

## クリッカーを用いたピア・インストラクションの授業実践

兼田真之, 新田英雄

東京学芸大学教育学部 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1

米国で普及している、生徒応答システム（クリッカー）を利用した授業実践を行った。特に、インタラクティブな授業法である、生徒同士の議論（ピア・インストラクション、PI）取り入れた授業を試行した。また、個々のPIの効果を測定するための指標として、「PIゲイン」と名付ける量を導入した。PIゲインによって、特に効果的な問題群やPIの展開方法が明確化すると同時に、生徒の理解が進まない物理概念も数値的に把握できることがわかった。

**キーワード:** クリッカー, ピア・インストラクション, PIゲイン, 授業実践

### 1. はじめに

理科離れ、特に物理離れは日本だけでなく、世界的な傾向である<sup>1)</sup>。しかし米国は例外で、物理の履修率が向上している<sup>2)</sup>。その理由の一つに、伝統的な講義形式の物理授業から、教員と生徒の相互作用および生徒間の相互作用を重視した授業への転換があげられる<sup>3, 4)</sup>。Hakeは6000人の生徒を対象とした調査に基づき、インタラクティブな授業（以下、「相互作用型授業」と呼ぶ）の有効性を、数値によって劇的に示した<sup>5)</sup>。

相互作用型授業のひとつの典型はLawsらが進めてきたワークショップ型授業<sup>6)</sup>であり、他の典型は、Mazurがピア・インストラクション（PI）と名付けた<sup>7)</sup>、生徒同士の議論を取り入れた授業である。ワークショップ型授業は、カリキュラムと設備を同時に大きく変える必要があるのに対し、PIは自分の授業スタイルに応じて取り入れることができ、かつ十数人規模の少人数クラスから数百人規模の大クラスまで幅広く適用できる、柔軟な手法である。また、クリッカーと呼ばれる生徒応答システムを利用すると、教育効果を容易に数値化できる。

本論では、まず、PIの概要を示す。次に、PIの効果数を数値化するための量として、「PIゲイン」を導入する。続いて、PIを取り入れた授業の実践内容とその効果を、PIゲインを利用して分析する。

### 2. ピア・インストラクション

#### 2.1 ピア・インストラクション（PI）とは

クリッカーを用いたPIは、次の4つのプロセスからなる<sup>3, 7, 8)</sup>。

- ①選択肢問題をスライドで出題する。
- ②生徒にクリッカーで解答させる。
- ③付近の生徒同士で議論させる。答えが異なる相手に対

しては自分の答えの論拠を述べ、説得を試みさせる。

④同じ問題に対してもう一度クリッカーで解答させる。

⑤正解を示し、解説する。

図1に、クリッカーで生徒に解答させた後のスライドの例を示す。

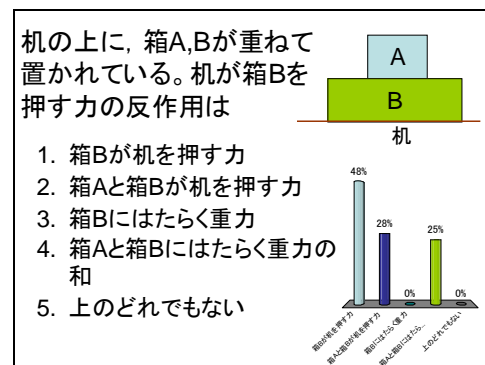


図1 問題と解答分布の表示例

クリッカーシステムの特長の第1は、生徒が匿名性を保ちながら解答できることである。そのため、正解・不正解に関係なく、解答を送信するごとに点数を与えるなどの策を併用すれば、ほぼ確実に生徒は解答を送信する。挙手などではなかなか判断を示さない生徒にも、自分なりの答えを持たせることができる。このように、クリッカーは、生徒を能動的な学習に抵抗感無く引き込む道具として有効である。

第2は、解答分布がすぐに表示されるため、生徒の理解度をその場で確認できる点である。これにより、生徒が理解していると思い込んで授業を先へ先へと進めてしまおうといった不幸な事態を、未然に防ぐことができる。特に物理のような積み重ね型の科目には有効といえる。解答分布を見せることは、生徒に対しても、授業への参

