

# あとがき

## —大学のカリキュラムに統合科学を—

自然科学の世界は、全体として新しい時代を迎えているように思う。特にハッブル望遠鏡により人類の視野が格段に広がったこと、観測衛星が刻々変化する地球の姿を伝えていることなどの影響が大きい。われわれは、たとえば、夏期に太陽光で暖められて膨張して平均2 cm高くなった海水の水位が、季節の進行とともに南半球に移動して行く様子をリアルタイムで観察できる時代に生きている。視野の拡大と精密化に伴って、CO<sub>2</sub>対策、オゾンホール、温暖化、人工生命など、これまでになかった新しい学問分野が次々に生まれている。

一方、物理、化学、生物、地学（「物化生地」）など自然科学の中核をなす専門分野（ディシプリン）は、それぞれ固有の起源と方法論に基づいて依然として割拠して研究を進めているように見える。専門分化が進むにつれて、研究者は以前に比べて格段に深いが、どちらかと言えばより狭い範囲で研究を進めるようになっている。それ自身は学問の発展段階に即した自然のなりゆきだが、当事者が意識して努力しないかぎり、ふつうの人には意味も内容も理解できないものになりつつある。それが壁となって若者の理科離れを生み出していることは、大学の教養教育における科目選択の傾向などを見ればよくわかる。各分野の専門家は若者や市民の幅広い学習の障害になっている分野の壁をできるだけ低くし、より身近で魅力のある、統合された形で科学の成果を紹介することが求められている。広い支持基盤のもとに発展することが、科学のあり方としてはもっとも望ましい。

実際に、伝統的な学問分野と現代的な諸問題との橋渡しをどのように行えば

よいのだろうか？ そのためのヒントは学問そのものの中にあるように思う。それぞれの分野の発展によって点から線、線から面に広がってできた知識の網は、相互に重なり合い、素粒子の世界から宇宙の未来までの時空間をすき間なく覆いつくそうとしている。現代科学は、継ぎ目のない知識の網（seamless web）によって統合された世界としてわれわれの目の前にある。「グレート・ストーリー」は、かつてのようにディシプリン別の発見物語にあるのではなく、科学全体の発展過程そのものの中に存在しているように思う。本書は諸学問の糸をよりあわせて、現代科学が明らかにしつつある物語を紡ぎだそうとしたものである。

この長いあとがきでは、本書の編集方針の基盤をなしている（1）科学リテラシーの考え方、（2）統合科学のコンテンツ、（3）アクティブラーニングについて解説した後、補足的に、科学技術倫理の重要性についてふれる。

#### ■科学リテラシーの考え方

科学技術発展の原動力になっていた「人間の好奇心」は、啓蒙主義の時代から何ものにも束縛されないという意味で神聖なものとみなされていた。しかし、20世紀後半になって人間の活動が地球の容量を超える可能性が議論されるようになってから、見方が変わってきた。人間の好奇心やそれに基づく科学技術の研究においては、権力や欲望と同じようにある程度の節度が必要だ、全体として社会的な監視のもとに置かれるべきだと考える人が多くなってきた。その場合の「社会」とは、特定の階層や専門知識をもった人たちではなく、ごくふつうの市民からなる共同体を意味する。そのような社会が科学技術の発展の方向に対して適切な判断を下すためには、すべての人が一定水準以上の科学技術に関する素養を身につけていなければならない。これが「科学リテラシー」の考え方である。

科学リテラシー運動は、1957年にソ連の人工衛星打ち上げによってアメリカ内に引き起こされた「スプートニク・ショック」に起源をもつ。このショックから立ち直るために、アメリカのみならずヨーロッパ諸国も基礎科学と科学教育プログラムに膨大な国家予算を注ぎ込むようになった。特にアメリカでは、幼稚園から高校までのK-12と呼ばれる教育課程において、物理、化学、生物、数学の教育を戦略的に立て直そうとした。1980年代に入るとこの動き

