

# 物理学系講義受講学生の力学概念調査

## -物理学教育改善とアクティブ・ラーニング実施に向けて-

Study on the Force Concept of the Students Attending Several Physics Classes

- For the Improvement of the Physics Education and Putting Active-Learning into Practice -

黒田 潔, 水野貴敏, 宮田成紀\*

Kiyoshi Kuroda, Takatoshi Mizuno and Seiki Miyata

玉川大学 工学部 エンジニアリングデザイン学科 物理研究室

\*玉川大学 工学部 マネジメントサイエンス学科 物理研究室

194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1

Physics Laboratory, Department of Engineering Design, College of Engineering, Tamagawa University

\*Physics Laboratory, Department of Management Science, College of Engineering, Tamagawa University

6-1-1 Tamagawa-Gakuen, Machida, Tokyo 194-8610

### Abstract

The misconceptions regarding force concept were analyzed by evaluating the Force Concept Inventory (FCI) in several lectures. In the FCI's questions, each correct answer and false answer corresponds to the understanding and misunderstanding of an elementary knowledge of dynamics. Therefore, the analysis of the results of the FCI is believed to contribute to improving the classes of physics.

Keywords: Force Concept, Force Concept Inventory, FCI, Physics Education, Active-Learning

### 1. はじめに

自然科学の一翼を担う物理学を学生に講義し、複数回の試験を実施した後、学期末には学生を評価する、という、大学における一連の物理学教育が毎年繰り返される。このとき、学生が得た最終結果としての評点・評価が意味するところは、結局のところ何であろうか。

学生の講義における評価では、最終評点を区分ごとに上位から下位へ英文字で表し、理解度と達成度が示される。工学部のある学科の学生の場合、

「物理学入門」(力学) - 「物理学Ⅰ」(力学) - 「物理学Ⅱ」(電磁気学) - 「物理学実験」という流れで最大4科目7単位を受講するし、農学部の教職志望学生の場合は「物理学」(力学・電磁気学) - 「物理学実験」と2科目3単位を受講する。担当教員は本稿筆者であるため、多くの学生と複数年に渡って講義で対面するが、その学生の過去の講義における評価の良し悪しにかかわらず、学生との折々の話の中で、物理学の本質的理解をしていないのではないかという疑念が思

い浮かび、また実際に理解していない場面に遭遇することは非常に多い。

例えば次のような事例である。ニュートンの運動の法則により、運動方程式は説明したし、定期試験でも学生は正解を解答していたはずである。しかし、物体を鉛直投げ上げた場合、物体が投げられて手から離れた瞬間、その物体に作用している力は何かと問うた時、多くの学生は重力とともに上昇する力 (impetus) を挙げる。いわゆる「勢い」であるが、物体にはこの「勢い」が宿り物体を動かすのだという。やがてこの「勢い」は重力に凌駕され、物体は停止し、さらに鉛直下方に落下し始めるという。そうは言いつつ、試験の解答では、物体の質量を  $m$ 、物体の加速度を  $a$ 、重力加速度を  $g$ 、鉛直上方を正として、運動方程式を  $ma = -mg$  と記述していたはずである。この「勢い」は、運動方程式には表れないのであろうか。

要は、試験時の計算式の立て方としては暗記のように技術的に習得し、一方で現実の物理現象に関しては、上記のようにいわゆる「誤概念」または「素朴概念」を抱いている可能性が非常に高い。この二つの乖離的な事実に向き合ったとき、教師としての無力感に襲われる経験は、実は毎年の恒例行事である。

「誤概念」に関しては、多くの物理学教育の先行研究がある。新田らは経験則としての運動や力に関する知識や概念のうち、ニュートン力学的概念と乖離したものを誤概念と呼び、これをうまく乗り越えさせなければ力学を理解させることは困難であるとしている<sup>1)</sup>。この誤概念を測定するための手段は「力学概念指標 (Force Concept Inventory ; 以下 FCI) と呼ばれ、Hestenes らによって開発された<sup>2)</sup>。計算の全くない概念のみの 5 択式 30 問で構成され、解答時間は 30 分である。設問ごとにニュートン力学的概念との対応が、また各設問の選択肢ごとに誤概念との対応が示されている<sup>1,3)</sup>。FCI は新田ら<sup>1)</sup>に詳しく、詳細は後述する。

物理学教育を実施する上で、対象学生によってその教育思想は若干異なる。

工学部機械系の学生であるならば、運動方程式や力学的エネルギーに関する式など、物理学の後に続く機械系科目や就職後の業務において再再度出現するであろうから、実際に計算ができなくてはならない。

農学部教職志望学生の場合は、将来中等教育において理科全般の教育を担うであろうから、理科ないし科学の概念を正しく生徒に伝えなければならない。

一方、全学対象講義の学生であれば、いわゆる科学リテラシーとして、卒業後の長い人生において必要となる場面を想定した教育を実施しなければならない。

本学全般の物理学教育を担う筆者らは、それらを鑑みた上でのカリキュラム作成とその実施を行ってきた。そのとき、そのための判断の資料としては、これまでは、経験と、「かくあるべし」、といった自論に負ってきたことは否めない。

そこで今般、FCI を用いることにより、物理学系講義学生の物理学に関する誤概念の実態を客観的に明らかにし、今後の物理学教育の改善に資する材料としての FCI の有意性を考察する。しかしながら、誤概念を払拭させようと、つまり FCI の正答率を上げることに目的化した教え込む講義をすることは無意味である。なぜならば、それは学生が受動的受講姿勢から抜け出せず、誤概念を本質的な誤概念として理解できず、結局は暗記へ突き進む可能性が大だからである。受動的受講姿勢に相対する概念として、昨今アクティブ・ラーニングの重要性は多くのところで見聞するが、要は学生が自力で理解しようとする態度・能力を学生自身が研鑽しなければ、事象の本質的理解には及ばない。そこで、その研鑽の一助を目的としたアクティブ・ラーニング手法を用いた物理学講義の結果についても簡単に記述し、誤概念とアクティブ・ラーニングの関係についても議論したい。

## 2. FCIによる正答と誤概念

FCIは前述のとおり、計算の全くない概念のみの5択式30問で構成され、解答時間は30分である。日本語を含めて数十か国語に翻訳されており、アリゾナ州立大学のweb page<sup>4)</sup>から入手可能である。

