

大学初年次数物系教養科目における授業改善とその評価 に関する基礎的研究

田 中 忠 芳

要 旨

【背景・目的】

大学初年次数物系教養科目の履修において、学生の学びに対する readiness は必ずしも十分でない。大学入学後、学びのパラダイムは転換すると考えられ、大学教育を取り巻く環境の変化に呼応して学生の学びを転換するために、大学初年次の教育は大きな変革を求められている。補完的内容を組み込んだ数物系教育プログラムを構築するにあたり、数物系教養科目の講義内容の整備および授業改善、その教育効果の標準的評価スキームの開発が不可欠であり、これらに対する基礎的知見を得ることが本研究の目的である。

【改善内容・評価方法】

松本歯科大学歯学部では、2008～2010年度、補完的内容の整備および充実、座学と実験実習の効果的融合、物理的内容と数学的内容の補完的融合を目指して、週2コマで、1コマは講義、もう1コマは実験演習（「実験実習」と「問題演習」を関連付けて実施する授業形態を「実験演習」と呼んでいる）を実施した。講義で演示実験を取入れた解説講義

を行い、その後の実験演習では、講義で扱われた内容に準拠した実験実習と問題演習をグループごとに行い、教員はそれらを支援した。また、課外の学生の学びを支援するための環境整備を行い、履修内容の習得状況を確認するために、毎週全学的に実施されている WeeklyTest（各設問に対して、5つの選択肢から該当する選択肢を「1つ」もしくは「2つ」、「すべて」選び、マークシートの該当箇所をマークして解答する形式の試験）に履修内容を踏まえた問題を出题し、定期試験では WeeklyTest と履修内容全般を踏まえて、マーク問題と記述問題をそれぞれ出题した。

「やる気度」と「理解度」の分析、力学概念調査用標準問題群 FCI（Force Concept Inventory）¹⁾にもとづいて Hake²⁾によって体系化された Hake Plot を用いた分析をそれぞれ行った。これらの分析結果をもとに、学生の学ぶ姿勢の変化、履修内容の定着度などを解析し、教育効果を評価した。

【結果・考察】

学生の「やる気度」および「理解度」を分析した結果、講義内容と関連する実験演習を講義と並行して実施することにより、学生の

(2011年10月31日受理。)

学ぶ姿勢がより能動的になることが示唆された。授業ごとに学生の「やる気度」や「理解度」を問うことは、学生のメタ認知を促し、学習への動機付けにつながると考えられる。また、講義、実験演習ともに、授業の「理解度」平均値と Weekly Test 平均正答率との間に相関は見られず、個々の学生の「理解度」は履修内容の客観的定着度を必ずしも表わしていないが、学生全体で授業の「理解度」平均値を得ることは、当該授業の受講学生全体の受け止め方を知り、授業改善に資する情報を得る上で重要であると考えられた。

Hake Plot を用いた分析によると、2010年度前期の授業は、力学概念の定着において、従来型の講義だけの授業とほぼ同等であった。その一方で、記述式問題の正答率推移を Hake Plot を用いて分析すると、浮力関連分野では十分な教育効果が得られていることがわかった。信頼性が担保された設問群を用いた受講学生全体の正答率の測定とその正答率推移にもとづいた Hake Plot による分析は、測定間に行われた授業や学生自身による学習などを含む教育的活動全般の教育効果の評価を可能にし、改善すべき事項を明確にすることが示された。

【結論】

1. 講義内容と関連する実験演習を講義と並行して実施することにより、学生の学ぶ姿勢がより能動的になる。また、授業ごとに「コミュニケーションカード」などを通じて学生の「やる気度」や「理解度」を問うことで、学生のメタ認知を促し、授業改善に資する情報を得ることが可能である。
2. 講義内容と関連する実験演習を講義と並行して実施することにより、浮力関連分野でアクティブラーニング型授業などにみられる高い教育効果が得られた。その一方で、力学分野の誤概念の克服においては必

ずしも十分な教育効果が得られていなかった。

3. 信頼性が担保された設問群を用いた受講学生全体の正答率の測定とその正答率推移にもとづいた Hake Plot による分析は、測定間に行われた授業や学生自身による学習などを含む教育的活動全般の教育効果の評価を可能にし、改善すべき事項を明確にする。

緒 言

近年、「学士力」育成における科学的素養の重要性ならびに知識基盤社会の創出の必要性が指摘されている³⁾。大学入学後、学びのパラダイムは転換すると考えられ、学生の学びを転換するために、大学初年次における教育は重要な役割を担っているといえよう。

1998年、風間氏により、国際教育到達度評価学会 (The International Association for the Evaluation of Educational Achievement: 略称 IEA) による国際教育調査報告書のデータ、経済協力開発機構 (Organization for Economic Cooperation and Development: 略称 OECD) の報告書などをもとに、日本の中高生を取り巻く教育的環境が詳しく報告された⁴⁾。それによると、日本の中高生は、「理科が好きな生徒の割合」56%、「科学を使う仕事をしたいと考えている生徒の割合」20%、「理科は生活の中で大切と考える生徒の割合」48%、これらはいずれも調査対象国の中で最下位であり、「科学技術に対して関心をもっている一般市民の割合」19%、「科学の新しい発見に対して関心をもつ一般市民の割合」30%、これらもいずれも調査対象国の中で最下位である。日本の大学初年次数物系教養科目の履修において、学生の学びに対する readiness は必ずしも十分でなく、初等中等教育において数学分野および

物理学分野の履修を終えていても、その定着度や履修内容に対する興味・関心は高くないことが浮き彫りになった。同報告では、中高生の理科を学ぶことが大切であるという意識は、母親の影響が強いことも指摘された。1990年代半ばの中高生は、2011年現在で30歳前後であり、社会や家庭において重要な役割を担い始めていると考えられる。中学生当時、科学に対してこのような意識であった青年たちが、社会や家庭において人とかかわるなかで、ネガティブな連鎖が行われていることも充分考えられる。学びそのものに対するネガティブな連鎖を断ち切ることは、今日の日本の教育の重要な課題のひとつである。

学びに対する意識の転換および学びのパラダイムの転換を行う時期としては、日本の教育事情を勘案すると、高等教育機関に進んだ大学初年次の早い時期が最も適していると考えられる。とりわけ、初年次前期の段階で、アカデミックスキル獲得のための効果的な教育プログラムが必要かつ重要となる。

昨今の歯科医学を取り巻く環境の変化に呼応して、歯科医師養成の目標や過程も見直されている。学部教育の改善においては、「臨床医であると同時にサイエンティストとしても優秀な人材の養成に努めることも必要であり、特に研究マインドを培うことに留意することが重要である」と、教養教育充実の必要性が指摘されている⁵⁾。その一方で、「歯科医学教育白書2008年版(2006~2008年)」⁶⁾によると、リメディアル教育(未履修・学力不足と判断された高校教育課程での教科・科目についての補完授業)を行っている歯学部は20校(全体の69%)で、同白書2005年版の13校から大幅に増加している。リメディアル教育が行われている場合、その科目のほとんどは物理、生物、化学であり、数学系も5校で行われている。大学初年次における理数系教養

教育の抜本的改善が望まれている⁶⁾。

大学初年次における数物系科目の補完教育の取組みは、すでに全国の高等教育機関などで行われてきている⁷⁻¹⁰⁾。また、グループによる学習が学生の学びを能動的にすることは知られており¹¹⁻¹⁴⁾、さまざまな場面で導入されている。

近年、物理教育分野における教育研究の成果は著しく¹⁴⁻²⁸⁾、5肢択1式30問からなる力学概念調査用標準問題群 Force Concept Inventory(以下FCIと記す)¹⁾は、力学における誤概念に関する設問で構成され、ニュートン力学が正確に理解されているかどうかを確認するのに適した設問群として、国際的に認知されている¹⁴⁻¹⁶⁾。すでに、このFCIにもとづいて多くの実践報告がなされてきており^{2,17-23)}、さらにFCIの選択肢についての分析²⁴⁾、FCIを拡張する試み^{25,26)}、他の試験の成績との比較検証^{27,28)}も行われている。FCIにもとづきHake²⁾によって体系化されたHake Plotを用いたactivityの効果の評価は、現在、国際的に行われている¹⁴⁻¹⁶⁾。Hake Plotは、教育効果の評価において対照群を必要とせず、その信頼性と有用性において高く評価されるべきものと考えられる。

松本歯科大学においては、2006年度以降、リメディアル教育をはじめとして初年次教育の整備および充実を図っている。同大学歯学部の数物系教養科目は、2006年度、従来の大学教養程度の内容に中等教育段階の数学や物理の内容を補って初年次の履修内容を再構築した。その後も学生の学びに対するreadinessに対応すべく改善を継続し、2008年度からは、補完的内容の整備および充実、座学と実験実習の効果的融合、物理学の履修内容と数学の履修内容の相互補完的融合を目指して、対面一斉講義とグループによる実験演習(「実験実習」と「問題演習」)を関連付けて

実施する授業形態を「実験演習」と呼んでいる)とを密接に関連付けたカリキュラムに、数物系教養科目を再編した。また、大学初年次において初等中等教育の補完的内容を組み込んだ数物系教育プログラムを構築するにあたり、数物系教養科目の講義内容の整備および授業改善と並行して、教育効果の標準的評価スキームを整備する必要がある。

本研究は、これらに対する基礎的知見を得ることを目的としている。大学初年次数物系教養科目の授業改善の取組みとその評価について詳しく報告する。

改善内容と評価方法

1. 数物系教養科目における授業改善の取組み

松本歯科大学歯学部では、初年次教育プログラムを改編し、学生の学びに対する多様なreadinessに対応すべく取組みを行っている。同大学同学部では、1コマあたり90分の授業時間が確保されている。科目ごとの履修内容の理解および定着を確認するための機会として、WeeklyTest(以下WTと記す)が毎週全学的に実施されている。WTは、各設問について5つの解答用選択肢a~eが準備され、そのなかから該当する選択肢を選び(解答すべき選択肢数の指示は、「1つ選べ」、「2つ選べ」、「すべて選べ」の3通り)、マークシートの該当箇所をマークして解答する形式の試験である。数物系教養科目では、必要に応じて、問題文や選択肢に図表や数式を組み込んで問題を作成し出題している。図1に数物系教養科目のWTの設問と選択肢の例を示す。さらに、授業ならびにWTと連携したe-Learning環境が全学的に整備され、e-Learningとは別に毎週オフィスアワーが開催されるなど、学生の学習支援体制は充実しているといえる。

一般に、物理系科目においては、黒板による一斉講義だけでは、履修内容の確実な定着が難しい面がある。現象の観察および計測を通じて現象の本質を探る、問題演習を通じて多様な現象の本質を洞察する力を養う、これらを保証するために、通常、講義と並行して実験および演習が行われる。

このような視点に立ちかえりつつ、当該学生の数物系科目履修に対するreadinessにも十分配慮して、松本歯科大学歯学部における初年次数物系教育プログラム改編にあたっては、

1) 授業改善の変遷とその内容

松本歯科大学歯学部における数物系教養科目の授業改善の変遷とその内容を、2006年度以降について、次に示す。

(1) 2006年度数物系教養科目

「基礎自然科学(数理系)」

(週1コマ, 第1学年通年)

「基礎自然科学(物理系)」

(週1コマ, 第1学年通年)

「医療統計学」(週1コマ, 第1学年前期)

「物理学」(週1コマ, 第1学年後期)

2006年度、初年次学生が学生寄宿舍 Campus Inn で生活するようになり、学習コミュニティの形成、学生間の学び合いが奨励された。これを機に、2006年度、初年次教育のカリキュラムを刷新した。履修内容の理解および定着を確認するために、毎週WTに履修内容の確認問題を出題し、定期試験はWTと履修内容全般を踏まえた出題とした。数学分野に関して、中等教育での履修内容全般を再構成し、1年間を通して講義を行った。また、一般に、中等教育において統計学分野の履修が十分に行われていないことから、「医療統計学」を前期に設置した。物理学分野に関しては、前期に中等教育程度の物理(運動学、力学、弾性体・流体、熱現象)を配置し、

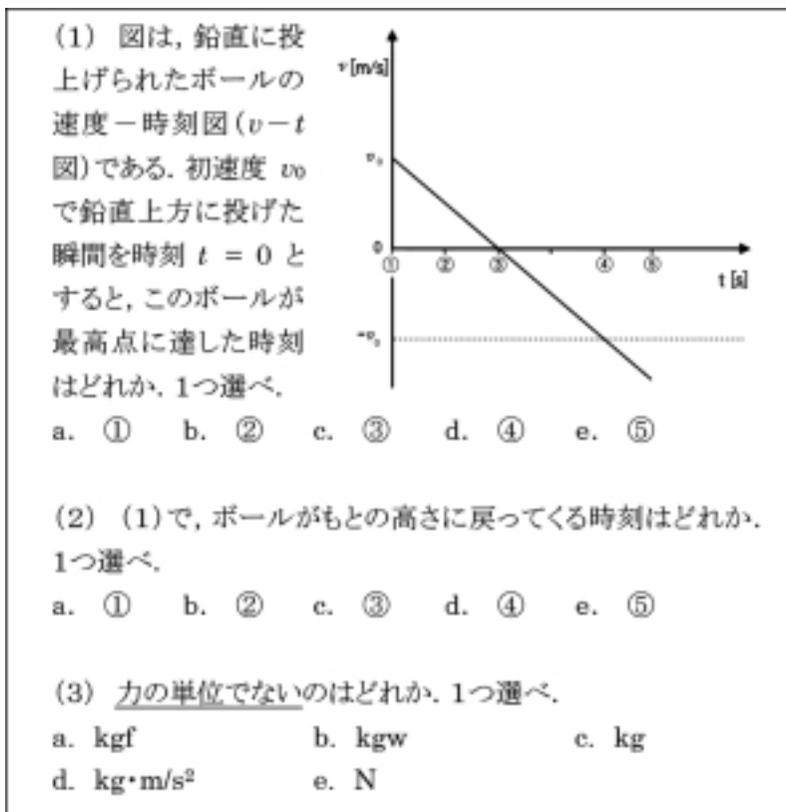


図1：WeeklyTest の設問と選択肢の例（数物系教養科目）

数物系教養科目の設問と選択肢の例を示す。解答すべき選択肢数の指示は、「1つ選べ」、「2つ選べ」、「すべて選べ」の3通りが設定されている。選択肢の多くは、記号や単語であるが、数物系教養科目では、必要に応じて、選択肢に図や短文、数式を組み込んで問題を作成している。

