が多くの教員に可能となり、それは全教育の質の向上につながっていくであろう。

文献

- S.K.Abell and N.G.Lederman (2007), “*Handbook of Research on Science Education*,” Lawrence Erlbaum Associates Publishing
- D.A.Banks (2006), “*Audience Response Systems*

- in Higher Education*,” Information Science Publishing
- I.D.Beatty (2004), “Transforming student learning with classroom communication systems,” *EDUCAUSE Center Appl. Res. (ECAR) Res. Bull.*, 2004(3), 1–13
- W. Beekes (2006), “The “Millionaire” method for encouraging participation,” *Active Learn. Higher Educ.* 7(1), 25-36
- D.M. Bunce, J.R.VandenPlas, and K.L.Havanki (2006), “Comparing the Effectiveness on Student Achievement of a Student Response System versus Online WebCT Quizzes,” *J. Chem. Educ.* 83(3), 488-493
- R.A.Burnstein and L. M.Lederman (2003), “Comparison of different commercial wireless keypad systems,” *The Physics Teacher* 41, 272–275
- J.E.Caldwell (2007), “Clickers in the Large Classroom: Current Research and Best-Practice Tips,” *CBE-Life Sciences Education* 7, 9-20
- Crouch C. H. and Mazur E. (2001), “Peer instruction: Ten years of experience and results,” *American Journal of Physics* 69, 970–977
- R.d’Inverno, H.Davis and S.White (2003), “Using a personal response system for promoting student interaction,” *Teaching Mathematics and its Applications* 22, 4, 163-169
- C.Fies and J.Marshall (2006), “Classroom Response Systems: A Review of the Literature,” *Journal of Science Education and Technology* 15, 101-109
- R.Hake (1998), “Interactive-engagement versus traditional method: A six-thousand student study,” *Am. J. Phys.* 66, 64-74
- J.D.Herron (1996), “*The Chemistry Classroom, Formulas for Successful Teaching*,” American Chemical Society.
- P.G.Hewitt, J.Suchocki, and L.A. Hewitt (2003), “*Conceptual Physical Science*,” Addison Wesley.
- M.H.Jackson and A.R.Trees (2003), “*Clicker Implementation and Assessment*,” <http://comm.colorado.edu/mjackson/clickerreport.htm>.
- Johnstone A.H. (1997), “Chemistry Teaching—Science or Alchemy?,” *Journal of Chemical Education* 74, No.3, 262-268; G.A.Miller (1956), “The magical

- number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information,” *Psychological Review* **63**, 81-97 ; 学習理論の簡単な解説は, たとえば, R.C.Clark and R.E.Mayer (2003), “*e-Learning and the Science of Instruction*,” Pfeiffer
- C.Keller,N.Finkelstein,K.Perkins,S.Pollock,C.Turpen, and M.Dubson (2007), “Research-based Practices For Effective Clicker Use,” 2007 Physics Education Research Conference. *AIP Conference Proceedings* **951**, 128-131
- Mazur, E. (1997), “*Peer Instruction: A User’s Manual*,” Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ
- D.J.Nichol and J.T.Boyle (2003), “Peer instruction versus classwide discussion in large classes: a comparison of two interaction methods in the wired classroom,” *Stud. Higher Educ.* **28**(4), 457-473
- A.S.Psamentier,H.J.Hartman,C.Kaiser (1998), “*Tips for the Mathematics Teacher, Research-Based Strategies to help students learn*,” Corwin Press.: H.J.Hartman and N.A.Glasgow (2002), “*Tips for the Science Teacher, Research-Based Strategies to help students learn*,” Corwin Press
- E.Redish (2003), “*Teaching Physics with the Physics Suite*,” John Willey&Sons
- Robert M. (2001), “*Joy of Science*,” Hazen, The Teaching Company
- L.J.Robertson (2000), “*Twelve tips for using a computerized interactive audience response system*,” *Medical Teacher* **22**, 237-239
- T.E.Schachow,M.Chaver,L.Loya,M.Enedman (2004), “Audience Response System:Effect on Learning in Family Medicine Residents,”*Family Mediceni*, vol.36, 496-504; Latessa R. and Mouw D. (2005), ” Use of an Audience Response System to Augment Interactive Learning,” *Family Medicine*, 37, 12-14; M.Uhari, M.Renko and H.Soini (2003), “Experiences of using an interactive audience response system in Lectures,” *BMC Medical Education* **3**, 12
- V. Simpson and M. Oliver (2006), “*Using Electronic Voting Systems in Lectures*,” <http://www.ucl.ac.uk/learningtechnology/assessment/ElectronicVotingSystems.pdf>
- Technology-enabled active learning ウェブページ, <http://icampus.mit.edu/TEAL/>
- 鈴木久男, 細川敏幸, 山田邦雅, 前田展希, 小野寺彰 (2006), 「初等物理教育における能動的学習システムの構築」北海道大学高等教育ジャーナル **14**, 89-97 ; 鈴木久男 (2007), 「思考力と読解力不足をクイズと動画でカバー : 大学初等物理でのクイズ形式の能動的学習」大学の物理教育 **13**, 4-8