使用する上での厳守事項として強調されていることがある。まず、教員間の配布においては問題の流出を含め、厳密に管理することである。これはFCIが世界標準として流通し始めているため、問題が漏れることは望ましくないためである。また、講義で調査のために用いるときには、FCIという言葉を使用せず、別の名称で実施することが要請されている。これはFCIの使用目的である以下の点に立脚している。即ち、FCIは学生の持つ誤概念を客観的に測定し、それを授業改善にのみ用いるべきであるとされることにある。したがって、学生の講義における評価に使用してはならない。学生に対する評価は、教員が自ら構成する講義と自ら作成する適正な試験等の方法でなされるべきだからである。

新田らによると、FCIの設問とニュートン力学的概念の対応が表1のように示されている<sup>1)</sup>。これを見ると、同じ力学的概念に対し複数の問題が設定されている。つまり、繰り返し問われており、1つの設問でのみニュートン力学のある概念を持つか否かを判断するものではない。またそれらの同じ概念の設問は連続して出現するのではなく、ちりばめられていることが多い。第3法則の撃力はそのよい例である。この第3法則は設問4と設問28でなされるが、5つの選択肢のうち、正答以外は何らかの誤概念を持っていることが確認できるように構成されている。各設問の問題文と選択肢の詳細は、前述したように問題管理上控えるが、簡略的には以下のような設問となる。

例えば体重の重い人と軽い人がそれぞれキャスター付きの椅子に座っていて、体重の重い人が膝を曲げた足を体重の軽い人の膝にかけ、体重の

表1 FCIの設問とニュートン力学的概念の対応<sup>1)</sup>

ニュートン力学的概念	設問番号
0. 運動学	該当する設問番号が複数示されている
0.1 位置と速度の区別	
0.2 加速度と速度の区別	
0.3 等加速度による放物軌道	
0.4 等加速度による速度変化	
0.5 ベクトルとしての速度の加法	
1. 第1法則	
1.1 力が加わっていない場合	
1.1.1 速度の向きが一定	
1.1.2 速さが一定	
1.2 力が打ち消し合う場合	
2. 第2法則	
2.1 撃力	
2.2 一定の力は一定の加速度をもたらす	
3. 第3法則	
3.1 撃力の場合	
3.2 連続的な力の場合	
4. 重ね合わせの原理	
4.1 ベクトル和	
4.2 打ち消し合う力	
5. 力の種類	
5S.1 受動的	
5S.2 撃力的	
5S.3 摩擦は運動を妨げる	
5F.1 空気抵抗	
5G 重力	
5G.1 重さによらない加速	
5G.2 放物軌道	

重い人がその曲げた膝を伸ばす。ここで両方の椅子が動いた場合に、いずれかの人がもう1人の人に与える力の大きさが問われる。この場合は、どちらかが大きい小さいかの選択肢、どちらも力を与えない選択肢、同じ大きさの力を及ぼしあう選択肢などが並べられる。このとき学生が正答を選べば、その正答は正答率の一部として計上される一方、学生が正答以外の4つの選択肢を選んだ場合、それは何らかの誤概念を持っていると解される。このとき、どの選択肢を選んだかによって学生が保持すると推測される誤概念が分類されており、新田らによるとHestenesらはFCIの設問と誤概念の対応を表2のように示している<sup>1,2)</sup>。

表2 FCIの設問と誤概念の対応<sup>1)</sup>

誤概念	設問番号 と選択肢	
0. Kinematics (運動学)		
K1. 位置と速度が区別できない	該当する設問番号と選択肢が示されている	
K2. 速度と加速度が区別できない		
K3. ベクトルとして速度を合成できない		
K4. 自己を中心とした観測系		
1. Impetus (インペタス)		
I1. 「たたかれて」供給されるインペタス		
I2. 元からあったインペタスの損失(または回復)		
I3. インペタスの散逸		
I4. 徐々に(または遅れて)蓄えられるインペタス		
I5. 回転のインペタス		
2. Active Forces (活性力)		
AF1. 活動的なものだけが力を及ぼせる		
AF2. 運動は活性力の存在を示唆している		
AF3. 運動していないことは力が存在しないことを示唆している		
AF4. 速度は加えられた力に比例する		
AF5. 加速は力が増加していくことを示唆している		
AF6. 力は終端速度に達するまでの加速の原因となる		
AF7. 活性力は消費されていく		
3. Action/Reaction Pairs (作用・反作用のペア)		
AR1. より大きな質量はより大きな力を示唆している		
AR2. 最も活動的なものが最も大きい力を発生させる		
4. Concatenation of Influences (影響の連鎖)		
CI1. 最も大きい力が運動を決定する		
CI2. 力の折衷が運動を決定する		
CI3. 最後に働いた力が運動を決定する		
5. Other Influences on Motion (その他の運動への影響)		
CF. 遠心力		
Ob. 障害物は力を及ぼさない		
Resistance (抵抗)		
R1. 質量は物体を止める		
R2. 力が抵抗に打ち勝つときの運動		
R3. 抵抗は力/インペタスに逆らう		
Gravity (重力)		
G1. 空気の圧力を利用した重力		
G2. 質量に固有の重力		
G3. 重い物体のほうが速く落ちる		
G4. 物体の落下に連れて重力は大きくなる		
G5. インペタスが消耗してから重力が働く		

この表において、最右列欄にはそれぞれの誤概念に該当する設問番号と選択肢が示されているが、やはり問題管理上の制約でここでの詳細な記載は控える。しかし、先に示した椅子を押し合うような設問に対しては、後述する本学での調査によると3~4割の学生が「AR1. より大きな質量はより大きな力を示唆している」を誤概念として選択する結果となっている。また1.節の誤概念の事例で示した、鉛直投げ上げ時に物体が手を離れた後に物体に残存する上昇力、つまり「勢い」については「I3. インパタスの散逸」を誤概念として選択する結果が予想され、実際に本学の約8割の学生がこれを選択する。このように多くの学生が選択する誤概念については、新田らも別の設問を例として同様の指摘をしている<sup>1)</sup>。

