

# 大学における理科教育のグローバル化とeラーニング

鈴木 久男<sup>1)\*</sup>, 細川 敏幸<sup>2)</sup>, 小野寺 彰<sup>1)</sup>

1)北海道大学大学院理学研究科, 2)北海道大学高等教育機能開発総合センター

## Globalization of the science education in Japanese universities and utilization of the e-Learning system

Hisao Suzuki<sup>1)\*\*</sup>, Toshiyuki Hosokawa<sup>2)</sup> and Akira Onodera<sup>1)</sup>

1) Graduate School of Science, Hokkaido University

2) Center for Research and Development in Higher Education, Hokkaido University

*Abstract* The science education in the US universities does not expect from freshmen any experience in high school days. As the situation of Japanese students is becoming similar to that in the USA, the education system in the USA seems to provide useful information for us. We studied the education system for introductory chemistry and physics in the University of California, Berkeley in September 2004 interviewing several staff members and teaching assistants in the university. The system is very different from that in Hokkaido University. The serious difference is the time for the lecture. Our lecture time for physics is about 1/3 of that in Berkeley. We have to teach physics effectively with some e-Learning system. In 'Introductory Chemistry' in the US university, a short class quiz is used for interactive communication in the class. This information helps us to develop our education system. However, a support system for e-Learning and practice in the class that helps teachers with the lectures is required.

(Revised on April 11, 2005)

### はじめに

1970年代に80パーセントを超えていた高校理科の履修率は、学習指導要領の改訂により激減し、特に化学以外の科目の履修率は壊滅的狀態にある。ここでとりあげる物理学の履修率は20パーセント台になっている(細川他1996, 鶴岡他1996)。学生の多様

化とは名ばかりで、必要であるにもかかわらずいくつかの科目を学習していない学生が激増しているのが日本の現状である。特に2006年度入学者からは、物理履修者でも学習内容が現在の3分の2に削減されるため、大学教育での対策が急務である。そこで、我々は学生のグローバル化を前提として教育しているアメリカの大学を訪問、聞き取り調査した。そこから得られ

\*) 連絡先: 060-0810 札幌市北区北10条西8丁目 北海道大学大学院理学研究科

\*\*) Correspondence: Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, JAPAN

た有用な教育手法の日本への導入を検討する。

## 1. 物理的素養の標準と日本の大学物理教育の変化

大学における標準的な物理的素養は、そもそも、どのようなものであろうか？グローバルスタンダードが進む中で、大学における理科教育の標準を調べるために、アメリカの大学における物理教育の現状を検証する。

### 1.1 アメリカにおける入門物理の標準的水準

アメリカにおいて、入門コースは、通常の専門コースが1年半であるのに対して、より短期間の1年間で行われる。しかし、一つのコースでは週3時間の講義と4時間の実験、演習に当たる時間がある。内容は、力学、流体力学、熱力学、電磁気学、光学、相対性理論、量子物理学であり、各種学問の基礎にあたる分野をまんべんなく学習する。説明のための数学は微分を用いない形式であることが多く、これは日本の高校での教授法とほぼ等しい。全体として内容は、実生活への応用を主体としたものであり、また医学部学生向けMCAT (Medical College Admission Test) など各種試験への対応や、キャリアの素養としての内容が重視される。一方、通常の専門コースの方は、初等物理の内容を含みつつ、微分積分を用いたより高度な内容となっている。

アメリカでの標準的な講義では、物理概念を教えるとともに、具体的な適用例題を数多く例示してゆく。実際、U.C. Berkeley校での授業をいくつか見学したが、教え方に個人差があるものの、その内容が統一されていることに驚かされた。物理の教科には長い伝統があるために、教員側もかつてこのコースで学習してきたことが大きな理由の一つである。つまり、教えられたとおりに教えるスタイルでやっているだけで、内容の標準化が可能となっているのである。

### 1.2 日本の物理教育

日本における物理教育は、大学によってやや異なるが、たとえば、北海道大学においては、週1回の授業で、力学、電磁気、熱と波動を1年半で教える。また現代物理学を選択で学ぶことができる大学も多い。この形式は多くの大学で採用されている。ただし、アメリカと大きく異なるのが授業や演習時間数である。

