工学教育とその学問

Engineering Education and its Systematic Structure

武 田 邦 彦^{※1}

Kunihiko TAKEDA

Much debate has been conducted at various symposiums, but the discussions on engineering education in Japan tend to shift back and forth between the most primitive and the most highly advanced levels. The reason is considered to be that the systematic structure of engineering education has been insufficiently constructed, although engineering itself has been systematically well-established. In addition to the above problems, some work is necessary to solve such problems as the qualitative change caused by the maturation of Japanese industry and its society. These fundamental problems in the engineering education field depend heavily upon, 1) how to manage the balance of the research and education activities in universities, 2) the basic three educational targets (education, cultivation and technique), and 3) further debate of the “specialization” of engineers. In this study, the novel concept of the engineering education system will be elucidated through the above preparative discussions.

Keywords : Engineer, Education, Science, System, JABEE

キーワード : 技術者, 教育, 科学, システム, JABEE

1. はじめに

1980年代に日本の主要な大学の図書館で「工学教育学」はもとより、「大学教育学」というタイトルの書籍を見いだすことは難しかった。教育学の書籍では「児童心理学」などの初等中等教育に関するものを探すことができるだけである。この傾向はアメリカやヨーロッパでも同様であるが、アメリカなどの場合には、講義の仕方、採点と学生への周知の方法など教育のノウハウ的なものを見いだすことはできた。

このようなことは、ヨーロッパに始まった大学が、当初、神学、法学などを中心としていたことにも原因があり^{1), 2)}、大学自体は徐々にその範囲を広げ、19世紀には大学教育の中に工学教育も取り入れられたが、大学の中心的教育分野とはならず、その位置づけは一段低いところにおかれていた³⁾。従って、ドイツの大学論にも工学教育はほとんど触れられていないこと^{4), 5)}、戦後の大学改革の過程でも必ずしも十分に議論されたとは言えない⁶⁾。

1990年以後、大学の工学教育が検討されるに至って、工学教育、およびその教育手法などについての著述物が増え、今日に至っている。しかし、依然として大学における工学教育は個々の教師の経験などを基礎として行われており、必ずしも体系的に構築された「工学

教育学」が成立していると言えるところまでには至っていない。そこで、本論では「工学教育学」というものが存在するとしたら、それはどういうものかについての一つの例を示した。なお本論では高等専門学校を含む高等工学教育の機関を「大学」と呼称し、さまざまな役割を持つ教員を一括して「教師」と表現している。

2. 問題提起と準備— 1 各種の問題

2.1 往復する教育論

工学教育に関する「研究」や「実践」はすでに毎日、多くの高等教育機関で行われており、日本工学教育協会などの機関では年次大会や機関誌などを通じて、これも活発に行われている⁷⁾。本論文で言う「工学教育学」とは、そのような個別の研究ではなく、体系化されていること、さらに、日本の工学教育に携わっている教師の間で、ある程度のコンセンサスを有した「工学教育の学問体系」を指す。

工学教育は言うまでもなく、学生という人間を対象として、最新の工学知識を教育する行為であるから、人間を対象とするという意味で人文科学の分野であり、工学を伝授するという内容では自然科学に属する。そして毎年、10万人を超える学生が新たに工学教育を受け、その基盤のもとに活躍している国民の数は250万人を超えるとされる。いずれも人口比率では世界でもトップレベルにあるので、日本としても規模が

らいて体系化された学問が存在するのは当然のように思われる。

たとえば、最新鋭のジェット旅客機を、設計、製造、そして安全に運行するにあたって、流体力学、材料工学、航空工学、気象学などの基幹的な学問が必要であり、それが個人の経験や勘などに依存せずに、体系化して確立したものが必要であることはおおかたの合意が得られると考えられる。

これに対して工学教育は、最新鋭のジェット旅客機の製造運航に較べて、対象が人間であるから、さらに困難な課題に取り組むことになる。たとえば航空工学では数多くの事故例の研究から、それを抽象化して、「安全飛行の為の設計、製造、運行の学問」が存在する。しかし、工学教育では、卒業した学生が工学教育の目的に対してどのような社会貢献をしたか、不具合はなかったかについての研究自体が難しく、ましてそれを体系化して、教育に間違いが起らないようにするための学問を確立することはほとんど行われていない。

一方、大学とは「体系化された学問の価値」に対する確信であり、それを毎日教えている工学教育そのものがその学問を持ち得ないことは、工学教育の発展を阻害すると考えられる。

実際にも、工学教育の知識体系がないことによる弊害が見られる。著者の狭い経験の範囲でも、工学教育論議はえてして、個人的経験や勘による発言や議論が多く、教育改善の委員会などでは「参加する委員が替わると、一から議論のやり直し」になることが多い。このような現象は、まさに工学教育に携わる人が共通の「工学教育学」という学問的体系によっていないことを示すものであろう。

日本では「初等中等、および高等学校の教員は、教育者としての訓練を受けているが、大学の教師は学問の業績だけ」と言われるが、この表現は必ずしも適切ではない。大学は「学問体系があり、その基礎に立って物事を考えたり、行動する人たち」の集まりであるので、大学の教師になる人が求めるものは断片的な教育論ではなく、体系化された学問としての教育学であり、それは少なくとも工学教育には皆無だからである。つまり、大学の教師に就任するにあたって教育の訓練を受けないのは、もともと大学教育の教育をするのに教育の訓練を受けるべきであるという論理が存在しないこと、および、もしそれが必要とされても訓練を受けるべき学問がないことによると考えられる。

2.2 「目標管理型教育」の導入

工学教育学の論を展開するに先だって、次に考えなければならないのは、JABEEを通じて行われた「設計された工学教育」（ここでは「目標管理型教育」と呼ぶ）の是非論と、その論議の過程である。