は大学に波及し、大学の入門科目は K-12 教育の最終的な仕上げの過程とみなされるようになった。これが 1980 年代に始まったアメリカの大学教育改革の原動力の一つにもなった。1989 年に米国科学振興協会 (AAAS) は、「すべてのアメリカ人のための科学 (*Science for All Americans*)」という報告書で、全米の大学に対して次のような要請を行っている\*1。

全単科大学、総合大学の学長は、科学的リテラシーをそれぞれの大学全体にわたる優先課題として定めるとともに、各大学において、本報告書がすべての高校卒業生向けに提言する内容を上まわる科学、数学、技術の理解を以て、すべての卒業生（将来教師になる）が大学を去ることができるようにするため、在学生の要件を必要に応じて改めるようにする。

#### ■UNESCO の「プロジェクト 2000+」

アメリカにおける「すべてのアメリカ人のための科学」運動は、発展途上国における科学教育の普及活動と結びつくことによって新しい局面を迎えた。1992 年に UNESCO は「プロジェクト 2000+：すべての人々のための科学技術リテラシー」を立ち上げ、2001 年までにすべての国々が科学技術リテラシーを育むための適切な構造と活動を定着させるべきだと提案した\*2。その骨子は、持続可能な世界を目指して、科学技術の本質を理解しそれを適切に利用すること、教授と学習環境を改善すること、アセスメントと評価プログラムの開発などを促すことだった。アメリカにおいて「(ソ連に) 追いつけ、追い越せ」をスローガンに始まった戦略は、より普遍的で広がり大きい運動に発展した。

この新しい方針に沿って 1996 年に米国国家研究会議 (NRC) は、2 万人に及ぶ科学者、教育者、管理者、父母の総力を集めて、「スタンダード」(Na-

\*1 米国科学振興協会『「すべてのアメリカ人のための科学」：科学、数学、技術のリテラシー目標に関するプロジェクト 2061 の報告書』、(1989) (2005 年に日米理数教育比較研究会によって日本語版が刊行された)

\*2 熊野善介：「国際機関 (UNESCO および OECD-PISA) における科学リテラシーについて」、『平成 17 年度科学技術振興調整費 我が国の科学技術政策の展開に関する調査「科学技術リテラシー構築のための調査研究」；代表者：長崎栄三』、国立教育政策研究所 (2006)

tional Science Education, Standards) と呼ばれる科学技術教育のガイドラインをつくった。すべての学生が科学的意味を理解した上で、環境、エネルギー、医療の進歩などの社会的な問題について自分自身で認識できる能力をもつようになることが科学教育の目標であるべきだ、と主張した\*3。

教育アセスメントと評価プログラム開発の一環として、OECD/PISA (Programme for International Students Assessment, Organization for Economic Cooperation and Development)、いわゆる PISA は、2000 年に初めて OECD 加盟国の義務教育の修了段階にある 15 歳の生徒を対象に、読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシー、問題解決能力の調査を行った。この調査は、以後 3 年おきに継続して行われている。科学リテラシー調査において、「問題を認識して根拠に基づいて結論を導くために使われる科学的知識」とは、以下のような内容をもつ。

科学的な知識とは単に科学的な名前や熟語、事実を理解しているだけでなく、原理的な科学的概念を理解し、科学的な知識の限界や、特定の科学的トピックスに関するものや、科学についての知識を必要とされるものである。“証拠に基づいた結論を描くこと”とは、科学的な情報やデータを選択したり評価したりするための科学的な方法を知っていることと応用できることを意味する。さらに、結論を定義づけるために十分な情報が得られないこともしばしばあることを認識し、得られた情報について慎重かつ意識的にあれこれと推測する必要があるのである(熊野善介訳、前掲書\*4)。

このような評価の理念に基づいた PISA のテストにおいて、日本の生徒は当初トップクラスの成績をあげていたが、近年、他のアジア諸国に追い上げられて急速に順位を下げつつあることが問題になっていた。ごく最近の調査でややもち直していることは、新聞やテレビで報道された通りである。この背景には、初等教育における授業のアクティブ・ラーニング化など、政府の支援のもとに行われている組織的な教育改革の動きがある。

