

[事業報告]

大学初年次教育における力学概念調査の実施報告

笠置 映寛, 金田 和博, 岸本 功, 吉井 涼輔

山陽小野田市立山口東京理科大学 共通教育センター

Implementation Report on Force Concept Inventory in Introductory College Physics

Teruhiro KASAGI, Kazuhiro KANEDA, Isao KISHIMOTO and Ryosuke YOSHII

Center for Liberal Arts and Sciences, Sanyo-Onoda City University

要 約

山陽小野田市立山口東京理科大学工学部 1 年次の力学の授業(2021年度)において, 力学概念調査 (Force Concept Inventory: FCI) を実施した。FCIは, 基本的な力学概念に関する 30 の問で構成されており, 本調査では日本語版 FCI (第 2 版, 石本ら (2011)) を使用した。調査は, 本授業の初回時にプレテスト, 最終回にポストテストを実施し, いずれのテストも同一の FCI 問題を使用した。ここでは, FCI プレテスト・ポストテストの得点結果を示し, 受験者全体の授業開始時点での力学概念の理解度, 及び授業後のその変化について報告する。また, 調査結果の解析から明らかとなった学生が持つ誤概念の実態についても示す。

キーワード: 大学初年次物理教育, 力学概念調査, 誤概念

Keywords: introductory college physics, FCI, misconceptions in mechanics

1. はじめに

学習者は、経験的に力や運動に関する概念を身につけているが(素朴概念), これらがニュートン力学的概念と異なる場合があり, 誤概念と呼ばれている。力学の授業において, 学生の力学概念の理解度を評価することは, 授業を効果的に進める上で重要であり, 学生が持つ誤概念を知ることができれば, 授業改善に役立てることができる。

今回, 山陽小野田市立山口東京理科大学(本学)工学部1年次の2021年度力学の授業(機械工学科・電気工学科は「一般力学及び演習」, 応用化学科は「物理学I及び演習」)において, 力学概念調査(Force Concept Inventory: FCI)を実施した。FCIは, Hestenesらによって開発された学習者の誤概念を評価するための調査テストである¹⁾。基本的な力学概念に関する30の間で構成されており(30点満点), 数式を用いず, 問題文は日常的な言葉で書かれている。各問題には正解1つを含む5つの選択肢があり, 誤答選択肢については, 多くの調査を通じて収集された学生・生徒が持つ誤概念に基づいて作成されている。今回実施した調査では, 日本語版FCI(第2版, 石本ら(2011))を使用し, クォーター制の第2期に配置されている「一般力学(物理学I)及び演習」の受講生(本学工学部1年生約200名, 及び数名の再履修生)を調査の対象とした。調査は全24回の第1回の授業でプレテスト, 最終回(第24回)にポストテストを行い, いずれのテストも同じFCIの問題を使用し, 回答時間は30分とした。

本授業では, 入学時に行われる物理学プレースメントテストの得点をもとに4つのクラスに分けられている。その編成は, 得点上位者のAクラス(3学科混合), 得点下位者の3つのBクラス(BM(機械工学科), BE(電気工学科), BK(応用化学科))となっており, 1クラスあたりおよそ40名から70名で授業が行われている。各授業は, 共通のシラバスで進められ, 講義内容に関する演習も行われる。授業担当者により, 板書, プロジェクタ使用の違いはあるが, 基本的には講義形式の授業である。

本報告では, FCIプレテスト・ポストテストの得点結果を示し, 受験者全体の授業開始時点での力学概念の理解度, 及び授業後のその変化について述べる。また, 調査結果の解析から明らかとなった学生が持つ誤概念の実態についても示す。

2. FCIプレテスト・ポストテストの得点

今回実施したFCIプレテストとポストテストの受験者数は, それぞれ209名, 201名であったが, 比較のために両方のテストを受験した学生194名を調査の対象とした。

図1に, プレテスト(FCI(pre))の各得点に対する度数分布を示す。平均得点率(%)は49.4(14.8点/30点満点), 標準偏差は20.1であった。Hestenesらによると, FCIの得点率が60%(18点)の学生は, ニュートン力学の入口に達しており, 85%(26点)以上で習熟していると判断できるとしている²⁾。これに照らし合わせると, 初回授業の時点で受講学生の65%はニュートン力学の入口に達しておらず, 一方, 習熟している学生は5%ということになる。