後期に中等教育程度の物理（波・波動，電磁気，原子）と大学教養程度の物理学（剛体，弾性体，流体，熱現象）を設置した。

(2) 2007年度数物系教養科目

「基礎自然科学（数理系）Ⅰ」

（週2コマ，第1学年前期）

「基礎自然科学（数理系）Ⅱ」

（週2コマ，第1学年後期）

「基礎自然科学（物理系）Ⅰ」

（週2コマ，第1学年前期）

「基礎自然科学（物理系）Ⅱ」

（週2コマ，第1学年後期）

課外の学生の学びを支援するため，毎週，学生イントラ上の e-Learning への演習問題などの解答例および授業 VTR を掲載した。

「基礎自然科学（数理系）」では，中等教育程度の数学を確率・統計分野までを含めて再構成し，前期・後期を通じて週2コマで講義を行った。「基礎自然科学（物理系）」では，大学教養程度の物理学までを組込んで履修すべき内容を再構成し，週2コマの講義を前期・後期を通じて行った。「基礎自然科学（物理系）」では，必要に応じて対話を交えて演示実験を実施するものの，授業形態は対面の

一斉講義が中心であった。

(3) 2008, 2009年度数物系教養科目

「基礎自然科学(数理系)Ⅰ」

(週2コマ, 第1学年前期)

「基礎自然科学(数理系)Ⅱ」

(週2コマ, 第1学年後期)

補完的内容の整備および充実, 座学と実験実習の効果的融合, 物理学の履修内容と数学の履修内容の相互補完的融合を目指し, 週2コマで, 前期・後期を通じて数物系教養科目として「基礎自然科学(数理系)」を開講した。週2コマのうち, 1コマは「講義」で, 演示実験を取入れて解説講義を行った。もう1コマは「実験演習」(「実験実習」と「問題演習」を関連付けて実施する授業形態)で, 講義で扱われた事項に関連する実験実習と, それらを理解するための「スタディシート」にもとづいた問題演習を3, 4人の学生グループで行い, 教員らはこれらを支援した。課外の学生の学びを支援するための学生イントラ上 e-Learning への演習問題などの解答例および授業 VTR の掲載は, 2007年度同様実施した。

2009年度は, 医療における物理学の応用事例を早期に紹介することを趣旨として, 原子物理, 原子核物理, 放射線の内容を前期の最初に配置した。また, 毎週行われる WT とは別に, 授業を行った週の翌週の授業の最初の20~30分間で, 実験演習の内容を踏まえた記述もしくは論述問題を出題して PostTest を実施した。

(4) 2010年度数物系教養科目

「基礎自然科学(数理系)Ⅰ」

(週1コマ, 第1学年前期)

「基礎自然科学(数理系)演習Ⅰ」

(週1コマ, 第1学年前期)

「基礎自然科学(数理系)Ⅱ」

(週1コマ, 第1学年後期)

「基礎自然科学(数理系)演習Ⅱ」

(週1コマ, 第1学年後期)

2008, 2009年度に実施した「実験演習」を, 2010年度は「演習」として「講義」とは別にコマを設置し, 履修内容のさらなる整備ならびに充実を図った。また, 「スタディシート」も, 講義内容に準拠した「スタディシート」と実験演習の理解につながる「スタディシート of 演習」とに分離して, それぞれの充実を図った。

2009年度, 前期最初に配置した原子物理, 原子核物理, 放射線は, 履修内容の着実な段階的理解に配慮して再度配置しなおした。

2010年度後期には, 授業中の講義前と講義後で「スタディシート」の設問群を用いて PreTest と PostTest をそれぞれ実施し, 履修内容の授業前後における履修内容の基礎事項の理解度確認を可能にした。

講義時間を確保するために, 2009年度に PostTest で出題していた記述もしくは論述問題は「スタディシート of 演習」に統合し, 記述もしくは論述形式の PostTest は行わないことにした。また, 課外の学生の学びを支援するための学生イントラ上 e-Learning への掲載は, 「スタディシート」および「スタディシート of 演習」とそれらの解答例のみとした。

2) 2006年度以降の数物系教養科目に共通した改善内容

2006年度以降の松本歯科大学歯学部における数物系教養科目に共通した改善内容について, 次に述べる。

(1) 「コミュニケーションカード」の活用

「コミュニケーションカード」(図2)を考案し, 各授業の開始前に各学生に1枚ずつ配布し, 授業終了後, 退室時に回収した。毎回の授業で, このカードを配布してカードへの記入を意識させたが, 記入欄が空欄のまま

コミュニケーション カード	
基礎自然科学(数理系) I (講義)	
2010年	月 日 () 第2時限 講義館203教室
番号:	氏名:
きょうの やる気 度 は?	()%
きょうの 理解度 は?	・ 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5
きょうの授業はどうでしたか?	

図2:「コミュニケーションカード」の例

サイズは、縦:7.5cm, 横:10.5cm (A4縦を8分割した大きさ)であり、学生は、日付、番号、氏名、「やる気度」、「理解度」、授業の感想などを記入する。「やる気度」、「理解度」、感想の各欄への記入は学生に一任されている。

のカードが提出されることもあった。学生が主体的かつ自主的にメタ認知することを促すために、記入については、学生に一任することが重要であると考えた。

提出された「コミュニケーションカード」に記載されている感想やコメントなどに目を通しながら、個々の学生たちを見守り、必要に応じて学生と直接対話した。記入欄が空欄になっている場合や独自の指標で記入している場合、当該学生とのコミュニケーションをとると、それらについて説明してくれた。

「やる気度」や「理解度」については、個々人で基準が異なることが確認できた。また、感想などの記述欄には、学生からの率直な感想や意見、要望が寄せられ、教員がそれらと真摯に向き合い対話を続けることにより、学生と教員と信頼関係はさらに深まる。これらのことから、「コミュニケーションカード」から授業改善の方向性の示唆が得られた。

なお、各授業における出欠管理については、「コミュニケーションカード」を出欠確

認に利用することも可能であるが、授業開始前と授業終了時に1回ずつ別途学生個々に「学生証」をカードリーダーで読み取ることにより出欠確認し、「コミュニケーションカード」は本来の役割のために特化する方がよいと考えた。

2010年度後期から、「コミュニケーションカード」を図3のように、「やる気度」の授業前後での推移を学生自身もトレースできるように改善した。このことにより、学生自身がメタ認知しやすくなると同時に、当該授業がより多くの学生にとって無理のないものであったかどうかが明確になり、教育効果の改善へ向けて重要な指標が得られるものと期待される。

以上のような「コミュニケーションカード」の活用を通じて、学生と教員との意思疎通がよりスムーズになり、加えて、学生のメタ認知能力および自己管理能力の促進、学生の学ぶ気持ちや姿勢へのポジティブなフィードバックの支援が可能になった。

コミュニケーション カード	
基礎自然科学(数理系)Ⅱ (講義)	
2010年	月 日 () 第2時限 実習館216教室
番号:	氏名:
きょうの やる気 度 は?	()% → ()%
きょうの 理解度 は?	・ 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5
きょうの授業はどうでしたか?	

図3:「コミュニケーションカード」の改善例

「やる気度」が授業前後でどのように推移しているかがわかるように改善した。

(2) 演習用シートの作成および改善とその活用

当該講義内容をまとめた書き込み式の「講義ノート」を、2穴ファイル用綴じ穴をあけて、毎回講義前に配布した。2006年度は、「講義ノート」の解説の区切りのいい箇所が必要に応じて「練習問題」として演習問題を入れていたが、履修内容の理解と定着の状況から、十分な問題演習量の確保が課題として残った。2007年度後期、演習問題を「講義ノート」から独立させて「ワークシート」とした。2007年度の「ワークシート」は問題演習用シートであり、毎回の授業で解説講義終了後に配布し、各自講義内容をもとに問題演習を行い、教員らは机間巡視して学生らの演習を支援した。授業終了時までには、学生は「ワークシート」を解答して提出した。

2008～2010年度、「講義」と「実験演習」を関連付けて開講するのを機に、実験実習手順とそれにもとづいた考察などを行う実験演習用シートとして「ワークシート」を位置付けし、新規に作成した。図4に、2008年度以

降使用されている「ワークシート」の例を示す。講義内容に関連した重要な現象や確認しておくべき実験を中心に構成され、項目に沿って計測およびそれにもとづいた考察が進むように作られている。各グループに、実験に必要な備品等が同様に準備されており、全グループが一斉に実験および演習に取りかかることができる。

また、「ワークシート」とは別に、履修内容の理解と定着度向上のために、講義の演習問題と実験内容の理解をするための演習問題からなる「スタディシート」を新規に作成した。「スタディシート」は、講義の中で各学生に配布され、時間的余裕があれば講義中に演習の時間を設け、学生が問題演習している間、教員らはその支援を行った。

実験演習では「ワークシート」を中心にグループ単位で実験実習が行われるが、「スタディシート」を用いた演習の時間としても位置付け、実験実習と問題演習をそれぞれ必要に応じて教員の支援を得ながら取組むことができるように授業を改編して実施した。

2010年度、講義内容に準拠した「スタディシート」と実験演習の理解につながる「スタディシート of 演習」のうち、「スタディシート of 演習」の設問群を「ワークシート」の内容と関連させ、実験実習で必要になる事項の理解を補助することも想定して設問群を構成した。図5に「スタディシート of 演習」の例（一部）を示す。「スタディシート」、「スタディシート of 演習」は翌週のWTの出題範囲になり、毎週授業後に、それぞれについて解答例を学生イントラのe-Learning上に掲載し、復習やWTなどの試験準備、学生間の学び合いを支援した。

2. 授業改善の評価方法

2008年度以降の授業改善による、学生の学ぶ姿勢の変化、力学関連分野の履修内容の定着度を、次の各方法により分析し、分析結果をもとに授業改善の効果を評価した。また、

評価用設問群の信頼性についても評価した。

1) 「やる気度」, 「理解度」の分析による評価

「コミュニケーションカード」および「ワークシート」に記入されている「やる気度」, 「理解度」の数値や標準偏差の推移などをもとに、学生の学ぶ姿勢の変化について分析を行い、学生の学ぶ姿勢の変化をもとに、授業改善の効果を評価した。なお、「やる気度」の欄に0～100%から外れた数値が記入されているものや空欄になっているものなどは分析対象から除外し、集計できる数値をもとに分析した。また、「理解度」の欄に0～5から外れた数値が記入されているものや記入がないものなどは除き、0～5の範囲で記入されている数値をもとに集計した。さらに、「理解度」平均値とWT平均正答率との相関を調べ、「理解度」の数値の扱い方につい

基礎自然科学(数物系) I スタディシート of 演習

番号: _____ 氏名: _____ 2010年6月1日(火) 第3,4時限

第7講 仕事とエネルギー cf. 「増補版 物理学入門」 pp.56-66.

MathPhys20100601-E01

図の斜面上に置かれた質量 m の台車1が、初速度0で斜面を下降して、摩擦のある水平面上に置かれた台車2に衝突し、その後、台車2が、水平面上を、動摩擦係数 F を受けながら距離 d 移動して静止する。重力加速度の大きさを g とし、次の各場合について、問いに答えよ。

(1) 斜面および水平面と台車1との摩擦がいずれも無視でき、台車1と台車2の衝突において、エネルギー損失が無視できる場合、台車2の移動距離 $d = \frac{mg}{F} \cdot h$ と表せることを示せ。

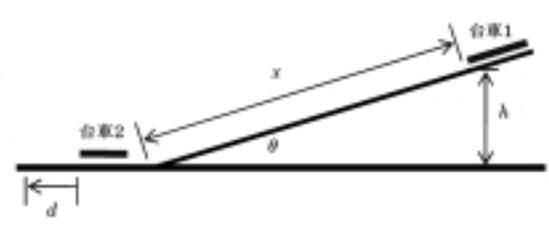


図5: 「スタディシート of 演習」の例（一部）

「ワークシート」に関連させて、実験実習で必要になる事項の理解を補助することを目的に各設問が作成されている。「スタディシート」および「スタディシート of 演習」の解答例を、毎週授業後に学生イントラのe-Learning上に掲載した。

て検討を加えた。

2) Hake Plot を用いた分析による評価

Hake²⁾によって体系化された Hake Plot は、FCI¹⁾により得られる当該学生全体の正答率にもとづいており、力学概念の定着度を分析し、授業全体の教育効果を評価するうえで有効であることが知られている¹⁴⁻¹⁶⁾。

FCI の設問群30問は、各設問に対して解容用に5つの選択肢が準備され、形式的には WT の問題 (図1) と類似している。FCI の各設問の内容は物理を学習していない者にも理解できるように日常的な言葉で記述され、誤答の選択肢は、多くの生徒・学生に対する聞き取り調査から収集された誤概念に基づいて作成されている。FCI を用いて、授業効果や誤概念の比較を国境や時代を超えて行うことが可能であり、この環境が維持されるためには、設問、選択肢、正解が被験者の目に触れないように慎重に管理されることが不可欠となっている。この国際的な約束事のため、教員は正解を学生らに教えて解説することを断念せざるを得ない²⁹⁾。

Hake²⁾によれば、<Gain>は

$$\langle \text{Gain} \rangle = S_f - S_i$$

で定義される。ここに S_i は PreTest における当該学生全体の正答率 (得点率)、 S_f は PostTest における当該学生全体の正答率 (得点率) である。Hake は、<Gain> の最大値を

$$\langle \text{Gain} \rangle_{\text{Possible}} = 100 - S_i$$

で与え、これを用いて <Gain> を規格化し、

$$\langle g \rangle = \frac{\langle \text{Gain} \rangle}{\langle \text{Gain} \rangle_{\text{Possible}}} = \frac{S_f - S_i}{100 - S_i}$$

