誤概念診断ツールとしてのＦＣＩ

自然科学系 物理学教育部門　右近 修治

１. 誤概念診断ツールとしての力学概念指標

概念指標 (CI：Concept Inventories) は、学生の科学に対する概念的理解の度合いを調べる目的で導入された、一連の多岐選択式調査問題からなる。[1] D.Hestenes らによる FCI[2] (力学概念指標：Force Concept Inventory) は、これまで研究されてきた、学生が力学世界に対して抱く「誤概念」、「素朴概念」、あるいは「代替概念」（以下「誤概念」）を摘出する目的で開発されたものであり、２つの役割がある。一つは、実際にどれだけの学生がどのような誤概念を抱いているのかを診断する目的で用いられる。二つめは、学生の初等力学に対する概念的理解度を調査するための共通尺度としての役割がある。しかし FCI によって学生の成績を評価してはならない。特にこの点は重要である。

FCI の開発以来、その設問および選択肢の妥当性に関する多くの研究が現在まで蓄積されてきた結果、その信頼性は十分に担保されている。勝手な設問、選択肢の変更ができないのはもちろんであるが、学生に調査目的以外の場面で問題を開示することは許されない。世界の初等力学クラスに共通する尺度としての役割を考えれば、これは当然であろう。その信頼性が長年にわたる物理教育研究によって蓄積されてきた FCI は、いわば物理教育界全体の共通財産でもあることを十分に認識しなければならない。

現在流通している FCI は、文献 (2) を基にして Ibrahim Halloun，Richard Hake，Eugene Mosca らによって 1995 年に改定された版であり、rv95 と呼ばれているものである。日本語を含めて 23 カ国に翻訳されており、Web から入手することが可能である。[3] しかし上記した理由と著作権保護の観点により、問題文は適切に管理されているので、教員が調査・研究のために入手するためであっても、一定の手続きが必要となる。

同じ FCI をコース開始時とコース終了時の２度実施することにより、そのコースによる学生の概念的理解度の変容を調べることができる。前者を FCI(pre)、後者を FCI(post) と呼ぶことにする。R.R.Hake は次式によって規格化ゲイン g を導入した。[4]

$$g = \frac{\mathrm{FCIpost(\%)} - \mathrm{FCIpre(\%)}}{100 - \mathrm{FCIpre(\%)}}$$

FCIpre(%)、FCIpost(%) はそれぞれ、FCI(pre)、FCI(post) 得点率のクラス平均値である。Hake によれば、g の値が大きいほど、そのコースは学生の力学概念獲得に対して効果的だと判断できる。[1][4]

上記 FCI 二つめの役割としてある、学生の概念理解度調査の目的は、FCI(pre)、FCI(post) を一セットとして実施することによって明確となる。それは学生を評価するためではなく、コース全体の授業を評価するためのものである。

2. 誤概念分類表

Hestenesらは、これまでの誤概念研究に基づき、学生が抱く誤概念を0.運動学(Kinematics)、1.インペタス（Impetus)、2.活性力（Active Force)、3.作用・反作用のペア（Action/Reaction Pairs)、4.影響の連鎖（Concatenation of Influences)、5.運動へのその他の影響（Other Influences on Motion）の、6つのカテゴリーに分類した。[(1)(2)(5)(6)] 表1にHestenesらによる誤概念表を掲載する。

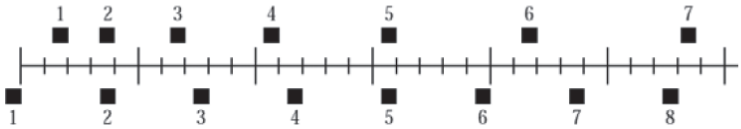
■運動学に関わる誤概念

0.運動学の誤概念はK1.～K4の4つに分類されている。FCIでは，0.運動学のカテゴリーとして、位置、速度、加速度を区別できるかどうかに焦点を絞って判定している。K1.「位置と速度が区別できない」、K2.「速度と加速度が区別できない」、K3.「速度のベクトル合成ができない」、K4.「自分中心の座標系から観察してしまう」等がこれに属する。選択肢番号（Inventory Item）覧にはFCI、rv95に対する設問番号と選択肢が掲載されている。例えばK1.には、19B、C、Dとある。これはFCI第19問（次ページに掲載）の選択肢B、C、Dの記述がK1.に対応していることを示している。(FCI各問題中5個の選択肢はA、B、C、D、Eで与えられているが、FCI日本語版では1)～5)の番号で与えられている）もし第19問でB、C、D（日本語版では2)、3)、4)）の中の何れかの誤答を選択していれば、その学生はK1の誤概念を持っている可能性があると判断される。

表1　概念指標で調べられる誤概念の分類(Hestenes et al)[(2)]

