

# 物理授業改善のための学習効果測定試験

石本美智\* 木村正廣\*\*

高知工科大学工学部  
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

E-mail: \*ishimoto.michi@kochi-tech.ac.jp, \*\*kimura.masahiro@kochi-tech.ac.jp

**要約:** 物理授業の目的の重要なものに物理概念を効果的に修得させることがある。この研究では、学生が物理事象を物理学的にどのくらい捉えられたかを修得度として測る試験を、物質環境システム工学科の力学履修者に行った。有効性が認められているアメリカの大学の統計と比較した結果、日本語版も修得度を測るのに有効だとわかった。

**Abstract:** An important objective of physics teaching is to have students learn physics concept effectively. We have given a physics concept evaluation exam to the 2nd year students of the Environmental Systems Engineering Department. The result is compared with that of Pacific University in the United States. The exam (Force and Motion Conceptual Evaluation) was valid to use physics concept evaluation for physics teaching.

## 背景

アメリカでは20年以上前から、大学の初等物理教育の講義の効果を測る様々な試験が開発研究されてきた。授業効果を客観的に測って授業改善するという目的で、この種の試験が大学で開発実施されてきた。

一般に、大学の講義で履修判定に使用される試験は、その成績が合否に関るので、相対評価であり、平均点は60 - 70%の場合が多い。試験結果は課題問題に対して期待される解答であるかどうかで評価されている。クラスの数が多い場合、思考過程が評価の対象になることはほとんどない。試験問題を予測し、期待される解答を覚えて、概念の理解無しで高得点が獲得

できる学生も多い。

一方、教員が修得させたいのは、将来その知識の応用が期待できる物理的思考法である。授業を効果的にするには、物理概念の理解度を知る必要がある。学生が理解できていない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。この理解度を測る試験は絶対評価である。アメリカでは典型的な講義前のクラスではこの試験の平均点は10-30%で、講義後は10-70%となるため、成績としては使用していない。

1992年に理解度試験としてForce Concept Inventory (FCI)が、Hestenes (アリゾナ州立大学)によって作成され、以来、広くアメリカの

大学で利用され、結果がよく研究されてきた。15-30分の試験は30題の選択問題からなり、内容はニュートン力学の“力”の基本的概念の理解を問うものである。選択肢には Distracter と呼ばれる、いわゆる多くの学生が常識として誤答する内容のものが、必ず含まれている。また、学生が自身の感覚で考えることを促すために、いわゆる教科書論調でなく、日常口語体が使われている。例えば、FCIの1問を日本語に翻訳すると次のようになる。この問題では(A)または(D)が Distracter である。

問:大きなトラックと小さな軽自動車が衝突した。衝突の最中に…

- (A) トラックが軽自動車に及ぼす力は、軽自動車がトラックに及ぼす力より大きい。
- (B) 軽自動車がトラックに及ぼす力は、トラックが軽自動車に及ぼす力より大きい。
- (C) どちらも力を及ぼさない。トラックがぶつかれば軽自動車は潰れるものだから。
- (D) トラックは軽自動車に力を及ぼすが、軽自動車はトラックに力を及ぼさない。
- (E) トラックが軽自動車に及ぼす力と、軽自動車がトラックに及ぼす力は等しい。

ここで、試験結果を解析するのに用いられている Gain (Normalized Gain) の定義を紹介する。

$$\text{Gain} = \frac{\text{講義後得点} - \text{講義前得点}}{1 - \text{講義前得点}}$$

Gain は学生の修得度を評価するのに使われる。Gain が修得の指標になるのは、次の例を考えると明らかになる。講義前の修得度が高いクラス A と A'、低いクラス B と B' について、講義後 A と B は得点が伸びたが、A' と B' では得点あまり伸びなかったケースを表1に例示している。前後の得点比は、A が B' より、低くなっている。しかし、実際修得度の伸び率が最も高いのは A であり、Gain では最高点になっている。

	A	A'	B	B'
講義前得点	50%	50%	10%	10%
講義後得点	90%	60%	50%	20%
後得点/前得点	1.8	1.2	5.0	2.0
Gain	0.8	0.2	0.44	0.11

表 1

1992年 Indiana University の Richard Hake は全米で高校と大学あわせて60クラスのFCIの結果を講義形態別にまとめた。(図1) この結果、おおむね、講義形態によって Gain は違ってくることがわかった。