を定義している。横軸に S_i 、縦軸に <Gain> = $S_f - S_i$ をとることにより Hake Plot が得

られるが、この規格化された <g> は Hake Plot に引かれた各直線の縦軸の切片にあたり、当該学生全体の正答率の最大伸び代に対して、授業などの activity により、どれだけそれを補完したかを示す指標といえる。

本来、Hake Plot は、FCI の設問群30問全体の正答率推移を用いてプロットされるべきものであるが、ここでは、加えて FCI の各設問について正答率推移を調べ、より詳細な分析を行った。これらの分析により、力学概念の定着や誤概念の克服の度合い、さらには授業全体の教育効果および各履修項目の教育効果をそれぞれ評価した。

また、独自に作成した浮力に関連する記述問題 (図6) についても、正答率推移をもとに Hake Plot を用いて分析を行い、授業全体の教育効果および各項目について教育効果をそれぞれ評価した。

さらに、FCI 以外の設問群に対する Hake Plot 利用の可能性についても検討した。その際に重要になるのは、当該設問群の信頼性である。一般に、信頼性係数として、クロンバックの α 係数³⁰⁾がよく用いられる³¹⁾。信頼性係数 α (クロンバックの α 係数) は、次式で定義される。

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \cdot \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^n \sigma_{x_j}^2}{\sigma_x^2} \right)$$

ここに、 n は設問数、 $\sigma_{x_j}^2$ は j 番目の設問の正答の分散、 σ_x^2 は学生の全設問に対する正答合計の分散である。一般に、 $\alpha > 0.8$ のとき、当該設問群の信頼性は担保される。ここでは、FCI および独自に作成した記述問題に対して、信頼性係数 α (クロンバックの α 係数) により設問群の信頼性をそれぞれ評価し、一般的な設問群への Hake Plot 適用の可能性について検討した。

<記述問題>

氷の密度は 0.92 g/cm^3 、海水の密度は 1.03 g/cm^3 である。
重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 として、指数を用いて答えよ。

- (1) 長さ 1 cm は何 m か。
- (2) 体積 1 cm^3 は何 m^3 か。
- (3) 質量 1 g は何 kg か。
- (4) 密度 1 g/cm^3 は何 kg/m^3 か。
- (5) 氷の密度 0.92 g/cm^3 は何 kg/m^3 か。
- (6) 海水の密度 1.03 g/cm^3 は何 kg/m^3 か。
- (7) 体積 $100,000 \text{ m}^3$ の氷の質量は何 kg か。
- (8) 体積 $100,000 \text{ m}^3$ の氷にはたらく重力は何 N か。
- (9) 体積 $100,000 \text{ m}^3$ の氷にはたらく浮力は何 N か。
- (10) 体積 $100,000 \text{ m}^3$ の氷が 海水に浮いているとき、水面下にある氷の体積は何 m^3 か。

【解答欄】



図 氷に浮かぶ氷山

図6：浮力関連記述問題

浮力の理解に関連した設問10問で構成されている。実際の解答欄は、解答のための十分なスペースが設けられている。

結 果

1. 「やる気度」, 「理解度」の分析による授業改善の評価

講義のみを実施した2007年度と、講義と実験演習とを関連付けて導入した2008～2010年度のそれぞれについて、「コミュニケーションカード」および「ワークシート」から得られた学生の「やる気度」, 「理解度」の集計結果をもとに、受講学生全体の平均値と標準偏差を算出し、授業改善の効果を評価した。

1) 「やる気度」の推移の比較

図7に、2007年度前期「基礎自然科学（物理系）I」（講義）における、受講学生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差の推移を示す（横軸は授業回数、授業回数

は全25回）。授業によって、受講学生全体の「やる気度」平均値が上下しているのがわかる。また、「やる気度」平均値が上昇すると、「やる気度」標準偏差が若干下がり、逆に「やる気度」平均値が下がると、「やる気度」標準偏差は上昇する傾向がある。

図8に、2008年度前期「基礎自然科学（数理系）I」（実験演習）における、受講学生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差の推移を示す（横軸は授業回数、授業回数は全11回）。2008年度は、初めて講義と実験演習とを関連付けて実施した年度である。実験演習の内容に呼応して、受講学生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差が上下する傾向は、2007年度の講義だけの実施時よりも顕著である。

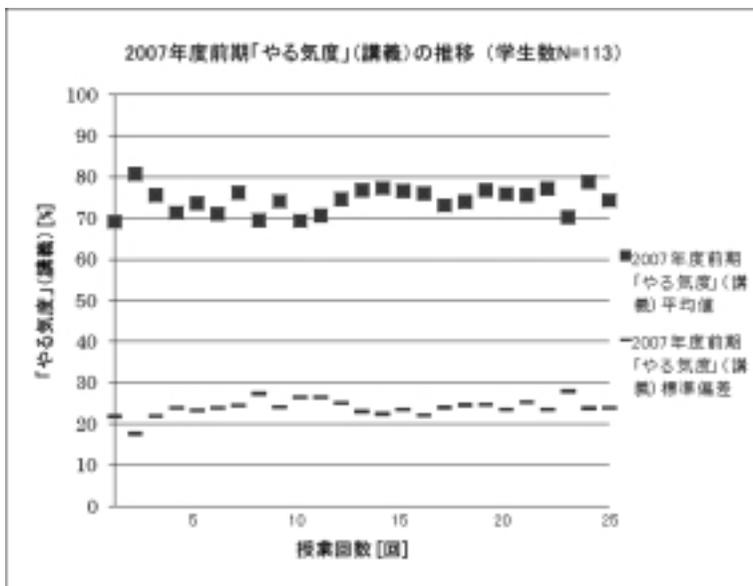


図 7：2007年度前期「やる気度」(講義) の推移

学生数 N = 113, 全授業回数 = 25

「やる気度」平均値：平均 = 74.3 (最大値 = 80.7, 最小値 = 69.2)

「やる気度」標準偏差：平均 = 24.0 (最大値 = 28.0, 最小値 = 17.7)

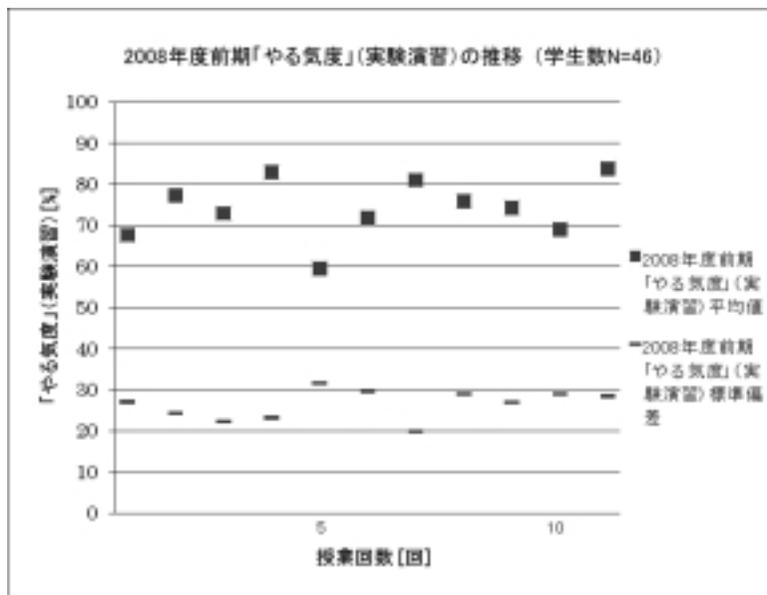


図 8：2008年度前期「やる気度」(実験演習) の推移

学生数 N = 46, 全授業回数 = 11

「やる気度」平均値：平均 = 74.2 (最大値 = 83.8, 最小値 = 59.5)

「やる気度」標準偏差：平均 = 26.5 (最大値 = 31.6, 最小値 = 19.8)

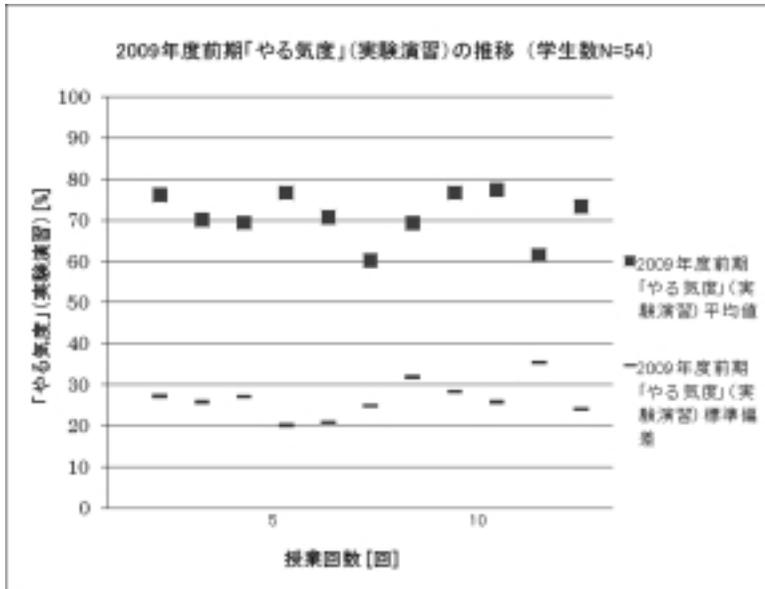


図9：2009年度前期「やる気度」(実験演習)の推移

学生数 N=54, 全授業回数=12

「やる気度」平均値：平均=71.1 (最大値=77.4, 最小値=60.2)

「やる気度」標準偏差：平均=26.5 (最大値=35.5, 最小値=20.2)

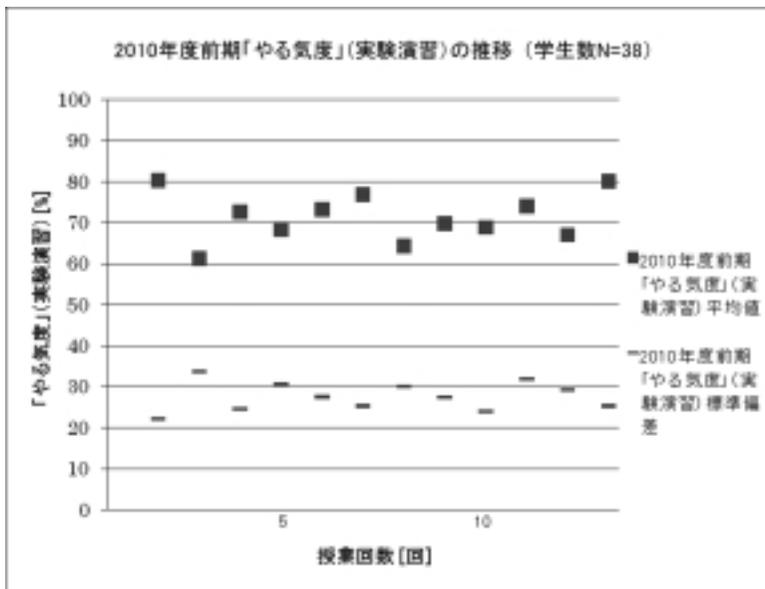


図10：2010年度前期「やる気度」(実験演習)の推移

学生数 N=38, 全授業回数=13

「やる気度」平均値：平均=71.4 (最大値=80.3, 最小値=61.2)

「やる気度」標準偏差：平均=27.7 (最大値=33.7, 最小値=22.2)

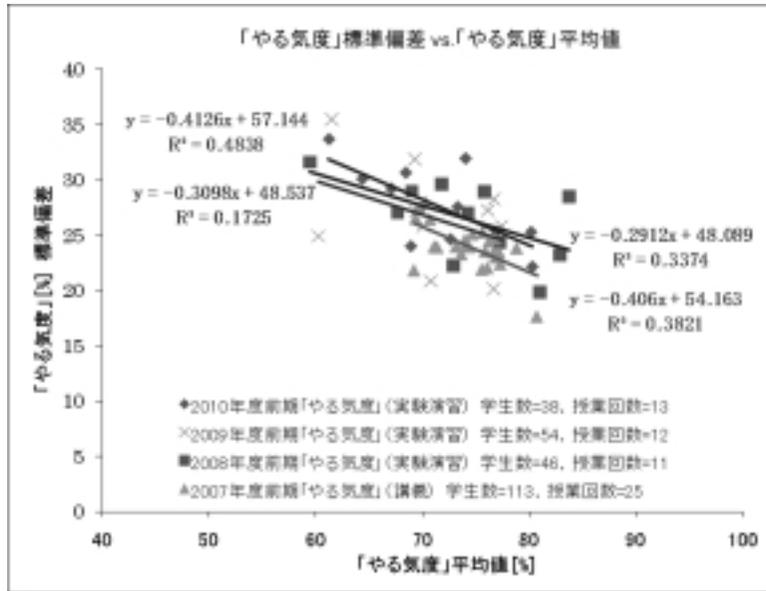


図11: 「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差

2010年度前期「やる気度」(実験演習) : $y = -0.4126x + 57.144$, $R^2 = 0.4838$

2009年度前期「やる気度」(実験演習) : $y = -0.3098x + 48.537$, $R^2 = 0.1725$

2008年度前期「やる気度」(実験演習) : $y = -0.2912x + 48.089$, $R^2 = 0.3374$

2007年度前期「やる気度」(講義) : $y = -0.406x + 54.163$, $R^2 = 0.3821$

図9に、2009年度前期「基礎自然科学(数理系)I」(実験演習)における、受講学生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差の推移を示す(横軸は授業回数、授業回数は全12回)。実験演習の内容に呼応して、受講学生の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差が上下する傾向が、講義だけの実施時よりも顕著であるのは、2008年度と同様である。

図10に、2010年度前期「基礎自然科学(数理系)I」(実験演習)における、受講学生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差の推移を示す(横軸は授業回数、授業回数は全13回)。2010年度は、実施内容の整備と充実を図り、2008年度とほぼ同じ順序で講義と実験演習を実施した。2008、2009年度と同様、実験演習の内容に呼応して、受講学

生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差値が上下する傾向は、やはり講義だけの実施時よりも顕著である。

図11に、受講学生全体の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差の散布図を示す。2007年度前期(講義)、2008年度前期(実験演習)、2009年度前期(実験演習)、2010年度(実験演習)のいずれも、負の相関がみられる。相関係数 R および決定係数(寄与率) R^2 は、それぞれ、2007年度前期(講義) : $R = 0.6181$, $R^2 = 0.3821$; 2008年度前期(実験演習) : $R = 0.5809$, $R^2 = 0.3374$; 2009年度前期(実験演習) : $R = 0.4153$, $R^2 = 0.1725$; 2010年度(実験演習) : $R = 0.6956$, $R^2 = 0.4838$ であった。

2) 「理解度」の推移の比較

図12に、2007年度前期「基礎自然科学(物

理系) I」(講義)における, 受講学生全体の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差の推移を示す(横軸は授業回数, 授業回数は全25回). 授業によって, 受講学生全体の「理解度」平均値がわずかではあるが上下している. また, 「理解度」平均値が上昇すると, 「理解度」標準偏差が若干下がり, 逆に「理解度」平均値が下がると, 「理解度」標準偏差は上昇する傾向がうかがえる.

