

研究大学における理系の基礎教育と ティーチングアシスタントの役割

小笠原 正明

<要 旨>

わが国の研究大学の学士課程における基礎的な自然科学分野の教育について、米国や英国の大学と直接比較を行い、教育水準を推定した。日本の研究大学では、この段階の教育においてもエリート主義的な少人数教育を志向する傾向があり、入学者の学習歴や学力の多様化に対応できていない。その教育技術の水準は、米国の1970年代の後半の段階に留まっている。わが国の研究大学の初年次教育においても、米国の“Sciences for all”に相当する自然科学の授業が必要である。この段階の教育で解決すべき問題は、大きく分けてカリキュラムの不整合や欠落、教育支援の未整備、教育インフラの未整備の3つである。これらの問題を解決するために、1) 学習の組み立てを再検討すること、2) 現代の学生に即した新しい授業スタイルを作ること、3) ティーチングアシスタントを本格的に導入しその研修を行うことを提案した。

1. はじめに

教育の面から見て、わが国の大学は国際的にみてもどの水準にあるだろうかと考えることは意味のあることだと思う。分野による違いが大きいだけでなく、大学の種類や学年、あるいはクラスサイズによる違いが大きいので一般論はできないが、境界条件を定めて具体的に比較検討すれば、我が国の高等教育におけるさまざまな問題点が浮かび上がってくるはずである。理系の基礎的な分野に問題を限ると、わが国は科学技術立国の旗印のもとにこれまで成功を修めてきたのだから、大学教育の水準もそれなりに高い

だろうと一般に思われている。水準以上の大学の卒業生を他の国のそれと比較すると、この見方は一見正しいように思える。しかし以前から、個々の学生が本来備えている資質や大学入学前の学力から見て、大学に入学してからの伸びが不十分ではないかという疑問が出されていた。また学士課程教育の内容に立ち入ってみると、最終学年の、いわゆる卒論に教員のエネルギーが集中される傾向があり、その段階では成果をあげていると言えるが、初年次におけるコースワークの部分が脆弱で、今のところ「日本モデル」として国際的に誇り得るようなものは無い。そのことから専門教育の基礎ができていないのではないか、ひいては理系の基礎的な教育内容が国際的に見て立ち遅れているのではないかという深刻な疑問ないしは恐れが生じている（小笠原 2003a,b 2004）。

大学や大学院で水準の高い教育を実現するためには、基礎的な学力のレベルを維持し、これを高めることが必要である。かつて厳しい入学試験で選抜された少数の学生に対してエリート的な教育を行うことが理系の基礎教育の理想とされてきた。しかし、多様化した学生が入学する「ユニバーサルアクセス時代」の大学では、より多くの学生に対して知的刺激を与え、効果的な教育を行うことが求められている。世界的にも理系の基礎教育について学習のストラテジーや教育方法の見直しが進み、大学教育の現場は特に自然科学分野で急速に変化しつつある。ここでは学士課程の一つの局面である理系の専門基礎教育について米国の大学等と直接の比較を行い、世界的に通用する教育とはどのようなものかを検討する。また研究大学の教育において重要な役割を果たすティーチングアシスタント（TA）の役割と研修の方法についても考察する。

2. 国際比較

2.1 何と何を比較するか？

ここで大学における理系の基礎教育科目とは、数学、物理学、化学、生物学、地学などの科目を指すことにする。これらの科目は旧一般教養科目の自然科学分野に相当するが、それ以前の旧制高等学校における大学予科の科目に起源を持ち、旧制中学校の教育科目とも対応しているので、もともと中等および高等教育における「普通教育」の伝統的な科目が現在の高等教育に引き継がれたものと解釈できる。リベラルアーツ科目としてそれ自身の専門分野を持っており、理学部に学問の拠点がある。ただし化学や

生物学などは他の学部には置かれているものと内容が重複している場合が多く、必ずしも理学部が提供しているとは限らない。これら理系の基礎科目について学士課程前半で行われる授業に注目し、とりわけ1年次学生を対象として行われる授業に的を絞って比較した。

理系の基礎教育の国際的な動向を調査するため、2003年以降、米国と英国の大学を中心に以下に示すような大学を訪問調査した。

1) 米国カリフォルニア大学バークレー校：高等教育研究所の D. Harley 以下3名にインタビューし、入門化学 Chemistry Ia の授業、討論および実験を参観した。担当者の M. Kubenic および M. Dousky をインタビューし、付設の Laurence Hall における理科教育研修を参観した(2003年1月)。

2) スコットランドのグラスゴー大学：科学教育センターの N. Reid 教授の研究室を訪問し、新しい科学教育方法の理論について討論を行った(2004年9月)。

3) アイルランドのアイルランド大学ダブリン校(ユニバーシティカレッジ・ダブリン)：ラーニングセンターを訪問し、センター長 G. O'neil 教授および T. McMahan 氏と討論した(2004年9月)。T. McMahan 氏はその翌年に北海道大学高等教育機能開発総合センターに3ヶ月間客員教授として滞在し、著者と協力してFD活動やセミナーを行った。

4) 米国ハワイ大学マノア校：教育学部のスタッフと討論した。併設のアウトリーチカレッジを訪問し、教員にインタビューした。またメディアセンターとラーニングセンターを訪問しインタビューした(2005年3月)。