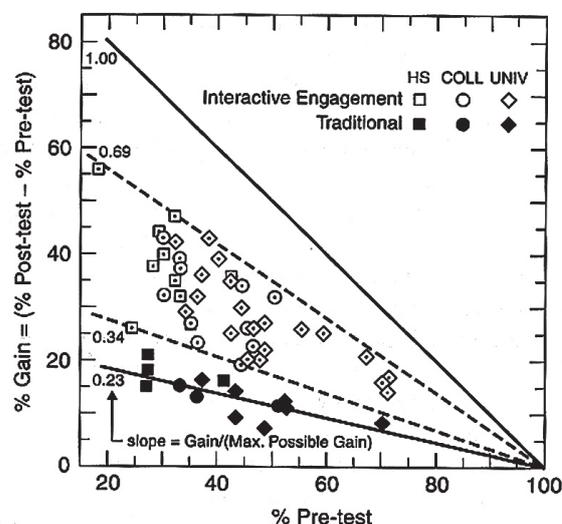


図1: A plot of class average pre-test and post-test FCI scores for a collection of classes in high school, college, and university physics classes using a variety of instructional methods [Hake 1992].

1997年 Saul et al. (1997) は7つの大学から35クラスのデータを4つの講義方式1) 伝統的講義、2) 新方式1(Tutorial 週一回)、3) 新方式2(Group Problem Solving 週一回)、4) Workshop Physics で分類した。各方式について Gain をガウス分布で表現したものが図2である。左のガウス分布が示す伝統的な講義は、Gain 平均は低いが教員の力量による偏差が大きい。右のガウス分布で示される Workshop Physics は実験を中心にした少人数の学生参加型方式である。非常に効果的だが、設備と教員の負担は大きい。中央のガウス分布でしめされる学生参加型方式を一部取

り入れた新方式はいずれも、かなり効果的でかつ偏差が小さい。つまり、教員に関らずある程度の効果はあがるということである。この研究がきっかけで FCI が授業評価に用いられるようになった。

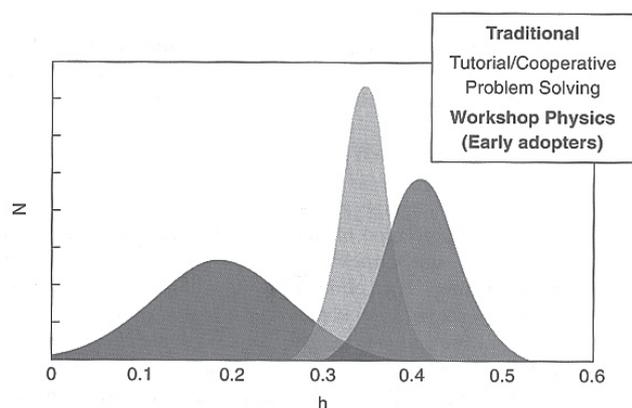


図 2: A plot of the fractional FCI gain achieved in three types of classes: traditional, moderate active engagement (tutorial/group problem solving), and strong active engagement (early adopters of workshop physics). Histograms are constructed for each group and fit with a Gaussian, which is then normalized [Saul 1997].

## 実施方法

物質環境システム工学科で 2003 年と 2004 年に 2 年生を対象に基礎力学の講義で、従来の講義に、週一回の参加型講義 Interactive Lecture Demonstration (D.R. Sokoloff and R.K. Thornton, 2004) を組み込み、IDL の評価に使われる Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) を採用した。FMCE は FCI に動力学を加え、グラフの選択問題を多く含む 30 - 60 分試験である。先程の FCI の問題に相当する FMCE の問題を次に示す。

問題 1 - 3 乗用車と大型トラックの衝突 A - J は、衝突が起きたときに働く力について説明したものである。問題 1 ~ 3 で示される条件下で、衝突が起きた時、トラックと乗用車に作用する力について最もよく説明しているものを A - J の中で選択しなさい。

問題 1 両者が同じスピードで走って衝突した。

問題 2 乗用車がトラックよりずっと大きな速度で衝突した。

問題 3 トラックは静止していて、乗用車が飛び込んできた。

- A. トラックが乗用車に与えた力は、乗用車がトラックに与えた力より大きい。
- B. 乗用車がトラックに与えた力は、トラックが乗用車に与えた力より小さい。
- C. どちらの車も相手の車に力を与えていない。トラックに飛び込んだ車は潰れる物だ。
- D. トラックは乗用車に力を与えたが、乗用車はトラックに力を与えていない。
- E. トラックが乗用車に与えた力は、乗用車がトラックに与えた力と同じ大きさである。
- F. 与えられた情報では、答えを A - E から選択できない。
- J. A - F のいずれも正しくない。