### 3. FCI調査

筆者らは、表3に示すいくつかの物理学系講義において、学生の力学概念の理解度に関してFCIを用いて調査を実施した。各講義の特徴は以下のとおりである。

- ・全学US物理学入門：全学部～全学年が対象、主に科学リテラシーの醸成を想定
- ・農学部物理学：農学部理科教員志望学生が対象、中等教育での理科全般教育のための科学的概念の醸成と、教員採用試験対応を見据えた講義
- ・工学部US物理学入門：いわゆる初年次リメディアル教育で、大学物理内容に沿う科目「物理学I」への準備
- ・工学部物理学I：いわゆる微分方程式による運動を記述するまでに至る大学初等物理学

講義によっては、調査時期（春学期と秋学期）と学生数が異なる。調査は学生の講義における評価につながるものではなく、あくまで授業改善に資する材料である旨を告げて協力を依頼した。問題用紙は調査後に回収するため、学生本人に問題用紙に氏名を記入してもらった。30分の調査時間内は、制約により質問には一切答えない。解答は

選択肢方式のため、市販のマークシートを用いて、FCI実施後にスキャナーでマークを読み込み採点した。したがって、取得データは全ての学生のマーク内容であるため、正答のみならず、誤答による誤概念の分析も可能である。また正答率や誤概念保持の講義前後での変化を観るために、講義第1回目と第15回目にFCIを通算2回実施した。

正答率として、個人ごとの値とそれをもとにした講義ごとの平均値を算出した。各講義第1回目の学生平均値を $pre.(\%)$ 、第15回目の平均値を $post(\%)$ と表示することとする。Hakeは講義開始前と終了後の正答率の変化を最もよく表す指標として、(1)式に示すような規格化された向上率( $GAIN$ )を用いたとされる<sup>5)</sup>。

$$GAIN = \frac{post(\%) - pre.(\%)}{100 - pre.(\%)} \quad (1)$$

この $GAIN$ は、講義ごとの学生の平均正答率の100分率で計算されるが、要は伸びしろに対する伸び値の割合である。 $GAIN$ が高いほど、力学概念の確立度が高いとされる。1998年に全米で6000人以上の学生・生徒からデータを集めた結果、従来型の教え込むタイプの講義ではこの値が0.23を中心に分布し、アクティブ・ラーニングを含むインタラクティブな講義では0.48を中心に分布したという<sup>5)</sup>。

(1)式に示す $GAIN$ は、講義ごとの講義前後の学生の平均正答率で計算される。本稿では、表1に示すニュートン力学的概念ごとの平均正答率から $GAIN$ を計算し、その講義の $GAIN$ と比較を試みた。ニュートン力学的概念ごとの $GAIN$ 、すなわち概念ごとの $GAIN$ が、講義ごとの $GAIN$ 、すなわち全概念平均の $GAIN$ より大きい値を示せば、このことはつまり誤概念が一定程度以上に改められたことを示すであろう。このことは、各講義における正の効果を示すと考えられる。

一方、学生の誤答を分析することにより、各講義においても払拭されなかった、つまり誤答を増

やしてしまった概念を抽出することもできる。これについては以下の方法で分析を行った。

表2により、学生の誤概念はマークした選択肢で知ることができる。例えば、表2「K2.速度と加速度が区別できない」は、選択肢の19①、20②、20③に対応するとされている。これは設問番号19と20において、上記3つの誤答選択肢を選んだ場合に当たり、その誤答率はマーク採点により明らかであるため、2つの設問においてその選択率を計算できる。これを誤答率とする。そこで、講義前後の誤答率変化を計算した。このとき、

$$\text{誤答率変化} = \text{pre. (\%)} - \text{post (\%)}, \quad (2)$$

とした。この誤答率変化が負の値を示すということは、むしろ講義後に誤概念が増加したことを示す。このことは、各講義における負の効果を示すと考えられる。

概念ごとのGAIN増加と誤答率増加を分析することにより、学生のニュートン力学への理解の程度を把握することができ、このことは授業改善へ資する大きな判断材料となると予測される。

