

# 力学基礎演習でのレクチャーチュートリアルを試み

石本 美智

(受領日：2012年4月6日)

高知工科大学 環境理工学群  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

E-mail:ishimoto.michi@kochi-tech.ac.jp

**要約：**高知工科大学の1年生を対象の力学基礎の授業に、アメリカで学習効果が高いと評価されている能動的学習方法レクチャーチュートリアルを導入した。力学概念査定のthe average normalized gainは40%で、従来方式の授業の20%と比べて有意に高い学習効果が認められた。授業の演習にとりいれたレクチャーチュートリアルの導入と進行役のラーニングアシスタントの状況を紹介する。

## 1. 背景

初等力学で好成績を修めて専門課程に進んでいるアメリカの学生や大学院生で、ニュートン力学がわかっているにもかかわらず定性的な問いに解答できない、基本的な概念が獲得できていないことが明らかな発言をするものが少なくない。初等力学がどのくらい理解されているのかを知るために、30年ほど前から学生の基本概念の理解度を測定する質問紙形式の概念調査試験が作成されるようになった。

Mechanics Diagnostic Test<sup>1)</sup> や Force Concept Inventory<sup>2)</sup> (FCI) の様な基本概念の査定試験は、多くの学生のインタビューを基に設問し、力と運動についての概念調査に使用されてきた。概念試験の信頼性や妥当性が認められたころ、Hake<sup>3)</sup> は全米で6000人以上の高校生、大学生のFCI試験結果を使って、ニュートン力学概念の習得度の統計的解析で大きな反響を起こした。統計によると、第1に、学生の理解度が教員の予測よりはるかに低かったこと、第2に、最初の授業前調査として行われるPretestと最後の授業後で期末試験前に行われるPosttest調査結果の比較から得られる習得度は、授業担当者でなく、教授方法に大きく因るということだった。従来の講義中心のクラスは講義の担当者に関わらず学習効果は低く、能動的学習方法を取り入れているクラスは有意に高い学習効果を示した。この結果を受けて、より効果的な教授法が多数試行された<sup>4)</sup>。

Hakeが使用した習得度はthe averaged normalized gainと呼ばれる指標で、

$$\langle g \rangle = \frac{\text{Postscore} - \text{Prescore}}{\text{Fullscore} - \text{Prescore}}$$

で表される。ここでPrescore, Postscore は Pretest得点のクラス平均とPosttest得点のクラス平均、Fullscoreは満点のことである。一般に習得度を表すGainはPostscoreとPrescoreの差で、実感される習得度を定量的に表しているとはいえない。例えば、Prescoreが40点でPostscoreが50点のクラスと、Prescoreが80点でPostscoreが90点のクラスを比較すると、Gainは同じ10点だが、習得度が高いと言えるのは、経験上、後者といえる。 $\langle g \rangle$ は

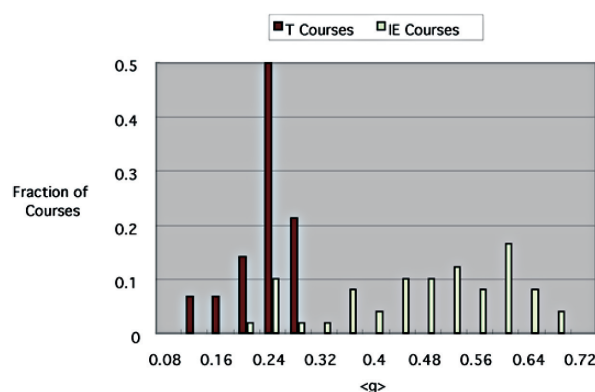


図1  $\langle g \rangle$  (the averaged normalized gain) の分布：赤の棒グラフは従来の講義中心の14コース（総学生数2108人）の得点分布の割合、緑の棒グラフは能動的学習を取り入れた48コース（総学生数4458人）の得点分布の割合を表す。棒サイズは0.04で、各棒グラフの中央が $\langle g \rangle$ の値を示している。(Hake<sup>3)</sup>,1998 から引用)

この実感を反映した指標で、満点を最高点としたときのGainに対するGainの割合である。この2クラスの $\langle g \rangle$ は、それぞれ0.17と0.5となり、後者のより高い学習度を表現している。