FMCE の日本語版を作成し、最初と最後の講義で合計 2 回実施した。FMCE は多くの大学で繰り返し行われているので、学生に解答や解説を行わないことを条件に使用することになっている。より多くの学生参加を促す目的で出席点を付与するという条件にすると約 90% の学生が受験した。試験結果をアメリカの統計と比較した。

成績評価試験では、学生の目的は高得点を取ることなので、自分が正しいと思うことでなく、教員が望む解答を選択する。大学受験でいう、いわゆる試験のテクニックである。一方、FMCE の目的は学生が考えていることを探ることであり、彼らの考えが講義によってどう変わるかを追跡することである。学生は高校で物理概念を正確に習得してない場合が多いので、平均正答率が 20% 以下である場合が多い。そのため、試験の目的は教授法改善のための修得度測定なので、成績とは無関係であると告知

し、学生自身が正しいと思うものを解答するように要請した。

物質環境システム工学科の学生は、生物系40%、化学系20%、材料-物理系40%を専攻する。2年生の基礎力学受講者数は2003年度が50人、2004年度は86人であった。

高校での物理履修状況は自己申告で物理IBを履修した者が15%で物理IIを履修したものが10%以下だった。

## 試験結果

### FMCE 得点と高校の物理履修の関係

図3は、それぞれ2003年度と2004年度のFMCE得点と高校の物理履修の関係を示している。横軸が講義前のFMCE(47点満点)の得点、縦軸が講義後の得点を表わしている。講義後の試験得点は、講義前の得点より全般として高くなっていることがわかった。高校物理の修得度の目安として、高校で最終履修物理(総合理科[オレンジ]、IA[赤]、IB[緑]、II[青])を指標とした。物理II履修者のみに、得点がやや高い傾向が見られるが、得点と高校物理履修歴には本質的な相関関係が見られなかった。学生は2年生で、高校物理の履修から1年以上経っているので、前試験には学生固有の物理観が現れていると考えられ、正しい物理観とは明らかに違うのが分かる。

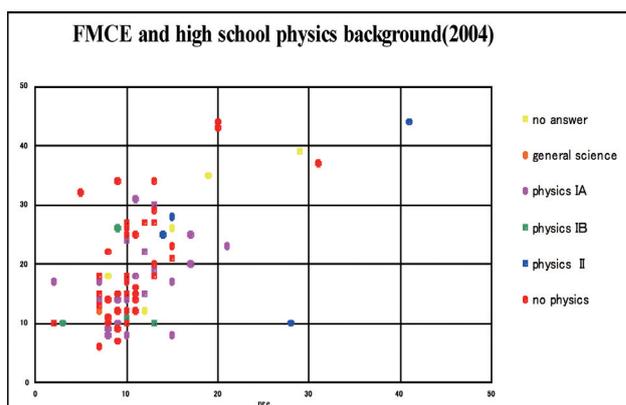
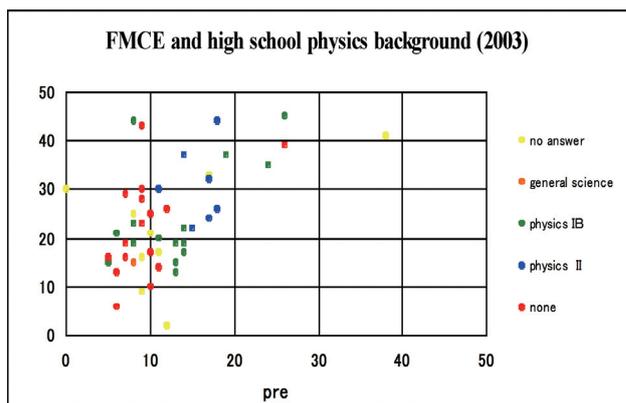


図3

### 概念別の得点

図4は力学の各概念について講義前後の得点(%)とGainを示している。講義後の得点は講義前より高くなっていて2年とも傾向は似ている。「加速度」(図4でAccel)と「エネルギー」については2003年度のクラス(50人, 少人数)が2004年度(86人)よりよくできていた。速度については前試験で既に得点が高かった。「加速度」と「力学第3法則(作用反作用)」(図4でForce(3))については、前後試験の差が大きい。つまり講義によって効果的に修得されたことがわかった。