#### 4. FCI調査結果

表3にはFCIを実施した7つの講義が示してあるが、授業改善にのみ資するという観点から、以下に続く図ではその属性は伏せてある。

表3 FCIを実施した講義

FCI 実施講義		
開講学部	科目名	開講期
全学US	物理学入門	春
		秋
農学部	物理学	秋
工学部US	物理学入門	秋
		秋
工学部	物理学 I	春

#### 正答数の度数分布

講義前後の学生の正答数の度数分布を、受講人数が比較的多い講義事例1および講義事例2について、図1および図2に示す。

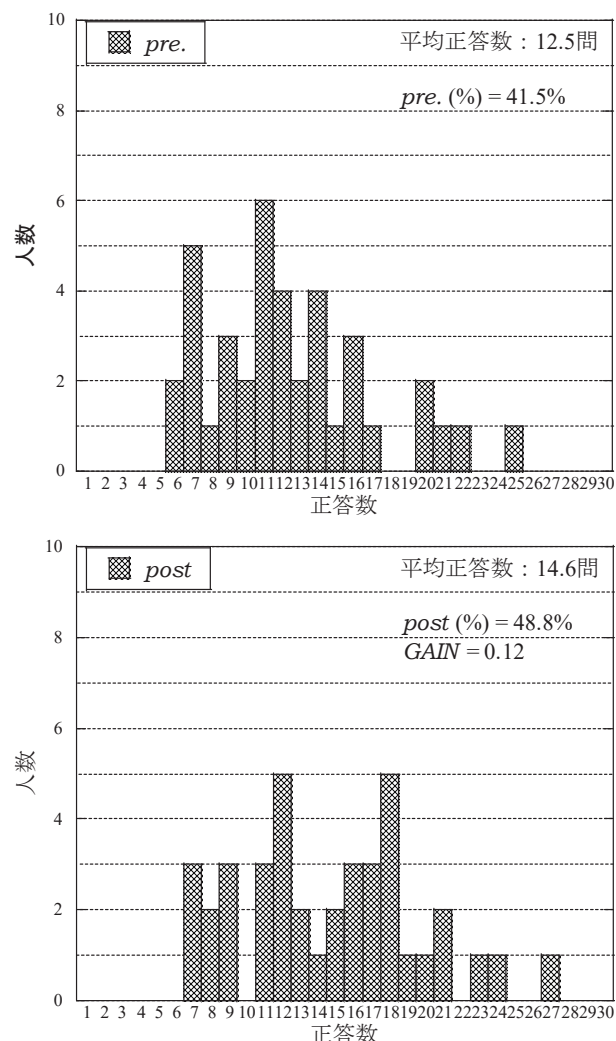


図1 講義事例1の講義前(pre.)と後(post.)の度数分布

表1に示した講義の全てにおいて、「誤概念」払拭に目的化した授業をしているわけではない。講義事例1において、平均正答数は事例2より若干高く、高得点側にシフトしているが、講義後においても大きく変化していないことがわかる。またGAINは0.12であり、文献5において示唆されているように従来型の講義による典型的な値である。Hestenesらによると、正答率が60%以上、つまり18問以上正答した場合、ニュートン力学の学習を始

めることが可能とされ、85%以上、つまり26問以上正答した場合、ニュートン力学的概念の理解度が要求水準に達していると見なされるという<sup>3)</sup>。その観点から考えると、講義前にニュートン力学の学習を始めることが可能であった学生は5人、ニュートン力学的概念の理解度が要求水準に達した学生は0人で、講義後にはそれらは12人、および1人となっていて、ニュートン力学の学習を始めることが可能になった学生は増加した。この講義事例1は微分方程式を用いた運動方程式を扱う内容であり、試験結果から判断する運動の法則の理解は合格であった。しかしながら、ニュートン力学的概念の醸成という意味では、まったくおぼつかない様子がわかる。先にも述べたように、

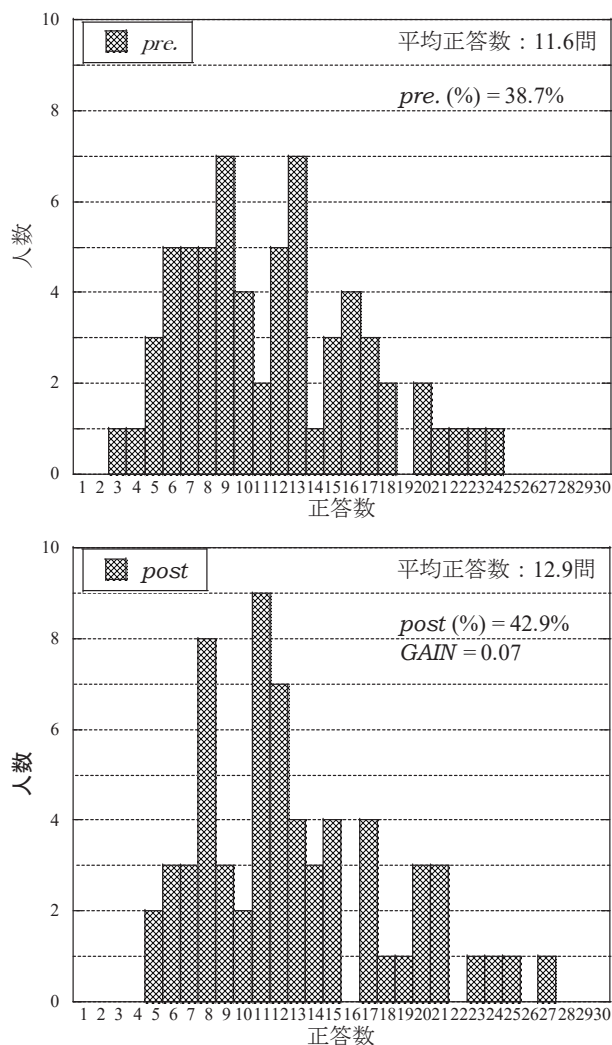


図2 講義事例2の講義前(*pre.*)と後(*post.*)の度数分布

試験時の計算式の立て方としては暗記のように技術的に習得し、しかし現実の物理現象に関してはいわゆる「誤概念」または「素朴概念」を抱いている可能性が非常に高い。

講義事例2においても平均正答数は低く、講義後も大きく変化していないことがわかる。GAINも0.07といわゆる従来型の講義による典型的な値と同等である。講義前にニュートン力学の学習を始めることが可能であった学生は11人、ニュートン力学的概念の理解度が要求水準に達した学生は0人だが、講義後にもそれらは11人、および1人であり、ニュートン力学的概念はほぼ理解されなかったことに愕然とする。一方、試験等による学生の講義における評価では、多くが合格であった。

### 各設問の正答率

講義事例1と2について、FCI各設問の正答率と、その講義前後の変化を図3(a)と(b)にそれぞれ示す。

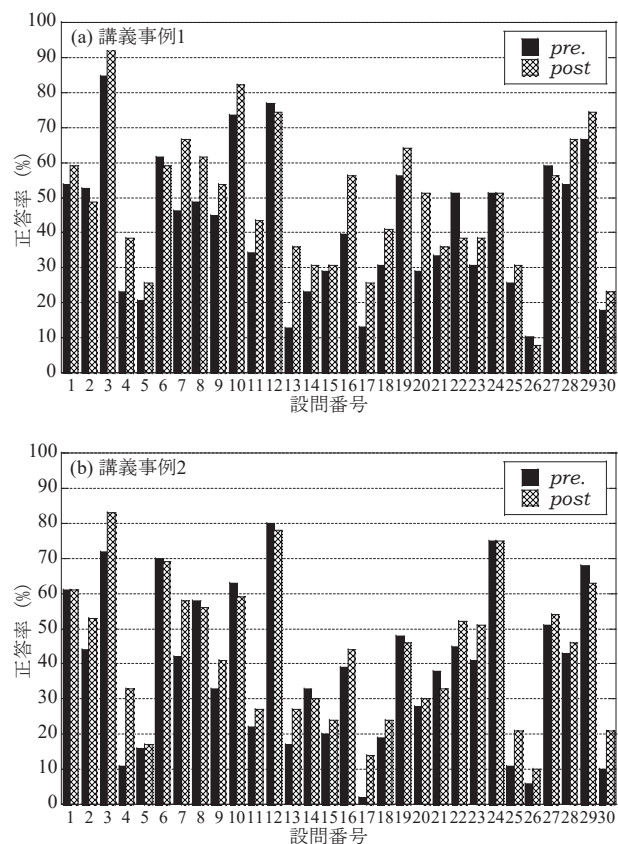


図3 (a) 講義事例1と(b) 講義事例2の講義前(*pre.*)と後(*post.*)の各設問正答率

両事例とも設問3の正答率が7~9割と高いが、この設問は建物の屋根から石が落ちる状況について問うものである。選択肢は以下のようである。

- ① 落下直後に最大の速さになり、その後一定の速さで落下
- ② 石が地球に近づくにつれて、重力が引っ張る力が大幅に大きくなり、加速しながら落下。
- ③ 石にはほぼ一定の重力がはたらき、加速しながら落下。
- ④ すべての物体は地面の上で静止している状態が自然なので落下。
- ⑤ 重力が下向きに押し、さらに空気も下向きに押し、落下。