---

\*3 Trefil, J. and Hazen, R. M., *The Sciences : an Integrated Approach*, John Wiley & Sons, Inc. (2007)

\*4 オリジナルの文章は、PISA のホームページの What we produce の 2003 年度の項を開くと pdf ファイル “The PISA 2003 Assessment Framework” として掲載されている。

## ■日本の大学における科学リテラシー教育の不在

一方、大学の側は、比較的最近まで世界的な科学リテラシー教育の動向に注意を払ってこなかった。その理由の一つに、日本の科学リテラシーの水準は国際的にトップクラスにあるという思い込みがあった。

日本人にとって自然科学は輸入学問だが、近代科学の勃興から時間をおかず国際的な科学世界（the World of Science）に参入したため、科学の発展と同時並行で日本語への翻訳を行うことができた。小学校レベルから大学院レベルまで自国語だけで自然科学をカバーできる国は、世界中を見渡してもそれほど多くはない。小・中学校からの草の根的な科学教育や、試験による上級学校への選抜、勤勉な国民性などがあいまって、20世紀の初頭までに高い教育水準を達成していた。今でも1960年代までのエリート段階の大学における教育水準の高さは、ノーベル賞受賞者が出るたびに話題になる。日本の学術と産業の国際競争力は、この時代に達成した高い水準の科学教育によって支えられていたと言っても過言ではない。

しかし日本の大学は、18歳人口の15%以上が大学に進学する「マス段階」に入る過程で、新しい学生への対応に失敗した。自然科学教育の内実ははだいにほころびを見せ始め、1980年代には関係教員の間で問題になっていたが、序列を重んじる日本の大学は、それを偏差値の問題ととらえて表沙汰にしたがらなかった。やがて有力な大学においても学力が定着していない学生が目につくようになり、能動的な学習習慣を身につけさせることがますます困難になってきた。今では将来の専門家養成を目指している学部・学科の教員でさえ、大学における理系基礎教育は危機的状況にあると思っている。「すべての人々のための科学リテラシー教育」が視野に入っていない背景には、当該分野の教員が専門教育に忙殺されているという苦しい「家庭の事情」があることは理解できる。しかし、国際的にみて、成人を含めて日本の科学リテラシーの水準は決して高くはないということを認めるところから始めなければならない。各種の調査のみならず、科学・技術・医療の画期的進歩に対する情緒的で保守的な世論の動向にも、この科学リテラシーの水準の低さが表われている。この状態は早急に改善する必要があるだろう。

## ■統合科学のコンテンツ

科学リテラシー教育の内容は、米国における K-12 教育、日本では小学校から高校までに相当する教育課程に合わせてつくられている。日本の大学が長いあいだこの運動を無視してきたのもその辺に理由がある。たとえば、2003 年に PISA が示した標準的な分野 (domain) の内容は表 1 のようなものである。

ここで重要な点は、PISA は物理学や化学などの科目 (subject または field) ごとに、「単元」としてコンテンツを示していないという点だ。それぞれの分野に対応する科目が推測できないわけではないが、分野を科目に振り分けることはせず、むしろいくつかの科目にまたがるように分野の内容が決められている。これは米国の科学教育の「スタンダード」の流れを汲む「integrated science (統合科学)」の考え方である\*<sup>5</sup>。