図1はアメリカの大学と高校の62クラス、6000人上の学生を対象にしたクラス平均の $\langle g \rangle$ の分布を、従来の講義中心のクラス（赤）、能動的な学習を取り入れたクラス（緑）でHake<sup>3)</sup>がグラフにしたものである。従来型の授業では $\langle g \rangle = 0.23$  ( $\sigma = 0.04$ )で、能動的な学習を取り入れた授業では $\langle g \rangle = 0.48$  ( $\sigma = 0.14$ )で、本質的に学習者の習得度が高くなっている。

同じころ、学習過程について、認知心理学と教育学の当時の最新結果をまとめ、カリキュラムデザイン、教授法、習得度査定法、学習環境などの教育実践（クラス）を結び付けたレポート<sup>5)</sup>が出版され、IE教授法が、研究結果が指し示す効果的な学習方法と適合することが認められた。

物理概念査定試験は、学生の運動についての先行概念を多くの学生の面接諮問で調査し、得られた素朴概念を使って多選択試験として作成される。多選択試験は正しい理解が無い場合でも、正答選択される可能性があり、過大評価の傾向があり精度は低い。しかし、実施方法と習得度査定が簡単なので、多くの教員が教授方法の査定に使用するようになった。Pretestの結果は学生の先行概念を知るために利用できるので、授業に反映させることができ、Post-testの結果と比較すると、授業の学習効果を定量的に査定できる。多選択式概念査定試験は、電気回路、電磁気学、熱力学、天文学、化学、工学などの様々な分野で作成されている。

従来の講義中心の授業はそのほとんどが、新しい知識や情報を講義者から受講者に移行するという学習モデルが基本になっている。この方法で、効果的に学習できるのは少数派で、かつては少数の科学者やエンジニアを養成する役割をしてきた。現在のOECDの国では、大学進学率はほぼ50%になり、物理の授業の対象は大衆になったため、従来の方法は効果的な授業形式とは言えなくなっている。

一方、IE授業は、最近の学習科学からみて大衆に効果的な学習方法を取り入れている。1980年代から1990年代に物理教育研究に構成主義の大きな影響を受けた<sup>4)</sup>この学習方法は、学習を先行概念の変化と捉え、その変化を、まず課題に関する先行概念の想起された後、先行概念と課題の中で提示された事実と矛盾することを認識し、思考の試行錯誤を重ねて矛盾解決に至る過程ととらえている。この変化は

社会的環境で行うとより効果的に起きるので、多くのIE授業でグループでの対話が入り入れられている。

## 2. レクチャーチュートリアル

IE授業の1形式で、高い学習効果が広く認められているレクチャーチュートリアル (LT)<sup>6)</sup>は、課題の重要概念について、能動的に学習できるように構成されたワークシートを使用する。ワークシートは長年の物理教育研究で見つかった学生の典型的な先行概念（素朴概念）を物理学的概念に変えることを意図した質問群で構成されている。解答は、理由の説明を求めるように作成されている。LTのワークシートの質問はいわゆるSocratic questionsで、内容が素朴概念と矛盾し、科学的概念を用いれば矛盾なく説明できる構成になっている。

LTの目的はグループによる説得、討論を通して、グループ全員の素朴概念を科学概念に変化させることにある。LTの作業は、4人前後の小グループの学生が個人で解答を記述した後、グループ内で解答を比較して、話し合いながら全員が納得する解答に統一する流れになっている。すべての質問に解答できれば、セッション終了となる。

討論方法や、参加意欲、科学的思考方法などをグループにコーチするのがFacilitator と呼ばれるティーチングアシスタント (TA) やラーニングアシスタント (LA) で、学生の議論の進行を補助し、グループの解答が、正しいかどうかを確認する。