両事例とも1~3割の学生は誤答を選択していることになる。このとき、講義後に誤答を選択する例として多いのは①と②である。講義後であるため、重力加速度や、万有引力と重力の関係は既に理解されていると期待していたが、実際には自由落下の事象であるにもかかわらず、等速度運動であると考えたり、地球の半径に比してほとんど無視できる落下範囲で重力が大きく変化すると考えたりしている。一定程度の学生は誤った概念から離脱することはできない。

その他、多くの学生が選択する特徴的な誤答例として、設問17が挙げられる。この設問は、エレベーターが等速で上昇しているという状況で、ケーブルが上方に引っ張る力の大きさと重力の大きさの大小関係を問うものであるが、講義前で5.5~6.5割の学生が、ケーブルが上方に引っ張る力の方が大きいと選択していて、講義後においてもわずか5%程度の正答が増えるのみである。表1「1.2力が打ち消しあう場合」と「4.2打ち消しあう力」の理解の未達成と考えられるが、素朴概念としては動く方向への力が大きいと考えるのはある意味において無理もないとも考えられる。それ故に素朴概念なのであるが、運動の第1法則と第2法則を学習した上での選択となると、実は法則と現象が相補的な理解関係にはなっていないことを示

していると考えられる。講義事例1と2を受講している学生の数学や物理学の過去の学習履歴は大きく異なるが、誤概念は同じような状態で表出し、講義におけるこれらの誤概念の払拭には大きな壁があると言わざるを得ない。

### ニュートン力学的概念ごとのGAIN

ニュートン力学的概念ごとの平均正答率から計算したGAINと、その講義の平均GAINの比較を講義事例1~7について図4(a)~(g)に示す。(講義事例1~7の順序は表1に示すFCI実施講義の表示順と同一ではない。)図の横軸は表2で示した各概念の記号を示し、縦軸はGAINで7つの講義を比較するためスケールを同一にしてある。また講義の平均GAINをその値とともに直線で示してある。前述したように、ニュートン力学的概念ごとのGAINが、講義ごとのGAINより大きい値を示せば、誤概念が一定程度以上に改められたことを示すであろう。このことは、各講義における正の効果を示すと考えられる。

講義事例1~7のそれぞれにおいて、ある一定の法則のようなものを観ることはできない。これは講義担当者がそれぞれに違う(本稿筆者3人で分担)ことと受講している学生が個々人で違うことによる。それを踏まえたうえで、講義において正の効果が大であった概念は、表4のようである。

それぞれの担当者が、講義の方法を自己省察するとき、この正の効果はより伸ばすことが肝要である。例えば、図4(d)の講義事例4では正答率が大きく変化した概念が多い。この講義事例4はGAINも0.25と他に比して高く、また講義中の教員と学生の双方向的な対話が非常に多かった。学生の発言はある意味で不規則的ではあったが、それはある事象について議論がなされているとき、不明点や確認したいことをその場で解決したことをも意味する。近い将来に物理学の外部評価を受ける学生たち13人で構成されており、必要に迫られてとは言え、結果として効果が大きいことは喜ばし