図13に, 2008年度前期「基礎自然科学(数理系) I」(実験演習)における, 受講学生全体の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差の推移を示す(横軸は授業回数, 授業回数は全11回). 2008年度は, 初めて講義と実験演習を関連付けて実施した年度であるが, 実験演習の内容に呼応して, 受講学生全体の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差が上下する傾向は, 2007年度の講義だけの実施時よりも顕著である.

図14に, 2009年度前期「基礎自然科学(数理系) I」(実験演習)における, 受講学生全体の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差の推移を示す(横軸は授業回数, 授業回数は全12回). 実験演習の内容に呼応して受講学生全体の「やる気度」平均値と「理解度」標準偏差が上下する傾向が, 講義だけの実施時よりも顕著であるのは, 2008年度と同様である.

図15に, 2010年度前期「基礎自然科学(数理系) I」(実験演習)における, 受講学生全体の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差の推移を示す(横軸は授業回数, 授業回数は全13回). 2010年度は, 実施内容の整備と充実を図り, 2008年度とほぼ同じ順序で講義と実験演習を行った. 2008, 2009年度と同様, 実験演習の内容に呼応して, 受講学生全体の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差値が上下する傾向は, やはり講義だけの実施

時よりも顕著である.

図16に, 「理解度」平均値と「理解度」標準偏差の散布図を示す. 2007年度前期(講義), 2008年度前期(実験演習), 2009年度前期(実験演習), 2010年度(実験演習)のいずれも, 負の相関がある. 相関係数 R および決定係数(寄与率) R^2 は, それぞれ, 2007年度前期(講義): $R=0.6133$, $R^2=0.3761$; 2008年度前期(実験演習): $R=0.5220$, $R^2=0.2725$; 2009年度前期(実験演習): $R=0.8130$, $R^2=0.661$; 2010年度(実験演習): $R=0.5320$, $R^2=0.283$ であった.

3) 「やる気度」と「理解度」の相関性

図17に, 「やる気度」平均値と「理解度」平均値の散布図を示す. 2007年度前期(講義), 2008年度前期(実験演習)については, 正の相関がある. 相関係数 R および決定係数(寄与率) R^2 は, それぞれ, 2007年度前期(講義): $R=0.5086$, $R^2=0.2587$; 2008年度前期(実験演習): $R=0.6913$, $R^2=0.4779$; 2009年度前期(実験演習): $R=0.2848$, $R^2=0.0811$; 2010年度(実験演習): $R=0.2387$, $R^2=0.0570$ であった.

4) 「理解度」と WeeklyTest 正答率との相関性

まず, 図18に, 2010年度前期の講義の WT 平均正答率と実験演習の WT 平均正答率との散布図を示す. 講義の WT 平均正答率と実験演習の WT 平均正答率との相関が強い(相関係数 $R=0.8921$, 決定係数(寄与率) $R^2=0.7959$) のは, 講義と実験演習を関連付けて授業を展開していることによると考えられる. 講義の WT 平均正答率が60%未満の学生のなかに, 実験演習の WT 平均正答率が相対的に低い学生が散見される.

図19に, 2010年度前期の講義について, 「理解度」平均値と WT 平均正答率の散布図を, 図20に, 2010年度前期の実験演習につ

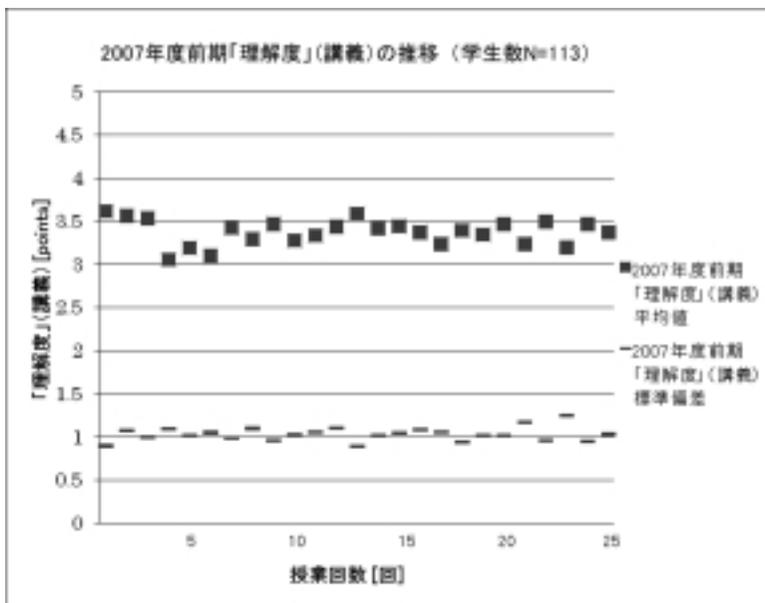


図12：2007年度前期「理解度」(講義)の推移

学生数 N = 113, 全授業回数 = 25

「理解度」平均値：平均 = 3.37 (最大値 = 3.61, 最小値 = 3.05)

「理解度」標準偏差：平均 = 1.03 (最大値 = 1.24, 最小値 = 0.888)

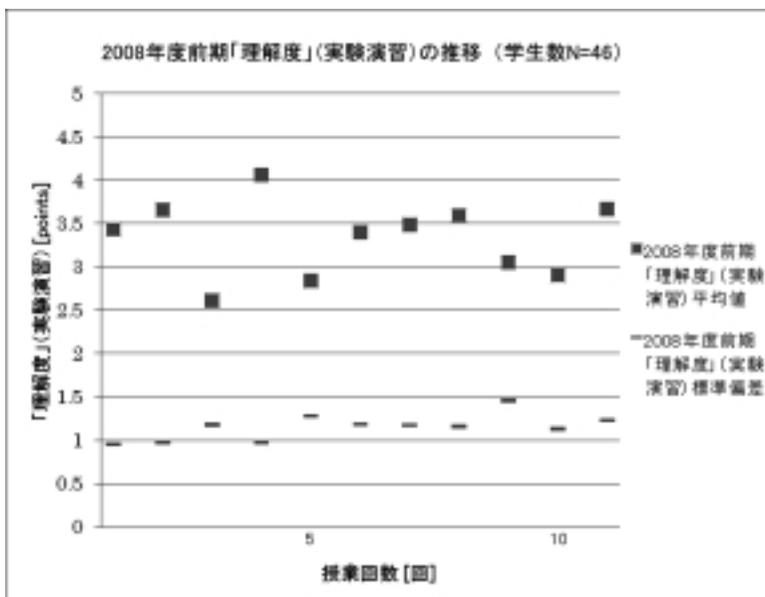


図13：2008年度前期「理解度」(実験演習)の推移

学生数 N = 46, 全授業回数 = 11

「理解度」平均値：平均 = 3.34 (最大値 = 4.06, 最小値 = 2.61)

「理解度」標準偏差：平均 = 1.15 (最大値 = 1.46, 最小値 = 0.950)

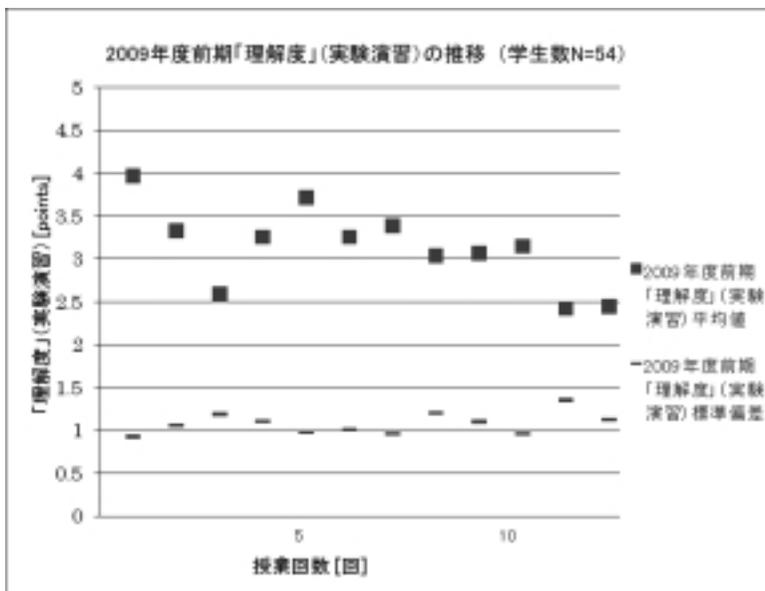


図14：2009年度前期「理解度」(実験演習)の推移

学生数 N = 54, 全授業回数 = 12

「理解度」平均値：平均 = 3.14 (最大値 = 3.97, 最小値 = 2.42)

「理解度」標準偏差：平均 = 1.08 (最大値 = 1.36, 最小値 = 0.927)

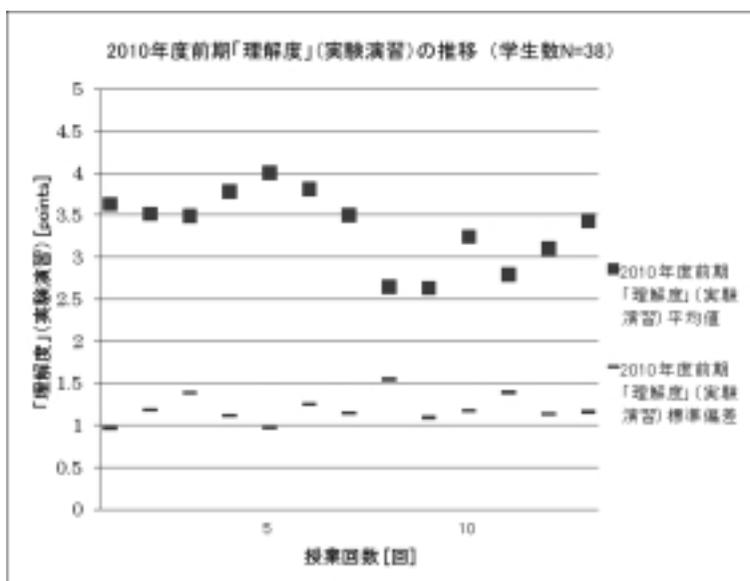


図15：2010年度前期「理解度」(実験演習)の推移

学生数 N = 38, 全授業回数 = 13

「理解度」平均値：平均 = 3.35 (最大値 = 4.00, 最小値 = 2.63)

「理解度」標準偏差：平均 = 1.19 (最大値 = 1.55, 最小値 = 0.966)