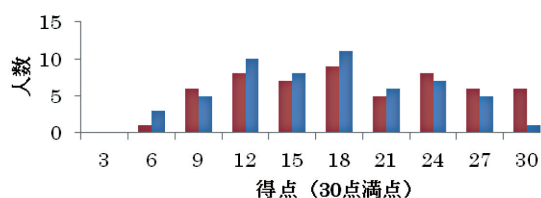
従来形式のアメリカの初等物理教育では、講義（週3回各1時間）と演習（週2回各1時間）と実験で構成されていることが多い。従来の演習方法では、教科書の章末問題をTAが解説する。LTは従来の演習に替えて行われる。一般的に、IE授業を取り入れている教員が、LTを演習にあてるが、オレゴン大学の様にIEの授業を行う教員が、従来型の講義にLTの演習を“提供”している場合もある。LTは、思考することを重点に置いているので、好ましく思わない学生もいる。

## 3. コロラド大学のラーニングアシスタント (LA) システム

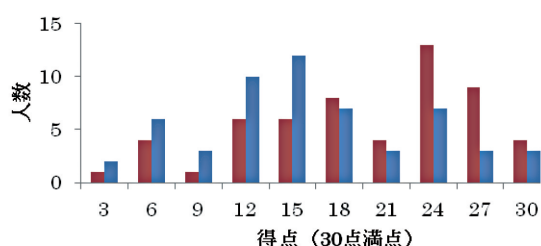
アメリカのThe Science Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Education Coalitionプログラムは、理数教育に関する教員と学生のための教育助成である。コロラド大学では、学部生449人（2003–2009年）のラーニングアシスタント (LA) が、LAプログラムに参加してい

る。LAプログラム<sup>7)</sup>は物理、数学、化学、分子生物学、応用数学など多岐にわたる授業で行われている。プログラムは1) 授業内容の理解、2) 授業での実践、そして3) 最新の教育学のセミナーで構成されている。これらのセミナーは、教授陣が行う。セミナーの内容は学習理論やコーチングで、Facilitatorが演習を効果的に進行させるという目的に沿ったものである。LTのFacilitatorはTAとLAで、TAは大学院生、LAは学部生で構成されている。履修者には給付金と単位が与えられる。学部生の募集は、成績上位者にメールで募集をかけて行う。LAプログラムに参加した学生の12%が教員認証プログラムに進んでいる。

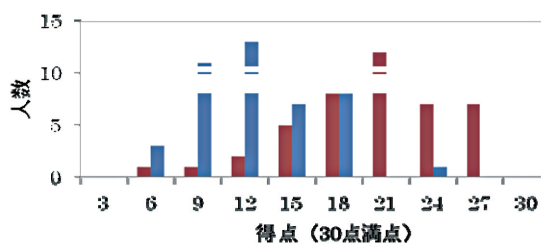
(a) FCI Pre vs. Post (TR1)



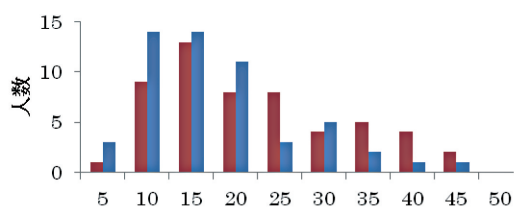
(b) FCI Pre vs. Post (TR2)



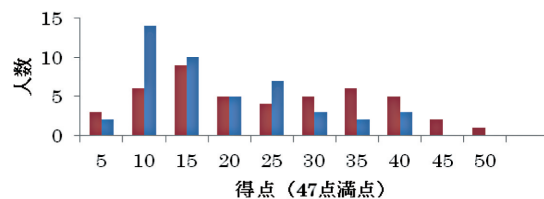
(c) FCI Pre vs. Post (IE)



(d) FMCE Pre vs. Post (TR1)



(e) FMCE Pre vs. Post (TR2)



(f) FMCE Pre vs. Post (IE)

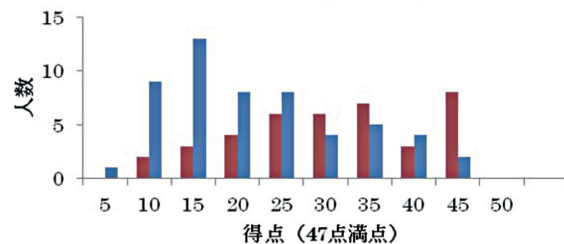


図2 PretestとPosttestの得点分布。(a) TR1クラス, FCI、(b) TR2クラス, FCI、(c) IEクラス, FCI、(d) TR1クラス, FMCE、(e) TR2クラス, FMCE、(f) IEクラス, FMCE。