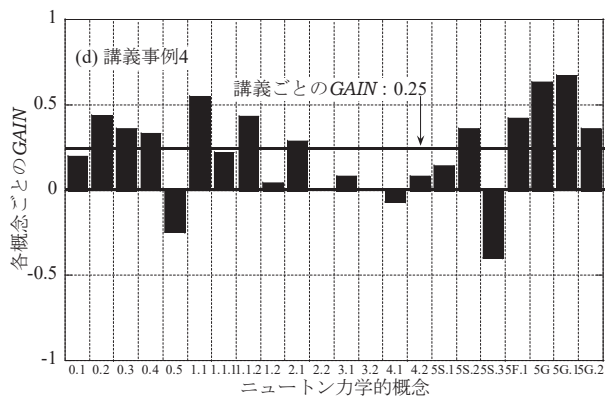
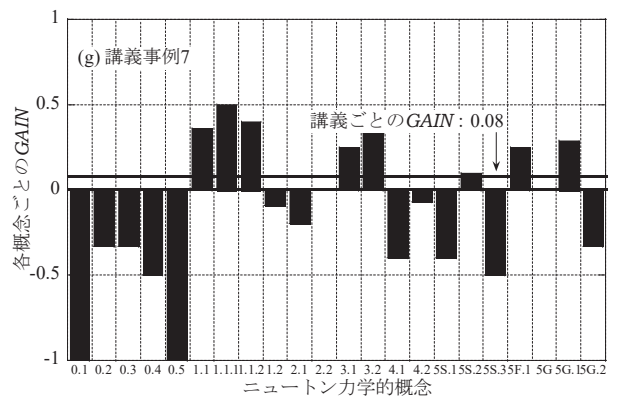
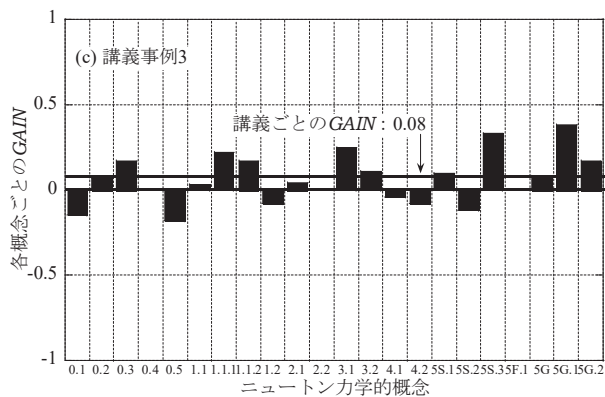
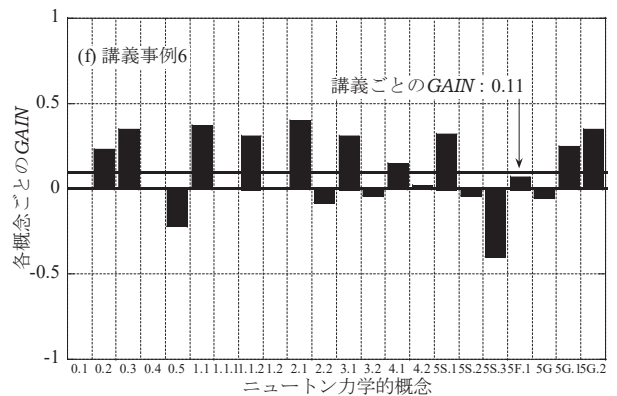
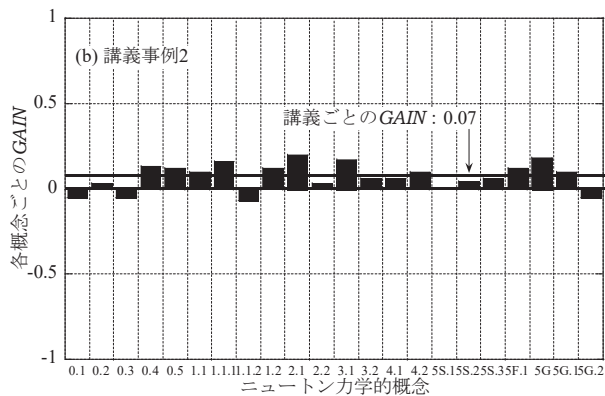
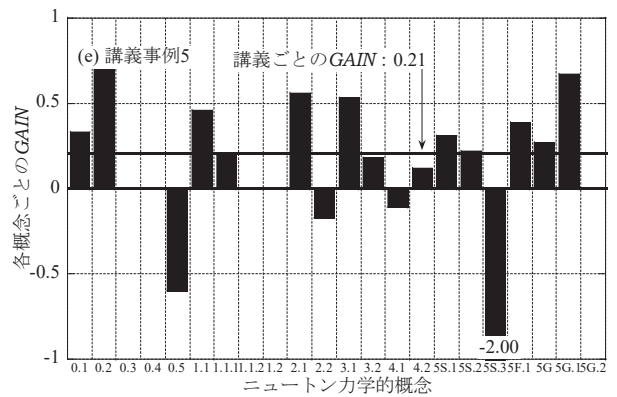
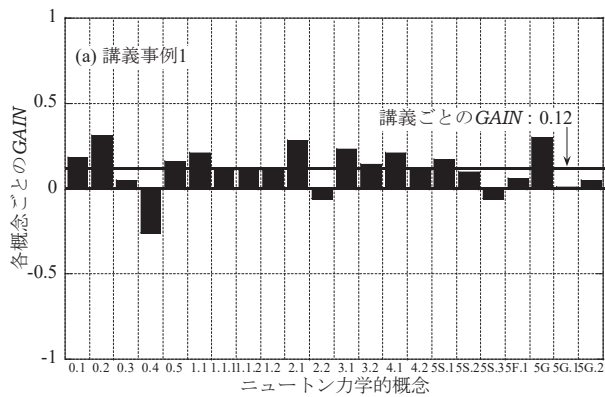


図4 (a) 講義事例1, (b) 講義事例2, (c) 講義事例3, (d) 講義事例4, (e) 講義事例5, (f) 講義事例6, (g) 講義事例7のニュートン力学的概念ごとのGAIN

いことである。グループ討議やピア・インストラクションのようないわゆるアクティブ・ラーニング手法とは異なるかもしれないが、対話があるということは誤概念払拭の重要な要素であるかもしれない。

図4(e)の講義事例5も正答率変化が大きいですが、概

念の0.5や5S2などにおいて、正答率が大きく減少している。また、図4(g)の講義事例7においても複数の概念で正答率減少が激しい。表4によると、誤概念払拭の効果があまり見られない概念も多い。例えば、「1.2 力が打ち消し合う場合」や「4.2 打ち消し合う力」である。これらについては、次項に記述する誤答選択の分析により、詳細が明らかになるとと思われる。

表4 講義事例1~7において誤概念が一定程度以上に改められたニュートン力学的概念

ニュートン力学的概念	講義事例						
	1	2	3	4	5	6	7
0. 運動学							
0.1 位置と速度の区別	○				○		
0.2 加速度と速度の区別	○			○	○	○	
0.3 等加速度による放物軌道				○	○		○
0.4 等加速度による速度変化		○		○			
0.5 ベクトルとしての速度の加法	○	○					
1. 第1法則							
1.1 力が加わっていない場合	○	○		○	○	○	○
1.1.1 速度の向きが一定		○	○				○
1.1.2 速さが一定			○	○		○	○
1.2 力が打ち消し合う場合							
2. 第2法則							
2.1 撃力		○	○		○	○	○
2.2 一定の力は一定の加速度をもたらす							
3. 第3法則							
3.1 撃力の場合	○	○	○		○	○	○
3.2 連続的な力の場合	○		○				○
4. 重ね合わせの原理							
4.1 ベクトル和	○						○
4.2 打ち消し合う力		○					
5. 力の種類							
5S.1 受動的	○		○		○	○	
5S.2 撃力的				○	○		○
5S.3 摩擦は運動を妨げる			○				
5F.1 空気抵抗		○		○	○		○
5G 重力		○		○	○		
5G.1 重さによらない加速	○	○	○	○	○	○	○
5G.2 放物軌道			○	○			○

### ニュートン力学的概念の誤答率変化

表2により、学生が保持する誤概念はマークした選択肢で知ることができるが、学生が各誤概念を選択した講義前後の誤答率から(2)式により誤答率変化として計算した結果を図5に示す。この誤答率変化が負の値を示すということは、むしろ講義後に誤概念の保持が増加したことを示す。表

