

[事業報告]

産学の両視点から科学技術の研究と教育の在り方を展望する

森田 廣

山陽小野田市立山口東京理科大学 工学部 電気工学科

Prospecting the ideal state of science and technology research and education from both industry and academia perspectives

Hiroshi MORITA

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sanyo-Onoda City University

要旨

天災や人災が立て続けに人類を襲い、現下の新型コロナ感染症の蔓延に至り、人類は大きな試練の渦中に置かれてしまった。産業は低迷し、土台を支える日本の科学技術の世界での地位が相対的に下がった。国力低下の大きな根源である人口減少を前提とした、日本の競争力を回復する科学技術研究や教育の在り方を今こそ考えなければならない。近年の社会変化の中で科学技術に対する見方も変わった。研究者・技術者は自己の価値観を大切にし、環境や社会に対する強い意識と高い倫理観を有することが必要となった。産業界の変化に伴い採用する人材は即戦力化してきたが、一方で、企業の価値創造を担う技術者が求められている。科学技術や工学に携わる者は、人類の生存や地球環境の維持に、いつそう目を向けなければならない。人口減少に対しては科学技術を駆使して広義の生産性向上の研究を推進し、個人の行動効率化のためには知識科学教育を行うべきである。科学技術の成果を展開するにあたっては、企業で用いている生産性向上やコミュニケーションのツールも役に立つ。イノベーションのためには戦略が必要とされるが、立案には客観的な情報収集・分析と世の中の技術や研究の変化への俊敏な対応が不可欠である。研究資源の8割を企業が有するが、その効率的運用を図る必要があり、自社の得意分野に絞った研究投資を行い、他はオープンイノベーションに委ねることが肝要である。研究費の効率を論ずることは難しいが、研究開発のプロセスを細分化して新たな指標とその分解指標を用いた、きめ細かい管理手法を提案する。効率的な研究には企業連携や産学連携が重要であり、双方の役割を明確にして実行することが成功につながる。教育については、企業の目的志向の幾つかの手法を大学でも活用したい。学びは生涯を通じてのものなので大学では知識よりも学ぶ術を身に着けるようにしたい。学ぶ方法も学生同士が教え合い、意見交換するような形を授業に反映したい。そして、学ぶ熱意を醸成するために、学生は大学の早い時期に将来の夢や目標を見出して欲しい。

Key words: Industry and academia, science and technology, education and research

キーワード: 産学、科学技術、教育と研究

1. まえがき

筆者は37年間の産業界での経験を経て、2011年3月の大震災直後に大学に着任し、教育と研究、運営に携わった。この間、科学技術や工学への期待や希望、挫折や限界を様々な場面で体験した。その都度、“二律背反的なものごとから新たなものを創造しない限り進歩はない”と感じてきた。教育でも研究でも大学運営でも同様であった。企業では、自社利益と社会貢献の狭間で事業を推進し、コスト低減と性能向上を意識して製品開発を行った。技術者・研究者としては科学倫理と企業損益を天秤にかけ、すぐに成果を出す研究と息の長い研究の采配に苦慮した。転じて大学では、学問の厳しさと学生への優しさを使い分け、基礎研究と実用学問の両立、学内と学外との連携に腐心した。均質一律な品質のものづくりを標榜する産業界の現場と、ひとつとして同じものを育てる意識をしない教育現場とは相容れない価値観を有している。アカデミックな世界と産業界とが対比されるべき存在と気づいたのは、双方に身を置いてみた結果である。本稿では、産学両方の現場での体験により得た科学技術研究と工学教育の改善に向けた幾つかの指針について論じたい。

2. めまぐるしい環境・社会の変化

前述のように筆者は震災の翌週に大学に赴任した。震災下では最新技術の多くが役に立たなく、人々は科学技術の無力さを痛感した。地震や津波予知の脆弱さや原子力発電所の事故に対し、多くの知識人達が科学技術や工学に批判的な言葉を連ねた。その後も、「未曾有」という忌まわしい言葉が冠される天災や人災が立て続けに人類を襲い、困難な時代が続いている。各地で続くテロや戦争にも絶望感を抱く中、現下の新型コロナ感染症の蔓延に至り、人類は大きな試練の渦中に置かれてしまった。そして、こうした急激な環境変化以前に、日本の産業界は長期低迷状態に陥り、高度成長期に培った成果の蓄積を取り崩し他国の後塵を拝するようになった。過去、増える人口に依存していた富や国力が相対的に低下し、生産性の悪さが露呈して¹⁾、日本の産業界は構造変化を余儀なくされる状況となった。産業界を支える日本の科学技術研究の地位も相対的に下がってしまった。研究費総額、特許出願件数、博士号取得者数、主要論文件数・論文被引用数等々のデータがそれを裏付けている²⁾。若い世代は必然的に科学技術や工学から離れていく。文部科学省は科学技術、ひいては国力の危機に対して、教育に託す以外ないとし、「学力の三要素」を高大接続改革答申³⁾に示し、教育改革