#### 4. 2011年力学基礎演習への適用

2011年の高知工科大学でのIE授業の試みは、アメリカの大学の環境とは大きな違いがあるものの、概念試験の結果はアメリカのIE授業の範疇内という結果を得た。

調査試験をPretest、Posttestともに受験した調査対象者は292人で、対象者はシステム工学群、環境理工学群、情報学群の1年生で、力学基礎のクラスは高校卒業後の最初の授業になる。授業内容は、動力学、ニュートンの3法則、エネルギー保存則で、高校の物理と比べて、体系を重視した形式になっている。履修者は3クラスに分かれて、週2回各90分の講義を14回受講する。このうち1クラス (Interactive Engagement (IE) クラス) は環境理工学群の学生が対象で、LTの演習が加わる。他の2クラス (Traditional (TR) クラス) はシステム工学群のほぼ全員と情報システム学群の一部の学生が対象で、演習は講義の中に取り入れている。2010年度に3クラスともに週一回の演習を講義に加えて施行したが、効果が得られないとの判断で、2011年度は1クラスのみが演習を続けることになった。使用した教科書はTRクラスとIEクラスでは別だった。

##### 4.1 概念調査実施

力学概念査定試験のPretestは最初の授業の前、



表1 クラス別の概念調査平均得点 (%) と数学の得点 (%) と <g>。

FCI					FMCE			
クラス	人数	Pre (%)	Post (%)	<g>	人数	Pre (%)	Post (%)	<g>
TR1	56	53.8	60.0	0.13	54	34.4	43.0	0.13
TR2	56	49.9	62.3	0.25	43	35.4	48.3	0.20
IE	43	39.2	64.0	0.41	39	33.4	61.5	0.42

\*FCI (30 点満点) と FMCE (47 点満点) の Prescore, Postscore は % で表されている。

Posttestは期末試験前に3クラス同時に施行した。受験者には、受験出席点を与えられることと、試験結果は掲示され力学概念の習得指標になることを告知した。成績に関係のない出席点であるのは、多くの学生に受験を促すと同時に、力と運動について、「力学の知識としての正解」でなく学生自身の概念を回答させることを狙ったためである。

## 4.2 LT演習

LT演習は、週1回のペースで7回行った。94人の学生を6人のグループに分け、2つの教室を使って、Discussionができるように机を合わせて、ワークシートに取り組んだ。演習のFacilitatorは教員1人、TA2人、LA5人で、1教室当たり3～4人が、7～8グループのLT演習を進行させた。オレゴン大学では、1教室当たりのグループ数は6組前後で、2人のFacilitatorが4人のグループの進行役になっている。高知工科大学のグループの構成人数は6人で、参加に消極的な学生を積極的に参加させるには構成人数4人の方が適切であると思われた。しかし、Facilitatorが少ないので6人グループで実施した。

週1回(90分)の演習時間を効率よく使用するため、学生にはワークシートを演習前の講義で配布し、解答を宿題にした。演習は各自持ち寄った解答を見合わせることから始まり、説明、説得、議論をして、全員が同じ解答になるように調節した。グループで統一した解答を出すという方法は、慣れてくるにつれて、グループ討論を上達させることになった。Facilitatorは、グループ全員が討論に参加するようにコーチした。例えば、ある学生のFacilitatorへの質問を、同じグループの討論に積極的に参加しない学生に向けて、答えさせることで参加を促す。解答を求められた場合は、代わりにヒントを与え、解説は最小限に留める、または解答が正解かどうかのみを告げる。解答を与えない、解説をしない理由は、学生が答えを見つけるといふ思考作業を続けさせるためである。

グループは、全問解答後、または90分経過で教室を退出する。90分以内に解答できない場合は、授業後自主的に集まって済ませることになっていたが、ほとんどの演習で、すべてのグループが時間内に、解答が済んでいた。学生の質問は、LAが担当するオフィスアワーを利用するように告げた。