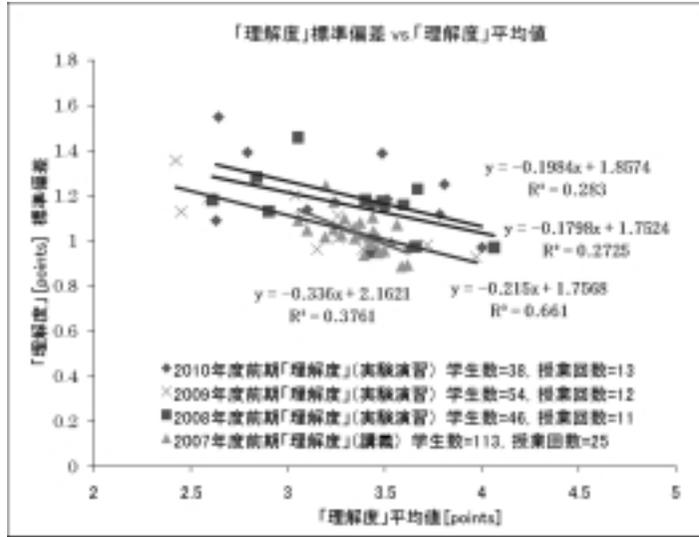


図16: 「理解度」平均値と「理解度」標準偏差

2010年度前期 「理解度」(実験演習) : $y = -0.1984x + 1.8574$, $R^2 = 0.2830$

2009年度前期 「理解度」(実験演習) : $y = -0.215x + 1.7568$, $R^2 = 0.6610$

2008年度前期 「理解度」(実験演習) : $y = -0.1798x + 1.7524$, $R^2 = 0.2725$

2007年度前期 「理解度」(講義) : $y = -0.336x + 2.1621$, $R^2 = 0.3761$

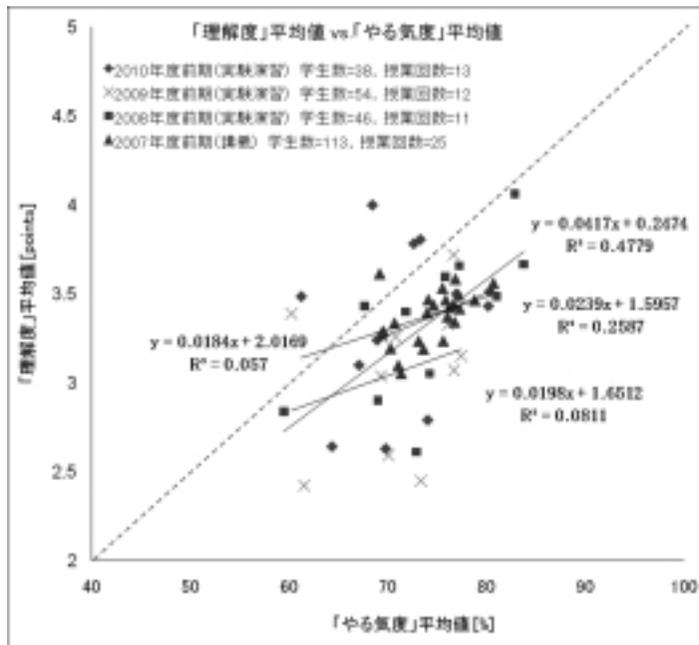


図17: 「やる気度」平均値と「理解度」平均値

2010年度前期 (実験演習) : $y = 0.0184x + 2.0169$, $R^2 = 0.0570$

2009年度前期 (実験演習) : $y = 0.0198x + 1.6512$, $R^2 = 0.0811$

2008年度前期 (実験演習) : $y = 0.0417x + 0.2474$, $R^2 = 0.4779$

2007年度前期 (講義) : $y = 0.0239x + 1.5957$, $R^2 = 0.2587$

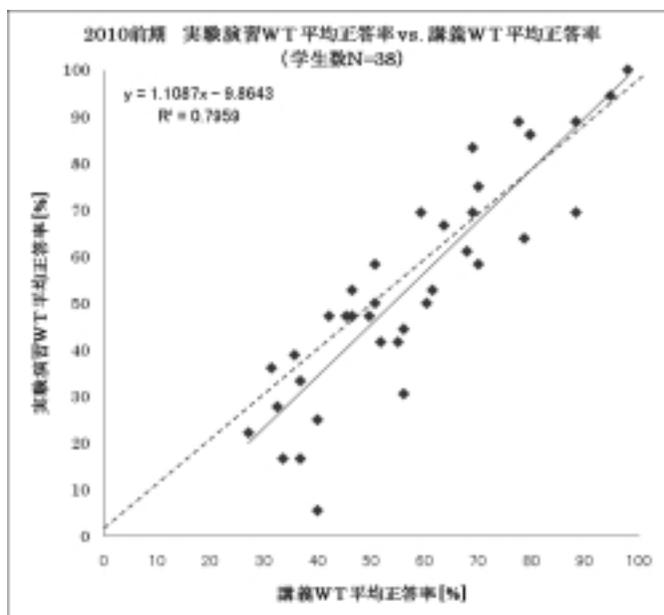


図18：2010年度前期 講義 WT (WeeklyTest) 平均正答率と
実験演習 WT (WeeklyTest) 平均正答率 (学生数 N=38)

講義の WT 平均正答率と実験演習の WT 平均正答率との相関は強い (相関係数 $R = 0.8921$, 決定係数 (寄与率) $R^2 = 0.7959$)。講義の WT 平均正答率が60%未満の学生のなかに、実験演習の WT 平均正答率が相対的に低い学生が散見される。

いて、「理解度」平均値と WT 平均正答率の散布図を、それぞれ示す。ほとんど、「理解度」平均値と WT 平均正答率との間に相関は見られない。講義の「理解度」平均値が1.5～4.0の範囲に分布しているのに対し、実験演習の「理解度」平均値が2.0～5.0の範囲に分布している。

5) 「やる気度」と「理解度」の分析から みた授業改善の効果

以上、受講学生全体の「やる気度」平均値および「理解度」平均値の推移を分析した結果、授業内容に対する受講学生の応答から、講義だけの授業よりも実験演習のようなアクティブラーニング型授業の方が学ぶ姿勢をより能動的にさせることが示唆された。すなわち、講義内容と関連する実験実習を講義と並

行して実施することにより、学生の学ぶ姿勢をより能動的にさせると考えられる。

2. Hake Plot を用いた分析による授業改善 の評価

1) FCI の正答率推移と Hake Plot による 評価

図21に、FCI 正答率度数分布の推移を示す。各 FCI 正答率度数分布において、FCI₀ は力学の授業開始前、FCI₂ は前期定期試験時をそれぞれ示す。FCI₀、FCI₂ はいずれも個別試験形式で実施した。FCI₀ に対して FCI₂ では、高い正答率の方へ分布がシフトしているのがわかる。信頼性係数 α (クロンバックの α 係数) は、それぞれ FCI₀ で $\alpha = 0.874$ 、FCI₂ で $\alpha = 0.889$ であった。なお、力学の講義終了後の実験演習で

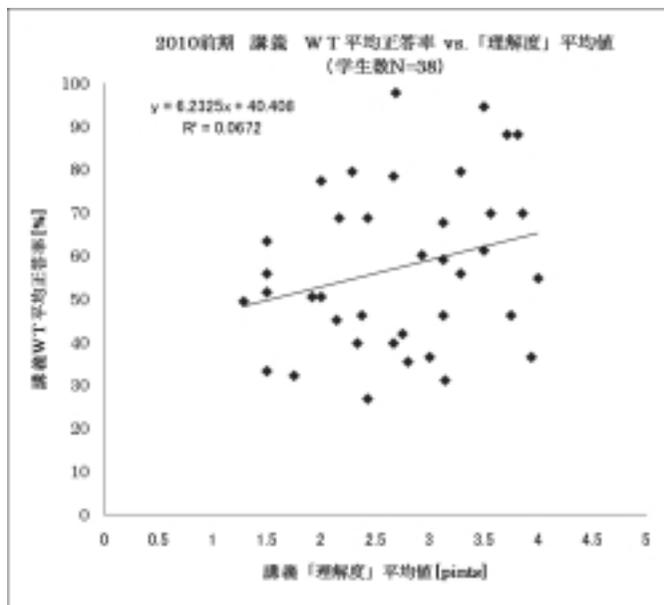


図19：2010年度前期 講義「理解度」平均値と
講義 WT (WeeklyTest) 平均正答率 (学生数 N=38)
相関係数 $R = 0.2592$, 決定係数 (寄与率) $R^2 = 0.0672$. 「理解度」
平均値は1.5~4.0の範囲に分布している.

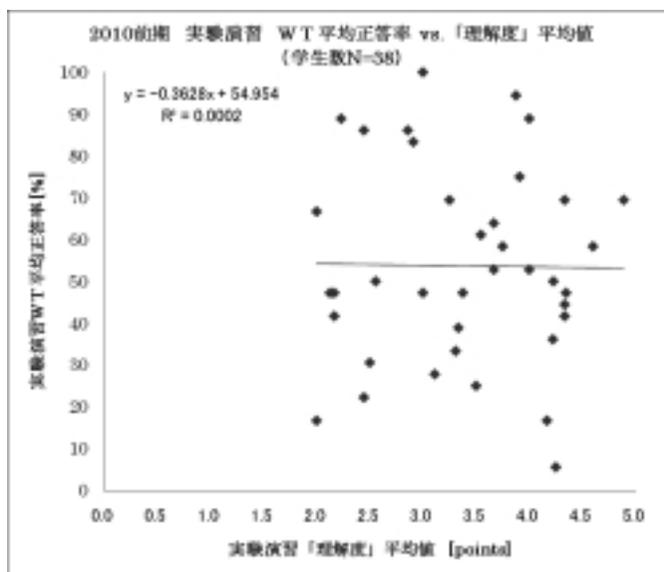


図20：2010年度前期 実験演習「理解度」平均値と
実験演習 WT (WeeklyTest) 平均正答率 (学生数 N=38)
「理解度」平均値と WT 平均正答率との相関はない (相関係数 $R = 0.01414$, 決定係数 (寄与率) $R^2 = 0.0002$). 「理解度」平均値は
2.0~5.0の範囲に分布している.

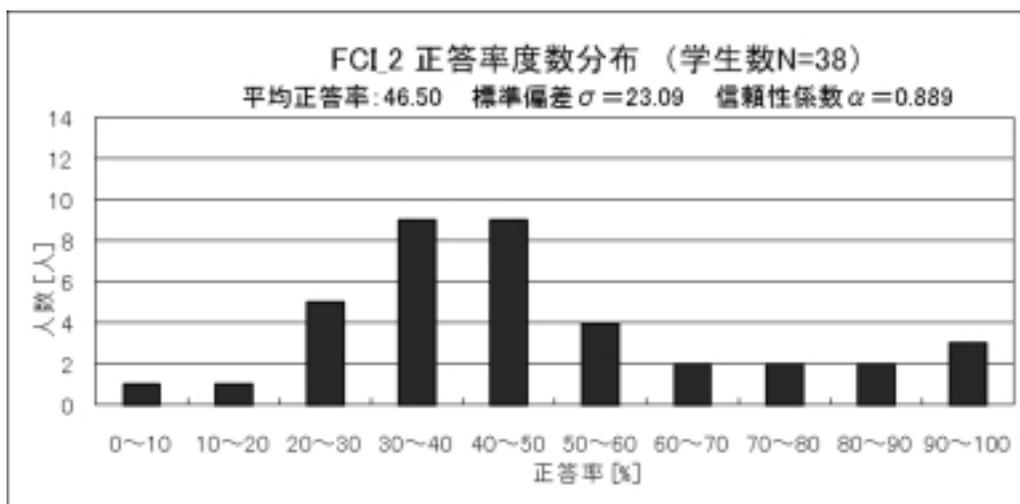
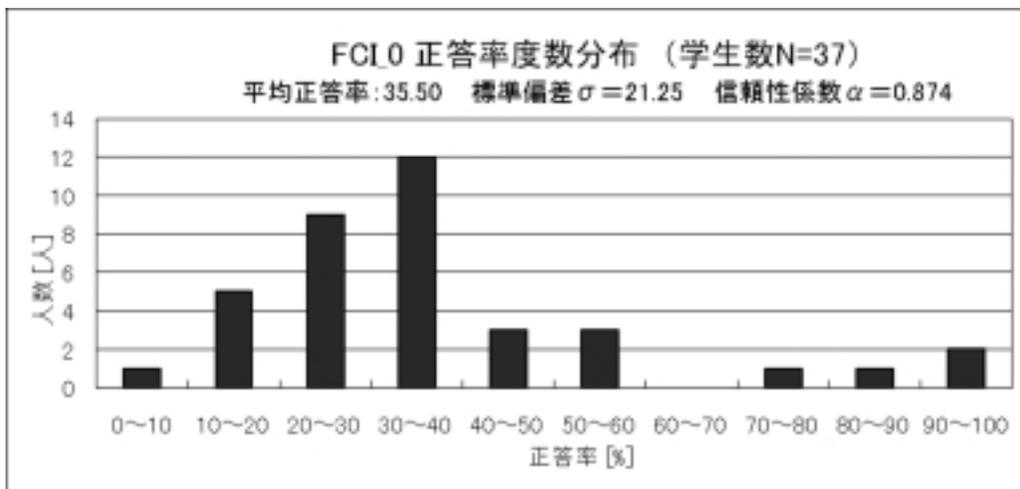


図21：FCI正答率度数分布の推移
 (FCI_0：学生数 N=37, FCI_2：学生数 N=38)

FCI_0は力学の授業開始前、FCI_2は前期定期試験時をそれぞれ示す。FCI_0に対してFCI_2では、高い正答率の方へ分布がシフトしている。信頼性係数 α (クロンバックの α 係数)は、それぞれFCI_0で $\alpha=0.874$ 、FCI_2で $\alpha=0.889$ 。なお、力学の講義終了後の実験演習においてグループ単位で取組んだFCI_1は、個別試験の形式で実施したFCI_0、FCI_2と比較できないため、上図はFCI_1を除外している。

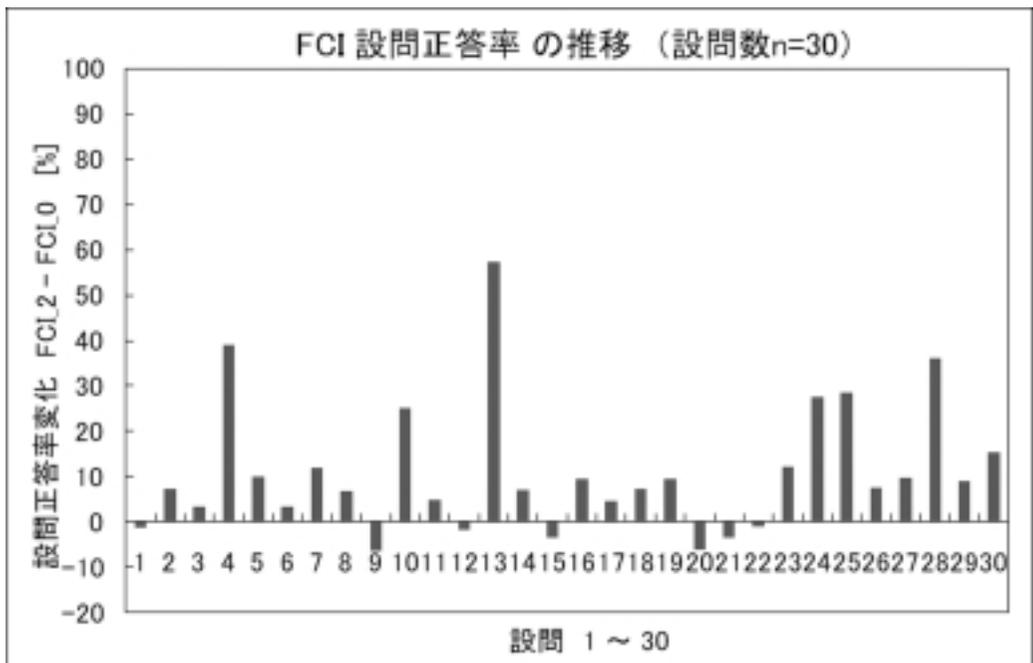
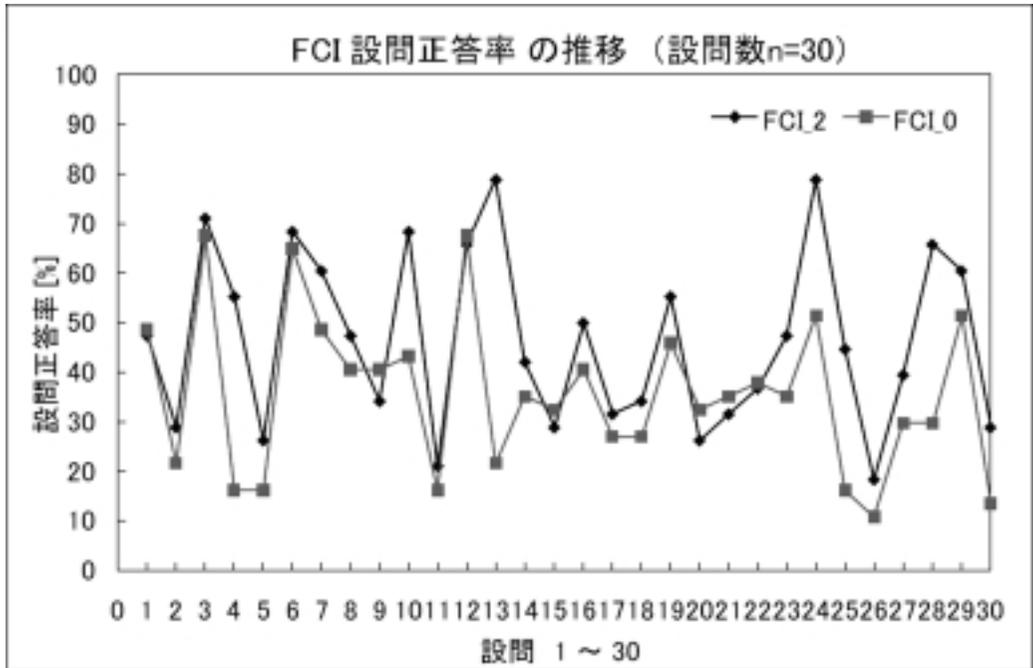