を推進して産業立国日本を再興しようとしてきた。しかし、時代の変化の方がはるかに速く、迫りくる5G、6Gの時代に対しては「教育の多様性、柔軟性」を基軸とした、不確実としかみえない2040年に向けた方針⁴⁾を打ち出さざるを得ない混沌状況にある。近い将来、新型コロナも科学の力で克服できるであろうが、日本の産業界の低落基調は継続するよう思える。その根源たる人口減少を前提とした、日本の競争力を回復する科学技術研究や新時代の教育のあり方を今こそ考える必要がある。

3. 変化の中の技術経営

3.1 科学技術の役割や技術者の意識の変化

3.1.1 科学技術の役割

科学技術に携わる者には社会的利益のために科学的知識を駆使して「研究」を行い、「教育」により科学資産を次世代へ継承する使命がある⁵⁾。一方、科学の成果を経営に生かす企業は、人間尊重、豊かな価値創造、人類の生活・文化への貢献などを理念やビジョンに掲げ、事業展開を行っている。このような原則に基づく事業活動の中で、企業の研究者・技術者の役割は、(1)社会に必要な商品や技術を提供して利益を生む、(2)環境や安全、コンプライアンスを守って人類の持続的成長に貢献する、のふたつと考えられる。しかし、現実異なる。筆者は永年、企業に在職したが、研究者や技術者の仕事は、企業の利益をもたらすための活動で、具体的には、差異化技術の研究開発、開発効率向上の業務、原価低減活動であった。すなわち、戦後の高度成長期の企業技術者の仕事は、(1)が主で、環境性、安全性、遵法性の意識は従であった。それが近年、人類の持続的発展や地球保護が重視されるようになると、科学技術本来の役割が明確に求められ、(2)の重要性が高まり、技術者の心構えや活動に大きな変化をもたらすようになった。

3.1.2 価値観や倫理観の変化

技術者・研究者の価値観は、金銭、地位、名誉、身分の保証といったものから、仕事の内容、将来性、達成感、知的好奇心に移ってきた。自らの職業や職場を、“高度の欲求が実現できる魅力ある場”として「マズローの五段階説」における高次のものとして求めるようになった。さらに、近年は、研究者・技術者の扱う技術や分野、技術研究段階により世界観・人生観に差があるように思う。これまで企業は技術者や研究者も日本型雇用に基づいた就社を重視し、専門性よりは一律な社員として処遇してきた。それが近年、仕事を特定するジョブ型に変わりつつある。すると、製品

や技術固有の時間軸や研究ステージの違いによる時間感覚の認識が強くなる。筆者の在職した電機業界でも表1に示すような違いがみられた。長期の建設期間を要する社会インフラの重電事業では人材育成に10年を要し、半導体のような日進月歩の先端技術では2～3年で主担当を任せられた。結果、時間意識や生活スタイルにも差が出てくる。関わる分野により異なる世界観・人生観を考慮してこそ人としての技術者・研究者を生かすことができる。

表1. 扱う技術や製品により異なる技術のスピード感

	重電機器	家電製品	半導体・電子部品
製品の形態・技術の特徴	・特定顧客対応 ・インテント製品 ・重厚長大	・コンシューマー市場対応 ・量産製品 ・日常生活感	・特定顧客対応 ・量産製品 ・先端技術性
技術戦略の時間軸	・10年先の技術 ・ビジョン ・長期技術戦略 (5年)	・中長期技術戦略 (3年)	・中期技術戦略 (1-3年)
人材育成	8-10年	3-5年	2-3年

また、昨今は技術者や研究者への倫理観の要請が高まっている。社会生活の中で、科学技術の利用が様々な問題を起こし、原因が技術者や科学者にあることが多い。“スペースシャトル・チャレンジャー号の事故”は技術と経営の狭間で判断に迷う技術責任者の過失として教育教材にも使われたが、類する事故や事件は後を絶たない。企業に在職時のアンケートでも、「会社の収益と、倫理的に正しい行為が両立しない場合、どちらを選択するか」の問いに対し、倫理的に正しい行為と答えた者は3割に留まった。昨今、科学技術の軍事利用の問題がある。科学技術や工学の研究目的は人類文化の発展に寄与することだが、ダイナマイトや核エネルギーの研究等でも明らかなように、ほとんどの研究成果はデュアルユースの特徴を有している。使う側の理性に委ねられている。研究者は自身の研究成果の権利と共に、用途や影響についての責任をも持つべきである。大事なことは教育である。研究倫理を身に着け、正しい判断ができる研究者、技術者を育て、社会に送り出すことこそ大学の重要な使命である。

3.1.3 社会や企業で必要とされる技術人材

かつて企業は競合他社に対する競争優位⁶⁾を達成するために、ポテンシャルのある人材を採用して企業として必要な能力を身につける教育を社内で行う懐の深さがあった。それが、経営環境の悪化に伴って、能力やスキルの向上は自己研鑽に委ね、企業や組織としては“目標を与えてやる気を起こさせる”モチベーションの喚起を重視するようになった。経団連の580社への企業アンケートによれば、近年は“チームの中で協調して問題解決を図る力”が求めら

