自然科学実験ファンダメンタルズ開講の背景と教育目的

Background and Educational Aims of New Laboratory Study Course for
Natural Science Fundamentals

遠藤 銀朗^{※1}
Ginro ENDO

In recent Japanese elemental and lower secondary education, opportunity of experimental work for students has been limited, and it has made difficult to obtain fundamental knowledge in natural sciences. This recent situation causes needs to provide special and general science courses through laboratory work in the liberal arts education in science and engineering faculties of universities and colleges. In this paper, the author tries to edit new attempts of development of "Laboratory Study Course for Natural Science Fundamentals". The concept of natural science fundamentals, and the reason for the need, the contents and the aims of the laboratory study course are discussed in this article.

Keywords : Fundamental Knowledge in Natural Science, Sciences in Liberal Arts Education,
Laboratory Study Course for Natural Science Fundamentals

キーワード：自然科学における基礎知識，教養教育における自然科学，自然科学実験ファンダメンタルズ

1. はじめに

わが国の初等・中等教育における自然科学教育の内容は，この15年ほどの間で量的にも質的にもかなりの割合で削減された。特に，多くの時間・設備・教員配置等を必要とする「実験」および「観察」を通して行う自然科学教育の削減幅が大きく，初等・中等教育において自然科学教育のために実験がなされる機会は大幅に減ってきている。これによるマイナス面として，具体的な体験に基づいて事象を科学的に思考する能力を涵養することができないことなどによって，自然科学に関する基礎知識および論証能力と思考能力を確実に身につけさせることができにくくなっていることが指摘されている。

最近にいたって，これを見直すための教育政策・教育行政上の変化がみられる。しかし，一旦教育・指導の項目から外された「実験」科目等の体験型自然科学教育を復活することは，かなりの困難が予想される。また，自然科学を基礎とする理工学分野の高等教育では，その多くの教科において，実験等によって体験的に確認させることなしに学習したことを確実に理解させることは困難なことが多い。

大学によって違いはあるものの，多くの大学の理工系学部においては無視できない割合の入学者が各科目

ごとの学力判定試験を受けることなしに入学してきている現状がある。推薦入学やAO入試による入学者がこれに相当するが，そのような学生の中には，中等教育までの段階で工学の基礎といえる数学や理科の科目の一部をまったく履修することなしに入学した者がかなりの割合を占めている。このことによって引き起こされる学生の学習上の困難を回避するために，工学を学ぶ基礎を身につけてもらう上で必要とされる大学教養レベルの自然科学教育の大幅な見直しが求められている。できるだけ短い期間でこの基礎を身につけさせ，工学の専門教育課程に入ってもらうためには，「実験」による体験型自然科学教育が他の教育方法に比して有効であると考えられる¹⁾。

本稿では，大学教育における「自然科学実験」の大幅な見直しが必要とされる理由，およびどのようなコンセプトに基づいて見直すべきかについて，実際に東北学院大学工学部においてその見直しを行った例を紹介しながら論説したい。

2. 自然科学実験の統合化の必要性について

日本学術会議の「日本の展望委員会：理学・工学作業分科会」が2010年4月に発表した「日本の展望－理学・工学からの提言－」²⁾では，次のような現代的問題に関する認識と科学・技術教育の今後の方向性が述べられているので，それを要約し引用しておきたい。「過去の数世紀の科学・技術の発展は，人間生活を豊

平成22年5月6日受付

※1 東北学院大学工学部

かにし、人類の幸福および社会の発展に大きく貢献してきた。しかし一方で、科学・技術の発展は、地球環境や生態系等を大きく変化させ、さまざまな問題をも引き起こしている。……中略……制約の下で持続可能な社会を目指すためには、……それを支える人材の育成が不可欠であり、初等教育から高等教育における一貫した科学・技術教育……中略……を推進していくことが必要である。」そして、理工学分野にまたがる主要な課題として、1) 持続可能な社会に向けた科学・技術創成、2) 社会のための科学と知の統合、3) 科学・技術リテラシーの涵養と新リベラルアーツ教育の構築、などを挙げている。