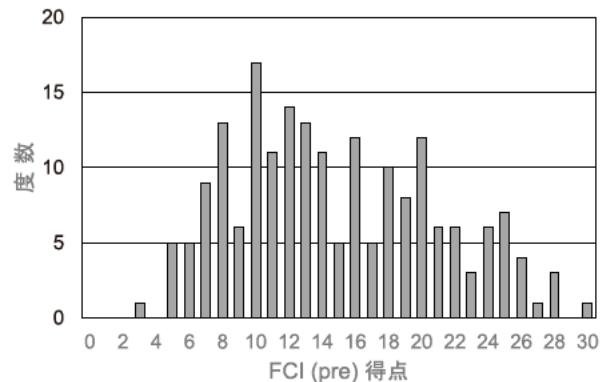


図1. プレテストの得点に対する度数分布

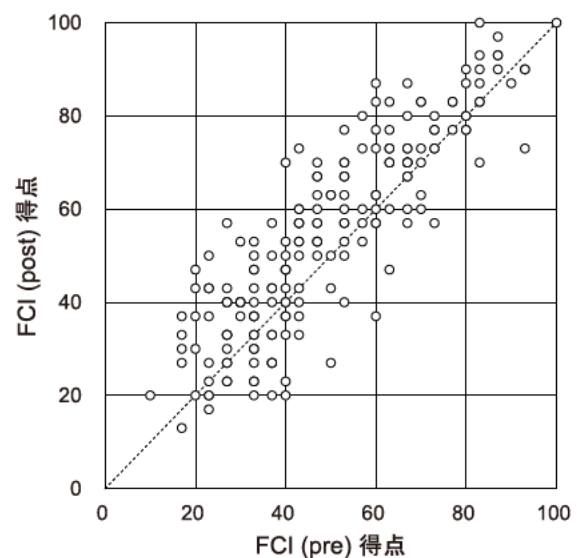


図2. プレテストとポストテストの散布図

図2には, プレテストとポストテストの得点の散布図を示している。ここでは, プレ・ポストテストの得点を100点

満点に換算して表すこととした。破線より上側の領域にあるデータ点は、プレテストより得点が上昇したことを表している。ポストテストの平均得点率(%)は 54.7 (16.4 点/30 点満点)、標準偏差は 20.8 であった。プレテストと比較すると、平均得点率は上昇し、標準偏差に大きな変化は見られなかった。また、概念理解に対する授業効果の指標である規格化ゲイン(g) (average normalized gain)は、プレテスト、ポストテストの平均得点率(%)をそれぞれ $\langle pre \rangle$ 、 $\langle post \rangle$ として、

$$\langle g \rangle = \frac{\langle post \rangle - \langle pre \rangle}{100 - \langle pre \rangle}$$

により算出され³⁾、今回のプレ・ポストテストの結果からゲイン $\langle g \rangle$ を求めると、 $\langle g \rangle = 0.105$ となった。ゲイン $\langle g \rangle$ を導入した Hake によれば、この値は “Low- g ” ($\langle g \rangle < 0.3$) に分類される³⁾。

次に、個々の学生の得点変化を解析するために、プレテストとポストテストの得点変化を、

$$\Delta_{FCI} = (\text{ポストテストの得点}) - (\text{プレテストの得点})$$

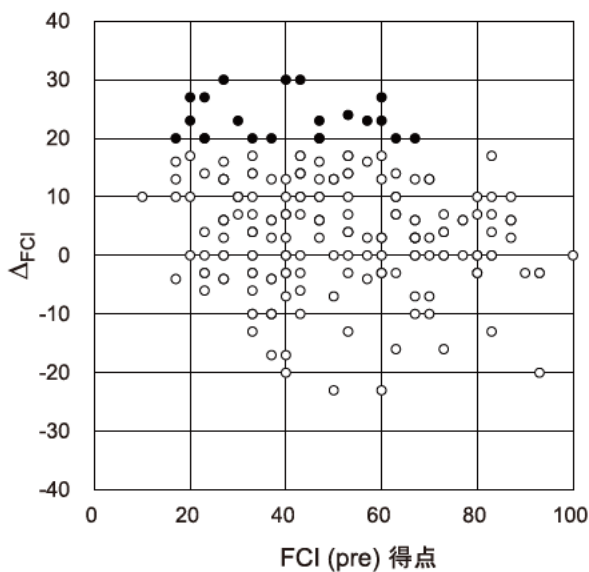


図 3. プレテストの得点と Δ_{FCI} との関係

で表すこととし⁴⁾、この Δ_{FCI} をプレテストの得点に対してプロットしたものを図 3 に示す。ここでも、プレ・ポストテストの得点を 100 点満点に換算している。 $\Delta_{FCI} > 0$ 領域のデータ点が多く、つまりポストテストで得点を伸ばした学生が多いことがわかる。また、 Δ_{FCI} が 20 以上(黒丸)を示したのは、プレテストの得点が 20 から 60 の学生が多い。図 4 には、プレテストの得点 10 点ごとの各得点領域において、 Δ_{FCI} が正 ($\Delta_{FCI} > 0$)、ゼロ ($\Delta_{FCI} =$