たとえば、北海道大学において、講義時間は週1時間半であり、演習の時間はない。この不足分を補うために、実学的な要素は高校の物理にまかせ、大学で教える内容は、数学的に高度にしたものが多い。そのため、用いる数学はアメリカでの内容を凌駕する反面、現実への応用といった側面が軽視されている傾向がある。この傾向は、北海道大学に限らず、日本の主要大学での物理の教授法に共通するものである。つまり、大学での物理教育は、高校での物理の教育を前提とした教授法をしてきたのである。ところが、高校での教育に頼れなくなってきている。

### 1.3 高校での物理未履修者への対応のジレンマ

大学では高校での物理未履修者を対象にした授業が増加している。この物理未履修者への対応については、現状ではおよそ2つの方法がある。

一つは、現在の教育の仕方では、テーマを絞るなどして、対応することである。具体的には力学では剛体を扱わないとする。その結果、実学的でない質点などの理想化された物体の運動が主体となる。この方式の利点は、部分的にせよ大学の物理の水準を維持した教育がしやすいことである。一方、学生にとっては、物理概念を理解するのではなく、数式に目を奪われ、公式を使っていかに問題を解くかという関心になりがちになる。つまり、「物理概念の理解」よりも「公式の記憶」を優先して定期試験に備えることになる。また、この教育方法の致命的な欠点は、実学的な物理が欠如してしまうことにある。以前の教育では、現実世界において物理で学んだことを応用する能力の習得は、高校での物理とセットにしての教育を前提としていたのである。そのため、現状を少し変えただけの対応は、今後のキャリアのベースとしての物理の修得にはならない可能性が高い。

もう一つの対応は、高校の物理程度の内容にして、より基本概念の理解を中心にした授業にすることである。大学では高卒程度の数学的能力を期待できるので、微分などをそのまま用いることが可能になり、高校の内容よりは解ける問題の範囲は増える。しかし、本来、この物理的概念の習得には時間がかかる。実際に高校では、基本的な内容として物理Iと物理IIを2年をかけて習得している。現在高校生の物理学習の動機の多くは、大学入試対策であることは否めない。一方、大学生には、大学入試といったプレッシャーはない。以上のような理由から、高校での物理

未履修の学生には、大学レベルの物理を教えること以前に、高校の内容を教えることすら困難である。

#### 1.4 高校物理未履修者対応以前の日米の格差

このように、高校物理未履修者への対応をめくって、教育の欠点がより明確になっている。つまり、基本概念の理解と、実学的な要素をどう扱うかが課題となっている。ふりかえてみれば、これまでの大学での物理教育は、自然の観察、個別の具体例の学習という初中等理科教育の前提の基に、自然現象の体系化、抽象化をはかるといふものであり、実学教育には余り注意を払っていなかった。この問題が、高校物理未履修者への対応という形でより浮き彫りになったのである。それでは、問題を生じさせた原因は何だろうか？それは、日米の物理教育を比較してみると極めて明確である。その要因の多くは物理授業時間数の少なさに起因している。アメリカのように週3時間の講義と、週4時間の演習、実験によって初めて世界水準の物理初等教育が可能になる。しかしながら、日本においては、このような恵まれた教育をできる大学はごく少数であろう。これは、日米の教養課程に関する基本的な考え方の差に根ざしている問題でもある。この問題を直接的に解決するには物理教員の増員と取得単位数の増加が必要であるが、これは日本のほとんどの大学では実現が極めて困難な解決策である。

## 2. 大学物理教育の問題解決の手段としてのeラーニング

物理教育の抱える問題を、教員の増加なしに対応する手段の一つとしてeラーニングが考えられる。そして現在、北海道大学で実験授業の取り組みが始まっている。北海道大学初等物理教育における取り組みを説明する前に、このeラーニングとは何か、またその現状について簡単に触れておこう。

### 2.1 eラーニングとは

eラーニングとは、インターネットを利用し、双方向コミュニケーションを前提とした学習形態をいう(細川2004)。eラーニングには、いつでもどこでも学習できることや、各自のペースで学習することが可能である利点がある。もともと、アメリカにおいて、営利的、非営利的な導入が盛んに行われてきたもの

であるが、日本においても、企業の研修などにおいて活用する会社が増加している。また、国内の多数の大学においても導入の動きが進んでいる。それではeラーニングはどのように利用できるのだろうか？eラーニングにおいて進んでいるとされるアメリカの大学事情から探ってみる。

