

イノベーションを創出する 工学系人材育成に向けて

笠木伸英

1. 新世紀の国造り

表1は、米国工学アカデミーが選んだ、20世紀の20大技術革新のリストである¹⁾。これらの技術は、この100年間に開発され、多くの人々が容易に手にすることが出来るほど広く普及している。400万年といわれる人類史上、20世紀が科学技術の開発・普及、その結果生じた社会変化の側面では極めて異例な100年であったことがわかる。このような20世紀における技術の目覚ましい進展と普及は、災害や事故を防ぎ、産業を支え、豊かな物資を供給し、病気を克服し、健康を促進して長寿を可能にしてきた。技術は、間違いなく社会の要請に応えてきたといえる。新世紀を迎え、人類社会の目標は、肥大化した人間圏を地球と共生し得る持続的なシステムとして再構築すると共に、多様な価値観を有する人々に、健康で快適な生活と安全で安心な社会を保障することであり、技術と工学の果たすべき役割は、新たな知の創造と活用を通じて人類の目標に貢献することといえる。本稿では、このような新しい時代において活躍が期待される技術者の姿、そうした技術者を含む工学系人材育成を担う大学教育のあり方について、私見を述べてみたい。

我が国は、戦後の困窮の時代を克服して既に先進国の仲間入りを果たし、その国土の狭さとは裏腹に、世界の政治経済の中で主要なプレゼンスを示す位置にある。日本のGDPは約500兆

円で、世界の1割強といわれる。少なくともその規模と影響力ではトップランナーの仲間入りを果たしている。一方、我が国の人口は昨年末で1億2,800万人弱、人口統計史上初めて減少に向かい始め、2050年には1億人程度となると予想されている。産業を支える生産年齢人口(15~64歳)は戦後一貫して増加を続けたが、1995年の8,700万人のピーク後、2030年には7,000万人弱、2050年には5,400万人弱(現在より15ポイント低い、対人口比53%程度)と予想される。こうした急速な人口減少は、世代間負担の不均衡など、新たな課題を生む。労働人口が毎年0.5%減少する中で、生産性の向上が求められるが、そのためには技術革新、そして女性や外国人を含め優れた人材の確保が鍵となる。

とはいえ、経済規模だけが国際的に尊敬を集める要素ではないから、縮小社会にも明るい夢を描くことが可能である。狭い国土は広くなり、環境負荷低減に有利なはずである。技術における我が国の活躍は、すでに優れた工業製品を世

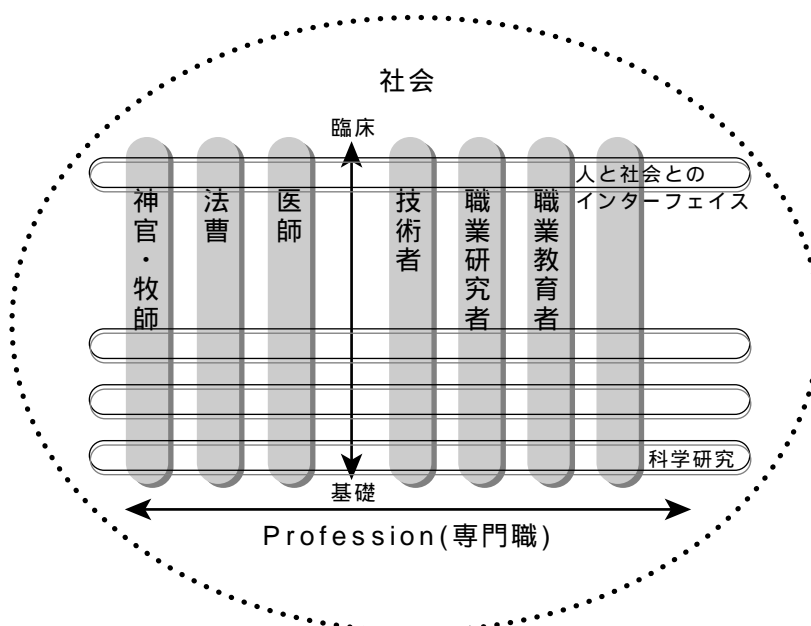
表1 20世紀の20大技術革新(米国工学アカデミーによる)