第二次世界大戦後の日本の大学教育は、敗戦の反省から教養教育の重要性が強調され、旧制高等学校の教

科の一部を取り込む形で開始された⁸⁾。その後、教養部の解体、大学院大学への移行などを経て、民間の認証団体ではあるが、JABEEの認証制度が開始され、同時に教育目的の明示、シラバスの充実、評価基準の明確化などが次々と行われた。

すでに、現在の多くの高等教育機関における教育は、厳格なシラバスに基づき講義において「教える内容」が明示的に限定され、それに基づいた「計画的な教育と評価」が進んでいる。

しかし、このような「計画的な教育と評価」が日本の工学教育に利点を有するのかなどの議論は一部の関係者の範囲だけに限られ、また「工学教育学」の学問的体系の中で行われたものではない。

特に第二次世界大戦後の日本の工学教育は大きな成功を収め、その卒業生は製造業の中で中核的立場で活躍し、日本を「世界の工業国」にした。しかし驚くべきことに日本の工学教育の改革は、「世界の工業国にする原動力となった卒業生を輩出した日本の工学教育は間違っている」という認識に基づいて行われた。もちろん、この論理自体が矛盾しているのだから、大学の大綱化も含めてそれらのシステムの成立の過程に論理的に不整合があるのは当然であろう⁹⁾。

すなわち、1980年代から大綱化、独立法人化、そしてJABEEの導入に至るまでの日本における工学教育論の多くは「成功した日本の工業に輩出した人材は間違いであり、失敗した欧米の工業に入った卒業生は正しかった」という認識に終始していたと考えられる。

この論理矛盾は多くの大学の教師が感じており、その中から「大学改革を進めている人たちは、単に職を求めたり、名誉を得たりしたいだけだ」という声なき声を消すことができない理由の一つにもなっている。

大学が「詳細に検討されたシラバスにもとづく知識」を順序立てて伝授することにその主眼を置くのか、それとも「教えることは何でも良いが、教師の背中を見て成長することが大切」（本論では「背中型教育」と表現した）と言うことが工学教育にとって大切であるかは十分に検討されていない。著者自身もJABEEが始まる前までは、試験問題に「学問としては大切なことであって、講義では教えていない範囲の問題」を出していた。それは学生に「大学という場所は教えられるところではなく、自ら勉強するのを教師が補助するだけに過ぎない」という実感を持たせることが目的であった。いまではJABEEの審査に通らない可能性があり、このような趣旨の問題を出せなくなり、大学における勉学の自主性を実感させる方法を失っている。

これまでの日本の工学教育は、明確な形での「目標管理型」ではなかったもので、どちらかというと「背中型教育」に近かったが、それでも、そのような一見ルーズに見える教育が成功してきたのは、日本人の気質や18歳から22歳という均質の学生を相手にする日本

の大学の環境にも関係すると考えられる。著者自身はJABEEの導入にあたって、工学教育としては究極的には「背中型教育」が正しいが、現在の工学教育を発展させるためには、一度、「目標管理型教育」の荒波を潜る必要があるとの判断をして、JABEEに協力したという経緯があった¹⁰⁾。

いずれにしても、この問題もまた工学教育学の大系が欠如しているために、経験的、情緒的な議論や、時として「国際化に対抗するため」という教育本来の議論から若干、逸脱しているとも言える判断もあった。

2.3 日本の工学教育の特徴と大衆化時代の大学教育
生涯教育が流行になり、大学に多くの社会人が勉強に参加してきた頃、著者も「機能性高分子」という講義を開放して、社会人を受け入れた。しかし、実際に実施してみると年齢が20歳程度で社会経験のない学生と、40歳程度で社会経験が豊かな技術者では、学生や社会人が理解するポイントが大きく異なることに気がつき、その後の講義はきわめて困難であった。講義は教師と学生が相対して行う「ライブ」であるから、固定的な講義をするのではなく、学生が理解した時点で次に進むのが原則である。学生が理解してもしなくても先に進む教育なら教師が教室に出向かずに、DVDを放映すれば事足りるからである。

従って、教室の雰囲気や学生の学力によって順調にシラバスを消化しうる場合と、予想外に手間取る場合が存在し、それこそが「人間」を相手にする教育という本質でもある。

日本の高等教育の特徴は、教育に関する体系的な学問を身につけず、かつ教育経験のない官僚で構成される文部科学省が教育方針を決め、それに基づいて高等教育機関が教育を行うという実に奇妙な、「逆転現象」とも言える状態が続いている。工学教育に関する能力が相対的に低い文部官僚が、能力の高い高等教育機関を指導するのであるから、教育に歪みが生じるのは自明であるが、このシステムは明治以来の「国家中心主義」によるものと考えられる。

私がまだ企業の技術者だった頃、ある教育のシンポジウムで東大総長が先に椅子に座っていて、後から文部省の課長が来ると、その人に丁寧に頭を下げ、最上席をその課長に譲った有様をみて、仰天し衝撃を受けたことを思い出す。市井の技術者であり、大学教育に携わったことが無かった著者には驚天動地のことだったが、大学人は普通のこととしてなにも不思議には思っていないようであった。

国家が教育を考えるとということになると、個人の幸福や自己実現のためにそれを補助する教育ではなく、国家の発展のために「何万人の技術者が、この分野に必要である」というような国家的目的のために工学教育（国家型教育）を行うことになる。だから、教育経験などは文部官僚に不要なのである。

しかし、成熟した社会では、一人一人の幸福や自己実現のために、工学教育（個人型教育）を行う必要もあり、その場合にはより多様な、深い教育に関する学問的体系が求められると考えられる。その場合、国家型教育を個人型教育に変更する議論を深めるためには、文部官僚と少数の先生、または審議会のようなシステムでは到底、できるものではなく、より広くオープンな研究のもとで作り出された工学教育学の進歩の中に方法を求めなければならないだろう。