### 2.2 アメリカにおけるeラーニングシステム導入の動機

アメリカでは、1999年から2011年までに高等教育(大学生、大学院生)人口が300万人増加する(NCES 2001)。学生数が増加すれば、講義室の許容人数を超えることになり、教員の増員が必要になる。そこで、経営側としては、その増加に、できるだけコストの増加なしに対応したほうが有利である。これが、アメリカでのeラーニング導入の主たる動機である。また、eラーニングを進める利点がもう一つある。それは、アメリカの大学における22歳以上の修学人口が全体の半分以上であることに関係している。つまり、なんらかの職を持っていながら、休職したり、兼業しながら修学している。このような環境の中で、高等教育を受ける機会が得られるeラーニング学習は有効な方法の一つである。その動機から社会人に人気が高く、需要が多いビジネス向けのコースに対してeラーニングが導入されている(吉田2003)。

### 2.3 バーチャルユニバーシティ方式とハイブリッド方式

eラーニングには大きく分けて2つのタイプがある。一つは、対面授業がまったくなく、ウェブを通じた授業や試験しかないタイプである。このタイプは、実際の大学がなくても可能であるため、バーチャルユニバーシティとも言われる。もう一つのタイプは、既存の対面式授業にウェブのコースを付け加えるものである。どちらのタイプが望ましいかについては、未だ決着がついていない面があるが、既存の大学では、ハイブリッド方式によるeラーニングの方が導入しやすい(Young 2002)。北海道大学初等物理教育で目指しているのはこの方式である(鈴木他2005)。

### 2.4 eラーニングの利点と欠点

eラーニングシステムでは、授業の映像を流すだけではなく、独自のコンテンツを用意することが一般

的である。しかし、ウェブで講義を見た場合、内容をノートに書きうつすことがない。したがって、聞く姿勢は受動的にならざるをえず、講義に集中するのは困難である。そのため、通常の授業をウェブで公開するだけでは、ウェブでの公開の利点は発揮されにくい。学生の積極性が発揮されにくいのである。一般的には、eラーニングではコンテンツが主体であり、教員はそれをサポートする脇役に回る方がよいとされている。また、質問をメールや掲示板で受け付けることは、eラーニング授業でなくともできるものであり、eラーニングの主たる手法は、双方向性のあるコンテンツであるといえる。逆に言えばeラーニングではこのような双方向性を持たない場合、対面教育や通信教育に対して利点がないのである。実際、すべての大学においてeラーニングプログラムが成功しているわけではない。特に、eラーニングを一つのコースとして導入した場合、コンテンツの開発や維持に多額の投資が必要であり、初期投資を回収できないと判断して撤退するケースが多い。また、教える教科によってはeラーニングへの移行にメリットがあるわけではない。さらに、学生にとっては教員とのコミュニケーションが容易な対面式の授業の方が学生満足度は高いという指摘もある。このため、eラーニングシステムは単体のコースとしては教育効果には懐疑的な人も多い。教科によっては、その教育効果も対面式教育に比べて引けをとらないという程度のものである。そのため、eラーニングシステムを自己完結型の教育システムとして考える場合、対面式教育システムに比べて必ずしも有利とはいえない科目が多い。したがって、コスト的にはともかく、少なくとも教育効果だけを考えた場合、現状ではeラーニングを実際の授業の補助的なものとして運用するのが一番効果的な方法ではないかと思われる。

## 2.5 双方向性のあるコンテンツの制作

実際にそのコンテンツを制作するのは非常に大変な作業であり、各大学での対応を超えたものである。たとえば、ウェブデザイナーを雇うことにしてもコンテンツの中身のデザインは教員側がしなければならないため、教員への負担から独自の開発が困難なのが現状であろう。アメリカでは教科書の出版社が中心となって、コンテンツを作ることが多い。たとえば、物理の分野では、「Mastering Physics」(ホームページ)といった双方向性のあるプログラムが作られて

いる。いずれにせよ、このようなコンテンツの制作を大学ごとに行うことは決して能率のよいやり方ではない。

## 3. 概念理解を問うクイズ形式の授業とeラーニング

現状の対応としては、新たなコンテンツを用意しなくてもよいeラーニングシステムが組めないのだろうか？初等理科教育の分野において、このような立場で取り組んでいるのがUC Berkeley校の初等化学(Chem1A)の授業である。