A Taxonomy of Misconceptions Probed by the Inventory	Inventory Item（A～Eは訳文の1～5に対応）
0. Kinematics	
K1. Position-velocity undiscriminated	19B,C,D
K2. Velocity-acceleration undiscriminated	19A; 20B,C
K3. Nonvectorial velocity composition	9C
K4. Ego-centered reference frame	14A,B
1. Impetus	
I1. Impetus supplied by “hit”	5C,D; 11B,C; 27D; 30B,D,E
I2. Loss/recovery of original impetus	7D; 8C,E; 21A; 23A,D,E
I3. Impetus dissipation	12C,D,E; 13A,B,C; 14E; 23D; 24C,E; 27B
I4. Gradual/delayed impetus build-up	8D; 10B,D; 21D; 23E; 26C; 27E
I5. Circular impetus	5C,D; 6A; 7A,D; 18C,D,E
2. Active Forces	
AF1. Only active agents exert forces	15D; 16D; 17E; 18A; 28B; 30A
AF2. Motion implies active force	5C,D; 27A
AF3. No motion implies no force	29E
AF4. Velocity proportional to applied force	26A
AF5. Acceleration implies increasing force	22A; 26A
AF6. Force causes acceleration to terminal	3A; 22D; 26D
AF7. Active force wears out	22C,E
3. Action/Reaction Pairs	
AR1. Greater mass implies greater force	4A,D; 15B; 16B; 28D
AR2. Most active agent produces greatest force	15C; 16C; 28D
4. Concatenation of Influences	
CI1. Largest force determines motion	17A,D; 25E
CI2. Force compromise determines motion	6C,D; 7C; 12A; 14C; 21C
CI3. Last force to act determines motion	8A; 9B; 21B; 23C
5. Other Influences on Motion	
CF. Centrifugal force	5E; 6C,D,E; 7C,D,E; 18E
Ob. Obstacles exert no force	4C; 5A; 11A,B; 15E; 16E; 18A; 29A
Resistance	
R1. Mass makes things stop	27A,B
R2. Motion when force overcomes resistance	25B,D,E; 26B
R3. Resistance opposes force/impetus	26B
Gravity	
G1. Air pressure-assisted gravity	3E; 11A; 17D; 29C,D
G2. Gravity intrinsic to mass	3D; 11E; 13E; 29C,E
G3. Heavier objects fall faster	1A; 2B,D
G4. Gravity increases as objects fall	3B; 13B
G5. Gravity acts after impetus wears down	12D; 13B; 14E

2つのブロックの0.2秒ごとの位置が，番号順に■で図に示されています。ブロックは両方とも右向きに動いています。ブロックが同じ速度になるときはありますか。



1) ない。
2) ある。2の時点。
3) ある。5の時点。
4) ある。2と5の時点。
5) ある。3 と 4 の間のどこかの時点。

FCI.rv95
第 19 問

■インペタスに関わる誤概念　1. インペタスと 2. 活性力は日常経験で「力」として分類されている誤概念である。運動学に関わる誤概念で、ちょうど「速度」と「加速度」が交換可能であるように、力の誤概念では、「力」「エネルギー」「パワー（仕事率）」はいつでも交換可能であり、それらの違いはあいまいで漠然としている。詳しい分析によると、[7] 誤概念としての「力」は 1. インペタスと 2. 活性力に分類できる。

インペタス理論はアリストテレスの自然学を起源とした、ガリレオ以前から知られていた科学理論である。14 世紀のジャン・ビュリダンによれば自由落下する物体は重さによって生じるインペタス（勢い）が蓄積されていくことによって加速していくという。[8] もちろん学生はインペタスという単語は知らないが、彼らの非ニュートン的「力」概念はまさにインペタスと呼べるものである。インペタスが宿ることによって物体は運動を続けることができるという観念にとらわれている限り、運動の第一法則を受け入れる余地はない。1. インペタス誤概念は I1.「叩かれて供給されるインペタス」、I2.「消耗したり回復したりするインペタス」、I3.「散逸するインペタス」、I4.「徐々に（あるいは遅れて）蓄えられるインペタス」、I5.「回転運動のインペタス」の 5 つに分類される。I1. はバットでボールを叩くことにより、ボールにインペタスが宿り、ボールの運動が持続するとの思い込みである。I2. により、そのインペタスが徐々に消耗していくことによってボールはやがて静止する。I5. は円運動する物体には回転運動する向きのインペタスが宿っているとする誤概念である。ここで、注目すべきは、物体は過去に経験した運動により「訓練」を受け，その経験によって、この場合は回転運動のインペタスが蓄積されていくという思い込みである。「平面上を糸に結び付けられた物体が円運動しているとき、突然糸が切れても物体は円運動を続ける。これは物体に円運動の進行方向に向かうインペタスが宿っているからである」物体はインペタスが宿ったり消耗したりする入れ物であり、物体がより多くの経験を積むことによってインペタスは増えていくのである。