## ■コアサイエンス研究会

2008 年に、筑波大学の教養教育の中心である「総合科目」の枠内で、全体で 3 科目 3 単位の入門的講義科目を新設する準備のために「コアサイエンス

表 1 PISA が示した科学的な知識および概念の標準

物質の構造と性質 (熱と電気の伝導性)
大気の変化 (放射, 伝導, 気圧)
化学的・物理的变化 (物質の相, 反応の度合い, 分解)
エネルギーの変換 (エネルギーの保存, エネルギーの崩壊*, 光合成)
力と動き (釣り合っている力と釣り合っていない力, 速度, 加速度, 力のモーメント)
形態と機能 (細胞, 骨格, 適応)
人間生物学 (健康, 衛生, 栄養)
生理学的変化 (ホルモン, 電気分解, 神経)
生物の多様性 (種, 遺伝子プール, 進化)
遺伝子管理 (優勢, 遺伝)
生態系 (食物連鎖, 持続可能性)
宇宙における地球とその位置 (太陽系, 日変化と季節変化)
地理学的変化 (大陸移動, 風化)

\*英語の原文には energy degradation とある。前後の文脈から判断して、光などの電磁波が地表ないしは生体内において熱エネルギーのレベルまで断片化される過程を示している。(著者注)

\*5 脚注\*3の Trefl と Hazen の教科書参照。

研究会」がつくられた\*6。その大まかな構想は次のようなものだった。

- ・3科目全体を通して流れがわかるようにし、コアサイエンスとしてのまとまりをもたせる。文系分野の一部で構想されている「グレートブック・プログラム」に対応して「科学のグレート・ストーリー・プログラム」を意識する。
- ・内容は“*Science for All Americans*”に含まれている項目を下敷きとするが、関連する学類が分担して3科目の内容を検討し、筑波大学にふさわしい内容とレベルにつくりなおす。
- ・当面文系学生を対象として構想するが、理系の学生がリメディアル的に履修する可能性も視野に入れる。

アメリカのK-12教育に適応した科学リテラシー教育の内容と比べて、筑波大学のコアサイエンス・プロジェクトの特徴は、高校教育の補完を意識しながら、明確に大学レベルの科目と位置づけている点と、「科学のグレート・ストーリー」を打ち出している点にある。この意図は、2009年に公表された以下のようなプロジェクトの趣旨に示されている\*7。

筑波大学の卒業生として必要な現代科学の素養を身につけ、将来とも自分自身で学び続けて行くことができる力を養う。自然界を理解し、自然界が人間の活動によって変化することに伴う諸問題について、自分自身の力で意志決定ができるようにする。大学レベルの科学技術リテラシー教育として、「知識」と「スキル」に加えて、科学的な精神を内面化するための「姿勢・態度」の育成に重点を置く。具体的には、証拠に基づいて結論を導いたり、疑問点を確認したり、科学的な知識を使用したりする能力を高める。物理学、化学、生物学、地球・宇宙科学などの固有の科学領域と関連させて、科学の主な概念や構造を理解し、用いることができるようにす

---

\*6 正式名称は筑波大学教養教育推進室コアサイエンスWG。委員：新井一郎（物理学）、石川本雄（構造エネルギー工学）、○小笠原正明（化学）、大塚洋一（物理学）、金井幸雄（生命環境資源科学）、杉田倫明（地球環境科学）、澤村京一（構造生物学）、守橋健二（化学）。○印は委員長。

\*7 小笠原正明：『『現代人のための科学』と筑波大FD』、『平成20年度筑波大学ファカルティ・ディベロップメント活動報告書』、筑波大学FD委員会編（2009）

る。その中には科学的探求や広い意味での工学的設計の方法も含まれる。

この趣旨を具体化した講義「現代人のための科学」は、教養教育において「扇の要」の一つと位置づけられた。すなわち筑波大学の学生が、自らの興味と関心に基づいて農学、工学、医学など応用的な分野も含む多様な科学技術分野の科目を生涯学習の一環として選択するときに役立つよう、現代の科学を見通せるようなものにしようということである。コンテンツ、授業方法、評価の方法などは実施の過程で順次明らかにするとして、コアサイエンス研究会は2008年末の時点で以下の6項目をガイドラインとして示した。