### 3.1 UC Berkeley校(Chem1A授業)

Chem1Aの授業1クラス400人、時間にして1時間の講義の内容は、驚くことにたった4ページのスライドにまとめられている。それぞれに基本概念が一つずつあげられており、これは一回の授業で4つの基本概念を学ぶことを意味している。基本的なスタイルは、一つの基本概念の説明を終えて後、基本概念に関するクイズを行うものである。このクイズの解答は、各学生が購入した赤外線リモコンによってコンピュータに入力されリアルタイムで集計される。これは、クイズの成績だけではなく出席をとるためにも使われる。学生は、クイズの成績が最終成績に関係することと、匿名性が確保されることで、競い合うようにクイズに投票する。数分ののちに各答えに何人投票したかという結果がスクリーンに映し出される。そして、インストラクターの意見が示され、理由が説明される。ただし、学生の結果が割れている場合には、みんなで話し合って答えることを許し、再度投票させる。学生の意見が割れているときにはこうした話し合いは教育効果が高いようだ(写真1)。

また、授業では比較的大がかりな演示実験が行われている。教員一人による授業では、大規模な実験は困難である。ここでは、3人のチームで3コースを受け持つことより大規模な演示実験を可能にしている。(Harley et al. 2003)

### 3.2 クイズ形式の授業の利点と欠点

クイズ形式は、学生に自分で考える機会を与え、能動的に授業に参加する原動力となる。また、クイズは計算を必要としないものが中心であり、通常の数値代入式の問題での演算力よりも、基本概念の理解に

## 写真 1. バークレー Chem1A の授業風景

つながる。ただし、このシステムをそのまま日本の大学で実践してよいかどうかについては問題がある。すなわち、クイズは考える時間を要するために、教える概念を限定せざるを得ないことである。つまり、テキストの主な部分は自習して、通常の数値問題的なものは演習の時間で扱われる。もちろん、講義でテキストの概念のすべてを教えるよりも内容を絞った方が教育効果は高い。つまり、内容が多すぎる授業は、学生の消化不良につながる。そのため、限定した基本的な内容を教えて、あとは演習や、自習で訓練をつむスタイルが望ましい。アメリカの場合、講義は、演習、宿題のセットになっており、単体で完結できる形態でなくてもよい。

## 3.3 クイズ形式授業のウェブ公開の利点と欠点

ウェブでは授業に出席していない学生でも、ウェブでクイズに解答することができる。つまり、授業の形式でも双方向性が確保されるため、新たなコンテンツを加える必要なく、eラーニングシステムに移行できるのである。ウェブ公開の利点は、復習したいときに自分の好きなときに学習することができる点であることは先に述べた。しかし、担当者によると、ウェブへのアクセス数と成績とは必ずしも連動しないようである。つまり、ウェブから情報を取り寄せるだけで安心してしまい、勉強をしない学生もいると

いうことである。そのため、便利になることが、必ずしもすべての学生にとって学力の向上につながるとはいえない。また、クイズ形式のクラスの受講者が、通常のクラスの受講者に比べて、成績が優位にあるというデータは今のところない。また、学生の満足度に関してもデータをとっていないようだが、印象としては学生の満足度は高いようである。

## 3.4 クイズ形式の授業と物理教育

これまで述べてきた初等化学の Berkeley における試みには、問題が 2 つある。一つは、クイズ形式の授業が、化学はともかく、物理教育として適当かという点、もう一つは、日本の大学教育の事情の中で生かしていけるかという点である。一つめの問題に対しては、Berkeley の物理ではクイズ形式を採用していないことから危惧される。Berkeley の物理授業はアメリカの伝統的なスタイルであり、実際担当者は授業形態に不満はなく、学生たちも非常に熱心にノートをつけていた。この点に関して Berkeley の化学の担当者から、クイズ形式の授業はハーバード大学物理学の Mazur 教授によって始められたことを教えていただいた。このクイズ形式の授業の仕方や、それを取り入れたデータは本にまとめられている。以下この Mazur 教授の動機について触れてみたい (Mazur 1997)。