5には誤答率変化が負の値で、講義内容または講義方法に改善を要する誤概念を示す。ただし紙数の関係から、表2の誤概念のうち、説明と誤答率が負の値を示さない概念については省略してある。

改善すべき誤概念のうち、誤答率変化が負の値

表5 講義事例1~7において誤答率変化が負の値を示す誤概念

誤概念	講義事例						
	1	2	3	4	5	6	7
0. Kinematics (運動学)							
K1.			×				×
K2.		×	×				
K3.	×	×	×		×	×	×
K4.		×					×
1. Impetus (インペタス)							
I1.	×		×				
I4.		×					×
I5.	×						
2. Active Forces (活性力)							
AF1.							×
AF2.	×		×	×	×		
AF3.		×					
AF4.	×	×	×	×	×		×
AF5.	×	×	×	×	×		×
AF6.	×				×	×	×
AF7.		×	×				
3. Action/Reaction Pairs (作用・反作用のペア)							
AR2.		×					×
4. Concatenation of Influences (影響の連鎖)							
CI1.				×		×	×
CI2.	×	×			×	×	
CI3.				×	×		×
5. Other Influences on Motion (その他の運動への影響)							
CF.			×			×	
Ob.				×	×		×
Resistance (抵抗)							
R1.				×	×	×	
Gravity (重力)							
G1.		×		×			×
G2.							×
G3.	×						
G4.					×		
G5.					×		×

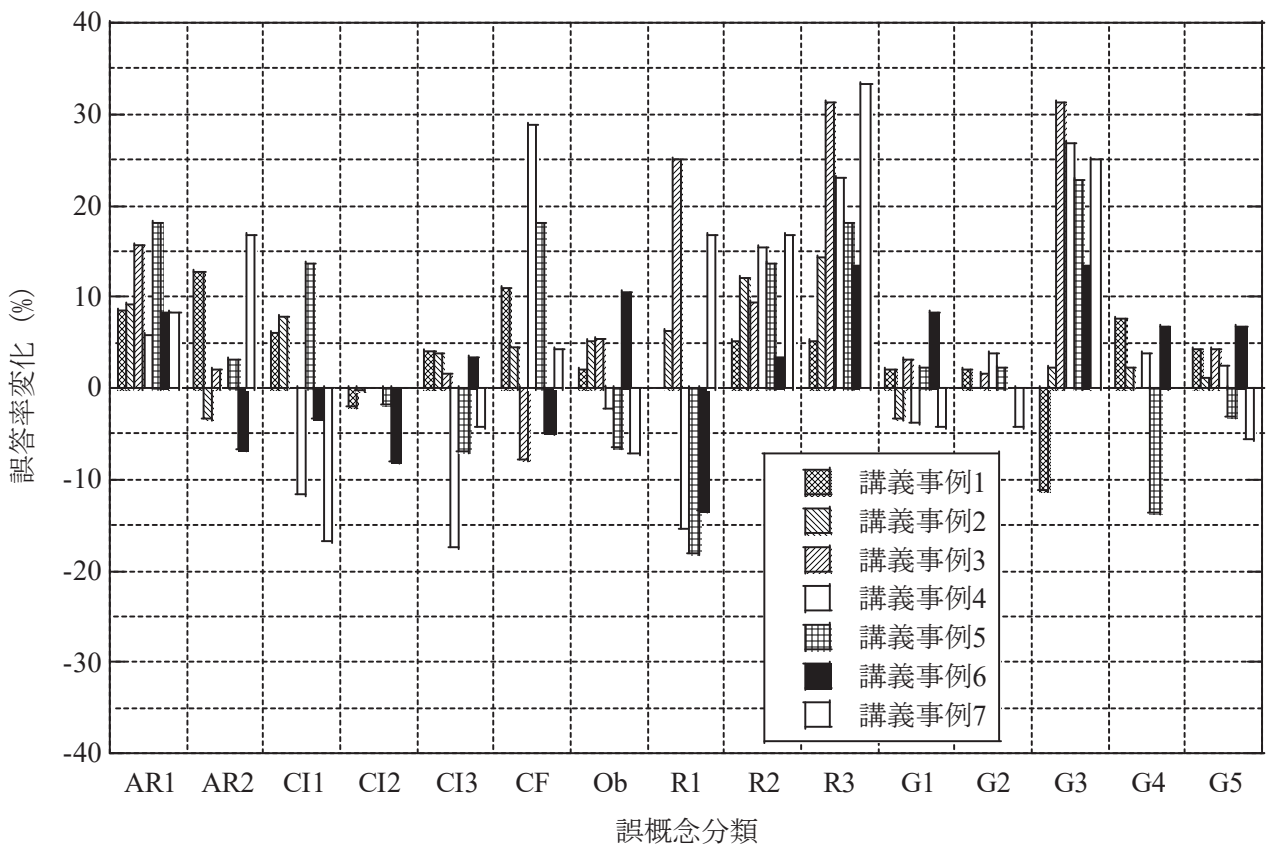
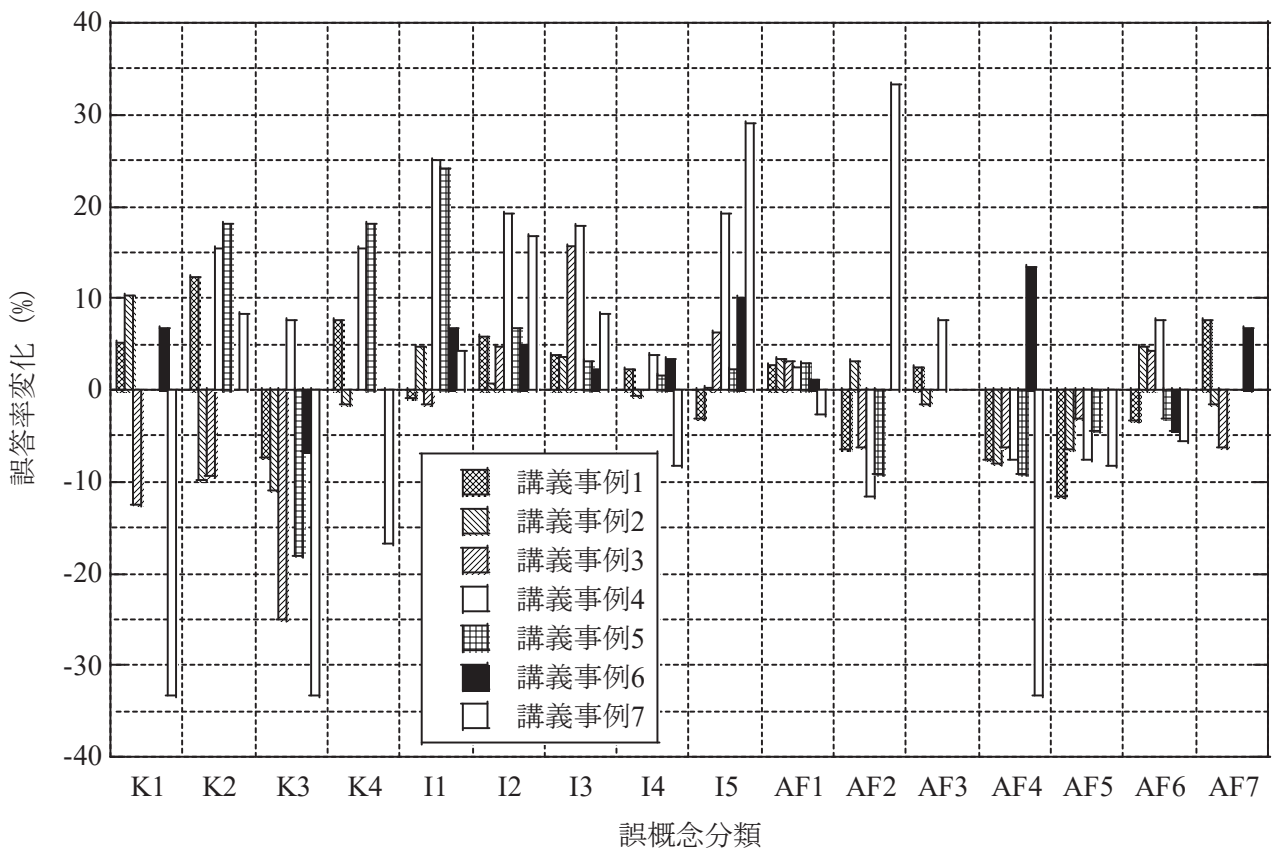