- 1) 履修する学生の関心を環境問題、エネルギー問題、医療の高度化などの社会的な問題に向けさせる。
- 2) 各分野における難解な事実の寄せ集めではなく、科学的な手続きの理解に至るような内容にする。
- 3) 自然を探り、それを定量的に記述するために、実験と数学が有効であることを示す。
- 4) 物理学、天文学、化学、地学、生物学分野における主な発見の歴史について説明するとともに医学、情報科学、新材料の進歩についてふれる。
- 5) 普遍的な法則がまわりの物質世界やわれわれの日常生活にいかにはたっているかを理解させる。
- 6) 現実の世界では、ものごとは科学的な原理のみならずエネルギー需要、危機認識、人口問題など他の要素との関係で決められることを納得させる。

委員会のメンバーはこのガイドラインを自分が所属する研究科にもち帰り、専門的な検討を行ってその妥当性を検討した。数理解物質科学研究科と生命環境科学研究科の各専攻は、それぞれの責任において開講計画をつくり、シラバスを作成し、授業を行った。本書の目次に示されている項目は、このようにして構築された1年にわたる授業の内容を反映したものである。

#### ■現代の自然科学に内在するストーリー

「現代人のための科学」は全体として一つの科目ではあるが、履修の便宜をはかるためと、担当責任を明らかにするため、第1章から第8章までが「現代人のための科学Ⅰ」、第9章から第16章までが「現代人のための科学Ⅱ」、



第17章から第23章までが「現代人のための科学Ⅲ」とされた。

「現代人のための科学」の三つの授業科目の流れは、①力やエネルギーなど基礎的で普遍的な法則の存在とその理解、②原子・分子のミクロ世界から銀河・宇宙に至る構造とその進化、③太陽系の惑星としての地球の過去と現在、④地球環境にかかわるマクロとミクロな問題の理解、⑤生命現象の普遍性と多様性の理解、となっている。②以降では宇宙の誕生、地球の誕生、生命の誕生という時系列の流れが意識されている。図1にこの授業がカバーする範囲を二次元化して示した\*8。

この図では、最初の「原理・法則」の部分を除いて、自然界の時系列に一応沿ったものになっている。宇宙論がカバーする膨大な時空間のごく一部として、地球の生成から消滅までの「地球の進化」がエピソードとして挿入される。その中にさらに時間の短い、宇宙の時間スケールでは瞬間的な出来事として、生命の多様性が位置づけられている。この図においては、「物質・生命の

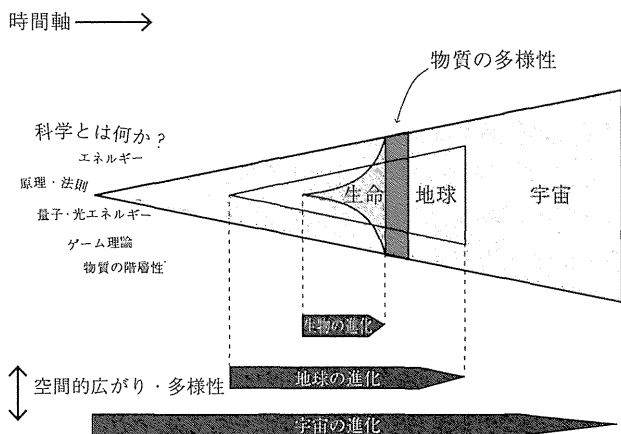


図1 筑波大学で2009～2010年に開講された「現代人のための科学」がカバーする範囲

\*8 図1の時間軸の単位は任意である。大部分は対数で目盛られるべきだが、一部に線形的（リニア）な部分もある。この図は相対的な前後関係を示すもので、いかなる意味でも絶対的な時間表示にはなっていない。

多様性」を示した矢印の先の縦長の領域が「化学」が取り扱う範囲を示している。化学はこのように、あえて時系列からはずしている。化学そのものは、素粒子から原子への進化、軽い原子から重い原子への進化、単純な化合物から有機物への発展、さらに多様多彩な人工の物質への展開という時系列に沿った展開が可能だが、ここでは平面的な（時系列を意識しない）物質多様性のマイクロ構造の説明と、持続可能な化学エネルギーの利用法に徹することにした。化学という学問の一つのあり方である\*9。