■活性力に関わる誤概念　2. 活性力は、生き物のような、何か「活動的なもの」だけが力を及ぼすとする観念である。したがって無生物である机は他の物体に力を及ぼさない。[1][9] こうした観念が敷衍され、静止物体は活性力がないので他に力を及ぼすことはなく、運動している物体は接触することによって活性力としての「力」を他の物体に及ぼすことができる

とする誤概念が発生する。2. 活性力としての誤概念は、AF1.「活動的なものだけが力を及ぼすことができる」、AF2.「運動する物体は活性力を持っている」、AF3.「運動していなければ力ははたらかない」、AF4.「速度は加えられた力に比例する」、AF5.「加速度は力が増加していることを意味する」、AF6.「力は終端速度に達するまでの加速度の原因である」，AF7.「活性力は次第に磨り減っていく」等に分類されている。「活動的なもの」は運動を起こす原因であり、これによって物体にインペタスが宿ったり、他の物体に受け渡されたりする。少年がボールを投げると、ボールが飛んでいくのはその結果である。

2. 活性力はニュートンの運動の第２法則に対応する非ニュートン的誤概念である。教員が運動の第２法則を教えたつもりになっていても、学生は 2. 活性力のカテゴリーの下で納得している可能性がある。特に、運動の第２法則を因果関係として捉える場合にはその危険性が大きい。[10][11] ニュートンの運動の第２法則 $m\vec{a}=\vec{F}$ は、通常「慣性系で質量 m の物体が合力 $\vec{F}$ を受けると $m\vec{a}$ が $\vec{F}$ と等しくなるような加速度 $\vec{a}$ が生じる」と、因果的関係を含む表現で教えられることが多い。もちろんこれは間違いではない。しかし第２法則 $m\vec{a}=\vec{F}$ をよく見れば，これは数式的には $m\vec{a}$ が $\vec{F}$ と等しいという相関関係を主張しているだけである。「静止している物体に合力 $\vec{F}$ を加え，加速度 $\vec{a}$ を生じさせて動かす」などと、因果のカテゴリーを持ち込んで、一連のストーリーを作り上げるのは，人の納得の仕方だとも言える。しかし、物体が受けている束縛力の大きさや向きなどを求める際、第２法則を「質量 m の物体が加速度 $\vec{a}$ で運動しているときには，$\vec{F}=m\vec{a}$ の合力を受けている」と理解していた方が、はるかに見通しが良くなる。AF2. は、まさにこうしたアリストテレス以来の因果的認識に立脚する誤概念である。「すべての結果には原因が伴う。運動は結果である。故に運動には原因がある」周知のようにアリストテレスは運動の原因を順次遡り、あらゆる運動の第一原因、すなわち不動の動者＝神にたどり着いたのであった。[12] AF2. は運動の原因を活性力に求める誤概念である。物理法則を因果的に理解することが、そのまま間違いとは言えない場合も多くあろうが、そうした理解の仕方と 2. 活性力の誤概念は、隣り合わせの関係にあることに、より多くの注意を払う必要がある。[10]

もし 0. 運動学の誤概念の下、速度と加速度の区別がつかない状態で、活性力が運動の原因であると思い込めば、当然のことながら、速度は力に比例するという AF4. の誤概念が導き出されるだろう。また、活性力は生き物の隠喩でもあるので、やがて疲れ果てて消えていく。これから AF6. AF7. の誤概念が無理なく引き出される。

■作用・反作用のペアに関わる誤概念　3. 作用・反作用のペアは AR1.「より大きな質量がより大きな力を与える」、AR2.「最も活動的なものが最大の力を発揮する」に分類される。前者は質量との関連、後者は活性力との関連として捉えることが出来る。日常生活では「相互作用」とは「２者の争い」に他ならず、どちらがより強いかどうか、という観点から自由になることが容易でない。物理の教員が「相互作用」としての力を語っているときすでに，学生の頭の中では２力の争いとして思い描かれているのである。後にも示すように、AR1.、AR2. は大変強力な誤概念であり、最後まで残る誤概念のひとつである。[10]

■影響の連鎖に関わる誤概念　4. 影響の連鎖は CI1.「最も大きな力が運動を決定する」、CI 2.「力の妥協によって運動が決まる」、CI 3.「最後に働いた力が運動を決定する」の３つの