0)、負 ($\Delta_{FCI} < 0$) であった学生のそれぞれの割合を示している。グラフ上部に示す括弧内の数字は、その得点領

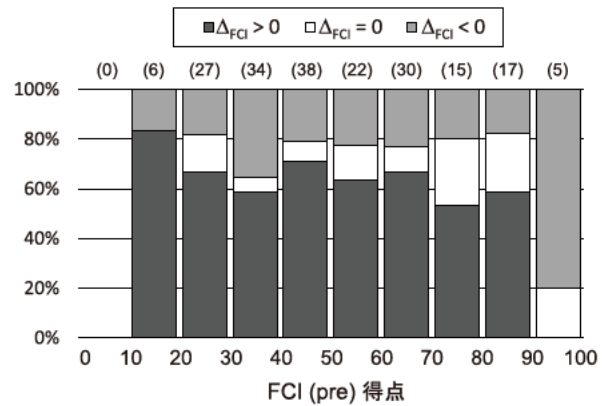


図 4. プレテストにおける 10 点ごとの各得点領域における $\Delta_{FCI} > 0$ 、 $\Delta_{FCI} = 0$ 、 $\Delta_{FCI} < 0$ の割合

域における人数である。ここでは、人数の少ないプレテスト 20 点未満、90 点以上の得点領域は除き、20 点以上 90 点未満の学生に注目する。いずれの得点領域においても 6 割から 7 割の学生が $\Delta_{FCI} > 0$ 、つまり得点が上昇している。その一方で、プレテストの得点の度数分布(図 1)においてピークが位置する 30 点以上 40 点未満の得点領域の学生については、4 割近くが $\Delta_{FCI} < 0$ となっており、他の得点領域に比べ得点が減少した学生の割合が大きい。つまり、プレテストで中位から下位にかけての理解度を示した学生の中には、授業によって力学概念の理解を深められなかった者が比較的多く存在していると言える。

3. FCI プレテスト・ポストテストの問題ごとの正答率

プレテスト、及びポストテストにおける問題ごとの正答率分布を図5に示す。正答率が8割を超える問題もある

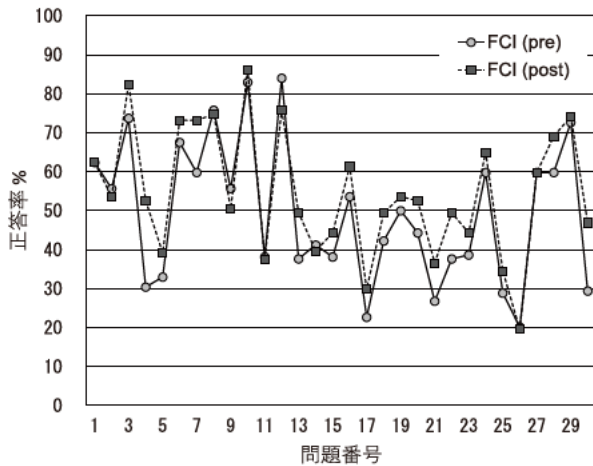


図5. プレテスト・ポストテストの問題ごとの正答率分布

が、2割ほどの問題も散見され、プレテスト、ポストテストのいずれにおいても問題によって正答率に開きがあることがわかる。ここで、プレテストで正答率が低かった問題に注目する。表1に、プレテストでの正答率が30%以下

表1. プレテストにおける正答率が30%以下の問題とその内容、プレ・ポストテストでの正答率

問題	ニュートン力学の内容	FCI (pre) 正答率	FCI (post) 正答率
4	第3法則: 撃力の場合	30%	53%
17	第1法則: 力が打ち打ち消し合う場合	23%	30%
21	第2法則: 一定の力は一定の加速度をもたらす	27%	37%
25	第1法則: 力が打ち打ち消し合う場合	29%	35%
26	第2法則: 一定の力は一定の加速度をもたらす	20%	20%
30	力の種類: 流体との接触・空気抵抗	29%	47%