ワークブックはCollege Physics A Strategic Approach<sup>8)</sup>を翻訳して使用した。このワークブックはMcDermottのLTワークブック<sup>6)</sup>と比べると、問題解法に重点が置かれ、講義の流れに沿った演習書になっている。典型的な素朴概念や問題解答の過程でよくある間違いを気付かせるように構成され、解答に至った理由を記述させる形式になっている。翻訳はそのことを考慮した意識にした。

## 4.3 Facilitator の準備

LTの重要な要素はTAとLAのトレーニングである。本学では、TAの募集は授業開始後で、担当科目について教えられる学力を持ったTAは非常に少なく、ティーチングオリエンテーションもない。LTの実行には多くのFacilitatorが必要なので、本研究室に配属になった2010年度3年生5人を2010年度2学期に週1回のセミナーでLAトレーニングを行った。セミナーでは、学生が力学をよく理解するためのミニ講義とワークブックの演習を行った。さらに、LTの役割と演習の進行方法と学習理論について説明した。2011年度の演習とオフィスアワーを担当したLAの5人は、1年次に履修した力学基礎の成績は良くなく、また物理が好きでもなかったが、演習を順調に進行させた。2人は教員志望だった。

Facilitatorは、LT開始前に、課題の中心概念とLTの進行方法についてミニ講義をうけた後、宿題のワークブックの解答の答え合わせをした。2人のTAのうち1人が力学を良く理解していたことも、2011年のLTを順調に進行できた要因の1つと考えられる。LAは演習の前に2教室の机をグループ討論用に並べ替え、LTの進行をした後、演習中に見つけた課題とその解決方法について短時間の反省会

をした。オフィスアワーは、授業履修者の授業がない時間帯を中心に週6時間設けて、LAが交代で担当し、学生の質問に丁寧に対応した。オフィスアワーを利用した学生は、同じLAに何度も質問に来る学生がおおよそ10人、中間試験と期末試験前にはおおよそ40人だった。LAとTAの敷居の低さと丁寧でまじめな対応は大学の授業評価の自由表記欄に複数表記されていた。

#### 4.4 概念調査結果

IEの学習効果は、FCIとFMCE<sup>9)</sup>の力学概念調査のPretestとPosttestの得点と $\langle g \rangle$ を使用して、両方の調査に参加した学生を調査対象として行った。FCIとFMCEは、各クラスで学籍番号の奇数、偶数で学生を分けて同時に行った。各クラスの調査対象は両方の調査に参加した100人前後で、その半数の約50人がそれぞれの調査に解答した。

TRクラスは演習を入れた従来の講義中心の授業を14回、IEクラスは講義14回に加えて7回の演習を行った。TRの2クラスは、同じ教科書で、別々の担当教員が講義をした。IEクラスは、演習に使用したワークブックの教科書の和訳が無いので、和訳が出ているアメリカの教科書<sup>10)</sup>を使用し、演習には前述のワークブックを使用した。調査対象者のクラス別の人数、調査平均点、クラスの $\langle g \rangle$ を表1に示す。

FCIでは、TRクラスのPretest scoreが高く、Posttest scoreはIEクラスよりもわずかに低くなっていて、 $\langle g \rangle$ は低い。TRクラスの履修者の多くがシステム工学群で、高校物理Ⅱを履修しているもので、Pretest scoreに反映されたものの、予備知識が、授業での概念習得度を十分に上げることはなっていないと考えられる。

FMCEの設問内容の多くが一次元運動についてで、FCIの設問にあるような円運動や放物線運動は含まず、大学入試問題にあまり似ていない。Pretest scoreはクラス間で有意差が無い。選択問題の正答率30%は高校物理が物理的概念構成に効果的でなかったことを意味する。Posttest scoreはIEクラスが伸びている。

FCIのアメリカでの $\langle g \rangle$ の値は、図1によると従来型方式(T)で0.10~0.30で、IE方式で0.20~0.70となっている。また、最近のアメリカの大学生のFMCEの $\langle g \rangle$ の値<sup>11)</sup>は、従来型方式で0.08~0.22、IE方式で0.33~0.93になっている。このことから高知工科大学のIEクラスのFCI、FMCEの $\langle g \rangle$ の0.40はアメリカのIE型の授業の範囲内に入っていると