| | |
|------------|-------------------|
| 1. 電力・電化 | 11. 高速道路 |
| 2. 自動車 | 12. 宇宙船 |
| 3. 航空機 | 13. インターネット |
| 4. 上下水道 | 14. 画像技術 |
| 5. 電子技術 | 15. 家庭用電化製品 |
| 6. ラジオ・テレビ | 16. 医療健康技術 |
| 7. 農業機械化 | 17. 石油・石油化学 |
| 8. コンピュータ | 18. レーザー・光ファイバー技術 |
| 9. 電話・通信 | 19. 原子力技術 |
| 10. 空調・冷凍 | 20. 高性能・高機能材料 |

界に供給してきた実績に裏付けられており、日本製品の省物資、省エネルギー、安全性、高品質・低コストなど、優位性は世界に比類無い。今後は、さらに節約技術、循環技術、文化融合技術など、日本独特の価値観と感性に根ざした技術²⁾にも期待がかかる。日本の伝統文化や環境との調和を重視する思潮が、世界の多くの人々の共感を得ていると聞くことも多い。

つまり、新世紀の我が国においては、イノベーションを通じて、今後他国でも予想される人口減少、高齢化の課題を我が国が率先して克服し、豊かな社会を造る模範を示すことが求められているといえるだろう。こうした時代に鍵となる役割を果たすのが、技術者を含む専門職業人の存在である。

図1 専門職に支えられる知識基盤社会



1 専門職 (profession) とは、高度な知的訓練と技能に基づいて独占的なサービスを提供するとともに、独自の倫理規程に基づいた自律機能を備えている職業とされ、医師、弁護士、会計士、技術士などは世界的にみても専門職と認知されている。法的資格を有しない他の職業人も、社会における役割と責任から、専門職に含めて考える傾向にある。

2. 国を支える専門職業人としての技術者

21世紀の我々が生きる知識基盤社会では、政治、経済、産業、国土、交通、医療、教育、科学など、様々な社会システムをよりスリムで機能的に創造し、これら高度複雑化したシステムを健全に運用、経営する人材としての多様な専門職業人¹⁾が必要である。図1は筆者の考える社会と専門職の関係である。様々な専門職が自律性を持って社会に認知される中で、それぞれの専門職には、基礎科学として知識の体系を形成する役割を有する者から、市民へ具体的なサービスを提供する臨床的な役割を果たす者まで分布している。例えば、大学人は教育者であると同時に、多くの場合研究者でもあるし、工学系では技術者としての役割も有する。個人は複数の職業人としての役割を担うことにもなる。

同時に、多くの場合研究者でもあるし、工学系では技術者としての役割も有する。個人は複数の職業人としての役割を担うことにもなる。

技術者は、社会の活力を生み、人にゆとりを与えるための、高度な科学技術専門知識と豊富な経験を有する専門職業人として位置付けられる³⁾。技術系人材育成は海外でも主要目標となっているが、第3期科学技術基本計画でも「モノ」より「人」をより重視する方向性が強調されている。技術系学協会、日本技術者教育認定機構、経団連においても、新時代に相応しい人材

育成の具体的方法について熱心な議論が継続している。そこには、少子高齢化と理工系離れによる技術者の“数の問題”と、新時代のイノベーションを可能とする人材の“質の問題”が存在する。

日本の高等工学教育を経た技術者人口は、約250万人といわれる。その中には、約40万人の工学研究者、5.6万人の技術士が含まれる。毎年11万人の理工系の卒業生が輩出されるが、そのうち大学院は3割に達しているという。今後も大学院進学率は増加する傾向にあるものの、少子化と若者の理工系離れにより加速する技術者人口の減少が危惧される。その理由の一つは、技術者に対して、努力に見合った十分な社会的評価が与えられていないという事情である。一見難しそうな数学や理科を要し、厳しい競争に曝されながら相応に報われない姿に映る技術者像が、若者にとって自分の人生の有力な選択肢となりにくいことは容易に想像がつく。欧米諸国でも、医師、弁護士、事業家などに比べて技術者の社会的地位は高いとは言えないが、国造りにおいて技術が中核的な役割を果たす我が国では、この問題は特に深刻である。