上記の提言で述べられた現代の科学・技術教育がおかれたそして科学・技術教育の課題に関する認識は、ほとんど揺るぎのない普遍的事実と考えられ、将来に向けて取り組むべき課題の認識にも十分同意できる。ただし、それらの認識に基づいて新しい科学・技術教育をどのように実現していくかという具体的方法は、十分に明示されているとは言えない。科学・技術分野の人材育成のための初等教育から高等教育における一貫する教育をどのように実現すべきか？、涵養すべき科学・技術リテラシーをどのようなカテゴリーとして捉えるか？、科学・技術のための新リベラルアーツ教育とは具体的にはどのようなものであってそれをどのように構築すべきか？、などについては、これから理工学教育分野で共通する認識と方針を確立しなければならない。

既に述べたように、自然科学および科学・技術において関連分野の知識の習得と科学的思考能力を身につけるためには、教育の中に「実験」や「実習」が必要であり、かつ効果的にそして体系的にそれらが教育システムに組み込まれていることが必要である。自然科学の基本原理と思考過程を観念的に理解させようとする場合には、教える側も教えられる側も相当の労力が求められるだけではなく、それらを完全な知識として理解し修得できるのは、一部の学生に限られる結果にしかない場合がほとんどである。現実には、初等教育・中等教育を通してほとんど「実験」を経験したことのない学生・生徒が、理工学分野の高等教育機関に入学してきている状況と、実際に「自然科学」分野の基礎的知識がかなり曖昧なままな学生が増えていることは、相当の割合で相関していると考えざるを得ない。

しかしながら、高等教育において自然科学に関する「実験」が必要であるからといって、むやみに実験科目を増やすことは、カリキュラム編成上の制約や他の分野の教育の削減を必要とするなどの問題を発生させることから、困難視されることが多い。そこで、自然科学の知識習得に効果的でかつ合理的な内容の「実験」はどのようなものであるべきかを十分に吟味して検討することから、「実験科目」の再構築を行うことが求

められることになる。東北学院大学工学部においては、教育内容の不消化の現象という問題をいかに解決するかという課題とあいまって、科学・技術教育において（特に、工学教育において）必須とされる基本的な知識とは何か、そしてそれを習得させるために最小限必要とされる実験とは何かについて検討し、以下の4つにその基本概念をとりまとめた。

- (1) 工学教育における必須基本知識は限定されるべきであること
- (2) それらの必須基本知識は、自然科学の個別の分野ではなくすべての分野において共通して必須とされることを学生に理解させるべきであること
- (3) 実験科目においても、上記の事項を徹底することによって、学生に確実な基礎知識の習得を可能にさせるべきであること
- (4) いくつかの実験科目は、共通する必須知識を習得させるために、むしろ統合された実験科目として再編し、その有機的・合理的な授業運営によって教育成果を生み出すべきであること

このような検討を踏まえて、科学・技術教育体系におけるより効果的な「実験」科目は、自然科学に関する最も根底となる基礎知識（それらを「自然科学ファンダメンタルズ」として概念化した）を習得させるためになされるべきであるとの結論に達した。そして、その概念を具体化するものとして、これまで殆どの大学等の理工系学部でなされてきた、「物理学実験」、「化学実験」、「生物学実験」、「地学実験」を統合して一つの実験科目として行う、「自然科学実験ファンダメンタルズ」という科目を開設し、新しい理工学教育の導入科目として位置づけることを実践した。

3. 「自然科学実験ファンダメンタルズ」が目指しているもの

私たちが生きている21世紀の社会は科学技術によって築かれた基盤の上に成立している。それは、農耕文明によって始まった人類の文明の歴史が、本当の意味で科学技術文明にまで到達し、世界中がその文明の普遍化による恩恵を享受できる時期を迎えていることを意味している。そして基盤としての科学技術は、「自然科学」という礎石や基礎杭によって支えられ発展してきた。自然科学により創り出された知識の恩恵は、単に科学技術の発展に貢献するだけに留まるだけではなく、人間の生命活動のありかたや歴史の変遷と文化的活動などを科学として学ぶ人文科学の分野にも、また経済や政治などの社会的活動を行う上で必要とされる社会科学の分野にも及んでいる。そして、自然科学教育は「全人的成長のための教育」を行うことを目的とする教養教育の領域においても、重要な役割を果たすと考えられる。精神（こころ）を育てることをも含み、全人格教育を目指そうとする高等教育において