誤概念からなる。いずれも日常生活における社会的経験から帰納した原理であろうことが予想される。

■運動へのその他の影響に関わる誤概念　5. 運動へのその他の影響は、CF.「遠心力」、Ob.「障害物は力を及ぼさない」、抵抗，重さに注意が払われている。抵抗に関しては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.「力あるいはインペタスを阻止する抵抗」、重さに関してはG1.「大気圧に助けられた重さ」、G2.「質量固有の重さ」、G3.「より重い物体がより速く落下する」、G4.「落下するにつれて重さが増える」、G5.「インペタスが消耗した後に重さがはたらく」

CF.「遠心力」に関わる誤概念は根深い。初等・中等教育現場において混乱が続いていることが指摘されて久しい。[13] Ob.「障害物…」は物理の力学概念を獲得した者にとっては理解しがたいかもしれないが、多くの中学生にとっては当たり前である。障害物は力を及ぼすのではなく、運動を妨害するものなのである。生徒は，机の上の物体が静止しているのは、机が重さによる物体の落下を妨げているからだと考える。[1] 質量はそれ自体こうした抵抗の一種と見なされる。運動は「活性力」が抵抗に打ち勝つことによって生じ、抵抗よりも小さくなると物体は静止するのである。[2]

重さ（gravity）を、力としての重力（gravitational force）として理解されている場合もあろうが、日常的には重さが、必ずしも力の一種として把握されているわけではない。重さは、やはりアリストテレス流の「下に向かおうとする傾向」であり、[12] その傾向はG4.「落下するにつれて…」強まるのである。アリストテレスによれば、重いものの本来あるべき場所は下であり、重さによって落下するのは、本来あるべき場所への移動なのである。

2015年の物理学会春季大会領域13、ＦＣＩ日米比較関連の発表に対し、G4. は物理的に正しく、これを誤概念とするのは間違いであるとの指摘が会場からあった。地球と物体との万有引力を考えれば、地上付近１ｍの落下で、万有引力としての重力は100万分の１以下ではあるが、確かに増加する。しかしＧ4. はそうした理解の上での議論でないことは、上に述べたことにより明らかであろう。

３．ＦＣＩ調査の実施

■ＦＣＩ日本語版　ＦＣＩの日本語訳については、2010年頃に塚本浩司らによる東京理科大グループによるものと、新田英雄らによる東京学芸大グループによるものが存在していた。[5] 一方、FCI開発者であるHestenesらによるアリゾナ州立大学のweb page[14] には、高知工科大学の石本美智らによる日本語訳が掲載されていた。元東京農工大学の覧具博義はこうした状況を改善するため、関係者による意見交換を実現させ、2011年に開発者了解の下で「力と運動についての概念調査 日本語第２版」[15] を完成させる。アリゾナ州立大学のweb pageには現在この第２版が掲載されている。先に紹介したFCIダウンロード先[3] にあるFCI日本語版もこの第２版である。

■東京都市大学工学部ＦＣＩ調査　2015年度前期「物理学（1）」（力学分野）授業クラス４月当初に日本語第２版を用いたFCI調査（以下FCI(pre)）を実施し、6クラス280名ほどのデータを得た。本学は他の多くの私学同様、入試は学部別一般入試、全学統一理系型入試、セン

ター利用入試（5 教科型､3 教科型）、推薦入試と、多様な形態を取る。したがって工学部といえども物理で受験して入学してくる学生ばかりではない。さらに、現教育課程では「物理基礎」のみ、旧教育課程では「物理Ｉ」までしか履修していない学生が、工学部入学者の２割を占めている。4 月当初における FCI(pre) 調査は、そうした状況を踏まえた上で、高校までに履修してきた物理に対して彼らが保有している誤概念、あるいは概念的理解度を調べるためのものである。より効果的な講義を設計するのであれば、こうした現状把握が必須のものであることに論を待たない。

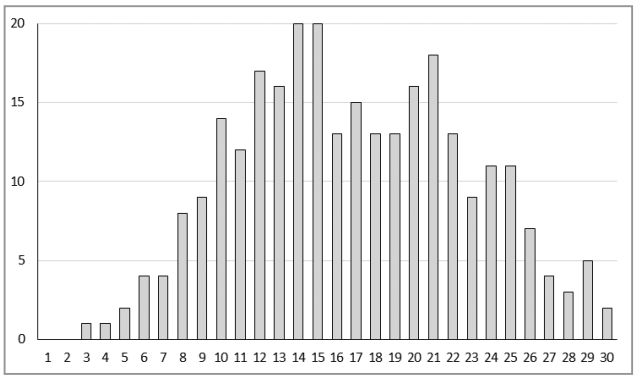


図 1　FCI(pre)30 点満点の度数分布

FCI は 30 題, 30 点満点で､通常 30 分ほど調査時間を要す。図 1 に全体の度数分布を示す。平均は 17.8 点 (59%) であった。Hestenes らによれば, FCI の得点が 60％（18 点）で､ニュートン力学を理解する出発点に達しており、85％（26 点）以上で、ニュートン力学の概念を把握していると判断できるという。[16] この目安に従えば、4 月当初で「物理学（1)」受講者の 55％がニュートン力学の入り口にすら達していないことになる。ニュートン力学の入り口に達していないとは、具体的にどのような状態かについては、(2) で挙げた文献を参照願いたい。

文献 (2) では Hestenes らによる米国の高校・大学での調査結果が報告されている。また塚本浩司らは、2003 年～ 2007 年にかけて日本の高校（11 高校延べ 938 名)、大学（4 大学 13 集団延べ 973 名）について FCI 調査を実施し、その平均点と入試難易度との関連について調べている。[17] しかし、本稿は FCI 調査の誤概念分析ツールとしての側面に焦点を当てる。

■ＦＣＩ調査による誤概念分析　次ページ図 2 に FCI 第 1 問～第 30 問それぞれについての通過率 (正答率)（％）を示す。横軸の 1 ～ 30 は各問題番号である。問題によって通過率に大きな差が生じているのがわかる。問題３、１０、１２に対しては、80％以上の学生が正答を導いている一方、問題４、１５、１７、２６、３０等は著しく悪く、問題４にいたっては通過率 30％以下である。現在、米国と日本の高校生、大学生の FCI 国際比較を研究するプロジェクトが進行中であるが､[18] 日米のこうした傾向は類似であることが実証されつつある。これは学生の持つ誤概念の普遍性を示唆するものとして受け取られている。ちなみに FCI 第 4 問は表 1 を参照すると、誤概念 AR1「より大きな質量がより大きな力を与える」に関わる問題で、質量の大きな大型トラックと小さな小型乗用車が衝突した際、どちらが相手に大きな力を及ぼすのかを聞いている。もちろん正解は作用反作用の法則により､大型トラックが小型乗用車に及ぼす力と小型乗用車が大型トラックに及ぼす力は等しい。しかし 68％の学生が「大型トラックが小型乗用車に及ぼす力は小型乗用車が大型トラックに及ぼす力よりも大きい」を選択した。通過率は 27％であった。

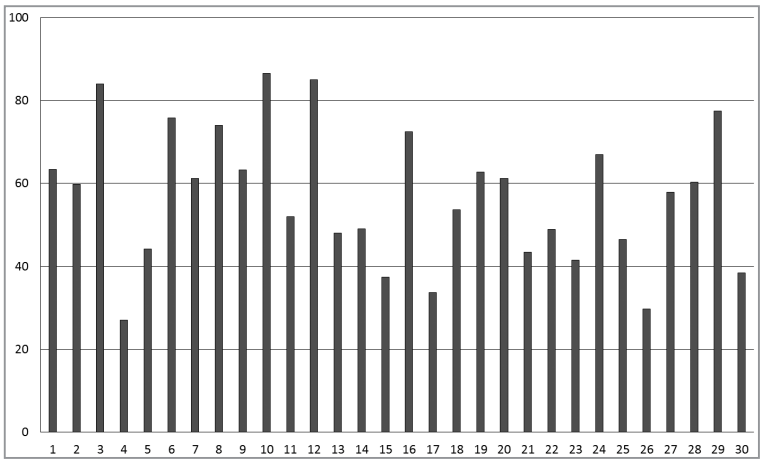


図２　FCI(pre) 各設問に対する通過率（%）

それでは表１の誤概念分類表にある K1. ～ K4.、I1. ～ I5.、AF1. ～ AF7.･･･ 等の誤概念に、どれほどの学生が捕らわれているのだろうか。FCI 調査結果と表１を用いて分析してみた結果が図３である。例えば表１誤概念 K1. は選択肢番号（Inventory Item）覧に 19B、C、D とある。そこで FCI 第 19 問で B、C、D いずれかの選択肢を選んだ者を K1. を持つ可能性ありと判断し、１名と数え上げる。K2. では 19A、20B、C、と２問にわたっているが、これらのうち１つでも選択していれば、やはり１名として数え上げる。図３は K1. ～ K4.、I1. ～ I5.、AF1. ～ AF7.･･･ 等の誤概念に対して、こうして数え上げた学生の人数を％で表したものである（以下、誤概念分類項目占居率）。誤概念分類項目占居率は分類された各誤概念に捕われている可能性のある学生の最大値を示していると考えることができる。

図３を見ると、誤概念とひとくくりしてもその内訳は多様であることがわかる。AF3. や AF7. はほとんど問題にならないが、I3.，AR1. などは 70％を超える勢いである。ちなみに I3. は「散逸するインペタス」である。I「インペタス」と AR.「作用反作用のペア」などはかなり強固な誤概念となっていることがわかる。

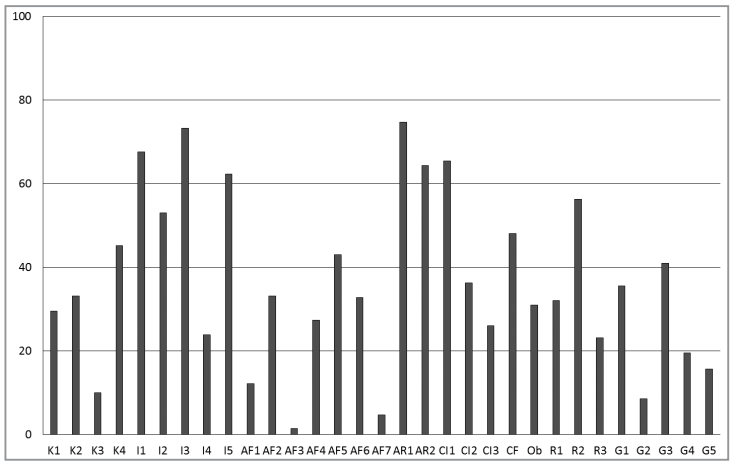


図３　誤概念分類項目占居率（%）

4. 力学の授業によって誤概念は改善されるのか

■規格化ゲイン　2015 年 7 月,「物理学（1)」(力学分野）リメディアルクラスを含む 5 クラス約 200 名の協力を得、FCI(post) のデータを得ることができた。全クラスとも、7 月調査時点において FCI 調査範囲の大学における力学講義はすべて終了している。FCI(post) の内容は FCI(pre) と同内容である。もちろん、4 月 FCI(pre) 終了時において、学生に対して解答の解説は一切していない。表 2 に該当 5 クラスの FCI(pre)、FCI(post) の各クラス平均点 FCIpre、FCIpost、および規格化ゲイン g の値を示す。5 クラス全体の平均規格化ゲイン <g> は 0.09 であった。

クラスによってゲインが負のクラスから 0.2 程度まで分布しているのがわかる。g を導入した Hake によれば、伝統的講義形式における g の平均値として <g >=0.23、学生間、学生教員間等の相互作用を基本とした授業では <g >=0.48 が得られているという。[4]

表 2　クラス別規格化ゲイン

	FCIpre	FCIpost	g
クラス１	17.3	18.0	0.05
クラス２	17.4	18.5	0.09
クラス３	17.8	16.8	−0.08
クラス４	15.0	17.6	0.17
クラス５	11.8	15.2	0.19
平均	16.1	17.3	0.09

ただし、Hake が調査した米国の大学における力学の授業と、多くの日本の大学の授業とでは、その時間数・構成共に相当異なっているので、Hake が求めた平均規格化ゲインと、表 2 とを直接比較することは難しい。米国の標準的力学入門コースは、講義が週 3 回程度で 3 時間（50 分 ×3)、演習が週に 1 回（50 分)、実験が週に 1 回（50 分 ×2）のセットから成る半期のコースである。実験はそのコース内容に即したものであり講義内容と連動している。これに対して「物理学（1)」は週に 100 分講義 2 回の半期のコースある。

現在本学で行われている「物理学（1)」の授業は、担当により板書中心、パワーポイント中心の違い等はあるが、基本的に講義中心の伝統的形式で進められている。相互作用を基本としたインタラクティブな授業に転換してゲインが上昇するのであれば、喜ばしい限りであるが、単純に学生どうしの話し合いや活動の時間をより多く持てば、より多くのゲインが得られるというものでもないようだ。

インタラクティブな授業としては、Mazur によるピア・インストラクション、Sokoloff による 相互作用型演示実験講義（ILDs)、Novak によるジャスト・イン・タイム授業法、McDermott によるチュートリアル等々と多彩な方式が研究・実践されており,[19] もちろん成果も出ている。しかしこうした実践の中に、学生に時間を与えて主体的に話し合いの場を持たせておけばそれでよいなどと考えているものは一つもない。何をどう話し合わせ、どのような結論を導き出させるのか、緻密な計算の下に教材を準備し、教員や TA が具体的にどう介入するかまで､研究し尽された上で実践されている。羊はひたすら自分の自由意志で走り、自分自身の力で学力を獲得すると感じている。しかし彼らは予め設計されたコースに沿って走り、ゴールにたどり着くのである。