5) 英国ケンブリッジ大学：トリニティーホールの学寮に数日間滞在し、物理工学の D. Moor 教授と討論し、スーパーバイジングと呼ばれている彼自身の個人指導を参観した。また、工学部の工学実験と機械力学の授業を参観した(2005年10月)。

ほとんどの大学で自然科学関係を中心とする授業に参加し、学生の意見を聞き、授業担当者にインタビューする機会を持った。英国、米国、アイルランドに限定されているのは、著者の語学力によるもので、授業の内容を理解し、そのレベルをわが国の場合と直接比較するためには、英語で行われている授業に限る必要があったからである。

もっとも直接的な比較を行ったのは、カリフォルニア大学バークレー校の初年次教育で、中でも化学の分野については授業内容はもちろんのこと、実験授業、討論授業、ティーチングアシスタント研修から教育支援の内容まで詳細な研究を行った。またハーバード大学のカレッジ教育の内容につ

いては、学生便覧を参照してカリキュラム構造の分析を行った。

英国とアイルランドの大学の教育内容は、日本の大学と比較して早くから専門分化しているので、教育レベルを直接比較することは難しかった。例えば、ケンブリッジ大学のもっとも古いカレッジの一つであるトリニティーホールには、さまざまな分野を志望する学生が所属しているが、入学はデパートメント単位で許可されており、科目の選択も志望する分野に強く依存する。専門基礎分野については、例えば工学志望の学生はいきなり工業数学や工業物理学を履修することになっていて、一般的な数学や物理学は履修しなくても良い。その代わり、カレッジでは一人ひとりに対し、ていねいなスーパーバイジング教育（オックスフォード大学における「チュートリアル教育」に相当）が行われ、高校課程とのギャップを埋める努力がなされている。また単位制ではなく卒業試験制であるために、学生の勉強スタイルが日本や米国とはかなり違っていて、口頭試問に対する準備に重きが置かれているように見えた。

2.2 カリキュラムと履修システム

日本の研究大学の理系基礎教育カリキュラムは、一般に単純で、選択の余地の無い単線型になっている。典型的には、化学や物理学などの2単位の科目にⅠ、Ⅱ、Ⅲと番号をふって、入学時から始めて2年の前半あるいは後半で修了して専門科目につなげる形になっている。一般教養課程があったころの自然科学分野の開講形態を踏襲したものである。その内容は、物理学では例えば力学、熱力学、電磁気学、化学では化学結合論、化学熱力学、有機化学である場合が多く、カバーすべき内容についてはおおよそ了解が得られている。ただしそれぞれのレベルについては大学の種類あるいは担当者によってまちまちで、基礎教育として全体を把握し、調整している大学・学部は、研究大学では多いとは言えない。

それと対照的に、米国の研究大学のカリキュラムは複線型で、いくつかの異なるコースをたどって専門課程につなげている点に特徴がある。リベラルアーツ教育の一環と位置づけられているために、理系・文系の区別なく学生を受け入れる“Sciences for all”の授業を開講している点にも違いがある。

エリート教育で知られているハーバードカレッジにおいても、入学前の多様な学習歴に応じてさまざまなレベルの化学の科目が用意されている。化学が苦手あるいはまったく学習したことがない学生、化学についてし

しっかりした素養がある学生、化学について図抜けた学生に対応して3種類の導入科目があり、それぞれの講義題目には、「微積分は必要ないが、高校レベルの代数の知識は必須」とか、「この科目を受講するためには、新入生ウイークに“ハーバード化学プレースメントテスト”で十分な点数をとるか、あるいは指導教員の許可をもらわなければならない」など、詳細な条件が記されている。きびしい順序性にもとづいて、数学や物理など他の分野の進み具合を考慮した精密なカリキュラムのもとで教育が行われている。

入門レベルの科目の内容を履修歴の多様な学生に対応させているため、米国の大学では高校レベルの教育を行っている、と誤解されることが多い。確かに例えば化学の場合、取り付きの部分は周期表や元素の表示法という高校レベルの内容になっているが、その後は大学生の知的発展段階に合わせて、かなりの速度で内容が高度化ようになっていく。このような「速習」が可能なのは、日本の大学と比較して格段に集中度の高い履修システムを持っているためである。基礎科学のカリキュラムは、普通1時間の授業を週3回、4時間のラボワークおよび討論を週1回行うようになっており、授業では相当量の宿題と、テキストの事前あるいは事後の読み込みが求められる。これを2学期ないしは3学期続けるので、1年後には教育内容において日本の大学の水準を越えている場合が多い。その結果をアウトカムの観点から評価すると、その差はさらに拡大する可能性がある。

2.3 教育方法

日本の研究大学は理系の基礎教育に関する限りなるべくクラスサイズを小さくし、教員との接触を密にすることによって教育の質を保とうとしている。北海道大学の場合、化学I・II・IIIの授業は通常1クラス60名以下、一部100名で行われている。他の研究大学の化学のクラスサイズも同じようなものであろう。これは戦前からの小人数教育の伝統を引き継いでいるという意味で、「エリート型」の教育スタイルといえる。

このやり方はアメリカの優れたリベラルアーツ大学のエリート教育と一見同じように見えるが、中身は似て非なるものである。同じ科目あるいは関連する科目でありながら教員同士のコミュニケーションが十分ではない場合が多く、教育方法やアウトカムにおいて一定の水準と内容を必ずしも期待できない。このような事情のために、専門基礎科目の教育方法が国際的に見てどの水準にあるか、どのような特徴があるかは正確には把握されていない。自分自身の教授法を一般化して考えるか、同僚や学生の評判