加意識を高めるのに有効である。特に、解答分布が割れると、生徒から驚きの声があがり、問題への関心がクラス全体で高まっていく様子が見られる。

上記の①②に加え、③④の手続きを行うのが PI である。生徒同士の議論はしばしば不正確であったり曖昧であったりするため、教員としてはPI の効果に疑問を持ちやすい。しかしながら、同レベルの生徒同士が教えあうことは、教員が想像する以上に効果的であることが示されている<sup>7)</sup>。なお、生徒同士が議論をしている間は、教員は生徒の議論に耳を傾けるだけに止め、教えてしまわないように気をつける必要がある。教員にとっては、この聞き取りの時間が、生徒の考え方や理解度を詳細に知る貴重な時間となる。ここでも、教員が想定する生徒の理解度と、討論内容から察せられる実際の生徒の理解度とのギャップの大きさに気づかされる場合が多い。

## 2.2 ピア・インストラクションの効果測定

Hake は、物理授業の効果を比較するために、次式で定義される「規格化ゲイン」(以後、単にゲインと呼ぶ)を導入した<sup>5)</sup>。

$$g = \frac{S_f - S_i}{100 - S_i}$$

ここに  $S_i$  と  $S_f$  は、それぞれ、効果を測定したい授業期間の前後(1学期の始めと終わりなど)に実施されたテスト(事前テストと事後テスト)の、クラス全体での平均正答率(%)を表す。当然ながら、事前・事後テストは同じ問題でなければならない。Hake の調査では、FCI<sup>9)</sup>を用いている。ゲインの意味は、授業終了後のテストが満点( $S_f=100$ )のときは  $g=1$ 、最初と変わらなかった

( $S_f=S_i$ ) ときは  $g=0$  となることからわかるように、授業の効果を規格化して表す数値である。ゲインを用いれば、様々なレベルの高校や大学で行われている物理授業の効果を、母集団の違いを超えて比較することが可能となる。

ゲインの考え方を援用して、筆者らは、個別問題に対するPI の効果を数値化するために、次の量を導入した。

$$g_{PI} = \frac{(\text{議論後正答率}\%) - (\text{議論前正答率}\%)}{100 - (\text{議論前正答率}\%)}$$

本研究では、 $g_{PI}$  を「PI ゲイン」(peer - instruction gain)と呼ぶ。PI ゲインを導入した目的は、以下の2つである。

- (i) 様々な場面でPI を行うことによって、特に教

育効果の高い利用方法を見いだすこと。

- (ii) 生徒の理解が進まない物理概念をPI によって見いだすこと。

Hake のゲインが授業効果の全体像をとらえる指標であるのに対し、PI ゲインは、授業の細部を検討するための指標となることを目指すものである。

## 3. 高校授業でのピア・インストラクション

### 3.1 ピア・インストラクションの実践

PI を高校物理の授業に組み入れて実践した。対象は、東京学芸大学附属高等学校の2008年度2年生3クラス129名が履修する物理(必修2単位)である。著者の一人(兼田)が非常勤講師として担当し、30題のPI を、主に力学、波動分野において行った。