この問題は単に文部省の問題ではなく、学長や学部長などの大学執行部と、教育に当たる教授会などの関係でも同様である。大学教育論の多くは学長や大学執行部によって執筆され、語られる。教育シンポジウムの時にはどこかの学長がきて、講演をするが、学長が先頭に講演するということ自体、学問ではない。

学長や学部長はそれなりに人望があり、経験豊かで判断力なども優れていると認められて多くは教師の選挙により選出されるが、それでも「工学教育学」に精通している、もしくは際だって優れているということが証明されて大学執行部につくわけではない。なかにはさまざまな理由、たとえば独立法人化した大学が文部科学省などから予算を獲得するのに都合のよい人事によって大学執行部が決定される場合も散見される。

従って大学執行部の考え方は、学生の教育そのものより、大学の評判や入学生の確保などに重点が置かれるのもうなずけることであり、さらに論じられることが「工学教育学」からレベルが高いかなどはまったく考慮されずに、あたかも学術的業績に基づいて決定されるハイアラーキーが存在するかのような様相を呈する。特に教育関係誌などではその傾向が強いことに対して、学術的には大きな疑問を感じざるを得ない。

しかし、学問というものは社会的ハイアラーキーでその優劣が決定されるものではなく、研究論文や発表によって優れた着想が認知され、徐々に学問体系の中に組み込まれて行くものである。そこには、学長とか教授、さらには助教などという区別は存在しない。

すなわち工学教育に対して、文部官僚、学長などの発言力が強いのは、学問体系に従って教育を行っているのではなく、社会一般の権力構造を大学に持ち込んだ結果と考えられる。しかし、大学というところは「学問体系の進歩を信じ、ハイアラーキーは存在しない」という価値観を持つ人の集合体であるから、現在の大学の実態はかなり歪んでいるといえるだろう。この問題が発生するのも、体系的な工学教育学が存在せず、従って大学においてすら学問が世俗的ハイアラーキーに破れた結果と言えよう。

3. 問題提起と準備－2 「研究」と「教育」

これまで工学教育学の必要性和その基本的な構成を示してきたが、記述してみると、その内容は、あまり

にも日常的な大学の教師の活動とかけ離れていると感じる。

筆者の工学分野の専門は資源材料工学であるが、日々、学生の研究指導、研究活動、論文執筆、資金集めなどに追われて、講義は毎年巡ってくるごとに、少しは最新の情報を講義内容に入れたり、方法の改善を試みたりするだけで、それが工学教育学のどの部分に相当するを行っているのか、著者が試みる「改善」が工学教育にどの程度、寄与しているかどうかは全く検討する時間的な余裕はない。それは、日本工学教育協会誌の活動に参加したり、投稿したりする機会を持つことがあっても同様である。

しかし、従来から高等教育機関の教師はそれでよいとされてきた。すなわち、自らの「工学分野の専門を研究」することが、「教育」に寄与し、それで完結しているとされていたからである。それは、すでに本論にも示したように「背中型教育」が日本の工学教育の概念だったからである。つまり、現状での教育環境は、JABEEなどの導入によって、「研究と教育の両輪」に一步踏み出したものの、まだ大学の教員は工学の専門の研究が主任務であり、教育はその結果として必然的についてくる物であって、教育は専門ではないと認識されているからである。

3.1 工学教育における研究の意味

現代の工学大学には社会的に3つの意義が認められる。それは工学の「創造、伝達、発信」であろう。ここでいう「創造」とは一般的には「研究」として認識されていることで、大学の教員が学生とともに工学の研究を行い、新しい事実を発見したり、工作物を創成したりするものである。かつて明治時代には大学における創造活動はほとんどなく、多くは留学して欧米の学問を学ぶことであった¹¹⁾。

もちろん、教員自らが創造しても、あるいは他国の新しい技術を学んでも、「教育」という大学の機能からいえば、それらの区別をつけることができない。

いずれにしても、大学で学生に伝達する学問、あるいは社会に対して大学が発信する「知」を大学自らが創造することから始まる。明治時代の日本の大学は欧米に大きく遅れていたもので、大学の教員はまず欧米に留学し、その学問を学んで日本に輸入したので、この場合は「教師の勉学」が「大学の創造」の役割を果たした。

明治時代に大学活動が開始されてから100年余をへる今でも多くの日本の教師は「欧米に留学することによって箔をつける」、あるいは「欧米に留学しなければ教師になることはできない」ということもあり、これも明治以来の日本の大学の世界的な位置づけを示している。

冷静に考えると、日本の工学教育において、この「創造」活動と「教師の勉学」をどのように評価するかは、

教育のスタイルと深く関係している。すなわち、仮に高等教育機関の工学教育が、目標管理型教育であれば、教師が学生に教えることは具体的な知識や技能であり、大学の創造活動を教師の勉学活動に置き換えることができる。つまり大学において「工学的な意味での創造的な自らの研究」は不要であるという結論に達する。

最新の知識に基づいて学生を教育するに当たっては、自らが狭い範囲の研究を行うより、広く最新書籍を通読し、学会誌を購読する方が遙かに「勉学」の効率はいい。やや浅薄な教育論から言えば、それだけ客観的で新しい知識を学生に伝えることができるであろう。

一方、「背中型教育」ではたとえシラバスに教育内容が書いてあっても、その多くを無視して教授は研究の内容を熱っぽく学生に語る。それを聞いた学生があるいは学問に興味を持ち、あるいは技術の大切さを感じて工学の道に進むことを期待する。従って、教育と研究ということを考察するには、大学教育に何が期待されるかという設問がきわめて重要な意味を持つ。

もともと、現在の日本の大学では、教授の執務時間やその内容について十分に吟味されずに大学の研究や教育、さらに発信を論じられている。教師は、研究も勉強も、そして時に発信もするのが当然であり、かつそれをアシストするスタッフなどは必要ではないという結論に達するが、それは日本の社会を横断的に見ても定見のないその場限りの議論のように思われる。

仮に大学における創造活動が重要であり、それが教育や社会に対する発信に大きな貢献をするなら、その時間的な配分や補助スタッフまで考慮しなければならないからである。大学の予算が足りないという現実的な要請を明示せずに、背中型教育を行っていた教師に、目標管理型教育を要請し、その他の環境に配慮しないのは、文部官僚と大学執行部に見識が不足しているからであるが、それに加えて体系化された工学教育学の不在に起因するのであろう。

しかし、大学教師に研究の必要性がないというのも、論理性のある結論ではあるが、かなり飛躍している。

現実的には、教授が大学において「活きた教育」をするには工学の研究活動の経験を持っていることが重要であることは経験的に理解されている。すなわち研究を通じて得られた自然科学の原理に関する工学の意味、さらには未知の対象物を解き明かし、それを実現していくプロセスの体験が、生々しい講義につながるからである。

その点では工学教育に工学の研究経験を持たない社会人を登用することが「大学教員の多様化」にプラスになるとの見解はそれほどの根拠を持たないと考えられる。

しかし、一方では、研究において優れた教師の一部

はあきらかに、よい教育を行い得ないことも確かである。高度成長期までの戦後の日本の教育のように、「個性は重視せずに、知識や技能を教える」だけに特化した教育の場合には、研究能力があり、単純に知識だけを講義する教師も一定の役割を果たしたと考えられるが、成熟した社会での高等教育では、人格教育の比率が高いのでその欠陥を厳しく問う必要があろう¹²⁾。

そのためには工学教育学を体系化して、教師としての役割、資質、資格などについて学問的な蓄積をしていくことが前提となる。

工学教育を、「目標管理型」と「背中型」、および「国家型」と「個人型」の二軸4象限に分けて考えると、抽象的には、日本の工学教育は「国家型－目標管理型」から「個人型－背中型」に移行するとイメージされているが、実際には、第二次世界大戦での敗戦を経て混乱した直後は、「個人型－背中型」であったが、高度成長とともに「国家型－背中型」に変わった。そして、JABEEの導入に当たって産業界の要請や科学技術立国などの外的要件から、「国家型－目標管理型」に移行した。

もし現在の工学教育の方向が「国家型－目標管理型」に向かっているとすると、むしろ、時代に逆行していると感じられるが、その議論は十分ではない。そして、研究と教育という点では大学の教育の両輪は大きく変化するかも知れない。つまり、「目標管理」され工学の基礎を訓練された工学部の卒業生を多数、輩出するためには、教師は広く知識を吸収しなければならないから、仮に一週間に7コマ程度の教育義務を負う場合には、教育と研究を両立させることは困難であろう。

3.2 大学における研究の必要性

前節の検討から導かれる結論は「国家型－目標管理型」の工学教育では大学における研究活動は必須ではないという結論を得る。従って、教師の研究活動は教育とは切り離さなければならない。

これは一般的ないわゆる専門職の立場と同じである。法律の世界においては弁護士は法律を学んで社会の指導に当たるが、自らは法律を作らない。医師は医学を学んで患者の治療に当たるけれど、新たな医療法を直接、患者に適用するのは禁止される。

すなわち、表1に示したように、社会との接点に存在する弁護士、医師が研究などで作成され、社会の認知を受けた「教科書」を用いて受益者に伝達することをもって専門性を発揮する¹³⁾。

医師が患者に医療を施す場合、医師が自らの研究結

果を用い、関連学会や厚生労働省の委員会のガイドラインが存在しない方法を用いて治療をすると原則として禁止されている。弁護士が法律を自分で作ることができないのと、類似している。

その点では教師が学生に対して教育できる範囲は広く、日本の学生は「保証されない内容の教育を受けてきた」ということになる。今後の工学教育学の発展にもよるが、教師は特定学会の査読を経た教科書を学生に教えることによって、教育の質の保証とその社会的責任を果たすことになる可能性が高い。

すなわち、大学の研究は教育と切り離さなければならず、教師が一人二役を演じることになる。

成熟した工業社会では、産業が発達し、「客観的に有望な研究」は企業や国の研究機関が行う。大学はより自由な立場から「客観的には有望ではないが、特定の発見などがあることを社会が期待する」という研究が期待される。本論は工学教育に関するものであり、大学における研究の社会的価値については詳述しないが、大学研究学はまた別に体系化を要すると考えられる。

4. 工学教育学の構成

前章の準備を踏まえて、本章から工学教育学の構成をなすと考えられる基本的な項目について整理を行った。

4.1 工学教育史の構築

熱力学でも、遺伝学においてもその歴史的背景が整理されていることは重要であり、工学教育学においても、大学における工学教育の歴史の整理を必要とする。

世界的に見て大学における工学教育は当時、ロシアと海峡を巡って対立関係にあったトルコのイスタンブールに始まり、ほぼ並行して、また世界の工学教育に強い影響を及ぼした例としては産業革命後のイギリスにおける工学教育がマンチェスターを中心に行われたこと、やがて世界の工学の中心に成長するアメリカのマサチューセッツ工科大学が設立されることであろう。

日本においては江戸時代に藩校などで和算や理学の教育は存在したが、工学は技能として分類されていた。しかし、江戸末期にはヨーロッパから渡ってきた図面をもとに2馬力ほどの出力を持つ蒸気機関を日本人が自作したり、佐賀藩ではアームストロング銃などの近代兵器の保守修理などが行えるようになっていた。これらの日本人の工学および工学教育の歴史を体系化することは、工学教育学ではきわめて重要と考えられる¹⁴⁾。「工学」は物質や自然を対象とするものであるが、「教育」は人間を対象とするので、日本人、日本文化との関係性が強い。その点で、開国によってヨーロッパの工学が日本に大量に流入する前に、日本人が工学をどのように理解し、それを発展させていったかと言

表1 分野ごとの専門家とその制約

分野	目的	新規研究	伝達	受益者
法 律	秩 序	法学者	弁護士	被 告
医 学	治 療	医学者	医 師	患 者
教 育	工 学	研究者	教 師	学 生

うことは、学生が工学をどのように理解し、発展させることができるかについての重要な示唆を与えるからである。

その具体例としては、日本人が試作した初めての蒸気機関や勝海舟らが関与した観光丸の保全、運行に関する歴史的事実の整理と理解が重要と考えられる。特筆すべきは、ペリーの浦賀来航に驚愕した徳川幕府がオランダに依頼して軍艦の提供を求めてからの日本人の「機械」の習熟過程である。オランダは直ちに幕府の要請に応じて東洋にいた東洋艦隊の軍艦スームビング号を訓練用に回航させた。

幕府はスームビング号を「観光丸」と命名、長崎奉行所の一部に伝習所を造り、これを長崎海軍伝習所とした。さらに諸取締に永井玄蕃頭尚志、ペルス・レイケン元艦長と下士官、水兵、機関兵22名を教官として雇い、ここに教練を始めた。

1857年になると、日本名「観光丸」と命名されたスームビング号が江戸表へ回航された。奉行の永井玄蕃頭を艦長として103名の伝習生が乗組み、日本人がオランダ人の助けを得ることなく単独で洋式軍艦を操舵して、江戸に回航する離れ業を演じるのである。初めて蒸気機関を見、鉄で作られた「黒船」に驚嘆してから僅か4年、伝習所で急ごしらえの教練が始まってからわずか2年、東洋の端にあるこの小国のサムライがヨーロッパ人の助けを一切、受けることなく蒸気駆動の軍艦を回航したのだから、当時のアジアの諸国を見てきたヨーロッパ人は怖々と遠巻きにしたと言われる。

日本がやがて科学技術立国と言われるようになるのは、このような日本人特有の工学に対する能力によるとも考えられる。教育は教育を受ける対象者が、もともと持っているポテンシャルをどのように活かすかが重要であるから、工学に対する日本人の感性をどのように考えるかは最も大切な研究項目となろう。

さらに現在の工学教育に直接的に関係するのは明治以来の工学教育であることは間違いないが、その出発点になった、明治19年の大鳥啓介の演説、さらにそれに続く東京大学における工学教育の開始についての整理が重要であろう。

大鳥啓介は日本で工学教育を行う必要がある理由について、「ヨーロッパ諸国より人口が多く国土も広いアジアが、ヨーロッパ諸国の植民地になって呻吟している理由は、一にも二にも学問的な力の差によるものであり、一刻も早くヨーロッパのレベルに追いついて、ヨーロッパのようにならなければならない」とした。

この演説は、明治維新後にヨーロッパ列強の植民地支配を避けようとした当時の日本にとってはごく当然のことであり、さらに第二次世界大戦後に復興し、高度成長を遂げた後でも同じ議論が見られる。しかし、この概念はヘンリー・ダイアーの実学試行の教育につ

ながり、日本の工学に次の二つのことをもたらした。

第一に日本の工学は大きく発展し、日露戦争の時には伊集院信管、下瀬火薬という画期的な爆薬システムを開発して日本海海戦を勝利に導き、第二次世界大戦後も家電製品やオートバイなどの工業製品で世界を席卷した。

しかし、第二に「ヨーロッパの工学とその活用に関する概念」を引き継いだことで「工学を発展させる第一の目的は国家の繁栄であり、それをさらに進展させて他国を圧迫する」という結果を招いた。第二次世界大戦前は軍艦、機関銃、小銃、九六式爆撃機、零式戦闘機などの技術を育て、それらはやがて朝鮮、台湾、中国、さらには東南アジアの人たちを苦しめることになる。

戦争後は、工業製品によって日本および世界の文化的生活に寄与したものの一方では武力ではなく技術力で他国の産業の一部を破壊、もしくは衰弱させたことも事実である。

このような工学の歴史的評価や社会的影響について、教育以外の分野ではもっぱら肯定的にとらえられるのが一般的である。人間の行為には推進することを持って目的とする場合と、推進のみではなく行為のもたらす負の部分や人類にとっての位置づけなどを同時に考察する場合がある。産業は前者の典型例であり、学問は後者の活動を伴うものである。

つまり、工学そのものは、たとえば「自然の原理を応用して人類の福利に貢献する」ことを持って目的とするとすれば、その成果物は人類に対して正にも負にも作用するはずである。

教育は具体的な能力や技術を学生に教えるとともに、人類の文明自体を俯瞰する力、人格の向上を会わせてその目的とするものであるから、自らの国家、および自らの学問に対する積極的批判のように、学問以外の分野では忌避されることについても、より積極的に取り組むことが期待される。

特に工学の産物の一つとしての兵器においては原子爆弾の投下を受けた日本であり、環境問題では工業による環境破壊の可能性を示したのであるから、日本の工学教育は工学の成果物のもたらす負の部分についても冷静に体系化する必要がある。

4.2 工学教育の時差の解消

工学教育には一つの大きな本質的欠陥が存在する。それは19世紀後半のドイツの化学会をリードしたヘルムホルツの述懐の中に「哲学や文学書は歴史的に長く読まれることもあるが、我々の分野（科学と工学）ではどんな名著でも30年、読まれればよい方である¹⁵⁾。それは活動そのものの特性にある」という意味のことを書いており、同じく、20世紀初頭に活躍した社会学者マックス・ウェーバーは、「学問は自ら時代遅れになることを望む」としている¹⁶⁾。

すなわち、工学は急速に進歩し、さらに社会の要請に従ってその必要な物を時々刻々、供給する活動を行う。一方、学問および社会は絶え間なく変化していく。従って、50歳の大学教員が自らが30年前に学習した学問を、30年後に活用する20歳の学生に教えることは、60年の時差を克服しなければならないことを示している。

工学教育学大系が存在しなくても、その個人の力でこの「教育の時差」に気づき、自ら修正を試みる教師も見られるが、時差の解消はなかなか個別の教員が個人の努力や勉学で克服することは難しい。この困難な問題が過去にどのように処理されてきたか、演繹的にはどのように考えられるかという研究を通じて、これもまた教育学の構築が必要となろう。

また社会の変化に伴う教育および工学と社会の関係においてあらたに生じるものとして、たとえばキーワードで示せば、「ゆとりの教育」、「科学技術立国」そして「持続性発展」などがあり、いずれも工学教育学が存在しない現在の工学教育において未消化で残されているのもまた必然的な結果である。

4.3 工学教育プログラムの構築

工学教育を構成する場合、そのカリキュラムが問題になる。しかし目標管理型の教育を行う上では、単に学生が自由に大学に来て、自由に科目を選択する方式からさらに踏み込んで学生の予習復習時間、クラブ活動や社会活動の時間、さらには全人格的な教育の機会を与える時間など、全体像を把握しておくことも必要になってくる。

その意味では主として科目構成を明示したカリキュラムより広い教育プログラムの基本的な構造を決めなければならない。しかし、工学教育学が成立していない現状では、教育プログラムの構築はそれを立案する担当者の個人的な見識や経験に依存せざるを得ない。

すなわち工学教育を行う上で、どのような教育プログラム理論が成立しているか、それぞれの特質はなにかが体系的に明記されていなければならないだろう。日本の大学の一部ではすでに教育プログラムの相当する試みが行われているので、体系化は可能であると考えられる。

教育プログラムの全体像が示されていれば、そのもとでカリキュラムを作成することができるが、さらにその段階に到達しても、図1に示すように「才、学、技」をどのようなバランスで構成するのかという問題が存在する¹⁷⁾。

従来の工学教育では旋盤の実習などのような「技」に属することと、講義を中心とした「学」のバランス、あるいは化学実験のように「技と才」に中心を置くものと「学」のバランスが議論されてきた。JABEEにおいて「創成科目」が総説され、もっぱら「才」を取り扱うこととなっている。

図1 教育でのばすべき三つの軸

この三つの軸は工学教育で唱えられているものではなく、一般的な教育理論に基づいているが、これを日本の工学教育という視点から整理し、その重みをつけておくことも必要だろう。たとえば、産業界で技能工と呼ばれる現場の技術者にとっては「技」が中心的な修行科目になるし、研究においては「学」と「才」が求められる。社会の発展段階との関係では社会が発展するときには「学と技」が、成熟した社会では「学と才」が重視されるとも言われる。

大学の教育議論の中に産業人が入った場合、特徴的なことが二つある。

一つは大学教育に実学を求めることである。歴史的に見て、また現実的にも大学は社会の中で実際に役立つ学問や技術を伝授するところと見なされているが、教育基本法によれば大学で行うべき教育は、人格教育と「立派な社会人」教育が主眼であり、工学教育においては「科学としての物の見方」や「専門家としての倫理」などがもっとも重要な教育成果として期待されるものである。しかし、産業界では教育基本法は空文であるとの確信が強いので、人間として立派な学生、科学的見方のできる自主的な学生を企業が求めることはまれである。

この産業界の要請が大学教育が「才」を軽視する結果になったと考えられるが、それも含めて工学教育学では体系化が必要だろう。

第二に、産業人がかなり強く大学教育について不信感を持っていることである。戦後における大学の大衆化、産業の高度化、そして拝金主義などが、一部の大学教育をレジャーランド化したことは確かであるが、大学は大学としての使命を果たさなければならないのはまた異論のないところである。たとえば、「インターンシップ」というシステムによる教育は学生に実体験をさせるという意味で効果があるが、学問に基づく教育は「体系化した知識を学ぶことによって、経験で得られるより高い能力をつけることができる」という確信であり、インターンシップは「実体験はできるが、より教育能力の低い指導者のところで学生がまなぶ」というシステムかどうかを大学の方も検討する必要がある。

あろう。

産業界は工学教育を受けた人材を引き受けるという意味で顧客であるが、まだ大学教育に関する深い相互理解は得られていないと感じられる¹⁸⁾。

4.4 工学教育実践方法の体系化

著者がはじめて工学教育を実践するときに参考にしたアメリカの大学教育学によると、定期的にテストを行い、そのテストにコメントと採点をして学生に返却するということがきわめて大切であると書かれていた。それに従って、最初の二年間はテストをしてその答案を返却していたが、単純な計算問題では正誤が明確で、コメントもいらぬが、説明や論述を伴うものについては採点した答案用紙を返却すると「友人と同じことが書いてあるのに点数が違う」という類のクレームで追い回されることとなった。

確かに答案を見比べてみると、記述内容についてはそれほど違いがないが、行間に示されていることや、文章の構成、時には丁寧に書いてあるかなどが僅かな点数の違いになっている。しかし、それを学生に納得させるのは困難であることがわかった。アメリカの学生は単位の取得そのものよりも、その講義でどの程度自らが力がついたかが中心的関心であるが、日本の学生の多くは「できるだけ楽をして単位を取ること、もしくは実力が無くても良い成績を取めること」が最終的な目的であり、その講義を通じて自らがどのような力をつけたかには余り関心がない。従って、点数のみに力点が置かれる。

すなわち、工学教育の実践段階になると、アメリカの大学教育の方法をそのまま輸入しても効果が上がらない場合が多い。教育は人間が対象物だから、余り物品のように表現するのは適切ではないが、アメリカの学生と日本の学生はいわば加工対象となる異なった性質を持つ原料であり、それをある目的の工作物にするには、原料の持つ特性に応じて方法を変更しなければならないことでもある。

ここに示したのは単に講義中に行う簡単な試験の点数の問題だけであるが、そのほかに実践上の多くの問題があり、それをあるいはアメリカの実践手法と比較しながら整理することはきわめて有意義であろう。

具体的には、工学教育心理学、工学教授法などの研究が必要である。工学心理学においては人間の心理学自体を基礎とし、より具体的に20歳前後のいわゆる「機械いじりが好きで、コミュニケーションが苦手」という若者の心理や、より具体的な勉学の動機づけにおける学生の心理の動き、また心の悩みを持った学生の対話方法などの具体的な学問が必要とされる。工学教授法については、現在でも盛んに研究されている教育方法や体験を体系化する試みを要する。

講義の工夫、採点の工夫、学生の意識向上の試みなどは毎年日本工学教育協会の年次大会などで講演を

拝聴すると、膨大な数に上るが、それは講演を聴いた人の頭の中に雑然と入り、それが経験の一部のように個人的に活用されているだけのように感じられる。

講義に毎回のシラバスが必要であるか、成績評価はどのようにあるべきか、さらには出席点や試験自体の実施の意味など、系統的体系的に整理しておく必要なものが多い。

また日本とアメリカの学生の違いは学習態度や思考方法などだけではない。多くの学生が18才で両親のもとから離れ、独立して奨学金を受け取りながら学業を進めるアメリカと、卒業するまでは親の資金で勉学し、勉学が可能かどうかという基本問題すら、親の意向による日本の学生においては生活そのものも大きく異なる。たとえば、文部科学省の規定では15コマ2単位の講義では、90分の講義の他に一定量の自習が求められているが、これを実施している大学はほとんど無い。その理由は日本の学生の講義以外の生活に対する教育側の十分な検討がないからと考えられる。

工学教育の実践に関する技法や効果その他の研究は関係雑誌、学会などの研究成果が膨大であり、ここでその内容を羅列する必要はないと考えられる。通常の講義、実験、創成科目、課外実習など多くの分野の研究成果を集大成すれば良い。

ただ、特に日本の教育の場合、次に示すような未解決の主要テーマが数々残っていると認識している。

- 1) 工学教育の中で、いかにして人格教育を行うかについての具体的手法（背中型ではない教育手法は存在するか？）
- 2) 「自主的勉学力の養成」、「創造性を高める教育」の具体的手法
- 3) 必修科目の是非、および必修科目における個性と成績の付け方

いずれもきわめて重要な実践手法であるが、一例として「創造性を高める教育手法」について若干触れておきたい¹⁹⁾。

創造性というのは多くの事象を有機的につなげて、新しい概念や着想をもたらす力であり、一般的に信じられているように無から有を生み出す力ではない。このような力をどのような手段で養成するかについては大学以外の民間の教育機関で「創造力養成」という形で個別の試みがなされている²⁰⁾。しかし、大学においては「創造力は教育によってつけることができない」との仮定から、積極的には試みられていない。しかし、高度な推論力や科学的な考え方についてそれを具体的な例を持って教育することは可能である。ただ、一人一人の教師が個別に方法を編み出すことは困難であり、やはり工学教育学に創造性を高める教育手法についての系統的な記述を要する。

4.5 学生側から見た工学教育

主要な国立大学や一部の私立大学の工学部の学生は

その8割程度が大学院に進学するようになった。諸外国、特にアメリカや西ヨーロッパ諸国に対して工学部の大学院進学率が低かった日本において、中心的な大学の学生が大学院に進学するようになったことを国際的にも評価すべきことであろう。しかし、一方では私立大学などの工学部では大学院進学率は依然としてかなり低い。

一般的には、大学の工学部の教育では目標管理的教育で基礎的な訓練を行い、背中型教育を大学院で期待することが多いと感じられる。このような全体の教育構成は明治以来の国家型教育の概念である、「優れた学生は主要な国立大学に行くであろうし、日本国家のためには優れた学生によりよい教育環境を提供すべきである」という思想に基づいている。

しかし、これを教育を受ける学生側から見ると、学業の優れた学生がより有利な教育環境をえるのは当然であるとばかりは考えられない。すなわち、自らの能力を十分に活かすように努力しても家庭の環境などで必ずしも満足な勉学の条件が整わない場合が多いからである。表2に見られるように、たとえばアメリカと比較して奨学金に大きな差が見られるからである。

日本では給付型の奨学金はほとんど無く、貸与型のものでもアメリカに対して金額で僅かに13%にしか過ぎない。従って「成績が悪いから大学院に行かない」と即断するのは当を得ていない可能性がある。やむを得ず大学院に進学できない学生に対して、目標管理型の工学教育を行うと、その学生は教師からより貴重な指導を「背中型教育」を通じて受ける権利を失うことになる。

「大学では基礎教育を、大学院で専門教育を」という区分けは、恵まれた一部の学生だけに関係するものであることも考慮しなければならない。

さらに近年、大学進学率が予想を超えて高くなったが、それでもまだ国民の約半分が大学教育を受けずに人生を終わっている。日本のように高度に経済成長した社会において、しかも平均寿命が80才であることを考えると、就学年齢が22才であることは特に奇異ではない。これは明治のはじめに日本は当時の世界一裕福であったイギリスより文盲率が低かったことでわかるように、教育の価値を高く評価した伝統もある。

日本国民が大学全入を果たすには、高校教育の現状からも「それほど勉学が好きではない若者」をいかに

して教育するかという基本問題に立ち返らなければならない。

もともと、教育が個人のものであれば、教育を受けた本人が、自分の達成度を判断する目的で試験を受け、その成績を通知されるのは意味があるが、他人との競争、あるいは社会が要求するレベルに達しているかについての評価としての成績は不要である。最近フィンランド型の教育が注目されているが、その思想の中核には「教育は、大学を卒業して森の中に入り、一人で人生を送るために有益なことを教えることだ」という考え方を日本の教育にも参考にすることも必要と考えられる。