から判断するしかない。伝統的な大学における基礎教育の「日本モデル」は、クラスサイズこそ小さいが、標準化と質保証がなされていないという意味で、その優位性が確認されているとは言いがたい。

アメリカの伝統的な大規模大学は、この種類の教育においてはっきりした特徴を持っている。その典型がカリフォルニア大学バークレー校の入門化学 Chemistry Ia である（小笠原 2004）。Chemistry Ia は志望する専攻を問わず 1 クラスあたり 500 名の 1 年生を受入れている。授業は高度に IT 化されており、授業中にさまざまな小テスト（クイズ）がクリッカーと呼ばれる赤外線投票システムでリアルタイムで行われるほか、大掛かりな演示実験が 3 名の技術補助員の助けを借りて行われる。担当教員によっては受講生 25 名に 1 名の割合でついている TA を同席させ、講師の指示に従って授業の最中にグループ討論を行い、フロアの討論に参加させる場合もある。

この例に示されているように、本質的にマス教育でありながら討論重視の方針が貫かれている。このような斬新な授業の背景には、エリート段階からマス段階、ユニバーサルアクセス段階へという教育理念の変換が感じられる。すなわち少数の良く選ばれた学生に対して特殊な教育を行うという戦略から、より多くの多様な学力を持つ学生に対して効果的・効率的な教育を行い、その過程で才能のある卓越した専門家を育てようとする戦略への転換がある。

理系の基礎分野の教育を比較して感じるもっとも大きな違いは、授業における学生の集中力の違いである。米国の学生はリラックスしながらも、講師の話の内容を良くフォローしており、面白いと思えば率直に喜び、肝心なところでは静まり返って傾聴する。規模の大きな授業では、この「グループ・ダイナミックス」の効果を利用して、講義の流れを面白くする工夫がなされている。英国の学生はもう少しおとなしいが、基本的に同じように反応する。日本の学生は、いわゆる偏差値の違いによって私語が多いところと少ないところがあるらしいが、おしなべて講師のプレゼンテーションに対する関心が低く、学生は黒板に書かれた式などを写すことに専念する傾向がある。この傾向を反映してか、学生による授業評価でも理系の授業は一般に機械的で面白くないと評価されることが多く、クレームも黒板の書き方に集中する傾向がある。

2.4 教育支援システム

先に触れたように、日本の研究大学は専門基礎教育のクラスをできるだけ小さくしようとしているが、大規模大学に関する限りこの傾向は国際的には例外に属する。初等・中等教育と違って、授業内容の標準化が進めば、同じ内容の科目を多くの教員が担当するのは実際上不可能になり、場合によっては無意味となる。米国の大規模大学では、授業の内容が基礎的になればなるほどクラスサイズは大きくなり、入門レベルの科目のクラスは200名から500名が標準となる。ヨーロッパの大学も同様で、例えば医学・獣医学で世界的な名声を博しているエジンバラ大学の基礎生物学のクラスサイズは約1000名である。

卒業試験制を採用している英国の大学では、大規模クラスに対する教育支援はあまり目につかない。むしろ教室外での個人指導に力を入れて、教育効果を高めようとしている。単位制を採用している米国の大学では「単位の実質化」のために、大きなクラスに対しては授業の支援や学生へのケアなどを積極的に行っている。パークレーの入門化学では、表1に示すようにラボワークを含めて、一人の教員に対してTA25名、非教育スタッフ4名、非常勤職員20数名の支援要員が配置されている。これと対照的に、北海道大学の化学の教育に配置されている支援要員は、ラボワークを含めて常勤教員一人あたりTAが0.5名、非教育スタッフが0.1名以下にすぎない。米国の大学が教育スタッフを頂点とするピラミッド型であるのに対し、日本の研究大学は多数のアカデミックスタッフに少数のTAを配置し、非教育スタッフを省略した極端な逆ピラミッド型の組織で教育が行われている。米国の大学では、限られた数の教員がリーダーシップをとって、TAや非教育スタッフがそれぞれ守備範囲を定めて組織的に教育を行っているのに対して、日本では多数の常勤および非常勤の教育スタッフが、わずかの支援を受けて、あるいは支援なしに、自己完結的に自分のクラスを維持している様子がうかがわれる。

米国の大学教育において、TAは重要な役目を果たしている。パークレーの入門化学のTAは、ラボワークの手伝いをするだけでなく、大規模クラスを分割して行うグループ討論で重要な役目を果たしている。筆者がパークレーの授業で観察した例では、ミニチュアの実験キットを使って、時計皿に張った水の表面に滴定によってステアリン酸の1分子膜を作る実験を行ったあと、アボガドロ数の概念を教えて分子1個あたりの体積を計算させ、その意味を討論のテーマにしていた。TAの誘導によってアルキ

ル基の円筒モデルや折れ曲がりモデルについて活発な意見が出され、全部ではないが多数の受講生が議論に参加していた。TA のミニレクチャーやクラスの雰囲気づくりかたや説明の明晰さは、日本のベテランの教員とくらべても遜色がないように見えた。

バークレーの場合は、教育技能において優れた TA を組織的に養成して初年次教育に積極的に参加させている。大学院教育において TA の経験を単位化している学科も多く、20%以上の学生がそれで生活をしている。TA 制度は、今や教員にとっても学生にとっても無くてはならないもので、研究大学の一部としてビルトインされているという印象を受けた。