### 3.5 物理における概念問題の重要性

Mazur氏は、当初は伝統的なスタイルの授業をしていた。授業は例題の解法中心であり、学生は難しい問題も解けるようになり、学生の満足度も高かった。しかし、ある論文を読み、驚いた。学生は、数ヶ月の訓練で物理の計算ができるようになる。しかし、計算を必要としないにも関わらず、より基本的な問題には答えられないのである。つまり、基本概念を理解しないで、公式と問題の解法を覚えているだけだということである。Mazur氏が実際にHarvardの学生をテストしたところ、全く同様の結果が得られた。つまり、物理を理解ではなく記憶で対処している学生が多いのである。こうした学生は通常の試験では成績がよい。よって、教員側も学生が物理を理解したと思ひこむ。より深刻と見られるのは以下の事態である。そもそも、公式だけ覚えてもその後の学生の役に立たないことが多い。したがって、短期的に物理の授業に満足していた学生でも、長期的満足度は低いのである。これは、物理概念そのものを理解していないことに起因している。物理概念を理解していればその応用範囲は広い。したがって、基本概念を理解した方が長期的満足度が高い。もともと、大学の物理は全く役に立たなかったという声が多く聞かれるが、この原因の一つには理解よりも記憶優先の物理を助長させてきた授業スタイルにあるともいえる。

Mazur氏が考案した形式の授業は、クイズを主体として、学生に考えさせ、議論させながら進める授業形態である。クイズは、計算問題ではなく、概念問題 Force Concept Inventory (Conceptual Test) である。基本的なスタイルは先に述べた、Chem1Aの授業と同様である。先に述べたように、Chem1Aの授業はこのMazur氏の授業の化学版としての側面がある。

### 3.6 概念問題中心の授業と通常の授業との比較

概念問題を中心とした授業の構成は、物理概念の理解を目指しているが、それでは、このような授業で通常の定期試験の成績は上がるのだろうか？つまり、定期試験の問題解法には、数値代入式(公式)や、解法を覚えるといったことが必要である。実際、通常の解法を覚えることも物理の理解には必須なのである。Mazur氏も、クイズ形式の授業をした場合、必ず演習の時間などで通常の問題演習をする必要があると指摘している。そのようにして、通常の問題演習もこなした場合の結果は、先に挙げた文献で紹介されてい

る。クイズ形式の授業の学生の方が、通常の授業受講者に比べてわずかに成績がよい。つまり、概念問題プラス演習の授業は、通常の授業にひけをとらない。さらに重要なことは、通常の授業に比べて、長期的満足度の上昇が期待されることである。

## 4. 日本の大学物理教育の中でのクイズ形式授業

### 4.1 高校物理教育のゆがみ是正としてのクイズ形式

それでは、日本の大学において、クイズ形式の授業は有効であろうか？比較データとして公表できる段階ではないが、実際に授業に適用した経験から言うと、極めて有効である。それは、高校での物理履修者でも概念問題には答えられない学生が多いということから明らかである。つまり、高校でも公式記憶中心の物理のみを学習してきた学生が非常に多い。高校では大学入試問題の解法の記憶に全力を傾けているので、この結果は予想できるものである。概念問題の正答率では、高校での物理履修未履修ではあまり差がつかない。クイズ形式の授業は、大学での物理教育のみならず、高校での物理教育の歪みを解消する手段となるのである。

### 4.2 単体では効果が薄いクイズ形式

この教育方法はクイズだけでは完結しないことを前提としていることを忘れてはいけない。つまり、通常の問題演習も必要であり、アメリカでは実験・演習の時間が週4時間も用意されていて、この点を補うことが可能なのである。

### 4.3 日本の大学における運用

一方、日本の大学では物理の授業に演習が伴わないことも多く、問題演習を学生の自習に期待するのは困難である。よって、クイズ形式の授業だけでの単独の運用はリスクが大きく、授業全体をクイズ形式にすることは、教育上最善とは言えない。そのため、通常の授業では部分的な導入が望ましいものと思われる。