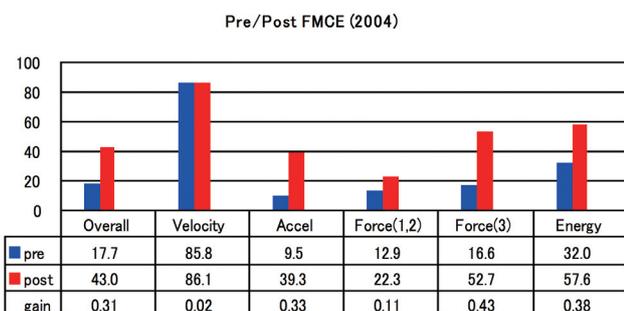
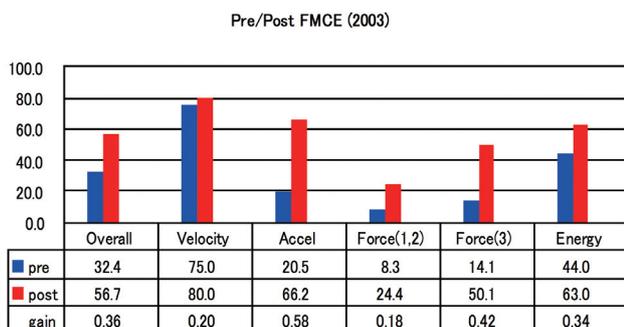


図 4

## Pacific University の結果との比較

図 5 は 1999 年にアメリカの Pacific University で、同じ授業形態 (ILD) を使った 40 人クラスの講義の結果を示している。全体の傾向は物質環境システム工学科ととてもよく似ているが、顕著な違いは ニュートンの法則 (Force) について、高知工科大学の Gain の値 (2 年平均 0.34) はより低かった。この分野については、次から教授法を改良する余地がある。

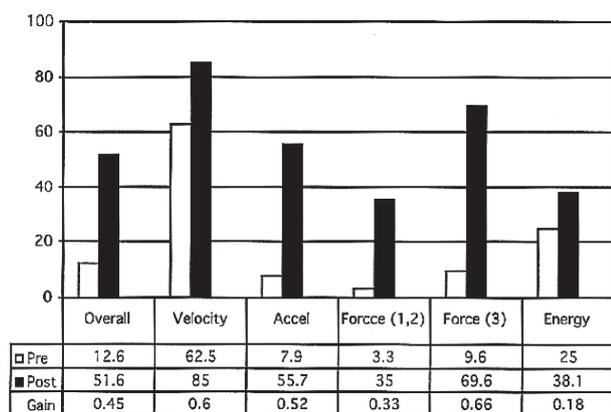


図 5 : Example cluster breakdown on the FMCE for an individual school (Pacific University, Fall 1999, N=40 students, using both RTP and ILD materials). Note that a low pre-instruction score on the overall score (using the Thornton rubric) still led to a large normalized gain.

## 結論

同様な授業形態をとっている Pacific University の FMCE 結果と同様になっていることから、日本語版 FMCE は日本の大学の初等物理の授業で学生の修得度を測るのに有効だと考えられる。つまり、アメリカで多くのデータにより有効性が確認されているので、日本語版でも授業を評価するのによい道具となることがわかった。次年度は、別形態の講義でデータを取り、結果を比較する予定である。さらに、電磁気でも同様の評価試験の日本語版を作成し試用する。

高校での物理 II を履修していない学生は物理概念をほとんど修得していない。このことから、高知工科大学では学生に対して、高校の物理履修に無関係に基本を教えればよいことが言える。

## 文献

Richard Hake, 'Socratic pedagogy in the introductory physics laboratory,' *The Physics Teacher*, 30, 546-552 (1992).

J.M. Saul and E. F. Redish, 'Final Evaluation Report for FIPSE Grant #P116P50026: Evaluation of the Workshop physics Dissemination project,' University of Maryland preprint (1997).

David R. Sokoloff and Ronald K. Thornton, 'Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics,' (Wiley, 2004)

Michael C. Wittmann, 'On the dissemination of proven curriculum materials : Real Time Physics and Interactive Lecture Demonstrations,' Dissemination project white paper web publication of FIPSE external evaluator report for the RTP/ILD.

(<http://perlnet.umephy.maine.edu/research/02RTPpaper.pdf>)