表1 基礎化学の教育に投入されている人的資源の内容

| | UCバークレー校 | | | 北海道大学 | | |
|------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 〈秋学期〉 | 〈春学期〉 | 〈合計〉 | 〈第1期〉 | 〈第2期〉 | 〈合計〉 |
| 受講学生 | 1,258 | 1,202 | 2,460 | 2,671 | 2,748 | 5,419 |
| 教育スタッフ：常勤 | 2 | 2 | 4 | 28 | 28 | 56 |
| 非常勤 | 0 | 0 | 0 | 12 | 12 | 24 |
| TA | 49 | 45 | 90 | 14 | 16 | 30 |
| 非教育スタッフ：常勤 | 8 | 8 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 非常勤 | ~25 | ~25 | ~50 | 2 | 2 | 4 |

注) UCバークレー校の受講者数は、講義と実験を一緒にしたもの。北大は別々に計算しているので、バークレー式に従えば2重に計算している。

3. 教育改革の方向

理系の基礎分野に限って比較すると、日本の大学教育の水準は国際的に見て高いとは言えない。米国の大学における“Sciences for all”の授業と比較すると、その遅れは20年から30年、すなわち米国の1970年代後半の水準に留まっていると思われる。この分野の教育で解決すべき問題は、大きく1)カリキュラム、2)教育支援、3)教育インフラの3つ分けられる。

カリキュラムについて、理系の初年次教育カリキュラムに不整合や欠落があることは以前から指摘されていた。1991年の大学設置基準の大綱化まで、この部分の教育は一般教養として全国一律に定められており、科目配

置や単位数において自由度がほとんどなかった。また、担当者も専門学部と分かれていたところも多く、専門分野の教育と分断されていたところが多い。この後遺症のためにカリキュラム研究が停滞し、担当者間のコミュニケーションやコンセンサスが得られにくくなっている。

教育支援の不足も深刻である。大学入学生の学力や履修歴が多様化した現在、理系の基礎教育に対する教育支援の必要性が増しているが、わが国の理系基礎教育の授業では、実験科目を除いて教育支援は無いに等しい。アカデミックスタッフである教員を授業そのものに集中させるためにも、効果的な教育支援の方法を取り入れる必要がある。特に研究大学においては、TAの積極的な導入とそのための研修システム・研修内容の整備が緊急の課題である。

教育環境の整備は、メディア機材を中心に大幅に改善されつつあるが、大規模授業に有効なクイズ投票技術や演示実験のためのインフラ整備が遅れている。TAの導入や組織的な授業の設計に対応した教育インフラの整備が急がれる。

これらの問題を解決するために、日本の研究大学は次のような段階を踏んで戦略的に教育の改善をはかり、教育の内実を作っていくべきだと思う。

3.1 学習のストラテジーを立て直す

理系の基礎教育においては、大学入学者の学力の多様化に効果的に対応して、到達水準の維持・向上をはからなければならない。日本の研究大学は長いあいだ（明示的ではないが）受験競争のメリットを評価し、享受してきた。研究大学に入学するような「エリート」は、必要なすべての科目を高校で履修して来るべきであり、実際に履修していると思込んでいる大学教員は今でも少なくない。しかし現実には、高校生の多くはきびしい受験競争に適応するために履修科目を絞り込み、受験に特化した勉強をしている可能性がある。かつてのような、オーソドックスなやり方でバランス良く勉強してきた学生を前提に、カリキュラムを作ることは危険である。また研究大学といえども、理系分野では入学してくる学生の学力の多様化は避けられないという現実がある(西森 1997、鶴岡ら 1996、細川ら 1996)。日本の研究大学も履修歴の多様化を前提にした「アメリカモデル」を採用する時がきている。

アメリカモデルとは、ハーバードのカリキュラムに端的に示されているように、初年次における科目のレベルを多様化し、教育内容の標準化をは

かること、また学士課程後半の専門教育への接続を果たすことである。ただし、実際には分野により力点の置き方が違ってくる。例えば化学は、物理と違って高校での履修率が高く、理系に限れば大学で初めて出会う可能性は少ない。しかし、大学初年級の化学の内容については化学の専門家の間でもコンセンサスがなない。従って、物理においてはレベル化がもっとも重要かも知れないが、化学ではむしろ標準化の方に力を注ぐべきだと思う。そこで学習のストラテジーに関連して、化学の基礎教育の標準化の問題に具体的に立ち入って考察してみたい。

化学に限ったことではないが、学問には一般に外国語に似たところがある。外国語をマスターするためには、まず、単語を覚えなければ学習が始まらないが、それだけでは無意味で、単語を組み合わせる意味のあることを考えたり、述べたりしなければならない。前者はボキャブラリーを獲得する課程であり、後者は意味を理解（コンプリヘンション）する課程である。化学の分野に即していえば、元素記号や、化学式、構造式、反応式などが「ボキャブラリー」に相当し、それを使って現象を記述し、その背後にある法則や原理を考えることが「コンプリヘンション」にあたる。カリキュラムをつくるときには、初等、中等、高等教育のそれぞれにおいて、この二つの要素をどのように配分するかが問題となる。

高校生や受験生が「化学は暗記物だ」と考える理由は、中等教育まではボキャブラリーを獲得することに力点が置かれるからである。もちろん暗記することが化学の特徴でもなければ本質でもないが、物理と比較すると化学の対象は多種多様でしかも物質を理想化せずリアルなモノとして認識したり扱ったりする必要があるので、どうしても必要最低限の知識量が多くなる。暗記することに関心があり、そこに力点を置きがちな高校生や受験生の傾向と、化学という学問の教育課程はうまい具体に整合している。このような理由から、日本の高校における化学の水準は、今後ともこの意味で高い水準に保たれるだろうと予測することができる。

しかし大学レベルの基礎教育で大事なことは、知識の量そのものではなくて、そうして獲得した「言語」を駆使してどのように考え、どのように行動するかである（鈴木ら 2005 b）。基礎化学を大学レベルの“Chemistry for all”と考え、しかも高校で化学を履修してきたと想定すると、大学レベルでは、原子や分子の性質を荷電粒子の相互作用を扱う量子力学によって説明しなければならない。化学反応の起き易さは、高校レベルでは反応熱の符号や大小で説明するとしても、大学の段階では自由エネルギーの概念

で整理しないと正しい理解には至らない。ただし量子力学や統計熱力学を本格的に学ぶには、大学の初年次では物理や数学の教程が追いつかないというジレンマがある。志望する分野にかかわらず大学のレベルで必須の項目を絞りこんだ上で、定性的あるいは視覚的な方法でより高度の概念的な理解に導くことができる授業の設計が必要とされるゆえんである。またこれに密接に関連した演示実験およびラボのコースワークを開発しなければならない。現代化学をマスターするためには、高校レベルで理解した伝統的な化学の枠組みを超える必要があり、それを手助けするのが大学の基礎化学の役割である。

どこの大学でも化学は、人気のない専門基礎分野の中でもっとも人気の無い科目になっている。その理由は、分野の細分化が進み、それぞれのサブ領域の知識が膨大になって、履修者には全体としてとりとめが無いように感じられるためであろう。これまでのように大学の初年次でサブ領域ごとの体系を並列的に、あるいは歴史的発展に即して教え込むやり方は有効ではない。化学を面白くするためには、現代の課題に即して、一定の展望のもとにこれまで蓄積されてきた膨大な知識を効果的に整理して、現代化学に必須の概念とともに伝える必要がある。それができるスケールの大きいストーリーの構築が求められている。米国の最近の教科書には、そのための真摯な努力の成果が感じられる（アメリカ化学会 2005）。

いずれにせよ、研究大学における初年次の基礎化学の授業では、概念の理解、あるいは概念理解の高度化に重点を置くべきだと思う。また取り上げるべき概念の選択や新しい授業法を開発する際には、学士課程のゴールとみなされている卒業研究との関連をある程度考慮する必要がある。その結果として、“for all”というモットーの“all”の範囲を、日本の大学の現実に即して決めなおすことも必要になるだろう。

大学における化学の新しい学習ストラテジーを確立するためには、数学、物理、生物など、関連する分野間での討論や協力は欠かせない。基礎化学に使われている数学や物理の知識が、対象とする学生の履修歴と整合していないことは以前から言われてきた（小笠原 2003）。教育の改革は学協会単位で自己完結的に行われる傾向があるが、これを改善して、分野ごとの壁を低くし、それぞれの発展段階にある学生が、理解可能な物理や数学などのレベルを具体的に明らかにし、共通認識を持つ必要がある。また、基礎生物学において必要とされる化学のレベルはどの程度であるかを検討して、理系の基礎教育カリキュラム全体の整合性をはかる必要がある。

3.2 新しい授業スタイルをつくる

基礎分野の教育効果を高めるためには、わが国の現実に即して新しい授業のスタイルを作らなければならない。研究大学の教員は一般に大人数授業を好まず、できるだけサイズの小さいクラスで教育したいと思っている。その場合に参考となるのは、ケンブリッジ大学のスーパーバイジング授業やオックスフォード大学のチュートリアル授業である。筆者が参観した「授業」の例では、教員はほとんど教えない。黒板やホワイトボードも使わず、教員と学生との間のテーブル上に置かれた1枚の紙だけを使って2人の学生に質問を發し、その答えを分析して、ふたたび答えさせる。文字通り忠告するだけである。密度の高い1時間の授業の中で、その日の課題であった媒体中の電場に関して紙の上に書かれた数式はほんの数行にすぎず、基本的には言語的（バーバル）な方法で概念理解に重きを置いた教育がなされていた。

本当の少人数教育ではこのような対話型の授業が行われるべきであり、一方的に講義するのであれば必ずしも少人数である必要はない。ただし、このような少人数教育は密室型なのでその内容の質を保証することが難しい。ケンブリッジ大学などでスーパーバイジングのやり方が教員個人にまかされているのは、大学における卒業試験で、個々の教育の効果をチェックされているからである。また教員相互の討論やコミュニケーションがカレッジ教育では不可欠だということも強調されていた。

エリート型のスーパーバイジング授業の対極にあるのが先に述べたパークレーの入門化学である。この授業モデルに触発される形で、日本の学生のために開発された授業の例がある（鈴木 2005a,b）。北海道大学の理学部と高等教育機能開発総合センターは、2000年前後から主として物理学および化学について、戦略的に授業の開発を進めた。水産学部の1年次学生230人を1クラスとしたパイロット授業には、スタッフとして教員4名、実験補助のための技官1名および撮影技術者1名の合計6名、それにティーチングアシスタント4名が加わった。2004年度前期の授業では、毎回の持ち時間90分を分割して、最初の60分間を講義に、残りの30分間を演習にあてた。理系の基礎教育ではどのような工夫をこらしても、学生が集中力を維持できる時間は1時間が限界であることが分かっていたからである。

講義では毎回比較的大規模な演示実験をおこない、大教室のスクリーンに投影して230人の受講生がその詳細を同時に観察できるようにした。IT

支援として同センターが開発した e ラーニングシステム HuWeb を採用した (鈴木ら 2005b)。将来のオンライン授業を想定して、全講義の録画も行った。2004 年後期の授業では、さらにクイズ形式を導入した。演習の時間にはクラスを 20-50 名程度に分割し、ティーチングアシスタントを配置した (鈴木ら 2005a)。

次の段階として、理学部物理学科は平成 18 年度以降の教育課程における「基礎物理学」の授業を実施に移している (北大教育改革室 2003)。その際に、パイロット授業で得られた経験を参考にしている。同じような授業環境のもとで日本の学生はアメリカの学生とは異なる反応を示す。例えば、1) 演示実験にあまり興味を示さないように見える、2) 講義ノート ウェブ上に公開すると講義に集中しなくなる、3) パワーポイントなどメディア機材を多用するとノートをとらなくなるので一定量の板書は必須、などの経験が得られている。その背景には、授業に対する考え方の違いや、初等・中等教育で形成された態度・習慣の違いがあると思われるので、新しい授業法の採用にはさまざまな配慮が必要と思われる (鈴木ら 2005a)。また、クラスサイズには上限があって、150 名を超えると教育効果が格段に下がり、500 名を超えるとこの分野の授業は成立しないということも分かっている。

授業中のクイズと、講義の後に引き続いて行われる演習はきわめて効果的であった。例題の演習を中心とするスタイルの授業は成績評価に直結するもので、学生の集中力の維持に効果がある。これらを含めて授業における双方向性の確保が重要な課題であり、ウェブ利用の学習の正否もこの点にかかっている (鈴木ら 2005b)。

大人数教育と少人数教育のいずれを採用するにしろ、1 コマ 90 分という授業時間も含めて基礎教育におけるこれまでの教育習慣を大幅に見直し、わが国の実情に即した新しい授業スタイルを開発しなければならない。そのためには、さまざまな教育技術の研究とその成果を反映したファカルティデベロップメントが必要である。

3.3 ティーチングアシスタントの導入と研修

日本の研究大学を米国の大学と比較してもっとも遅れているのは、教育支援の制度と内容である。演習のオンライン採点などのためのインフラ整備と、学生をグループに分割して討論や演習を行うための TA の導入を急いで行う必要がある。

わが国の大規模な研究大学では、90年代の後半から大学院学生の多くがティーチングアシスタント（TA）として採用されるようになった。採用数が1000～2000人、予算規模が1～2億円に達している大学も少なくない。しかし導入の際の制度設計が不十分で、教育システムにおける位置づけ、待遇、研修、評価などをあいまいにしたままに人数を増やしていったため、さまざまな矛盾を抱えている。TA制度は研究大学を成り立たせるための条件の一つであり、また大学院学生の経済支援としても重要なので、その呼称も含めて制度の根本的な見直しを行う必要がある（小笠原ら編 2006）。

研究大学におけるTAの本格的導入には、1）教員の役割の一部を肩代わりする、2）大学院におけるキャリア教育の一環として教育を経験するという2つの意味がある。前者は、研究大学において誰が教育を行うか、あるいはそもそも研究大学において学部レベルの教育を行う必要があるかという問題にも関係している。大学院に重点をおいた研究大学は、学部の教育を他の種類の大学にまかせて博士課程を中心とした大学院教育に重点を移すべきだという議論は90年代の初めからあった。この問題は小論の枠を超えるので深く立ち入らないが、世界的にみても伝統的な大学に関する限り、学部教育の規模を縮小した例はあっても、全面的に他の大学に肩代わりさせた例はない。授業料収入という経営的な理由だけではなく、関連する専門分野を健全な形で維持するために、初習レベルを含めた学部レベルの専門基礎教育を維持しなければならないのだろう。

専門基礎分野の教育をきちんと維持しようとすれば、誰がそれを担当するかという問題が生じる。研究大学の教員は激しい研究競争にさらされている上に、相当数の大学院の学生をかかえ、大学院教育の負担も大きい。使える時間について研究と教育がゼロサムゲームの関係になっている上に、専門教育と専門基礎の教育もまたゼロサムゲームの関係になっているので、基礎教育は今後さらに軽視される恐れがある。その一方で、研究大学といえども入学者の学力の多様化が進んで、初年次における教育は人手がいくらあっても足りない状況になりつつある。このジレンマを適切に解消するために、専門基礎教育についてグランドデザインを作り、人材を適切に配置し、教育の組織化を進めなければならない。TAの導入と配置はこのような路線に沿って合理的に戦略的になされる必要がある。

TA制度は学生が大学院において教育を経験する貴重なキャリア教育の機会である。米国の大学でもTAの導入の背後には、教育の質の確保と経営上の問題が絡み合った複雑な問題が存在する（小笠原ら編 2006）。文系

分野では米国でも TA を必要悪と考える人が少なくない。しかし理系の実験系分野に関する限り、大学院における重要な教育的経験の場として確立されており、単位や研修の制度が整備されている。宇田川のバークレーにおける調査によれば、化学工学の大学院の場合、2 学期分の TA が義務づけられており、化学の教育法を扱った Chemistry 300 という講義が必修になっている（宇田川 2007）。そこでも TA 実習が義務づけられている。ここで TA 候補者たちは、学生中心の“アクティブ・ラーニング”の技法の教育を受けて、学生と接することになる。筆者の印象では、米国の大学の教員は TA 時代に基本的な教育技術を身につけているように思う。