## 5. 大学物理教育におけるeラーニングの利点

大学の物理教育におけるeラーニングの実現には以

下のような利点がある。

### 5.1 授業時間数の補填

大学の物理教育における最大の欠点は、教授時間の短さであることを述べた。このことにより、内容としては、物理の実学的側面、理論的側面かどちらかを犠牲にしなければならない。また、学生の理解度としては、基本概念の理解か数値的演算力のどちらかを犠牲にしなければならない。物理教育において、これらの相補的側面を習得するには、通常の授業だけでは極めて困難である。これらの通常の授業時間の不足からくる諸問題を解決する手段の一つとしてeラーニングの導入が考えられる。つまり、eラーニングをハイブリッド方式により導入する。授業では学生は通常形式の授業と、クイズ例題形式の授業のどちらかに出席する。ウェブでは、それら2種類の授業を録画して提供する。学生は出席しなかった授業を見ることにより、授業時間の不足を補うことができる。

### 5.2 大規模な物理演示実験の実現

また、通常の授業では大規模な実験は、人的、時間的な不足などから大規模な実験をすることが困難である。この点を、ウェブ授業により補うことができる。

### 5.3 教授法の改善

これまで述べた講義は単独ではなく、チームで行うことが前提である。eラーニングに限らずチーム教育のメリットは、教授法の改善が容易なことである。わかりにくい説明があった場合、他の教員はその点を指摘する。教員はその結果を絶えずフィードバックに掛け、次の説明に反映させることができる。

## 6. まとめ

日本の大学物理教育の現状を、米国の大学の初習理科教育と比較しながら検証した。両国の大きな違いのひとつは学習時間である。日本の大学は、高校での物理学未履修者を多数抱え、米国の1/3の時間で教育しなければならないジレンマに陥っている。物理学は概念の理解を目的とする学問であり、それに適した学習法をeラーニングの手法の中から選択する必要がある。また、クイズ形式の授業でなく、通常の授業形態でも、eラーニングに適した授業が考えられ

る。それは、アメリカの従来型の授業である例題演習などを交えた授業である。例題演習を中心としたスタイルの授業は試験の点数に直結するので、学生の集中力維持に効果があるものと期待される。この形式では、板書を基調にした授業の方が、学生の思考に同期した教授法が期待できるが、このタイプの授業において、どのようにして双方向性を持たせていけるかが改良のポイントとなる。いずれにしても、授業時間が変わらない限り効率的な授業を考えなければならず、eラーニングを使うにしろ演習を行うにしろ多くの手間と費用を要するものであり、組織的なサポートが重要である。

## 参考文献

- Harley, D., Henke, J., Lawrence, S., McMartin, F., Maher, M., Gawlik, M., and Muller, P., (2003) "Costs, Culture, and Complexity: An analysis of Technology Enhancements in a Large Lecture Course at UC Berkeley", <http://repositories.cdlib.org/cshe/CSHE3-03>
- 細川敏幸, 小野寺彰, 山田大隆, 鶴岡森昭 (1996), 「高校物理教育の現状調査」, 『物理教育研究』, 24, 42-49
- 細川 敏幸, 小笠原正明, 西森敏之, 岡部成玄, 野坂政司, 安住和久, 高野伸栄, 渡邊 智, 高見敏子, 伊藤直哉, 川村 武 (2004), 「e-Learningを大学教育にどう展開するか - e-Learning 研究会報告 - 」, 『高等教育ジャーナル - 高等教育と生涯学習 - 』, 12, 173-182
- Mastering Physics, <http://www.masteringphysics.com>
- Mazur, E. (1997), "Peer Instruction, A User 's Manual " Prentice Hall
- NCES (National Center for Education Statistics) (2001) Projections of Education Statistics to 2011, (<http://nces.ed.gov/pubs2001/proj01/>)
- 鈴木久男, 細川敏幸, 小野寺彰 (2005), 「大学における理科教育のグローバル化とeラーニング」, 『高等教育ジャーナル - 高等教育と生涯学習 - 』 13, ??-??
- 鶴岡森昭, 永田敏夫, 細川敏幸, 小野寺彰 (1996), 「大学・高校理科教育の危機 - 高校における理科離れの実状 - 」, 『高等教育ジャーナル - 高等教育と生涯

学習 -』1, 105-115

吉田文(2003),「アメリカ高等教育におけるeラーニング 日本への教訓」東京電気大学出版局

Young, J.(2002), 'Hybrid Teaching Seeks to End the Drive Between Traditional and Online Instruction ', The Chronicle of Higher Education, March 22