いえる。

FCIとFMCEのPretest score(青のグラフ)とPosttest score(赤のグラフ)の得点の分布を、クラス別で比較した(図2)。TR1クラスでは、全体の分布がそのままわずかに得点を上げるようにシフトしている。TR2クラスでは、posttestで高得点分布が出現していることから、pretestの上位者に学習が効果的だったと考えられる。IEクラスでは、pretestの低得点のピークがposttestで高得点のピークに移行していて、低得点者を含めたクラス全体で学習に効果があったことを示している。

#### 5. 結論

高知工科大学の1年生を対象にした力学基礎の授業に、アメリカで学習効果が高いと評価されているIE学習を取り入れた結果、クラス全体で力学概念の獲得が有意に高くなったことが、概念調査試験で確かめられた。TAとLAとで実施したLT演習は、学習効果を高める結果になった。

#### 6. 展望

コロラド大学の400人以上のLAの概念調査試験の結果は授業履修者より高い $\langle g \rangle$ を示している<sup>7)</sup>。LAプログラムの得るところは、受講者とLAの学習効果だけでなく、効果的な学習を体験できることである。さらに、LAを経験した学生が高校教員になって、その高校の他の教員にも、新学習方法を伝える2次的な効果が出ている。高知工科大学での実施は環境や学生気質の差を超えて、受講者全員に有意な学習効果があった。課題はFacilitatorの確保である。高知工科大学ではTAは人数や資質が年度によって大きく変化する上、力学をよく理解しているTAの確保は困難である。そこで、2012年度のLA確保のために2011年の2学期に2年生を募集したところ、教員志望の3人がLAセミナーに参加した。この2年生の3人、本研究室の3年生6人を合わせて週1回のペースでLAセミナーを行った。しかし、2012年度の力学演習の時間が教職科目の授業と重なり、LAセミナーに参加した新3年生も教職志望のTAも演習に活用できなかった。

#### 文献

- (1) I. Halloun and D. Hestenes, "The initial knowledge state of college physics students," Am. J. Phys 53, 1043-1055 (1985)
- (2) D. Hestenes, M. Wells, and G. Swack-

- hamer, “Force Concept Inventory,” *The Physics Teacher*, Vol. 30, 141-158 (1992)
- (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) E. F. Redish, “Teaching Physics with the Physics suite,” John Wiley & Sons (2003) available at <http://www2.physics.umd.edu/~redish/Book/> 和訳版 「科学をどう教えるか」 丸善出版 (2012)
- (5) “How People Learn,” National Research Council (1998)
- (6) L. C. McDermott, and P. S. Shaffer, “Tutorials in Introductory Physics (First Edition),” New Jersey, Prentice Hall (2002)
- (7) <http://laprogram.colorado.edu/>
- (8) R. D. Knight, J. H. Andrews, “Student Workbook Volume 1 College Physics A Strategic Approach,” Addison-Wesley (2009)
- (9) R. K. Thornton, D. R. Sokoloff, “Assessing student learning of Newton’s laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula,” *Am. J. Phys* 66, 338-352 (1998)
- (10) D. ハリディ, R. レスニック, J. ウォーカ, “物理学の基礎 1,” 力学, 培風館 (2002)
- (11) R. K. Thornton, D Kuhl, K. Cummings and J. Marx, “Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory,” *Phys. Rev. ST. Physics Ed. Research* 5, 010105 (2009)

# Evaluating the Implementation of Lecture Tutorials and Learning Assistants in an Introductory Mechanics Class in Japan

Michi Ishimoto

(Received: April 6th, 2012)

\*School of Engineering, Kochi University of Technology  
185, Tosa-yamada, Miyanokuchi, Kami Kochi 782-8502

E-mail: [ishimoto.michi@kochi-tech.ac.jp](mailto:ishimoto.michi@kochi-tech.ac.jp)

**Abstract:** Lecture Tutorials, a highly effective method for a recitation on introductory physics, were implemented in an introductory mechanics class for first-year students at Kochi University of Technology in 2011. The averaged normalized gains on the Force Concept Inventory (FCI) and the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) were about 40%; these findings are consistent with results obtained in interactive engagement classes in the United States. This study describes how Lecture Tutorials and Learning Assistants were adapted to a Japanese recitation class and uses the FCI and FMCE to evaluate their effectiveness.