お習字を習うのは、他人より上手になるためではなく、自らが字を書くときに少しでも綺麗な字を書きたいという欲求から来る行為であり、それはその本人の為の教育の意味がきわめて強い。従って、大学の試験ではカンニングしたり、他人のレポートをコピーして提出することがあっても、お習字の段位を取る時に他人の書をコピーして提出することはない。これは、「何のために勉強するのか」という意識がどこにあるかを示している。

大学教育が真の意味で国家型から個人型になることによって、大学全入時代とさらには試験の不正のない勉学環境を構築することができるはずである。

5. あとがき

本論で解析を進めてきたように、工学教育学の必要性は論を待たないと考えられ、それが世界をリードする日本の工学教育を構築していくことができると考えられる。工学教育学の構築は日本工学教育協会などが中心となって、学術論文や研究会を構成し、それと同時に第一段階としての体系化を行っていく必要がある。

その際の制限条件としては、かつて、ヨーロッパで、物理学や化学、機械工学や建築工学の学問体系が構築された時のように、社会的なハイアラキーの存在を認めず、純粋に頭脳活動としての学問領域の構築が必要であり、各大学の学長、執行部、また文部科学省は工学教育学の構築に側面から支援をするのが適当であろう。

学問は、その学問自体の構築と発展がもっとも大切であり、大学や教育はその成果を活用するものである。

表2 アメリカと日本の奨学金を受けている人数と金額の比較

国	給付型		貸与型		合計	
	人数 (万人)	金額 (億円)	人数 (万人)	金額 (億円)	人数 (万人)	金額 (億円)
アメリカ	640	13,000	870	42,400	1,510	55,400
日本	0	0	75	5,500	75	5,500
割合(%)	0	0	9	13	5	10

活用する主体が学問に干渉することは歴史的にも適切なことではない。

本論文は工学教育の研究について、格別の提案をすることを目的としているのではないが、ここまで進めてきた工学教育の研究について、仮に現在の日本でより積極的に具体化するために、行動が行われることがあれば、技術立国を標榜する日本の将来にとって大きな貢献をすると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 森 洋：大学『岩波講座世界歴史10』, 岩波書店, 1970
- 2) C・H・ハスキンス著, 青木靖三, 三浦常司訳：大学の起源, 社会思想社現代教養文庫, 1977
- 3) ヤスパース：大学の理念（“Die Idee der Universität”）, 1923
- 4) 増井三夫：プロイセン近代公教育成立史研究, 亜紀書房, 1996
- 5) 天野正治著：日本とドイツ教育の国際化, 玉川大学出版部, p.324, 1993
- 6) 武田邦彦：世界の大学, トルコ, takedanet.com（未出版）
- 7) ここでは個別の資料はリストしないが、毎年行われる日本工学教育協会の年次大会の講演、協会誌、並びにJABEE関連報告書などがある
- 8) 大学基準協会編：大学における一般教育、一般教育研究委員会報告、大学基準協会資料第十号, 1951. 9
- 9) 武田邦彦：創成科目の概念と具体例, 2000年3月14日, 工学教育研究会, 於・金沢大学工学部, 主催・工学教育プログラム実施検討委員会
- 10) 武田邦彦, 石川朝之：JABEEと日本の高等工学教育, 工学教育, 53-3, pp.57-68, 2005
- 11) 武田邦彦：工学系大学院教育のあるべき姿を求めて, 平成16年度東海工学教育協会地区大会講演会－21世紀の工学系大学院教育－, 於：中部大学リサーチセンター, 主催：東海工学教育協会
- 12) 武田邦彦：工学教育における「スキル」の概念,

工学教育, 47-2, pp7-14, 1999

- 13) 武田邦彦：技術者倫理教育と工学教育の整合性, 工学教育, 50-1, pp.28-33, 2002
- 14) 武田邦彦：時代の変革を工学と文化の融合に求める, 芝浦工業大学70周年記念号, pp.1-21, 1997
- 15) ヘルムホルツ：一科学者の回想, 独和対訳叢書, 郁文堂, 2000
- 16) マックス・ウェーバー, 尾高邦雄訳：職業としての学問, 岩波書店, 1982
- 17) 増子 昇：シンポジウム「21世紀の素材・プロセスセッション」（日本学術会議, 日本学術振興会主催）（1998年12月2日：芝浦工業大学）
- 18) 武田邦彦, 島田 彌：工学系大学に於ける大学が育成する人材と産業界が期待する人材の関係, 工学教育, 49-1, pp.8-14, 2001
- 19) 武田邦彦, 土屋敏明：試行事例からみた創成科目と学生の推論能力の養成に関する考察, 工学教育, 50-5, pp.54-62, 2002
- 20) 武田邦彦：問題解決力(エンジニアリング・デザイン力)向上を目指して, 平成20年度日工教教育力向上セミナー, 2008年8月29日, 於：東京機械製作所ビル, 主催：日本工学教育協会

著 者 紹 介

武田 邦彦

1943年東京生まれ, 1962年都立西校卒業, 1966年東京大学卒業, 工学博士
旭化成, 芝浦工業大学, 名古屋大学を経て, 2007年より中部大学総合工学研究所
専攻：資源材料工学 多摩美術大学非常勤講師など, 原子力委員会専門委員など.

日本工学教育協会特別教育士, 受賞としては日本工学教育協会賞（倫理）, 原子力学会特賞（平和利用）など. 著書に「偽善エコロジー」（幻冬舎）, 「環境問題はなぜウソがまかり通るのか」（洋泉社）など.
趣味：執筆, 熱力学