図22：FCI 設問正答率の推移 (設問数 n=30)

FCI の各設問の正答率およびその推移に大きなばらつきがある。

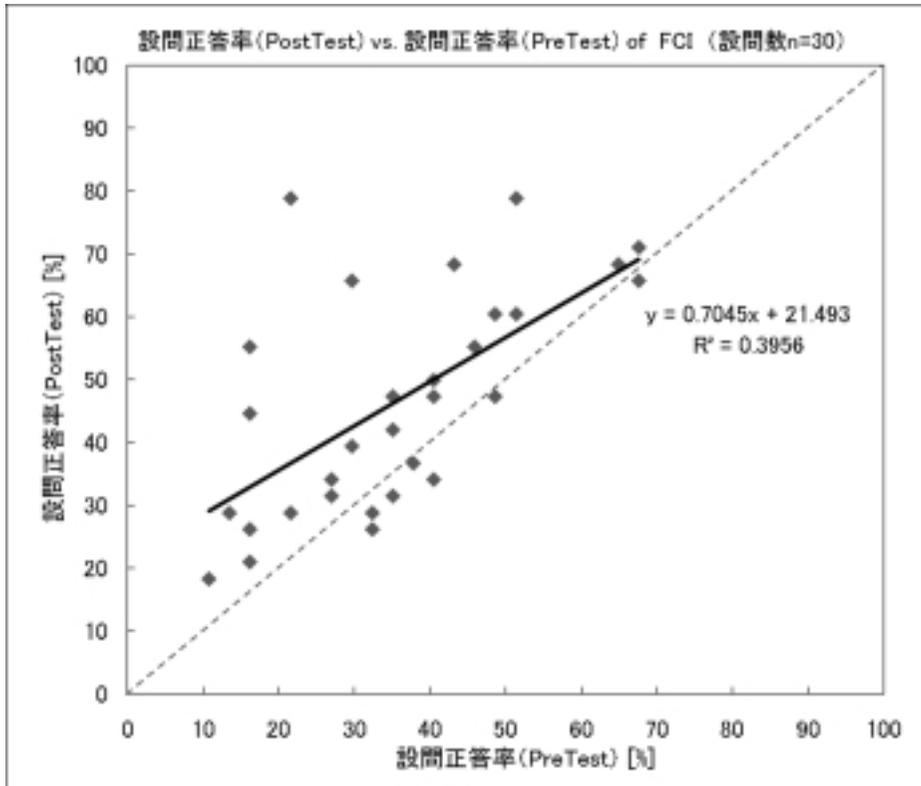


図23：設問正答率（PreTest）と設問正答率（PostTest）

PreTest で正答率が低い設問のなかには、PostTest で高い正答率を示すものもあるが、すべての設問の正答率が高くなるわけではない。PostTest の正答率がPreTest の正答率よりも下がっている設問も見受けられる。

ループ単位で取組んだ際のスコア FCI_1 は、FCI_0、FCI_2 と実施形態が異なり比較できないため除外した。

図22に、FCIの設問ごとの正答率の推移を示す。FCIの各設問の正答率およびその推移に大きなばらつきがあるのがわかる。図23に、PreTestの設問正答率とPostTestの設問正答率の散布図を示す。PreTestで正答率が低い設問のなかには、PostTestで高い正答率を示すものもあるが、すべての設問の正答率が高くなるわけではない。図22、図23から、PostTestの正答率がPreTestの正答率よりも下がっている設問が判別できる。

図24に、FCIの各設問について、PreTest

の正答率とPreTestからPostTestへの正答率推移との散布図を示す。本来、Hake²⁾により<Gain>はFCIの設問30問全体に対する正答率推移として定義されているが、ここでは新たに、FCI各設問についてPreTestからPostTestへの正答率推移を「設問の<Gain>」として定義する。図24では、横軸はPreTestの正答率、縦軸は「設問の<Gain>」で表示されている。Hake²⁾により示されたLow-<g> (0~30%)、Medium-<g> (30~70%)、High-<g> (70~100%)と補助線をそれぞれ付記した。各設問について<Gain>を定義すると、FCIの30問の各設問のプロット◆は、High-<g>、Medium-

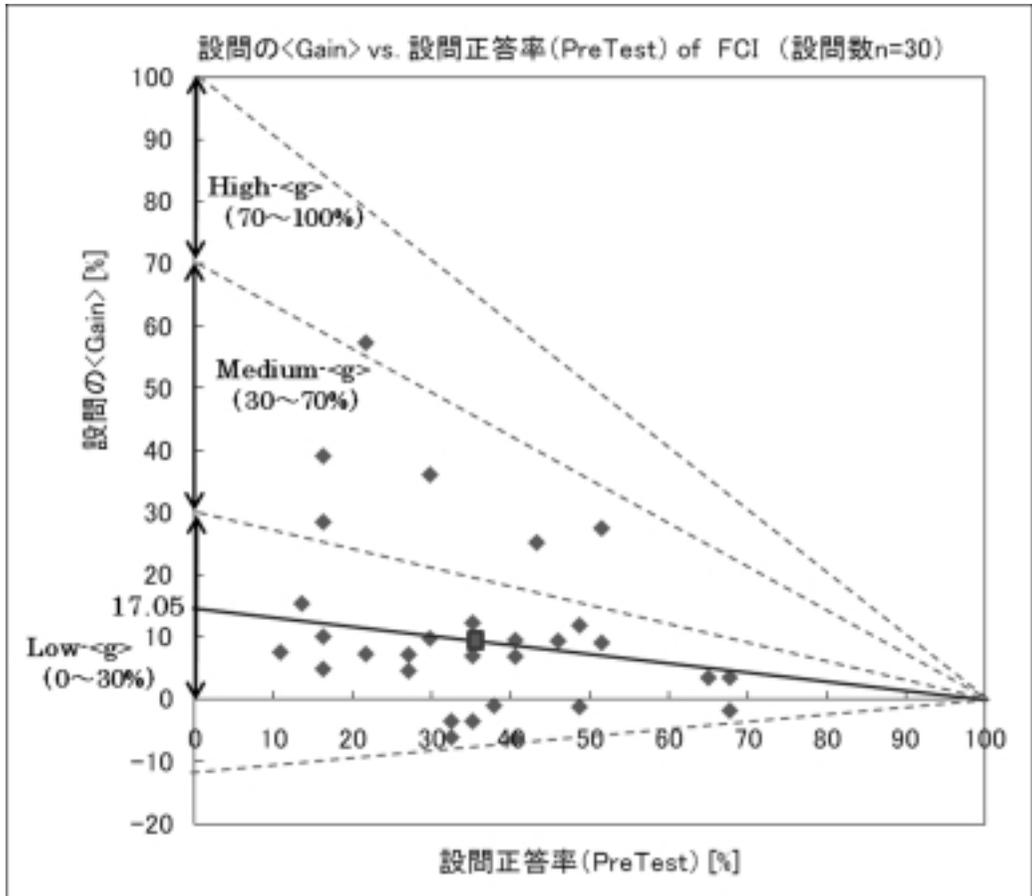


図24：FCIの設問正答率（PreTest）と設問の<Gain>

（FCI全体：PreTest正答率=35.48，PostTest正答率=46.49，<Gain>=11.01，<g>=0.1705）
 Low-<g>（0～30%），Medium-<g>（30～70%），High-<g>（70～100%）を縦軸に両矢印で示す。FCIの設問30問は，High-<g>，Medium-<g>，Low-<g>のいずれかに属する設問と負の<g>を与える設問とに分類される。なお，Low-<g>（0～30%），Medium-<g>（30～70%），High-<g>（70～100%）の分類はHake²⁾による。

<g>，Low-<g>のいずれかに属する設問と負の<g>を与える設問とに分類される。図24には，今回実施したFCIの設問30問全体に対する<Gain>=11.01，PreTest正答率=35.48のプロット■も示されている。今回実施したFCIの設問30問全体に対して<g>を計算すると<g>=0.1705であった。これは，Hake²⁾によるLow-<g>（0～30%）に相当し，伝統的な講義と教育効果において同等程度であることを意味する。

表1に，今回行ったFCIの各設問について計算した<g>の一覧を示す。本来，Hake²⁾により<g>はFCIの設問30問全体に対して定義されているが，ここでは，FCI各設問に対しても<g>を定義する。<g>が負である設問および<g>が低い設問を調べると，設問9，12，21，22，2，18，6が「2次元ベクトル，平面運動」に関連する設問，設問20，1，11，17，26，2，18，6が「加速度，運動方程式」に関連する設問，設問15が「内

表 1 : FCI 各設問の<g>

設問番号	正答率_0	正答率_1	正答率_2	<Gain>_2 vs 0	<g>
13	21.6	47.2	78.9	57.3	0.73087
24	51.4	58.3	78.9	27.5	0.56584
28	29.7	41.7	65.8	36.1	0.51351
4	16.2	52.8	55.3	39.1	0.46659
10	43.2	52.8	68.4	25.2	0.44366
25	16.2	22.2	44.7	28.5	0.34010
7	48.6	52.8	60.5	11.9	0.23152
23	35.1	36.1	47.4	12.3	0.18952
29	51.4	19.4	60.5	9.1	0.18724
30	13.5	22.2	28.9	15.4	0.17803
19	45.9	41.7	55.3	9.4	0.17375
16	40.5	41.7	50.0	9.5	0.15966
27	29.7	33.3	39.5	9.8	0.13940
5	16.2	36.1	26.3	10.1	0.12053
8	40.5	41.7	47.4	6.9	0.11597
3	67.6	77.8	71.1	3.5	0.10802
14	35.1	38.9	42.1	7.0	0.10786
6	64.9	66.7	68.4	3.5	0.09972
18	27.0	25.0	34.2	7.2	0.09863
2	21.6	33.3	28.9	7.3	0.09311
26	10.8	19.4	18.4	7.6	0.08520
17	27.0	41.7	31.6	4.6	0.06301
11	16.2	22.2	21.1	4.9	0.05847
22	37.8	41.7	36.8	-1.0	-0.0161
1	48.6	55.6	47.4	-1.2	-0.0233
15	32.4	41.7	28.9	-3.5	-0.0518
21	35.1	41.7	31.6	-3.5	-0.0539
12	67.6	69.4	65.8	-1.8	-0.0556
20	32.4	30.6	26.3	-6.1	-0.0902
9	40.5	30.6	34.2	-6.3	-0.1059

<g>の数値をもとに降順に並べ替えてある。また、High-<g> (70~100%), Medium-<g> (30~70%), Low-<g> (0~30%), Negative-<g> (0%未満)で色分けされている。なお、High-<g> (70~100%), Medium-<g> (30~70%), Low-<g> (0~30%) の分類はHake⁹⁾による。