は、上記の自然科学教育が果たすべき役割は特に大きいと考えられる。

大学等で学ぶ学生が身につけるべき自然科学の知識スタンダード（知識到達基準）がどのようなものであるかを明確にすることは、上記の目標を達成するうえで必要と考えられる。そのためには、大学教育における「自然科学のファンダメンタルズ」は何かについて、ある程度の基準化されたコンセプトとして取り入れることが必要である。そして、科学・技術教育においては、特にそれらの基本知識をできるだけ完全に学生に理解し習得してもらうことが必要である。そのために「実験」科目が重要なものとして位置づけられることは、本稿においてすでに繰り返して述べた。

そこで、特に工学教育において必須とされる限定された基礎知識（＝自然科学ファンダメンタルズ）の習得に必要な実験科目として自然科学の多くの分野を統合して開設することにした「自然科学実験ファンダメンタルズ」では、自然科学に共通する基礎知識と今後の科学・技術の基礎として最小限必要とされる基礎知識とは何かを整理することから、科目設計の作業を開始した。そして、これまでのデシプリンとしての「物理学（一部、地学の分野を含む）」分野では、「力とは何か」「光および電磁気とは何か」「物性変化はどのように行われるか」を基本的に習得しなければならない知識であるとした。「化学」の分野では、「化学結合とは何か」「イオンとは何か」「電子とは何か」などが、これに当たるとした。「生命科学分野」では、生命の本体である「細胞とは何か」「DNAとは何か」「遺伝子とは何か」を理解できるようになることを基礎知識の要点とした。そして、すべての受講学生がこれらの項目を明確な知識として習得できるようになることを目標として、一つの実験科目に統合して開講することにした。

4. 「自然科学実験ファンダメンタルズ」の開講の基本構想と具体的内容

4.1 「自然科学実験ファンダメンタルズ」開講に当たっての基本構想

東北学院大学工学部において平成20年度より開講した「自然科学実験ファンダメンタルズ」は、教養教育科目・数理科学群の実験科目としてそれ以前まで開講されてきた「物理学実験」および「化学実験」の2つの実験を統廃合して開講することになったが、これらに加えて、工学部における実験教育としてはこれまで行っていなかった「生命科学実験」を包含する実験科目に改めた。新しい科目に「生命科学実験」を含めたのは、人間の健康の増進や人間社会の福祉の発展そして地球環境や地域環境の保全と改善に寄与できるオピニオンリーダーとなる科学技術者を養成するためには、21世紀の工学基礎に必須なものとして、「生命科学」

についても基礎知識を実験を通して学生に身につけてもらうことが必要であると考えたからである。

このような新しい要素を「実験科目」として独立して増設することになると開講授業コマ数が増加することになるが、それは行わず、むしろ前述のように教養科目または工学基礎科目に位置づけられる「実験科目」の統合による開講授業コマ数の削減を行うという逆の構想を採用した。それが可能になったのは、自然科学における必須基礎知識をできるだけ絞り込んで、本当に必要な基礎知識は何かを選択し抽出したことによる。そのうえで、従来のデシプリン分野の基本知識間の関係と共通する知識概念を見出して、それらを一つのものとして捉えて教育に反映することにした。

また、工学がその学術の主たる立脚基盤としている自然科学について共通する概念は、科学的な方法を用いることによって自然を成立させている普遍的法則を見つけ出すことである。ここでいう「科学的方法」とは、十分に制御された実験や観察や試行および計測と、それによって得られた情報の解析結果を繰り返し検証することによって、正しいと思われる知識の体系を作り上げる方法である。したがって、まず、そのような実験と観察を体験することによって、自ら計測と試行を実施可能になることから「科学的方法」とは何かを実感できるようにこの実験科目の内容を設計した。その後、段階的に高度な実験に進めるように工夫してあるが、「自然科学実験ファンダメンタルズ」として教えるべきあるいは体験してもらうべき知識は、科学・技術教育の基礎として厳選したものに留めてある。