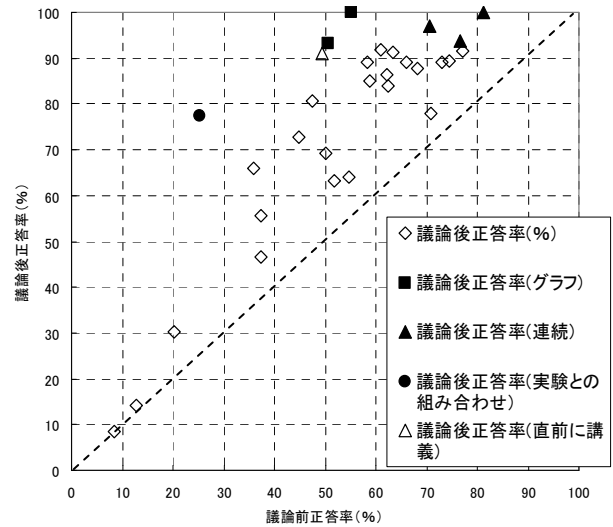


図2 議論前正答率と議論後正答率

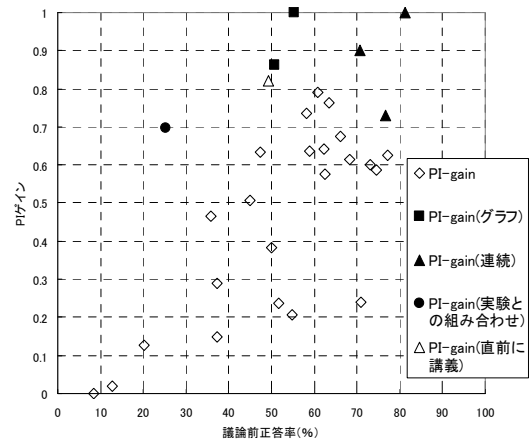


図3 PIゲイン

図2と図3に、実践したPIの議論前正答率と議論後正答率の相関を示したグラフと、対応するPIゲインのグラフを示す。なお、PIゲインの算出には、議論前と議論後のどちらにも回答している生徒のデータのみを用いて行なった。これは、PIゲインが議論の前後での変化を示す量なので、未回答を不正解として扱くと、データの有効性が薄れると判断したからである。また、クラスによっては時間の都合でPIができなかった場合があるため、いくつかのPIでは母集団の数が異なっている。しかしながら、クラスごとのPIゲインの傾向自体が類似しているため、母集団の差がデータの傾向を大きく変化させることはないと考えられる。

図2、図3における全データの平均値は、議論前正答率が53.5%、議論後正答率が75.8%、また、PIゲインは0.55となった。また、3.2節で述べる例外的な事例を除き、通常の講義の後で行ったPIのデータとなっている。議論前の正答者が半分程度であることから、やはり講義だけで生徒が理解に至るのは難しいことがわかる。一方、議論後正答率が議論前に比べ、平均で20%以上も高くなることから、PIは生徒を正解に導くのに大いに効果があることがわかる。

### 3.2 PIゲインが高い場合

本節では、PIゲインが特に高かった事例(図2, 3の▲, △, ●, ■印で示したデータ)について述べる。

#### 3.2.1 連続で行なったPI

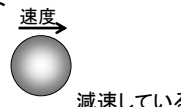
▲印は、同じような概念を問う問題を使って、PIを2回連続で行なった場合のデータである。続けてPIを行った問題例を図4に示す。このような状況では、議論前正答率とPIゲインが高くなっている ( $0.7 < g_{PI} \leq 1$ )。

PIを連続で行なう場合、1回目のPIの最後に問題の解説を行うので、2回目は、それを基に考えることができる。したがって、これらの問題では議論前正答率が高く、議論後正答率も著しく高くなる。これは、当然といえば当然であるが、PIは、事前に正しい考え方を獲得している生徒が多いほど効果的だからである。つまり、理解できている生徒が他の生徒を導くということで、議論の効果が顕著に現れる結果である。

以上のように、正しい考え方を身につけさせるためには、2回連続でPIを行なうと極めて効果的であることが、本研究で明らかになったことのひとつである。ただし、時間的な制約を考えれば、すべてのPIをこの手法で行なうことはできない。要所で行なうなどの工夫が必要で

ある。

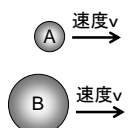
物体が減速しながら右向きに進んでいる。この物体に働いている力の向きを答えよ



1. 右向き
2. 左向き
3. 力は働いていない
4. これだけではわからない

物体A(5kg)と物体B(40kg)が同じ速度  $v$  m/sで運動している。これに同じ力を加えて止めるとき、先に止まるのはどちらか




1. Aが先に止まる
2. Bが先に止まる
3. 同時に止まる
4. これだけではわからない

図4 連続してPIを行った問題の例

#### 3.2.2 直前に考え方を学んだ場合

△印は、PIの直前に、考え方のポイントを講義した場合を表す。この場合、議論前正答率は目だてて高くはないが、議論の際に授業で教えた考え方をよく理解しようとしている生徒が多いため、それが議論の確かな拠り所となりPIの効果が極めて高くなったと考えられる。

以下はある時刻における、右に進む縦波の様子を横波表示したものである。最も疎な部分はx軸上のどこか。



1. アとオ
2. イとカ
3. ウとキ
4. エとク

図5 授業で考え方を示した問題

図5の、いわゆる「縦波の横波表示」問題が、当該のPIに使用したスライドである。出題の直前に、縦波を横波として表示する方法を講義し、疎密がどの場所に

なるかについても教えている。この問題に対する議論前の正答率は特に高くなく 49.4%であったが、議論後は 90.9%となり、PI ゲインは 0.82 となった。

### 3.2.3 実験を挟んだPI

図3には、議論前正答率が低いにも関わらず、PI ゲインが著しく高い点が左上に見られる(●印)。これは、生徒実験をPI の間に組み入れた事例である。

用いた問題を図6に示す。作用反作用の法則について簡単な説明をした後に、図6の問題を考えさせる。このときの正答率は 25.2%と低かった。その後、正解を言わずに、生徒実験を行なった。この実験は、力学台車2台に、等しい強さのバネをとりつけ、色々な条件でバネ同士を衝突させるというものである<sup>10)</sup>。バネの縮んだ長さが等しくなることから、作用反作用の法則を確認することができる。その後、議論をさせてから図6の問題を再回答させると、正答率は 77.3%となり、PI ゲインは 0.70 であった。