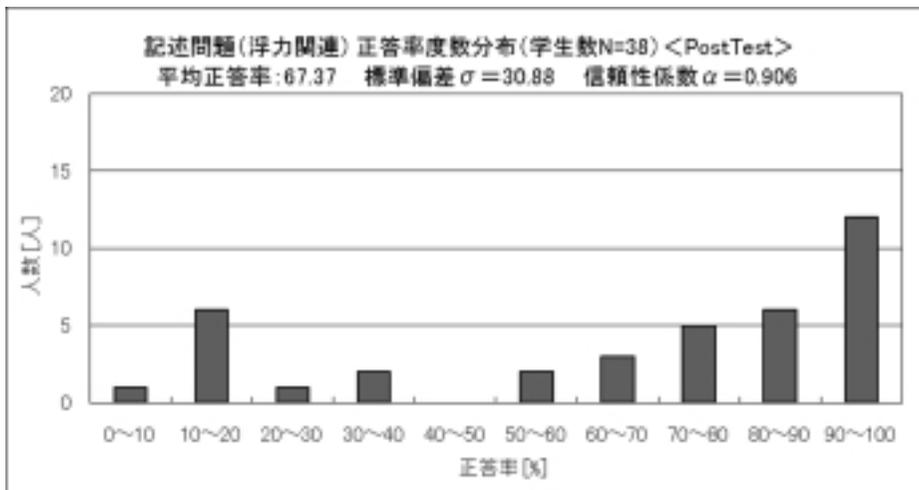
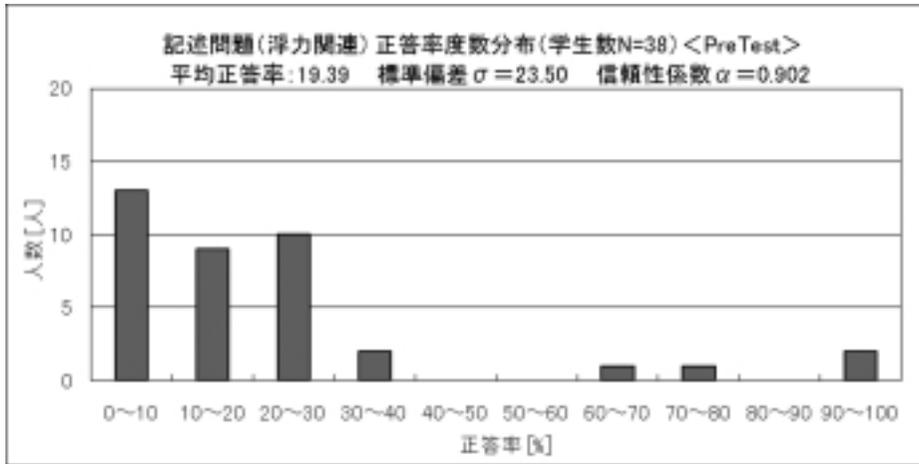


図25：記述問題（浮力関連）正答率度数分布の推移

PreTest は入学直後の Placement Test 時，PostTest は前期定期試験時のものをそれぞれ示す。より高い正答率の方向への分布の移動が顕著である。記述問題10問からなる設問群の信頼性係数 α （クロンバックの α 係数）は，それぞれ PreTest で $\alpha=0.902$ ，PostTest で $\alpha=0.906$ であった。

力」に関連する設問，設問 6 が「慣性」に関連する設問である。

2) 記述問題の正答率推移と Hake Plot による評価

記述問題として浮力に関連する設問10問（図 6）を独自に作成し，その正答率推移を調べた。図25に，記述問題（浮力関連）正答率度数分布の推移を示す。PreTest は入学直

後の Placement Test 時，PostTest は前期定期試験時における測定をそれぞれ示す。これらの試験はいずれも個別試験形式で実施した。より高い正答率の方向への分布の移動が顕著である。この記述問題10問からなる設問群の信頼性係数 α （クロンバックの α 係数）は，それぞれ PreTest で $\alpha=0.902$ ，PostTest で $\alpha=0.906$ であった。

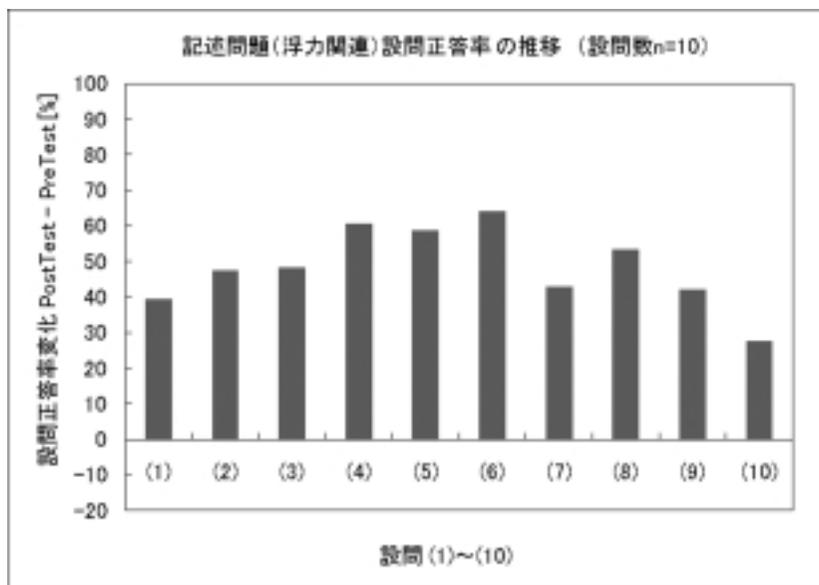
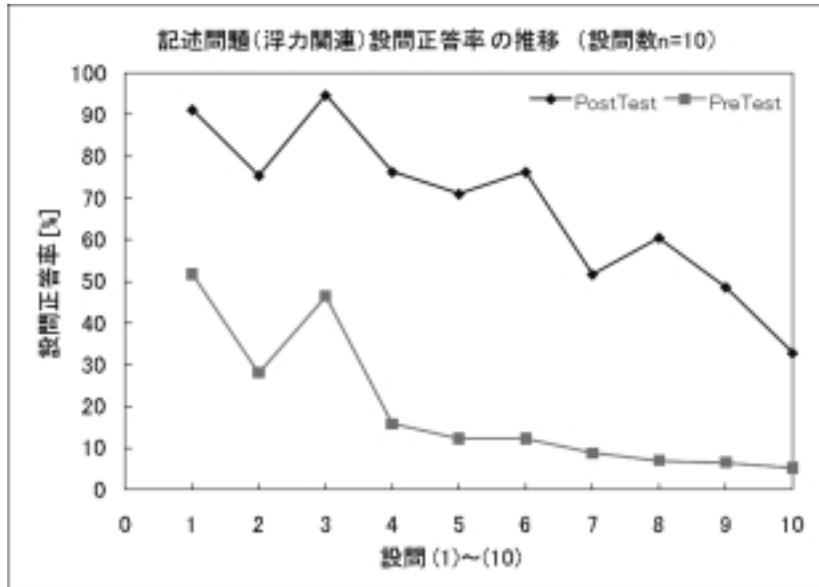


図26：記述問題（浮力関連）設問正答率の推移

設問10問の難易度に傾斜がつけられ，設問全体にわたり正答率が伸びているのがわかる。

図26に，記述問題（浮力関連）の各設問の正答率の推移を示す。設問正答率の推移から，記述問題の設問10問の難易度に傾斜がつけられ，設問全体にわたり正答率が伸びてい

るのがわかる。

図27に，横軸にPreTest 設問正答率，縦軸に各設問に対する<Gain>をとり，記述問題（浮力関連）の各設問10問について，Pre

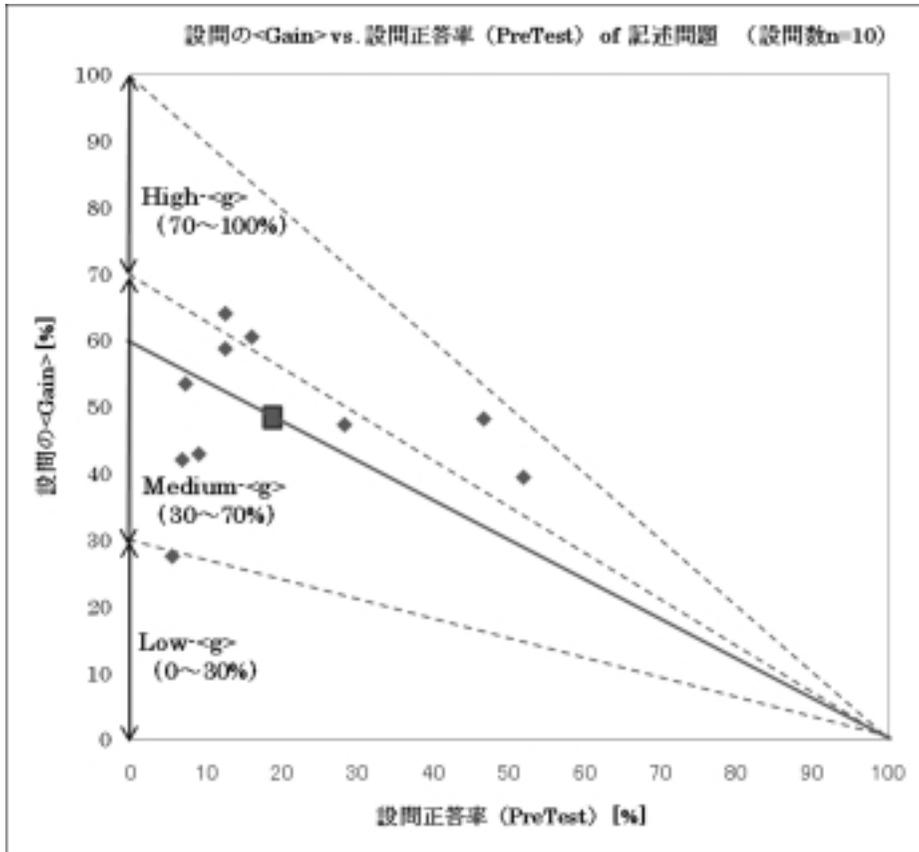


図27：記述問題の設問正答率（PreTest）と設問の<Gain>
 （記述問題全体：PreTest 正答率=19.43, PostTest 正答率=67.89,
 <Gain>=48.46, <g>=0.6015）

浮力関連分野では、Hake²⁾により示された Medium-<g>（30～70%）に相当する教育効果が得られていることがわかる。

Test 設問正答率と設問の<Gain>をもとに ◆でプロットした散布図を示す。図27には、記述問題（浮力関連）の設問10問全体に対する PreTest 正答率=19.43, <Gain>=48.46 のプロット ■が描かれ、<g>の範囲と補助線がそれぞれ付記されている。

記述問題（浮力関連）の設問10問全体に対する<g>を計算すると<g>=0.6015であった。浮力関連分野では、Hake²⁾による Medium-<g>（30～70%）に相当する教育効果が得られているといえる。

3) FCI 正答率と力学関連マークおよび記述問題正答率との相関性

図28に、2010年度前期定期試験における、力学関連の記述問題正答率とマーク問題正答率の散布図を示す。力学関連の記述問題正答率とマーク問題正答率との間に正の相関が見られる（相関係数 $R = 0.6715$, 決定係数（寄与率） $R^2 = 0.4509$ ）。

図29に、2010年度前期定期試験における、FCI 正答率と力学関連マーク問題正答率の散布図を示す。FCI 正答率と力学関連マーク問

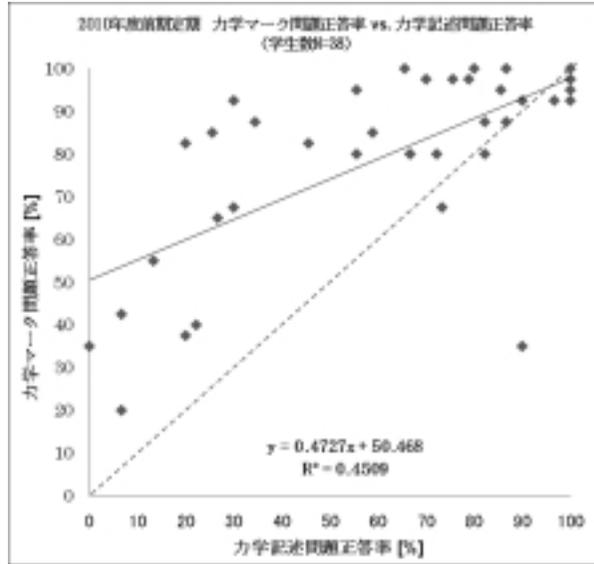


図28：2010年度前期定期試験 力学記述問題正答率と
力学マーク問題正答率（学生数 N=38）

記述問題正答率力学関連とマーク問題正答率との間に正の相関が見られる（相関係数 $R = 0.6715$ ，決定係数（寄与率） $R^2 = 0.4509$ ）．記述問題の正答率が20～30%で，マーク問題の正答率の向上が顕著である．

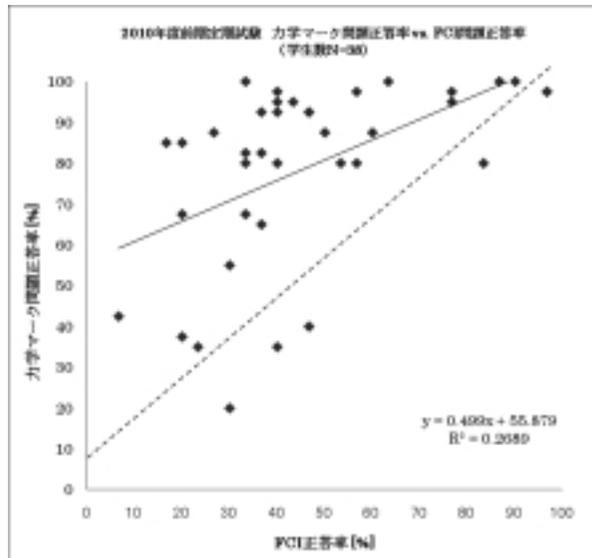


図29：2010年度前期定期試験 FCI 正答率と
力学マーク問題正答率（学生数 N=38）

FCI 正答率と力学マーク問題正答率との間には正の相関が見られる（相関係数 $R = 0.5186$ ，決定係数（寄与率） $R^2 = 0.2689$ ）．FCI の正答率が20～40%で，マーク問題の正答率の向上が顕著である．

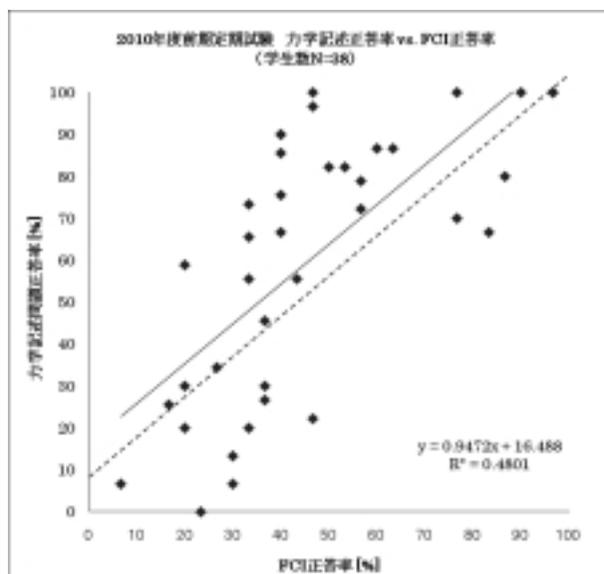


図30：2010年度前期定期試験 FCI 正答率と力学記述問題正答率（学生数 N=38）

FCI 正答率と力学記述問題正答率の間には正の相関が見られる（相関係数 $R=0.6929$ ，決定係数（寄与率） $R^2=0.4801$ ）。FCI の正答率が30～40%で，記述問題の正答率の向上が顕著である。