持続可能な社会を構築するためのキーワードとして、「エネルギー」、「環境」、「生命」の三つがあらかじめ設定された。原理・法則を扱う第1～4章において、エネルギーとは何かがないに説明されている。この部分は、本来、ニュートン力学の教程にあてるべきところだが、文系学生を意識して微分・積分を使わないという制限を設けたため、従来の入門物理とは異なる入り方になっている。地球環境や生物の問題から入って最終的に基本法則に到達するという学習戦略もあり得るが、エネルギーや力に関する基本的な理解がないと、大学レベルで地球環境や生物の問題を論じることは難しい。“physics first”というアメリカの科学リテラシー教育で実践されている路線に結果的に従う形になった。

狭い意味での「持続可能な社会」のための科学は、古生物の大量絶滅を扱った第10章から始まる。図1の中の富士山を横にしたような部分がこれにあたる。この部分をいかに幅広く、長く持続させるかが現代社会の課題である。水の惑星、あるいはガイアの星といわれている地球において生命体が誕生し、それがまた地球環境の形成に影響を与えるという相互依存の関係が、地球科学的視点のみならず生物学や化学の視点からも議論されている。大気重要な成分である酸素ガスは生物が作り出したものであること、生物の細胞の中には長い時間スケールにおける地球環境変化に順応するメカニズムが戦略的に組み込まれているなど、最新の学問的な成果に基づいた息を飲むようなストーリーが展開されている。この部分は本書の核となるものであるが、第6章から第8

---

\*9 化学を中心に時系列的に記述した例としては、大野惇吉：『137億年の「もの」がたり：ビッグ・バンから生命誕生へ』、三共出版（2006）がある。

に展開されている宇宙論の中に位置づけられて、はじめてその深い意味が理解できる。こうして諸科学を統合 (integrate) した形で、持続可能な社会にかかわる諸問題を浮き彫りにするようにした。

ちなみに、PISA が示した標準的な知識と概念を表わした表 1 と本書の内容とを比較すると、ホルモンなどごく一部を除いて、キーワードはほとんど共通であることがわかる。問題解決型のコンテンツ構成でも、現代科学に必須の知識と概念をカバーできることを端的に示す結果になった。アメリカにおいてもっとも定評のある統合科学の教科書と比較すると、これも結果的によく似た流れになっている\*10。ただし、アメリカの教科書はそれぞれの章のボリュームが格段に大きく、記述はより体系的である。アメリカの大学では週あたり 2 ないし 3 回の複数開講がふつうなので、同じ通年の講義でもこのような違いが生じてくる。単位の実質化や国際的な質保証の際にいつも問題とされる教育時間の不足が、本書との比較でも実感される。

#### ■ アクティブ・ラーニングと科学リテラシー

アクティブ・ラーニングとは一方的授業に対して用いられる双方向授業の別の表現である。アメリカの高等教育においては 1980 年代から一般的となり、初等・中等教育においても普及している。科学リテラシーそのものとは区別されるが、科学リテラシー教育に影響を与えたり与えられたりしている。先に引

\*10 統合科学のコンテンツの例：Trefil と Hazen の教科書から、

##### アメリカの大学で広く使われている統合科学の教科書の目次

第 1 章	科学：ものを知る一つの方法	第 13 章	物質の空極的構造
第 2 章	秩序世界	第 14 章	星たち
第 3 章	エネルギー	第 15 章	宇宙論
第 4 章	熱と熱力学第 2 法則	第 16 章	地球及び他の惑星
第 5 章	電気と磁気	第 17 章	プレートテクトニクス
第 6 章	波動と電磁波	第 18 章	地球をめぐる多くの循環
第 7 章	アルバート・アインシュタインと 相対性原理	第 19 章	エコロジー、エコシステムと環境
第 8 章	原子	第 20 章	生命の戦略
第 9 章	量子力学	第 21 章	生きている細胞
第 10 章	結合する原子：化学結合	第 22 章	生命の分子
第 11 章	物質とその性質	第 23 章	古典的遺伝学と近代的遺伝学
第 12 章	原子核	第 24 章	生命の新しい科学
		第 25 章	進化

用した「得られた情報について慎重かつ意識的にあれこれと推測する必要がある」という PISA のコメントは、このような関係を端的に表したものだ。

アクティブ・ラーニングは「学生が学習環境に入り込み、自分自身で学習の責任を負う学習形態」と一般的には理解されている。「教え込み型から知識構築型へ」という世界的な流れの一つである。典型的な例として、①授業時間内に比較的コンパクトな講義を受けて問題の所在を把握し、②図書館、インターネット、実地調査などによって情報を収集し、③グループでその内容について議論し、④次の授業時間にその結果を発表して「フロア」の討論を経たのちに、⑤レポートを提出して1サイクルを終わる。教員は提出されたレポートについて速やかなフィードバックの義務を負う。

授業設計に求められる第一のポイントは、毎回、論点は何かを明らかにすることである。論点を提起し、発展、展開させ、必要であれば結論を導くようにして、講義の骨格を明確にする。第二のポイントは、抽象的な概念の理解を目的とする場合は、具体的で適切な例を与えて、学生が自分自身の内面に概念を構築することを助けることである。聴衆の集中力は、途中でクイズを行ったとしても、50分程度が限界であるという認知科学的な常識をわきまえることも必要とされている。高等教育において、知識伝達のみを目的とした古典的な長時間の大講義は、職業上の制約が強い教育分野を除いて、ほぼ役割を終えたと考えてよい。基礎的、学術的分野に関するかぎり、一般的な知識はインターネット上のワンクリックで、いつでもどこでも手に入る時代である。

日本の大学は、長いあいだ教授法としてのアクティブ・ラーニングを受け入れてこなかったように見える。しかし、見方を変えれば、日本の学士課程ほどこの方法に頼って教育を行ってきた例は珍しい。伝統的な卒論教育あるいは研究室教育の方法はアクティブ・ラーニングそのものである。専門教育のみならず、論文を読む力、レポートを書く力、プレゼンテーションのスキル、討論の方法、個性を主張する力など、国際的にはジェネリック・スキルと呼ばれている能力でさえ、研究室教育で補ってきたのが日本の大学教育の実情である。講義などをアクティブ・ラーニング化することは、研究室教育に課されている過大な負担をコースワークにおいて肩代わりするという他に他ならない。学部レベルの学生に主体的な学習の習慣を身につけさせるために、これがもっとも

適切な教育方法である。

アクティブ・ラーニングを実現する条件として、認知的側面、情意的側面、社会的側面の三つを考えなければならない。認知的側面としては、授業のコンテンツのレベルが適切か、知識構築のレベルは適切か、図書検索などのマネジメントができるか、などをチェックしなければならない。情意的側面としては、快適で、安心で、おもしろいこと、また、自由に、多様に、はっきりと意志表示ができること、自分の所属するグループが活発に柔軟に機能していることなどがある。社会的側面としては、クラス内に構成されたグループにおいて学生が孤立していないか、互いに認識し尊重しているか、互いに理解できるか、知的に独立しているか、助け合えるか、また互いにより影響を与え、貢献し、グループ意識をもちうるかなどに気を配らなければならないとされている。

#### ■「現代人のための科学」の授業法

「現代人のための科学」の授業では、アクティブ・ラーニングの手法が大幅に導入された。この授業には、①三面スクリーンを利用した画像の多用、②クイズシステム「クリッカー」の導入、③eラーニングシステム「Moodle」の導入、④討論の導入の4点に特徴がある。いずれも将来のクラスの大規模化を想定したもので、ティーチング・アシスタント（TA）による授業支援を前提にしている。