TA の職務を整理して、必要に応じて上級 TA、中級 TA のように階層化することもあり得る。大学院における教育研修に対しては、大学教員の後継者養成としてだけではなく、企業における研修やコミュニケーション向上の面からも社会的な要請が強まっている。TA の業務をオンザジョブトレーニングとして位置づける新しい大学院教育科目の開発とその単位化を考える時期に来ている。

TA 制度はまた大学院学生の経済支援のためにも必要である。わが国における TA の時給はキャンパス外のアルバイトよりやや高めに設定されているが、平均して 1 週間に 2 時間程度で、ほんの小遣い程度の収入にしかならないのに対し、米国の研究大学では週 20 時間程度勤務するのが一般的で、リサーチアシスタント、フェローシップと並んで大学院学生の生活を支える重要な柱となっている。米国の州立大学では、少なくとも授業料収入に相当する部分は、このような形で学生にペイバックされる仕組みができてきている。わが国では、大学院教育を受けるために必要な費用は親が負担するか、学生自身が奨学金という名のローンを組むしかない。博士課程に関する限り、いろいろな形の経済支援を強化しなければ、将来とも定員を埋めることは難しいだろう。

TA を専門基礎のシステムに組み込み、有効に機能させるためには、教育内容の整備と並んで TA 研修が欠かせない。筆者が 2006 年 3 月まで勤務した北海道大学高等教育機能開発総合センターでは、1998 年から組織的な TA 研修を行っている。現在では、全学レベルでは 9 つの分科会を持つ数百人規模の研修に成長し、個々の学部の TA 研修も定着しつつある。その研修で特に強調されているのは以下のような点である（小笠原 2005）。

- 1) TA は教員である—学生は TA を年齢の近い教師だと思い、その影響を強く受ける。自分の役割について自覚を持つこと。

- 2) 科目の担任に敬意を示せ—担任に敬意を払わないと学習環境が損なわれ、教育の効果が上がらない。担任を補佐しながら、担任への敬意を教える。
- 3) 服装に気をつけ、言葉遣いをていねいにし、受講生をつねに平等に、公平に扱い、できるだけ早く学生の名前と顔を一致させ、なるべく多く声をかける—このような気遣いにより、教室や実験室に暖かいリラックスした雰囲気をつくることができる。
- 4) セクシャルハラスメント等の禁止—教員の側にあることから生じるある種の権限を自覚し、その乱用をいましめる。男女にかかわらず身体的な接触を避け、学外で個人的に会うなどのことをしてはいけない。
- 5) レッスンプランを作れ—自分の役割に即して分きごみのプランを作り、なめらかに実行する。
- 6) 機器の操作能力を高め、配布資料の印刷技術などの向上をはかる。
- 7) ユーモアを忘れるな。
- 8) 質問には誠実に答えよ。
- 9) 学生に質問させよ。

これらはすべて一般的なファカルティ・デベロップメントで強調される項目でもある。筆者の実見した例でも、TA は自分が受けた教育と同じようなスタイルで学生に接する傾向があり、特に直接指導を受けた教員からの影響が大きい。有能な TA を育てるためには、教員自身が適切な教育姿勢と教育技術を身につける必要がある。

4. 世界に通用する大学教育のために

世界的に通用する大学教育とは何かをテーマに、内外の大学における理系共通の専門基礎科目、すなわち自然科学の授業を一つひとつ見てまわっているうちに、ある事実に気がついた。データには表れない微妙な問題である。米国の大学でも英国の大学でも化学や物理学の授業と、例えば「英国近代史」の授業の間には基本的な差がない。前者では記号や数式や化学式が多いのは事実だが、教員と学生は同じ言語世界を共有して、その中で大なり小なりコミュニケーションが行われている。学生は自分の日常感覚から出発して連続的に講義のテーマに接近することができる。ところが日本の大学の自然科学の授業では、教員と学生の間にある種の「壁」ないし

は「膜」が存在しているように見える。偏差値によってその壁が薄いか厚いかの違いはあるようだが、学生が日常感覚から自然には入って行けないという点では共通している。この壁の正体が何かの問題である。

一つの仮説は、これがエリート主義から来ているという考えである。わが国が近代科学に接したのは決して最近のことではないが、それほど古いことでもなかった。その結果、近代科学の成り立ちに深くかかわることなく、基本的には科学を出来上がった形で受け入れた。記号と形式論理に満ちた分野であったために、選ばれた少数の者だけが刻苦勉勵の末にそれを理解し、利用することができた。筆者が経験した1960年代の大学でさえ、この「科学の壁」を越えることが理系の大学生であるための重要な条件であり、たとえ越えていなくても越えたふりをする必要があった。この時の教育スタイルが生き残り、大衆化した現代の大学で不適応を引き起こしているという可能性である。この解釈は、おそらく正しいだろう。

この場合の解決法は、エリート段階からマス段階の進化したときの米国の大学の経験に見習うことである。多様化した大学入学者の学力に対応しつつ、合理的、効果的に教育の組織化を進め、研究大学としての機能を維持するという戦略をとる。これまで個人の努力に委ねられてきた授業のあり方を組織的に見直し、内容の標準化と同時に授業の質や教育効果の向上につとめる。大規模授業に対しては、物的資源としてオンデマンドビデオや赤外線クイズ投票システムなどのITインフラ、また人的資源としてTA等の重点的な配分を行う。