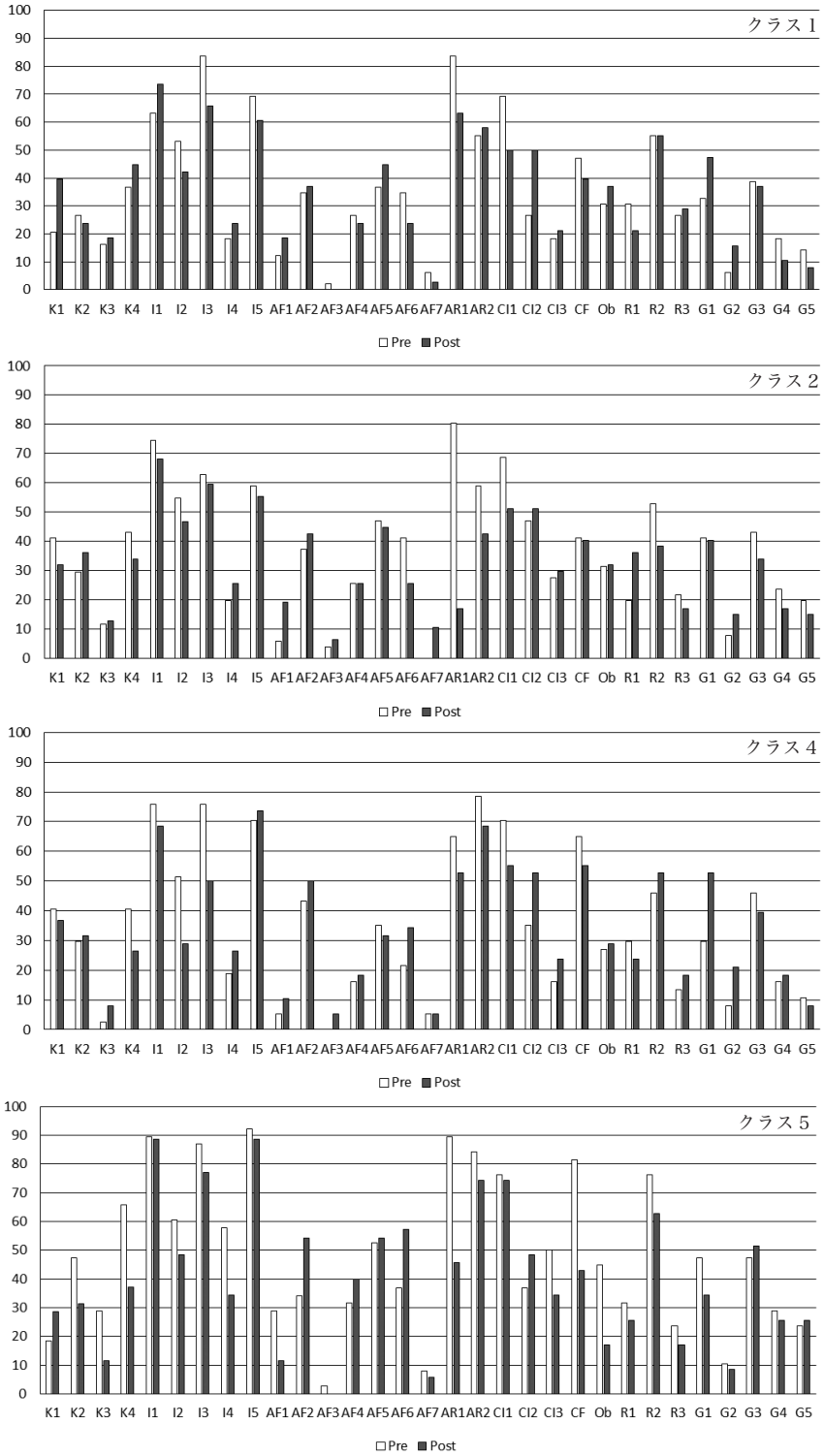


図４　クラス１、２の FCI(pre)、FCI(post) における誤概念分類項目占居率（%）

■誤概念分類項目占居率の変化　図３に示したような誤概念分類項目占居率は FCI(pre) と FCI(post) とでどう変わるのだろうか。表２の１、２、４、５各クラスで、誤概念分類項目占居率が FCI(pre) と FCI(post) とでどう変化したのかを図４に示す。FCI(pre) から FCI(post) への誤概念分類項目別変化のパターンは、クラスによって相当異なっているように見える。

例えば誤概念分類項目 AR1 に着目する。AR1 は、既に述べたように作用反作用のペアに関する誤概念である。どのクラスも減少してはいるが、特にクラス２と５は著しい成功を収めている。クラス５は約半分に、クラス２は４分の１以下にまで減らしている。インペタスに関わる I1 は、クラス２、４はやや減少してはいるが、クラス５ではほとんど変化していない。それどころかクラス１では増えてしまってさえいる。全体的には、誤概念は大学の授業を受講した後でもしぶとく生き残っていることが見て取れる。

５. 何が概念的理解を促すのか

Saul らによれば、[19] 伝統的講義形式による規格化ゲイン g の分布幅は著しく広く、0 から 0.4 にまで広がっている。「アクティブラーニング」に対する「伝統的授業」と、ついひとくくりにしてしまいがちであるが、その内実は多様である。