他方、工学教育の“質の問題”は、新世紀のグローバル社会における技術者に求められる資質の変化に起因している。すなわち、現代の技術者には、俯瞰的な視野や自らの仕事の位置付けを理解する力、そして専門知識を使いこなしてプロジェクトを遂行するためのマネジメント力、チームワーキング力、リーダーシップなどを含む、技術者としてのコンピテンシーとも



PROFILE

笠木伸英
(かさぎ のぶひで 1947年生)
日本学術会議第三部会員、東京
大学教授、王立スウェーデン科
学アカデミー会員、日本機械学
会会長
専門：熱流体工学、エネルギー
システム工学

いえる能力が明示的に求められている。こうした要請に応えるため、専門知識やスキルの教育に留まらず、社会・経済・環境に関わる文脈の中で形成される、21世紀型の工学教育プログラムの構築が望まれている。

3. イノベーション創出人材と教育改革

そもそも、科学技術的な価値を社会経済的な価値に還元するイノベーションを可能とする資質は、どのように育成されるのであろうか。初等教育での体験も重要である。絵を描く、作文を書く、工作をする、こういった自己表現の喜びを、子供の頃から学校でも、家庭でも十分味わわせたいものである。また、多くの人との接点から自他の特質を体験的に理解させ、自己の存在に自信と誇りを持たせ、他者を認める力を養う必要がある。筆者らの少年時代は、エジソンに憧れる好奇心旺盛な子供は多かつたし、不用となったボール紙や木の箱は最高の遊び道具であった。材料を手に、これを使って何が作れるか、胸をときめかしたものである。小学時代は、ものづくり型の遊びや教育がものづくりだけでなく、計画力や実行力などの獲得に効果的という調査結果もある⁴⁾。幼少期のそのような

体験が、創造性や新たなものごとを発想し提案する勇気を涵養すると言える。

さて、視点を変えて、大学における人材育成のあり方について考えてみたい。イノベーションという観点が大学教育にも必要とされており、産業界からも大きな期待が寄せられているが、教育現場での捉え方は一様ではない。そのため、教員の多くに総論的には理解されているが、具体的な話となると意見の分布は大きい。従って、現在まず必要とされることは、少なくとも専攻・学科ごとに教員が教育の理念と目標をきめ細かく設定かつ共有して、それらを教育カリキ

ュラムによって具現化することである。つまり、組織として人材を育成する体制と運営を実現する必要がある。

進学率の増加した大学院教育の改革は喫緊の課題といえる。大学院教育の本質は、講義演習の体系の中で養われる専門知識と応用力、そして未踏分野にチャレンジする様々な研究活動の中で養われる計画力、実践力、マネジメント力などを付与することである。知の創造の観点からは、ものづくりを追いかけた経験知・解明知から、ものづくりを創造する先導知を目指さねばならない。そのためには具体的な出口を意

表2 大学院教育に関する意識比較

| | 大学院前期（修士）課程 | 大学院後期（博士）課程 |
|----------|---|---|
| 企業技術者の評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・基礎学力が不十分、大学の出口管理が不足。 ・問題設定解決能力や創造力など、ものづくりの力に欠ける。 ・コミュニケーション力、チームワーキング力など、技術者として必要な力が育成されていない。 | <ul style="list-style-type: none"> ・専門知識の幅が狭く、可塑性、柔軟性に欠ける。 ・プロジェクトマネジメントなどの経験が不足で、指導力が期待できない。 ・MOT、知財、企業経営など、幅広い理解力が不足。 ・研究室毎に、人材育成の達成度に差がある。 |
| 大学教員の認識 | <ul style="list-style-type: none"> ・企業の修士採用意欲は旺盛で、就職活動が大学院教育を歪めている。優秀な学生が修士で引き抜かれる。 ・学生にもっと勉強をさせたいが、厳しい指導は学生に嫌われる。 ・学生に、自立し、人間関係を築く力が不足している。 | <ul style="list-style-type: none"> ・博士進学者の減少が、大学の研究戦力低下、国の競争力低下を招くことを危惧。 ・博士課程修了者、あるいはポスドクの企業採用は不活発で、修了後のキャリアパスが見えない。 ・企業における博士人材の処遇、活用が不十分。 |
| 学生の意識 | <ul style="list-style-type: none"> ・修士課程で学部時代の勉強不足を補いたい、もう少し大学にいたい。 ・知識が多少不足しても、入社後OJTで補っていきける。 ・修士で就職したほうが、選択の幅が広く、希望の企業に入りやすい。 | <ul style="list-style-type: none"> ・博士課程では経済的自立ができず、社会に独立した大人として認められない。 ・博士の学位を取っても評価されず、企業に就職する場合、修士に対して優位性がない。 ・企業の方針で研究テーマが決められ、自ら設定できない。納得いくまで研究を続けられない。 |