授業で黒板ないしはホワイトボードを利用するかしないかは議論が分かれるところだが、一部に板書を用いるとしてもパワーポイントなどによる授業は必然的な流れである。実験系に関する限り、画像の提示をしない授業は今では考えにくい。ただし数式を伴う内容の場合、板書をせずに「パワーポイント・トーク」にのみ頼る授業法では聴衆の理解がつかないと言われている。この問題は討論や演習の導入によって補うことになるだろう。

②のクリッカーも比較的容易に定着した。おおむね15分に1回のクイズという授業のリズムが確立し、その場で学生の反応がわかるこの方法の利点が理解された。

③のMoodleも講義資料の掲示やレポートの提出・回収で威力を発揮した。従来の講義資料をハンドアウトとして配布する方法は、eラーニングシステム

の普及により間もなく過去の習慣になるだろう。

討論の導入はまがりなりにも成功した。回を増すごとに受講生が討論の雰囲気になじんでいったと思う。「現代人のための科学Ⅰ」の授業では討論の導入に工夫を凝らした。学期のはじめに学生同士が「エネルギーが保存されているか」という基本的な問題について、さまざまな例をあげて議論した。次に、エネルギーには「使えるエネルギー」と「使えないエネルギー」の二種類があり、それらの増減がエントロピーで表されることを学んだ上で、たとえば生命活動によってエントロピーは増えるか減るかというという議論をグループごとに行った。最後にフロアで報告して全体の反応を聞いた。高校の物理・化学の授業とは区別される大学レベルの論点である。力学的現象を扱ったおもしろい演示実験が行われたことと合わせて、物理学の導入教育として一つの新しい型を示したと言える。

TAによる授業支援は、①オーディオ、液晶プロジェクターなどの機材の準備、②クリッカー用のリモコンの管理、③クイズのファイル作製とPCの操作、④授業のビデオ撮影、⑤討論の指導、⑥出欠の管理の6項目からなっている。一部を除いては本プロジェクトで新たに導入された任務である。将来、このような授業が大規模クラスで行われるようになった場合には、パフォーマンスの要素が大きくなる。シナリオ作成から予行演習まで、事前にきちんと準備することが必要になるだろう。ルーチンになれば教員の負担は大幅に減るだろうが、最初は万全の準備で臨む必要があることが実際の場面でも示された。

結論として①から⑥までのすべての項目でTAは機能しており、将来のクラスの大規模化に欠かせない存在であることがわかった。一方で、TAの技量は、TAと教員が呼吸を合わせることによって十分に発揮されることも明らかになった。教員の側がTA研修の内容を理解し、TA養成に協力することが授業の改善には重要である。

#### ■補足：科学技術倫理の重要性

持続可能な社会のための科学リテラシー教育では倫理的な問題が重要な役割を果たす。コアサイエンス研究会が出したガイドラインに、「ものごとは科学的原理のみならず……他の要素との関係で決められる」とあるが、倫理的判断は決定の際の重要な要素の一つである。科学も技術もそれ自体としては中立的

な性格をもっており、倫理的判断の基準とはなりにくい。一方、一人の人間の倫理的な「徳」は、知識として教えられるようなものではなく、長いあいだの習慣づけによって身につくものであろう。これは科学リテラシー教育の対象外である。

科学リテラシー教育の中に含まれるべきものは、倫理的構造の中のより現実に近い部分、つまり個々の判断のための理由づけ (reasoning) や、実際の行動である。公正、安全、人間の尊厳などの基準に基づいて倫理的判断を下すための倫理的な問、すなわち、「公開可能か」、「他者に危害を与えないか」、「人間性を尊重しているか」などの問を発しながら、個々の事例を検証するやり方がもっとも有効だろう。これはアクティブ・ラーニングそのものである。科学リテラシー教育において、コンテンツの中にこのような倫理的な問を組み込んだ形で問題を提起し、議論を起こし、自分自身の問題として考える習慣を身につけるという学習戦略が広く採用されることが期待される。