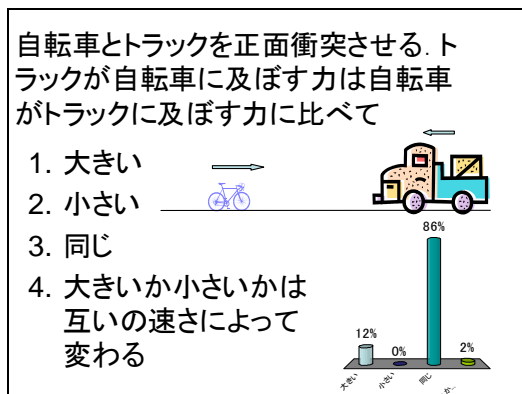


図6 実験を挟んでPIを行った問題

この例では、実験中に結果を見て「あれ？(縮みが同じだ)とつぶやいている生徒もいたことから、実験前に問題を考えることで、実験結果の予測を持つことができたと思われる。また、正答率が著しく上がっていることから、多くの生徒は、実験結果から正しい考えに至ることができたと考えられる。

上の事例のような、実験の間にPI を組み入れるという方法は、時間的な問題や単純な実験ばかりではないこともあり、本実践では1度しか試みることができなかった。この方法の有用性を検証していくことは今後の課題である。

### 3.2.4 グラフに関連した問題

■印は、グラフの読み取りを問う問題に対してPI を

行なった場合を表す。PI ゲインは、それぞれ 1, 0.86 と非常に高くなった。図7に示した問題例では、議論前正答率が 50.7%, 議論後正答率が 93.2%, PI ゲインが 0.86 であった。

これらの事例で注目すべき点は、グラフの読み取りかたを特に教えていないことである。それにも関わらず、生徒間の議論によって正解が急増した理由は、グラフの読み取りという能力が物理固有のものではなく、一般的な数理的能力であるからではないかと思われる。すなわち、物理そのものの難しさではない部分で誤答した生徒が、議論によってグラフの正しい見方(数理的処理)を容易に理解し、正答に移行したからであると思われる。

グラフの読み取りは、物理を学習する上で重要な技能である。それをPI によって生徒同士で身に付けられるという事例は、今後の教育方法にひとつの方向性を示唆するものと、我々は考えている。

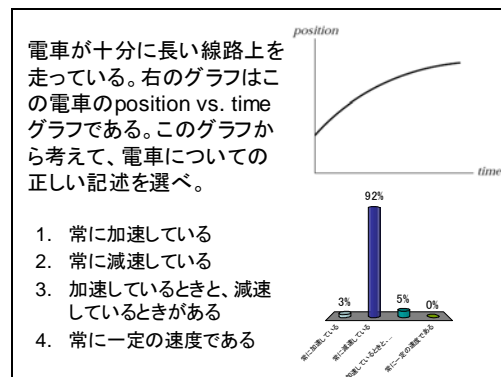


図7 グラフの読み取り問題の例

### 3.3 PI ゲインが低い場合

Mazurによると<sup>7)</sup>、PIが有効なのは、議論前正答率がおよそ 40~80%の範囲にある場合である<sup>a</sup>。議論前正答率が低ければ、誤答者を正解へ導ける生徒も少なくなるため、議論をしても直後の正答率はあまり上がらず、PIゲインも低くなる傾向にある。例えば図3左端の点は議論前正答率が 8.3%, PIゲインが 0 であった(図8の問題)。

しかしながら、議論前正答率とPI ゲインがともに小さいからといって、PI を行なう意味がないということにはならない。なぜなら、議論によって生徒の考えが誤答に収束した場合、正解を知ったときの生徒の驚きが非常に大きいからである。議論をしたのにも関わらずクラス

<sup>a</sup> ただし、議論前正答率が 40~80%の範囲に収まっても、正しい概念や理解に結びついていない場合もあることには注意したい。

の大半が誤答を選んでいったというのは、個人レベルでの誤りをはるかに超えた衝撃を生徒に与える。そのため、正答を示して解説を行なう際の集中力も上がるのである。

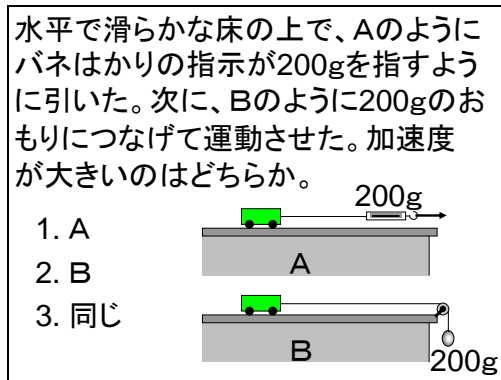


図8 正答率が極めて低い問題の例

PI ゲインが低い場合にも PI の効果が本当にあるのかを検証するために、議論前正答率と PI ゲインがともに小さかった、図3左下3点の問題に対し、定期考査で、類似あるいは同一の問題を出題した。その結果、定期考査での正答率は74.4%、87.6%、62.0%となり、PI 時の議論後正答率より大きく向上した。このことは、PI を行った効果が間接的に現れたものといえる。

なお、PI を行う利点のひとつとして、教員の予想に反して正答率が低い場合、すぐに対策を考えることができるという点が挙げられる。次の授業で重点的に解説するなどのフォローができるのである。このことも、定期考査の正答率が上がったことに関係していると思われる。

#### 4. おわりに

通常の授業形式で行う問題練習は、個人的な作業である。クリッカーを用いると、生徒の考えが瞬時に解答分布グラフに反映される。このことは、授業への参加意識を芽生えさせる。それだけでなく、クラス全体で問題を考えるという共同体意識も生まれてくるように感じられる。正解、不正解が生徒に与える印象も強い。生徒同士で議論することにより、自分の誤りや正しさを確認することができ、教員の解説にも自然に耳を傾ける。また、授業後の質問が増えたことから、問題によっては生徒の潜在的な疑問を顕在化する効果もあるようである。もちろん、教員に対するフィードバック効果も大きく、生徒の理解度を常に把握しながら授業を組み立てることができる。

PI は手軽に授業の中に組み入れることができ、しかも使い次第で非常に大きな効果が得られる。一方、1回

のPI を行には、5分程度の時間を要する。それにより、授業で扱える内容が圧迫されることは確かである。本実践では、従来からの授業内容を基本的に堅持したため、PI のための時間の確保が大きな問題となった。PI を本格的に授業に組み込むためには、やはり授業計画を練り直す必要があるだろう。

なお、クリッカーはPI に便利な道具<sup>11)</sup>ではあるが、必須というわけではない。番号を書いたカード1式を生徒数だけ作成し、クリッカーの代用品として使用すればよい。実際、初期のPI は、カードを用いて行われていた<sup>7)</sup>。また、Lasry は、クリッカーを用いたクラスとカードを用いたクラスで並行して授業を行い、ゲインに差が出ないことを示している<sup>12)</sup>。この見地からすると、クリッカーのメリットは、むしろ教育研究のための強力なデータ収集力にあるといえるかもしれない。

クリッカーのような道具を利用すれば、教育調査が飛躍的に容易になる。それによって、客観的なデータに基づく教育効果の研究が進展し、物理教育の手法とカリキュラムの普遍的な改善につながっていくことが期待される。

#### 引用文献

- 1) M.Kh.Khokonov, 大学の物理教育 10 - 3 (2004) 179 - 183.
- 2) <http://www.aip.org/statistics/trends/reports/hs05report.pdf>
- 3) E. Redish "Teaching Physics with the Physics Suite" (Wiley, 2003).
- 4) 新田英雄, 覧具博義, 物理教育 56-2 (2008) 132.
- 5) R. Hake, Am. J. Phys. 66 (1998) 64.
- 6) P. Laws, Am. J. Phys. 65 (1997) 14.
- 7) E. Mazur, *Peer Instruction: A user's manual*, Pearson-Prentice Hall (1997).
- 8) D. Duncan, *Clickers in the Classroom*, Pearson-Addison Wesley (2005).
- 9) D. Hestenes, M. Wells, G. Swackhammer, Phys. Teach. 30 (1992) 141.
- 10) 金城啓一, *Investigation In The Physics World* (2007) 212.
- 11) クリッカーの入手に関しては、例えば以下を参照：  
<http://www.keepad.com/jp/home.php>
- 12) N. Lasry, Phys. Teach. 46, (2008) 242.