識したパスツール型研究⁵⁾の推進が必要であり、そのような場での若者の鍛錬が重要である。また、学部との関係では、学部は技術者としての基礎固め、つまりPre-engineering、大学院はProfessional SchoolあるいはResearch Schoolと明確に位置付け、それぞれの教育目標を設定すべきであろう。さらに、相互の役割分担の理解を共有する、息の長い産学連携は、社会知識の付与によって大学を強化し、また、そのような環境で育つ人材が産業界でも教育研究機関でも未来の牽引力として期待される。

ここで、最近の試みとして、筆者の関係する東京大学21COE「機械システム・イノベーション」を紹介したい。当該21COEでは、学部からの進学率がすでに85%となった大学院教育の改革に取り組んでいる。一昨年以來、関連企業十数社からの参画を得て懇談会を設置し、具体的かつ可能な改革について継続的に検討してきた。この会の特徴は、当事者である大学院生も含めて議論を進めたことである。表2は、懇談会で表明された産学そして大学院生の意識や見解であり、まずは相互の理解こそが必要であることが浮き彫りになった。

これらから見え隠れする問題は、大学の努力だけで解決できるわけではないが、以下のような改革が取り組まれることとなった。

“各専攻の修士・博士課程での人材育成の理念と教育の達成目標（育成されるべき人材像）を改めて明示し、それらをカリキュラムに具現化する。そして、習得すべき資質や能力が、

どの講義、演習、実験などにおいて養われるのか関連づけて、学生に明示する。産官学界において、専門的研究・開発・経営能力を發揮できる国際的人材の育成を共通理念に置く。博士課程においては、学生個々人の俯瞰的視野、国際環境でのリテラシー、そして研究者・技術者としてのコンピテンシー（個性的競争力）の涵養を目指す。学生が、専門分野のみに偏ることなく、幅広い専門知識を習得し、自らの研究領域以外の研究・技術動向に対する理解力も獲得できるようにする。また、指導教員以外の研究者や技術者の姿勢や価値観に触れる機会を導入し、さらに組織として教育の質を保証する仕組みを構築する。”

加えて、次のような具体的な方策案も検討されている。

- ・修了要件の取得単位数、その内訳としての講義、演習、論文などの配分を見直す。
- ・提供科目を分野別にグループ化して、そのうちの一つを主分野とし、それ以外の分野からも必要数の単位取得を義務づける。なお、科学技術英語、技術倫理、技術経営などの履修を求める。また、科目の履修においては、関連基礎科目の習得を履修条件とする。
- ・専攻横断型のカリキュラム（調査研究、研究発表、輪講など）を提供し、研究室や専攻を超えた学生の研究交流やチームワーキングの機会を与える。
- ・主指導教員、そして専門分野の異なる副指導教員の複数による研究指導制度を可能とする。

- ・博士課程学生を研究アシスタント(RA)として積極的に登用し、その役割を責任をもって果たさせることによって、指導力習得と共に人格的成長を促す。
- ・学生の国際経験を促すため、国際会議発表、短期留学などを資金的援助と共に奨励する。国際リテラシー、コミュニケーション力強化のためのコース提供やトレーニング支援を行う。
- ・産業界、他研究機関でのインターンシップや流動研究員などを奨励する。

このような大学教育の改革がイノベーション創出に繋がるのであろうか、その答えを得るには時間を要しそうだ。

イノベーションは、基礎研究による発見・発明から、技術シーズの育成、資本投入、製品開発、市場の開拓、規制の緩和、普及、サービスなど様々な過程が繋がって初めて可能となる。実際、死の谷、ダーウィンの海とよばれるイノベーションの障壁を越えるためには、経済指標で計られない時間と資本の投入や、規制緩和も必要な場合もある。欧米諸国で、国家目標としての防衛、宇宙開発などで開発された大型技術が民生技術に転用された例は、半導体、航空エンジンなどいくつもある⁶⁾。また、新技術シーズが知られてからも、それが製品として市場に導入されるまで、生産技術や品質管理技術にブレークスルーが達成されるまで、長い時間がかかった例も少なくない。一方、技術としては優れていても、ユーザーにとって過剰技術であったり、市場の成熟度とのミスマッチもあり得る