だった問題とその内容^{1,5)}、プレ・ポストテストでの正答率を示す。これらの問題での学生の回答選択について、選択が偏らなかった問題(例えば問題21)がある一方で、問題4(作用反作用に関する問題)と問題30(力と運動の関係に関する問題)については、6割以上の学生が同じ誤答選択肢を選んでいて、これらの誤答選択肢に影響を与えている誤概念は、前者が「質量の大きなものは小さなものより大きな力を及ぼす(衝突で)」, 後者が「放物運動

において撃力が残っている(進行方向に力がはたらく)」であり、本学学生に限らず、これらは誤概念として根強く残る傾向にあるとされている⁶⁾。このような誤概念の傾向については、プレテスト実施直後に、プレテストの結果とともに授業担当者間で共有した。問題4と問題30のポストテストにおける正答率を見ると、それぞれ53%と47%となっており、プレテストからの正答率の上昇幅は比較的大きい。ここで見られる正答率の改善は、プレテストの結果を踏まえた各授業での取り組みが一因になっているものと考えられる。一方で、問題26については、プレテストとポストテストでの正答率に変化は見られなかった。問題25, 26は、抵抗力がはたらく物体に一定の力を加え続けた場合の物体の運動について問うものである。物体に作用する複数の力がつり合っている場合の問題(問題25)については、表1で示すように正答率に改善がみられるが、つり合わない場合の問題(問題26)については、正答率が低いままであった。この結果は、多くの学生が、力と運動の関係について十分に理解を深められていない可能性があることを示唆している。図5を見ると、プレテストでの正答率が30%を超える問題においても、ポストテストでの正答率に改善が見られない問題や、むしろ得点が下がっている問題も散見される。これらの問題については、授業の内容、進め方に関して改良する余地があると言えよう。プレ・ポストテストの結果をより詳細に解析し、授業を通して効果的に概念理解を深める手法を見出すことは、今後の課題と考える。

4. おわりに

力学の授業では、はじめに基本的な概念や原理・法則を理解し、これらを用いて身の回りの現象を説明したり演習や実験を行ったりすることを通じて、他の分野へ応用できる物理学的な考え方や手法を身につけて行く。このような目的を達成するためには、学生が持つ誤概念の克服が重要となる。

今回、本学工学部1年次の力学の授業において、力学概念調査(FCI)を行った。授業開始時点で行ったプレテストの結果から、65%の学生がニュートン力学の入口とされる得点率60%に達していないことがわかった。授業最終回に行ったポストテストの結果からは、7割近くの学生がプレテストより得点を伸ばす一方で、概念理解に対する授業効果を表す指標(規格化ゲイン $\langle g \rangle$)は高くはなく、この点に関して授業改善の余地があることもわかった。本授業を受講する学生について、高校物理の学習歴は様々で、リメディアル教育が必要な学生も含まれてい

る。また、微分積分といった大学の力学で用いられる数学に不慣れな学生も多く、授業ではその対応も行っている。そのため、全ての誤概念の克服に十分な時間をかけられておらず、そのことがゲイン(g)を高められていない要因の1つになっているのではないかと考えられる。

現在、力学概念を効果的に獲得するための授業が種々検討されており、Peer Instruction など、効果が高いとされる手法も提案されている^{7,8)}。今後、このような手法の活用も含め、力学概念の理解が深まる授業の在り方を構想し、実践していきたいと考える。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP19H01711 の助成を受けて行われたものです。

参考文献

- 1) D. Hestenes, M. Wells and G Swackhamer: Force concept inventory, *Phys. Teach.* **30**, 141-158 (1992).
- 2) D. Hestenes and I Halloun: Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller, *Phys. Teach.* **33**, 502-506 (1995).
- 3) R. R. Hake: Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *Am. J. Phys.* **66**, 64-74 (1998).
- 4) 齋藤 隆仁: 基礎物理学講義のFCIによる評価(2), 2017年度大学教育カンファレンス in 徳島 発表予稿集, 54-55 (2018).
- 5) 新田 英雄, 塚本 浩司: FCI(Force Concept Inventory)とは何か, *大学の物理教育*, **17**, 16-19 (2011).
- 6) 山崎 敏昭, 岸澤 眞一, 長谷川 大和, 安田 淳一郎, 合田 正毅, 覧具 博義: 2014 物理教育の現状調査報告・力学概念調査からの分析(2): 問題別正答率分布から見た現状, 2015 年度日本物理教育学会年会 第32回物理教育研究大会発表予稿集, 59-60, (2015).
- 7) E. Mazur: Peer Instruction, Prentice Hall(1997).
- 8) エドワード F. レディッシュ(日本物理教育学会監訳): 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 (2012).