4.2 「自然科学実験ファンダメンタルズ」の開講内容

上述のように、多くの自然科学教育の要素を包含する自然科学実験のあり方を模索し、その合理的な手段として統合実験科目である「自然科学実験ファンダメンタルズ」の開講に至った。この科目は大学工学部入学初年次科目として開講されており、その内容は下記の通りとなっている³⁾。

(1) 物理学の分野（地学の分野を含む）

- 1) 実験を始めるまえに
- 2) ニュートンのリンゴを落とした力を測ろう
- 3) 白いボールはなぜ白い
- 4) 電気の地図を作成しよう
- 5) 矩尺（かねじゃく）は夏に伸びるか

(2) 化学の分野

- 1) 実験を始めるまえに
- 2) 金属イオンを取り出そう
- 3) 水中ビタミンCを測定しよう
- 4) 電気分解で水素ガスをつくろう
- 5) 有機物をつくろう

(3) 生命科学の分野

- 1) 実験を始めるまえに

- 2) 細胞を覗いてみよう
- 3) DNAを取り出そう
- 4) DNAを切ってみよう
- 5) DNAをコピーしよう

上記実験テーマごとの目的および内容と各実験を通して得られる知識については、別の機会に実際に授業を担当している教員から紹介してもらうことが適切と思われるので、ここでは述べない。しかし、各実験項目のテーマタイトルから分かってもらえるように、個々の実験は大学に入学した殆どの学生にとって興味を誘起するものであること、受講する学生はこれらすべての実験を一つの科目として履修することによって自然科学の知識としての基礎を広く身につけることができること、さらにはこれらの実験を通して得られた自然科学への興味をベースに工学教育を受けることの意義と意味を理解できるようにすること、などを学生の知識消化不良を伴うことなくごく自然に実現できる成果を挙げてきていると思っている。

5. おわりに

本稿では、高等教育機関の工学教育において求められている自然科学の基礎知識とはなにか、といった検討にはじまって、その基礎知識の習得を実現するための「実験科目」の再構築を行った東北学院大学工学部の事例を紹介して論説した。工学教育の主目的は、科学的方法を理解し工学を通して新しい社会的価値を創造できる人物、そして次世代の科学技術的方法を創造できる人物の育成であると思う。しかし、現状としてそのための教育が十分になされているかどうかの検証の結果から、近年の入学生の教育履歴が以前のものから大きく変化したとともに、かつかなり多様な教育履歴を持つ入学生に対する自然科学基礎教育が求められることが明らかになった。まずは、そのような現状に対応した自然科学教育を実現する試みから取り組むことが必要と考えられた。

したがって、上記の工学教育にとって「実験」科目による教育の効果、特に基礎科目としての「自然科学

実験」によって達成できる教育の効果、に注目して、その教育改善の方向性を模索し改善策を試みた。その成果の全体は、まだ明確に評価できるまでにはなっていないと思われるが、しかし、少なくとも学生にとって工学教育における一定水準の自然科学に関する基礎知識の習得という目標は達成できていると思われる。このような実験科目として定めた知識水準をベースにして、学部または大学全体としての自然科学の知識基準としての「自然科学ファンダメンタルズ」または「自然科学スタンダード」を設定することに、今後取り組む必要があると考えている。

参 考 文 献

- 1) 遠藤銀朗：大学工学教育における導入教育の必要性と役割, 工学教育, 57-1, pp.24-29, 2009
- 2) 日本学術会議日本の展望委員会；理学・工学作業分科会：日本の展望－理学・工学からの提言－, 2010
- 3) 東北学院大学工学部「自然科学実験ファンダメンタルズ」テキスト編集委員会：自然科学実験ファンダメンタルズ, 2008

.....

著 者 紹 介

遠藤 銀朗
 学 歴：東北大学大学院工学研究科博士課程修了
 職 歴：荏原インフィルコ(株)中央研究所、研究員
 (株)荏原総合研究所研究員
 東北学院大学教員
 現 職：東北学院大学工学部長・教授
 専門分野：環境工学、環境生物工学
 学 位：工学博士
 表 彰：土木学会賞（論文賞）、他
 所属学協会：日本生物工学会、土木学会、
 水環境学会、環境バイオテクノロジー学会、他
 連絡先：
 E-mail gendo@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp