

基礎物理学講義の FCI による評価

齊藤隆仁、川瀬 萌加¹

徳島大学教養教育院（仮称）設置準備室、徳島大学総合科学部¹

1. はじめに

古代ギリシャの哲学者アリストテレスは物体の運動を自然哲学に記してきたが、地上の物体の運動は「自然な場所」を探し求めるという性質に支配されているとした。ガリレオは斜面の実験を通して、落体の振る舞いを記述する際はアリストテレスの枠組みを捨て去り、加速という現象を取り込む新しい枠組みが必要になることを明らかにした。そしてニュートンは地上の運動も、天体の運動も、運動の法則によって記述されることを示した。基礎物理学の講義では、こうした法則を学習し、現象を定量的に記述していくことを通して、自然科学の考え方を理解できるようになることを目的としている。例えば、基礎物理学を学習することで、すべての学生は運動の第3法則（作用・反作用の法則）を暗唱でき、多くはこの法則を計算問題に適用することができるはずである。

ところが学習者は、学習する前から日常の経験を通して物理現象についての強い信念と直感をもっており、これを素朴概念と呼ぶ。これが学習すべき概念と異なる場合があり、これを誤概念と呼ぶ。誤概念は教材の解釈をゆがめ、素朴概念をほとんど変化させないことが指摘されている (Halloun & Hestenes, 1985)。

例えば、重量のあるトラックと軽量の車が衝突したとき、運動の第3法則によれば2台の車それぞれに働く力は等しいのであるが、誤概念では重量のあるトラックが及ぼす力が、軽量の車が及ぼす力より大きいと考える。また、運動の第2法則では物体に力を加えるとその方向に加速度が生じるのであるが、誤概念では速度方向に力が働いていると考える。

大学の基礎物理学の講義では数理計算による問題の解決を重視している。そのため学生は概念の理解を欠いたまま方程式を記憶しがちである。

こうしたことから学習を通じて誤概念が克服されにくいことが指摘されている。アリゾナ州立大学のディビッド・ヘステネスらは、ニュートン力学に関する学生の概念学習を調べるための30項目からなる選択式の力学概念調査 (Force Concept Inventory: FCI) を開発した (Hestenes, 1992)。この調査は、物理そのものの基本的概念を理解しているかどうかを把握するため、誤概念をもつ学生が答えると予想される選択肢を含んでいる。現在では24か国語に翻訳されており、国際的に広く普及している。国内ではFCIを指標として用いた物理教育研究が広がっている。このFCIを学習前に実施し（事前テスト）、学習後に再び同じ問題を実施する（事後テスト）ことで、学習者の概念変容を測ることが可能である。

徳島大学において平成27年度前期に実施された1年の基礎物理学（力学）の授業の受講生37名を対象として、FCIの事前テストおよび事後テストを実施した。この報告では、運動の第3法則（作用・反作用の法則）に関する分析を通じて、学習スタイルとしてのピア・インストラクションに関しての注意事項を検討する。

2. 調査結果

FCI全30問中、運動の第3法則（作用・反作用）に関する問題は4問出題されており、その正答率の変化を表1に示す。

問4は前述の重量のあるトラックと軽量の車の衝突の問題であり、一般に誤概念があるとされる。確かに、事前テストと事後テストの正答率が等しく、学習を通じての誤概念が克服されていない。

問15は事前テストの数値が最低であり、事後テストでは、極端に正答率が低くなっている。状況設定によっては、学習をすることで誤概念を増

幅させるということは、高校復習テストにおいてもみられた (Saito, 2013)。問 1 5 に特徴的な問題設定を挙げておく。この問題は、小型の自動車が大型トラックを押しながら加速している際に、2つの自動車が押す力を訊いている。作用・反作用の法則からは2つの力は等しいが、自動車が押す力のほうが大きいという誤概念を答えた者は事前テスト 27.0%、事後テスト 48.7%であり、誤答の大半を占める。

一方、問 1 6 では、問 1 5 とほぼ同じ状況でありながら等速運動する場合の2つの力の大きさを訊いており、こちらは問 1 5 に比べると正答率は高い。

問 2 8 は一見、他の問題と設定は異なるが、問 1 5 と同様な外力が働く衝突問題である。

	事前テスト	事後テスト
問 4	64.9%	64.9%
問 1 5	62.2%	37.8%
問 1 6	70.3%	83.8%
問 2 8	86.5%	89.2%

表 1 事前テストと事後テストの正答率の変化

3. ピア・インストラクション

マズールは、初修物理学の教え方の新しいアプローチを探り、根底にある概念にあらためて学生たちの注意を向けさせるやり方として、ピア・インストラクションという教育方法を編み出した (Mazur, 1997)。教材のキーポイントの提示後に、コンセプテスト (ConceptTest) – 扱っているテーマに関する概念を問う短い多肢選択問題 – を実施する。学生は自分で答えを考え、その後クラスメートとその答えについて議論する。ここでは議論が批判的に思考できるように、適切な機会を与えることがポイントとされる。適切なピア・インストラクションを実施することで、通常の講義に比べて正しい概念の理解がすすむとされている。一方、コンセプテストは時間をとるので、通常の講義時間は取れず、リーディング・アサイメント (文献予習課題) も同時に要求される。

本報告における4問の作用・反作用に関する問題では、外力の有無、加速度運動と等速度運動などの状況設定により、学習者は自分のもつ素朴概念と照らし合わせながら解答するため、状況設定によって正答率が劇的に変化していることが読み取れる。すなわち、正答率が高い問 1 6 であっても、それ単独で作用・反作用の概念が習得されたと判断することはできない。こうした結果から、誤概念となりうる現象については、1度の思考ではなく、複数回の批判的思考を働かせることを通じて概念を獲得することの重要性が示された。

4. まとめ

通常の講義では、概念 (法則) を学習したのちに、その概念を「正しく」使用して現象を理解することに主眼を置きがちである。そして基礎物理学ではその先にある数理計算、すなわち微分方程式を解いて現象を理解することに関心が向く。一方、本報告からは、「正しい」使用だけでなく「誤った」概念を並置し、複数の状況においても普遍的に成り立つ法則がなんであるかを、学生が主体的に批判的に検討する場が求められることが明らかとなった。

今日、アクティブラーニングあるいはその一つとして反転学習を教育方法として導入することが提案されている。本報告では作用・反作用の法則の事例を通して、その必要性について検討した。

参考文献

- Halloun I.A., & Hestenes, D. (1985). *American J of Physics*, 53, 1056.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swachkamer, G. (1992). *Phys. Teach.* 30-3, p. 1043.
- Saito, T. (2013). 大学教育カンファレンス in 徳島, B-8
- Mazur, E (1997). *Understanding or memorization: Are we teaching the right thing?* In J. Wilson (Ed).