図5 講義事例1～7において誤概念分類ごとの  $pre. (\%) - post. (\%)$  の計算による誤答率変化

を示す数が多い項目には、「K3. ベクトルとして速度を合成できない」、「AF4. 速度は加えられた力に比例する」、「AF5. 加速は力が増加していくことを示唆している」などが挙げられる。このうち、AF4 と AF5 の分析には設問 26 が用いられるが、実際の問題文は英文を日本語に訳した影響もあると思われ、少々難解である。講義事例の多くで、学生の半数以上が設問 26 について AF4 と AF5 の誤概念に該当する設問選択肢をマークしている。速度と加速度と力の関係性が運動の法則としてではなく、素朴概念として定着していることを示している。ただし、正答する学生も存在する。

一方、誤答率変化が大きな負の値を示す誤概念で、かつ、それが複数の講義で表出している項目に着目してみよう。「K1. 位置と速度が区別できない」、「K3. ベクトルとして速度を合成できない」、「AF2. 運動は活性力の存在を示唆している」、「AF4. 速度は加えられた力に比例する」、「AF5. 加速は力が増加していくことを示唆している」、「CI1. 最も大きい力が運動を決定する」、「CI3. 最後に働いた力が運動を決定する」、「R1. 質量は物体を止める」などが挙げられる。やはりいずれも運動の法則を実践的に体得していない結果であると考えられる。誤概念 CI1 と CI3 等は「K3. ベクトルとして速度を合成できない」に連動する誤概念である。速度とともに力もベクトルであり、その合成が可能であることの理解の低さである。R1 の誤概念も含め、どことなく、力そのものが擬人化され、勝ち負けのようなニュアンスでとらえられていると考えられるが、綱引きなどで力を生じさせているのが人間そのものであることを想像していると推察され、致し方ないことのようにも思われる。しかしながら、学問としての科学や物理学は、そういう素朴性からの脱却を図るものであるとするなら、やはり、試験解答と概念が乖離しているのは望ましくない状態である。

図 4(d)で観たように、対話型の講義構成は確かに誤概念の払拭に効果があるように考えられる。

これは、教員の発問によって学生は何らかの正解を得るために考えることをせざるを得なくなることを意味していよう。これがいわゆるアクティブ・ラーニングの根幹をなす思想であると思われる。図 5 からわかるように、教え込む講義では学生が逆に誤概念を発達させている可能性も否定できない。今回紹介しているいくつかの講義では授業回数の数回をアクティブ・ラーニング型として実施している事例がほとんどである。しかし、GAIN については高々 0.25 程度であり高くはない。Hestenes によれば 0.48 程度まで上昇するということであるので、次期に期待したいと考えている。ところで設問の解答や結果を学生に知らせることはできず、心残りである。授業改善のためと言って、学生の協力を得るしかないようである。

## 5. まとめ

FCI を用いて、いくつかの講義の学生の誤概念の払拭と発達を分析した。FCI の設問はそれぞれが正答も誤答も初期の力学の理解度と誤概念に対応しており、この FCI の結果の分析は、物理学系教員の授業の改善に資すると考えられる。

## 謝辞

FCI 調査に協力してくれた学生諸氏、および FCI 使用を許諾頂いた関係諸氏に感謝します。

## 参考文献

- 1) 新田英雄, 塚本浩司 大学の物理教育 **17**(2011) 16.
- 2) D. Hestenes, M. Wells and G. Swackhamer, Phys. Teacher **30** (1992) 141.
- 3) 右近修治 東京都市大学共通教育部紀要 **9** (2016) 67.
- 4) <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>
- 5) 笠 潤平 大学の物理教育 **16** (2010) 83.

---

2017年3月16日原稿受付, 2017年4月13日採録決定  
Received, March 16, 2017, accepted, April 13, 2017