ので、技術者だけの問題ではないことは明らかである。また、全ての開発過程に目利きでき、すぐにでもベンチャーを始められる人材を大学で専ら育てるということは幻想であり、むしろ技術者のキャリアパスから見れば、年齢と共に経験を経て異なる役割を担うことが自然であろう。従って、イノベーションのプロセスを理解し、研究、開発現場でもそれらを意識しつつ、自分の仕事の位置付けを見いだす力が重要であろう。また、知識体系、製品開発過程、生産技術、市場など、研究開発のどのような既存条件も、それを疑ってみる勇気がなければイノベーションには繋がらない。そのような資質をどのように育てるのかについても、専門分野を越えて継続的な吟味が必要である。

4. むすび

新世紀の我が国で必要とされる工学系人材育成のあり方、そして、国造りや人材育成のビジョンを共有する、具体的目標を明示した教育プログラムへの組織的な取り組みの必要性について述べた。ここで、社会の側での技術者育成と大学における工学教育との、相互連携の重要性を再度指摘しておきたい。

すなわち、工学教育を通じて優れた人材が社会に供給されるためには、まず教育機関は学生に教育課程の達成目標を明示・約束し、学ぶ者と教える者との協働を促すことが肝要である。他方、社会(産業界)は、工学教育の先に位置する専門職としてのキャリアパスを示し、学ぶ者にインセンティブを与え、技術者に誇りと自

信を回復させる努力を急ぐべきである。このように、大学と社会とが相互に連携して活動することで、初めて新世紀において必要とされる人材の育成が図られる。大学教育改革についてはこれまでも熱心に行われてきたが、その成果が十分でなかった一つの原因は、改革の議論が教員だけで行われてきたことであろう。今後は、産業界、そして学生の参加を得て、全てのステークホルダーがビジョンと目標に対する理解を共有しつつ、同じの高さの目線でオープンに、継続的な議論を続けられるかどうか鍵と言える。大学の内なる議論のみならず、開かれた議論の場を目指すべきである。

最後に、技術革新そして人材育成の両者において、クローズド・イノベーションからオープン・イノベーション⁷⁾への方向転換を挙げたい。1970年代の米国大企業は自らの基礎研究部門でシーズを生みだし、その製品化までの一連の研究開発プロセスを組織内で達成していた。しかし、組織内の知のストックが増すにつれ、それらは人と共に流出して、1990年代には組織の外に多くのイノベーションを創出する結果となった。つまり、組織内の垂直統合型リニアモデルから、水平分業ネットワーク型モデルへと変わっていったのである。このようなオープン・イノベーションやオープン・アライアンスが、今後の改革のヒントとなり得るのではないだろうか。イノベーションの長い道程を越えるためには、様々な条件が揃わねばならない。そのため、教育機関で言えば研究室、学科専攻、大学を、産業で言えば部署、企業、業界を超えて協働し

てこそ、人材を育て、新技術を創出することが可能となろう。特に、人材育成においては、多くの人と価値観との出会いを可能とする柔軟な組織や資源分配の制度が幅広く導入される必要もあることも指摘しておきたい。

参考文献

1. National Academy of Engineering, "Greatest Engineering Achievements of the 20th Century," <http://www.nae.edu/>.
2. 月尾嘉男、縮小文明の展望 千年の彼方を目指して、東京大学出版会、2003.
3. 大橋秀雄、これからの技術者、オーム社、2005.
4. 山田康作、子どもの発達とものづくり教育、日本産業技術教育学会誌46-1、2004, pp. 51-54.
5. D. E. Stokes, "Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation," Brookings Institution Press, 1997.
6. 中山恒、技術予測論、日科技連、1998.
7. H. Chesbrough (大前 弘) Open Innovation、産業能率大学出版部、2004.