題正答率との間に正の相関が見られる（相関係数 $R=0.5186$ ，決定係数（寄与率） $R^2=0.2689$ ）。

図30に，2010年度前期定期試験における，FCI 正答率と力学関連記述問題正答率の散布図を示す。FCI 正答率と力学関連マーク問題正答率との間に正の相関が見られる（相関係数 $R=0.6929$ ，決定係数（寄与率） $R^2=0.4801$ ）。

4) Hake Plot を用いた分析による授業改善の評価

正答率推移とそれにもとづいた Hake Plot（図24，図27）による分析により，浮力関連事項に関して，アクティブラーニング型授業などにみられる高い教育効果が得られていたが，力学分野の誤概念克服に関しては，伝統的な授業と教育効果において同等程度であり，誤概念克服において必ずしも十分な教育効果が得られていないことがわかった。

考 察

1. 「やる気度」，「理解度」の分析ならびに解釈と学びの転換への働きかけ

1) 「やる気度」，「理解度」における平均値と標準偏差の相関性

図11の「やる気度」平均値と「やる気度」標準偏差の散布図，図16の「理解度」平均値と「理解度」標準偏差の散布図において，いずれも負の相関がみられたが，これらに対しては，いわゆる「天井効果」により，分布の中心がある方向にシフトすることによる影響が分布にあらわれ，標準偏差が小さくなる傾向にあることが，その一因であると考えられる。

図11および図16において，同程度の「やる気度」や「理解度」でも，標準偏差が大きい授業とそれほど大きくない授業とがある。このことは，内容がより「難しい」と比較的

くの学生に受け止められた場合、それを素直に「難しい」と判断して記入する学生と、それほど難しくないと感じ「標準的」と判断して記入する学生とに分かれ、「難しさ」の受け止め方にばらつきがあることが、その一因と考えられる。

その一方で、学生の積極的な意思表示として、「理解したいのに『難しい』、もっとわかりやすくしてほしい」という意味で、標準よりも「難しい」と積極的に記入している傾向が、感想などの自由記述欄から読み取れる。このような学生が比較的多い場合は「理解度」の標準偏差は小さくなる傾向にあり、場合によっては「やる気度」の標準偏差も小さくなることもあると考えられる。

2) 「やる気度」と「理解度」の相関性

「やる気度」≡「学習意欲、授業に対する期待」、 「理解度」≡「納得度、授業に対する満足度」と解釈すると、図17の「やる気度」平均値と「理解度」平均値の相関から、「やる気度」は、授業内容の「理解度」が高ければ、高くなる傾向にあるといえる。

ところが、ある「やる気度」に対して、「理解度」が「やる気度」相当でない場合がある。これは、「理解度」が「やる気度」に従属して記入された場合は「理解度」と「やる気度」の相関は強くなり、逆に、「理解度」が「やる気度」と独立して記入された場合は「理解度」と「やる気度」の相関は弱くなると考えられ、このことに起因すると推測される。

図17で、破線の上方にプロットされている授業は、授業に対する期待度よりも授業の納得度、満足度が高かった場合で、逆に、破線の下方にプロットされている授業は、授業に対する期待度よりも授業の納得度、満足度が低かった場合であると考えられる。

3) 「理解度」の数値の扱い方

図19、図20から、学生の「理解度」が履修

内容の客観的定着度を必ずしも表わしていないことがわかる。これは、「理解度」の基準が個々の学生によって異なっていることによると考えられる。個々人の「理解度」の基準を規格化することができれば、学生の「理解度」が履修内容の客観的定着度をある程度表わすことができると考えられる。また、個々人の「理解度」の基準がすべて異なっているとしても、当該授業の理解の度合いに応じて、その基準内で個々の学生の「理解度」が変動していると考えられ、それらを受講学生全体で積算して平均することにより、当該授業に対する、多様な基準をもつ受講学生全体としての「理解度」を知ることができる。

したがって、毎回の授業で個々の学生の「理解度」をもとに当該授業の「理解度」平均値を算出することは、当該授業の受講学生全体への受け止められ方を知り授業改善に資する上で重要であると考えられる。

4) 学生のメタ認知の促進と学びの転換への働きかけ

授業ごとに「コミュニケーションカード」などを通じて学生の「やる気度」および「理解度」を問うことで、学生自身がメタ認知することに慣れ、学生のメタ認知能力が促進されると考えられ、さらにそれが、学生の学習への動機づけ、自己管理能力さらには学ぶ姿勢や態度の改善につながると期待される。

なお、受講学生による「やる気度」の記入において、用紙を提出するまでに何度か書き直している場合が比較的多く散見されたが、授業前後での「やる気度」の推移を正確に把握するためには、「やる気度」の記入欄を図3のように修正する必要がある。このことにより、教員が学生の「やる気度」の推移を把握できるだけでなく、個々の学生においても自身の「やる気度」の推移をメタ認知しやすくなると考えられる。

2. FCI と力学関連マーク問題および記述問題との相関性

図28において、力学関連の記述問題正答率とマーク問題正答率との間に正の相関が見られ、記述問題の正答率が20～30%で、マーク問題の正答率の向上が顕著であることがわかる。このことから、記述問題等による論理的な思考力の養成と基本的事項の定着とは密接に関連していると考えられる。

図29において、FCI 正答率と力学関連マーク問題正答率との間に正の相関が見られ、FCI の正答率が20～40%で、マーク問題の正答率の向上が顕著であることがわかる。このことから、FCI で問われている力学関連誤概念の克服と力学関連の基本的事項の定着とは密接な関係があり、FCI およびそれに類似した設問を考えることは、基礎的事項の理解と定着にも有効であると考えられる。

図30において、FCI 正答率と力学関連マーク問題正答率との間に正の相関が見られ、FCI の正答率が30～40%で、記述問題の正答率の向上が顕著であることがわかる。このことから、FCI で問われている力学関連誤概念の克服と力学関連の記述問題で扱われる論理的な思考力とは密接な関係があり、FCI およびそれに類似した設問を考えることは、論理的な思考力養成に対しても有効であると考えられる。

これらのことから、力学関連誤概念の克服の度合いを測定できる FCI およびそれに類似した設問群に取組むことは、力学関連分野の基礎的事項の理解と定着および論理的な思考力養成に有効であると考えられる。また、力学関連分野の理解度や定着度を評価する場合、従来のマーク式設問群と記述式設問群に加えて、FCI のような誤概念克服の程度を評価できる設問群を用いた測定が必要かつ重要であると考えられる。

3. Hake Plot を用いた教育効果評価の可能性

FCI ならびに浮力関連記述問題の Hake Plot による分析結果から、クロンバックの α 係数などの信頼性係数により信頼性が担保された設問群を用いることで、受講学生全体の正答率の測定とその正答率推移にもつづいた Hake Plot による分析で、測定間に行われた授業や学生自身による学習などを含む教育的活動全般の教育効果の評価が、一般的に可能であることが示唆された。また、設問ごとに $\langle \text{Gain} \rangle$ 、 $\langle g \rangle$ を定義することで、設問ごとに定着度などの分析が可能になることが明らかになった。

今後、他の分野についても、教育効果評価に適した設問群を整備することにより、Hake Plot を用いた、汎用性のある教育効果の標準的評価スキームの研究開発が期待される。

結 論

1. 講義内容と関連する実験演習を講義と並行して実施することにより、学生の学ぶ姿勢がより能動的になることが示唆された。また、授業ごとに「コミュニケーションカード」などを通じて学生の「やる気度」や「理解度」を問うことで、学生のメタ認知を促し、授業改善に資する情報を得ることが可能である。
2. 講義内容と関連する実験演習を講義と並行して実施することにより、浮力関連分野で高い教育効果が得られた。その一方で、力学分野の誤概念の克服において必ずしも十分な教育効果は得られていなかった。
3. 信頼性が担保された設問群を用いた受講学生全体の正答率の測定とその正答率推移にもつづいた Hake Plot による分析は、測定間に行われた授業や学生自身による学習などを含む教育的活動全般の教育効果の評

価を可能にし、改善すべき事項を明確にすることが示された。

謝 辞

本研究にあたり、ご懇篤なるご指導を賜りました宮沢裕夫教授に、謹んで衷心より感謝の意を表します。さらに、本研究に関連して、ご教示いただきました大島和成名誉教授、増田裕次教授、王 宝禮教授はじめ多くの先生方に心よりお礼申し上げます。また、松本歯科大学歯学部初年次数物系各科目をご担当いただきました先生方および関係各位のご協力に心より感謝申し上げます。

本研究は、科研費補助金基盤研究 (C) 課題番号21500886の支援を得て行われた。

文 献

- 1) Hestenes D, Wells M and Swackhamer G (1992) Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30 : 141-58.
- 2) Hake RR (1998) Interactive-engagement versus Traditional Methods: A Six-thousand-student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics. *American Journal of Physics* 66 : 64-74.
- 3) 北原和夫 (2009) 「科学リテラシー」から見る「学士力」の在り方. *大学教育学会誌*31-1 : 91-3.
- 4) 風間晴子 (1998) 国際比較から見た日本の「知の営み」の危機. *大学の物理教育* 1998-2 : 4-16.
- 5) 三浦公嗣 (2008) 歯学教育に求めるもの. *日本歯科医学教育学会雑誌*24 : 127-31.
- 6) 日本歯科医学教育学会歯科医学教育白書作成委員会編集 (2009) 歯科医学教育白書2008年版 (2006~2008年), 41-3, 口腔保健協会, 東京.
- 7) 田中忠芳 (2001) リメディアル高校物理講義におけるマルチメディアの活用. *日本教育工学会第17回大会講演論文集*, 33-4.
- 8) 柳田一夫, 栗尾和佐子, 山本祐実, 曾根知道, 前田定秋 (2009) 摂南大学薬学部における物理の補習教育効果. *リメディアル教育研究* 4 : 180-6.
- 9) 青木克比古 (2009) 金沢工業大学の『みとめる教育・きたえる教育・ほめる教育』(数理工教育センターの実践). *リメディアル教育研究* 4 : 137-41.
- 10) 大久保敦, 枅田幹也, 坪田誠 (2007) プレースメントテストにおける不正解の意味—大学新入生を対象とした数学・理科に関する学力診断テストの結果に基づいて—. *リメディアル教育研究* 2 : 43-8.
- 11) 田中忠芳 (2003) 総合的学習を対象とした大学演習科目における学習グループ人数と自己評価・自由感想文の分析. *日本教育工学会論文誌／日本教育工学雑誌*27 (Suppl.) : 229-32.
- 12) 森朋子 (2009) 初年次における協調学習のエスノグラフィ. *日本教育工学会論文誌*33 : 31-40.
- 13) 岩井洋 (2006) 初年次教育におけるアクティブラーニングの可能性. *リメディアル教育研究* 1 : 22-8.
- 14) 田中忠芳, 興治文字, 中野公世 (2010) 領域13物理教育シンポジウム報告「定量的方法による物理教育研究の現状と展望」. *大学の物理教育*16 : 178-83.
- 15) 覧具博義 (2010) 米国の物理教育の動向. *大学の物理教育*16 : 78-82.
- 16) 笠潤平 (2010) 研究にもとづく物理教育の改善と評価. *大学の物理教育*16 : 83-7.
- 17) Hestenes D and Wells M (1992) A Me-

- chanics Baseline Test. The Physics Teacher 30 : 159-66.
- 18) Heller P and Huffman D (1995) Interpreting the Force Concept Inventory. The Physics Teacher 33 : 503, 507-11.
 - 19) Redish EF, Saul JM and Steinberg RN (1998) Student Expectations in Introductory Physics. American Journal of Physics 66 : 212-24.
 - 20) Thornton RK and Sokoloff DR (1998) Assessing Student Learning of Newton's Laws : The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. American Journal of Physics 66 : 338-52.
 - 21) Savinainen A and Scott P (2002) The Force Concept Inventory : a tool for monitoring student learning. Physics Education 37 : 45-52.
 - 22) Savinainen A and Scott P (2002) Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. Physics Education 37 : 53-8.
 - 23) Henderson C (2002) Common Concerns About the Force Concept Inventory. The Physics Teacher 40 : 542-7.
 - 24) Rebello NS and Zollman DA (2004) The effect of distracters on student performance on the force concept inventory. American Journal of Physics 72 : 116-25.
 - 25) Martin J, Mitchell J and Newell T (2003) Development of a Concept Inventory for Fluid Mechanics. Proceedings of the 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference : T3D-23~8.
 - 26) Evans DL, Gray GL, Krause S, Martin J, Midkiff C, Notaros BM, Pavelich M, Rancour D, Reed-Rhoads T, Steif P, Streveler R and Wage K (2003) Progress on Concept Inventory Assessment Tools. Proceedings of the 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference : T4 G-1~8.
 - 27) Coletta VP, Phillips JA and Steinert JJ (2007) Interpreting force concept inventory scores : Normalized gain and SAT scores. Physical Review Special Topics-Physics Education Research 3 : 010106-1~5.
 - 28) Thornton RK, Kuhl D, Cummings K and Marx J (2009) Comparing the Force and Motion Conceptual Evaluation and The Force Concept Inventory. Physical Review Special Topics-Physics Education Research 5 : 010105-1~8.
 - 29) 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 : 16-9 .
 - 30) Cronbach LJ (1951) Coefficient Alpha and The Internal Structure of Tests. Psychometrika 16 : 297-334.
 - 31) 植野真臣, 荘島宏二郎 (2010) 学習評価の新潮流, 42-6, 朝倉書店, 東京.