第二の仮説は、この壁が文化的なものでないかという見方である。その中には言語の問題も含まれている。近代科学がヨーロッパ言語の上に発達したという歴史が、その基本的な性格に影響を与えている。ヨーロッパ語で表現されている概念や論理を、どのような漢語や言い回しで日本語に変えるかが、近代日本の大問題の一つだった。一世紀以上を経てこのことを意識する人は少なくなったが、科学日本語は依然として発展途上にある。日本語は英語のような「ピンポイント言語」ではないので、あいまいさが残りがちだし、それを意識して直そうとすると、今度は日本語らしくなくなって違和感が生じる。日本語による科学の授業にも同様の言語上の問題があり、それが学生との間の薄い膜の原因になっているのではないかという推測もなり立つ。しかし、例えば筆者などが学生であった時代に比べれば、科学日本語は格段に進歩しているので、この問題はいずれ自然に解消されるだろう。

むしろ問題は、現代日本人の文化的傾向である。さまざまな現象を平面的あるいは並列的に受け入れて取り込むことにさほど苦痛を感じない一方、ものごとを原理・原則に立ち戻って考えるのが苦手である。例えば、最近の物理学の授業では、黒板上に書かれた式の成り立ちや考え方に興味を示さず、そのままの形で覚えてしまおうとする学生があまりにも多すぎる。論理の階層構造をたどって一つの考えに収斂させることに抵抗があり、適当なところで問題を相対化してしまおうとする。このような思考習慣はある分野の学問では問題ではなく、場合によっては必要でさえあるが、理系の専門基礎と呼ばれる分野では学習の妨げになる。現代の大学生がこのような文化的傾向を持つとすれば、数学、物理学、化学など理系分野の人たちのものの考え方や行動には違和感を持つだろう。共感や興味を覚えなければ、授業の内容に長時間集中することはできない。大教室の専門基礎の授業の雰囲気は、あたかも動物園で檻の中をのぞき込む入園者が醸し出すようなものになるかも知れない。しかし、これはあくまで極論である。

おそらくわが国の大学の専門基礎教育の問題の中には、エリート主義の要素と文化的な要素の両方が含まれている。エリート主義を克服して“Sciences for all”の理念を実現するためには、アメリカ型の教育スタイルを導入すべきであるが、文化的な違いを考慮しないとただの空振りに終わる恐れがある。日本人のものの考え方を考慮し、日本人が得意なやり方で教育の改革を進める必要がある。高等教育の歴史を振り返ると、明治以来工学や農学などの実学に実績があり、この分野で独自の教育スタイルが生まれている。人の役に立つという実学的な側面から入り、原理・原則の問題に踏み込んで行くという方向もあり得る。卒業論文を重視する学士課程教育も、このような学習ストラテジーの一環として見直す必要があるだろう。それも含めて、試行錯誤を繰り返しながら、着実に世界に通用する大学教育を実現すべきだと思う。

注

American Chemical Society, 2005, *Chemistry: A Project of the American Chemical Society*, W. H. Freeman & Co., NY.

宇田川拓雄、2007、『平成 16～18 年度科学研究費補助金基盤研究費(B)研究成果報告書「大学における初習理科の授業モデルと評価モデルの開発」、代表：小笠原正明』準備中。

小笠原正明、2003a、「コアカリキュラムの構築」『有本章編：大学のカリキュラム改革』玉川大学出版、139-58。

小笠原正明、2003b、「ユニバーサル・アクセス時代の学士課程カリキュラム」『高等教育研究』第 6 集、日本高等教育学会、27-55。

小笠原正明、2004、「ユニバーサルアクセス時代の化学教育—カリフォルニア大学バークレー校の入門化学—」『現代化学』10月号、東京化学同人、30-3。

小笠原正明、2005、「TA は大学教育キーパーソンか？」『大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻編：学びに成功する「良い授業」とは何か。』大阪大学出版会、50-69。

小笠原正明・西森敏之・瀬名波潤編、2006、『TA 実践ガイドブック』玉川大学出版。

鈴木久男・細川敏幸・小野寺彰、2005a、「大学初等物理教育の変革と e ラーニングシステムの活用」『高等教育ジャーナル—高等教育と生涯学習』第 13 号、北海道大学高等教育機能開発総合センター、15-20。

鈴木久男・細川敏幸・小野寺彰、2005b、「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』第 13 号、北海道大学高等教育機能開発総合センター、21-2。

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情—」『高等教育ジャーナル—高等教育と生涯学習』第 1 号、北海道大学高等教育機能開発総合センター、105-15。

西森敏之、1997、「大学生の数学の学力は低下しているか—日本数学会のアンケート調査から—」『高等教育ジャーナル—高等教育と生涯学習』第 2 号、北海道大学高等教育機能開発総合センター、185-201。（この雑誌のバックナンバーはウェブ上で公開されている：

(<http://socyو.high.hokudai.ac.jp/Journal/jo.html>, 2006 年 12 月 31 日に確認。)

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」『物理教育学研究』第 24 号、物理教育学会、42-9。

平成 18 年度以降の教育課程検討 WG (2003)『平成 18 年度以降の教育課程（最終報告）』北海道大学教育改革室。