４. で見た、多様な誤概念分類項目占居率の変化は、それぞれのクラスで展開された講義内容、教材、演習問題、担当教員の授業ポリシー等と密接な関係があるだろう。クラス２では AR1 を劇的に減少させているが、これをもたらした要因は何だろうか。同様なケースを探してみると、クラス４の I2、I3、クラス５の K2、K3、K4、CF、Ob 等が目に付く。それぞれの担当教員の授業の中に、こうした効果を発揮した何かが存在していたと考えることは自然であろう。その有効な何かを摘出し、より広く活用できれば、全体のゲインを高めることが期待できる。

一方、AF1「活動的なものだけが力を及ぼすことができる」は元々多くあったクラス５で減少してはいるが、クラス１、２、４では授業後に増加してしまっている。いったい何が起きているのだろうか。既述したように、AF1 は運動の法則理解と繋がりがある誤概念である。当然、教員はニュートン力学に基づいた解説を展開しているはずである。しかし学生はそれを別の仕方で、AF1 の観点を強化させる方向で取り込んでしまっている可能性があるのではないか。力説した授業内容が、自分の意図したものとは違って彼らに伝わってしまっているのではないか、と疑問を持った経験のある教員は決して少なくないのではないか。

学生はどのような誤概念を抱いた状態で、今この授業に臨んでいるのか、少なくともそうした把握を抜きにして、授業の改善は難しいのではないかと感じている。

本論文執筆に際し、元東京農工大学教授覧具博義先生から貴重なコメントと助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。

本研究は、科学研究費補助金「基盤研究 C」（課題番号 15K00933）の助成を受けています。

引用文献

(1) 右近修治 (2015), アメリカ物理教育の転回―「何を教えるか」から「学生は何を学んでいるか」の研究へ―、東京都市大学共通教育部紀要第 8 巻 , http://www.tcu.ac.jp/academics/liberalarts/ pdf/2015/vol8_06.pdf よりダウンロード可

(2) Hestenes, David, Malcolm, Wells, and Swackhamer Gregg. (1992). Force concept inventory. The Physics Teacher, 30, 141

(3) https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?I=5&A=FCI
より、一定の手続きをすれば入手可能である。なお FCI 調査に関心を持たれた方、あるいは導入を検討される方は以下にご相談ください。
物教調査プロジェクト事務局 p-chosa@cc.tuat.ac.jp

(4) Hake, Richard R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics 66, 64

(5) 新田英雄、塚本浩司 (2011).FCI(Force Concept Inventory) とは何か . 大学の物理教育 17 、16

(6) 新田英雄 (2012)、「素朴概念の分類」、物理教育、60(1)、17-22

(7) diSessa,A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics," Cognition and Instruction, 10.105-225.

(8) 佐々木力 (1995)、「科学革命の歴史構造（上）」、講談社学術文庫

(9) Clement,John J., "Overcoming Students',Misconceptions in Physics: The Role of Anchoring Intuitions and Analogical Validity",Proc. of Second Int. Seminar: Misconceptions and Educ. Strategies in Sci. and Math. III, J.Novak (ed.) (Cornell U., Ithaca, NY, 1987); "Not all preconceptions are misconceptions: Finding 'anchoring conceptions for grounding instruction on students' intuitions", Int. J. Sci. Ed. 11(special issue), 554-565 (1989).

(10) 鈴木亨 (2008)、「誤概念を支える因果スキーマ」、物理教育、56(1)、10-15

(11) 鈴木亨 (2008)、「物理学習者に見られる誤概念の "case" と "phase"」、大学の物理教育、14、54-57

(12) アリストテレス、出隆訳 (1959, 1961)、「形而上学＜上＞＜下＞」、岩波文庫

(13) 田中照久 (2007)、「高校生が保持する遠心力の概念に関する調査」、物理教育、55(4)、303-305

(14) http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html

(15) 石本美智、植松晴子、塚本浩司、新田英雄、覧具博義、「力と運動についての概念調査」日本語第 2 版

(16) Hestenes, Halloun (1995), "Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller", The Physics Teacher, 33

(17) 塚本浩司、栗原昌広、根岸明子、舟橋春彦、宇田純郎、加納　誠（2011）、「FCI 和訳

版による日本の大学・高校での調査結果」、物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集

(18) 国際共通の評価ツールを用いた我が国の物理教育の現状調査と改革指針の探求科研費研究課題番号：26282032　代表者 覧具博義、研究期間　2014 年 4 月 1 日～ 2019 年 3 月 31 日 (予定)

(19) E.F. レディッシュ (2012)、日本物理教育学会監訳、科学をどう教えるか、丸善出版