れている⁷⁾。本学が行った就職先企業への調査結果も図1のように同様であり、求められるものは“即戦力”に変わってきた。大学が真理を探究し、社会人としての素養を育む場としてのみ捉えられていないことに注意喚起しなければならない。



図1. 本学で実施した就職先企業アンケート(2015年)

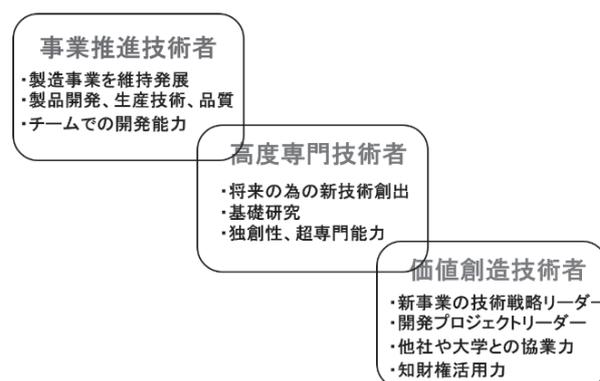


図2. 期待される技術者像(JEITA 調査結果)

上記のように必要な技術者は企業内で育成する方針が主流であった頃は多様な技術者像は無く、筆者が入社した1970年代は、固定化した教育と徒弟制度のような実務訓練が「新人の教育」であった。能力主義、少数精鋭主義、重課主義を基本方針とし、OJT(On the job training)と称する、上長が部下に対して仕事を通じて、必要な知識、技能、問題解決能力および態度について実施する教育訓練を基本としていた。それが、近年、経済や市場の成長が望めなくなると、一律のものから創造性を発揮する多様なマネジメントに変わり、価値創造できる人材が求められるようになった。現在の産業界が期待する技術者像を、筆者も参加した産業協会の調査結果から引用する。当該産業分野(フラットパネルディスプレイ)の事業を行う国内企業15社を調査し、結果をまとめた⁸⁾。詳細は省略するが、結果のエッセンスを図2に示す。期待する技術系人材像は、「事業推進技術者」、「高度専門技術者」、「価値創造技術者」の3

カテゴリーに分けられ、有効な複層的な人材育成策が望まれると結論した。この3種の技術者・研究者を確保してこそ先端技術企業が生き残ることができるとしたが、近年の産業界トップや人事担当の発言からも、この必要な人材像は業界を横断して現代の企業に求められている。

3.2 社会の課題解決へ科学技術の果たす役割

3.2.1 自然災害やエネルギー、環境問題

現在、大きく問われている人類の課題は「環境保全」、「経済成長」と「エネルギー需給安定化」のバランスである。人類の消費エネルギーの源泉である、石炭、石油、天然ガスが、環境への影響を問われている。「IPCC第6次評価報告書」⁹⁾によれば、地球温暖化の原因は人類が排出したCO₂によるとの確証が高い。地球上では環境破壊の様々な現象、異常気象による災害、生態系の崩れによる動植物の生存危機等が起きている。こうした問題に、科学技術の知恵を結集して対処していかなければならない。本学も各教員の研究テーマをSDGsの項目に対比させ、ホームページに掲載しているが、国としての強い支援を望みたい。

3.2.2 人口減少と科学技術

日本の人口は2008年をピークに減少を続けている。かつての日本は人口ボーナス効果¹⁾により世界でも注目される成長を生み出したが、人口減少が国力低下を引き起こし、少子化や高齢化は社会停滞をもたらした。戦後の高度成長期は生産性向上に努めた成果が出たが、バブル崩壊後の“失われた20年”に生産性の停滞が露呈した¹⁾。GDPは生産性と人口に比例するが、一人当たりのGDPが低いのは生産性に問題があることを示している。対策には、まず、製造現場の効率化や業務の機械化、電子化、IoT、AIを活用した効率化がある。企業も大学も省力や生産力を上げるための研究を推進し教育を行うべきである。さらに、人

員やコスト削減効果にとどまらない、付加価値の創造を目指すことが必要であり、筆者は人的生産性を向上させることが重要であると考え。行動様式を改め、自らをイノベーションすることである。筆者は「デザイン工学」の講義の中で、効率的にものごとを進める考え方とツールを学生に教授している¹⁰⁾。人口減少に対する活動指針として、生産性の向上を工学技術の力で成し遂げることと、効率的にものごとを考え、生産性を意識して行動する知識科学の知恵の習得を高等教育の行動基準にして欲しいと願う。但し、生産性・効率化を追求するあまり、人間性や個性まで損なってはならない。

3.2.3 地方創生の原動力としての科学技術

文部科学省による「地(知)の拠点大学による地方創生推進事業制度(COC、COC+)」が導入され、大学は自治体と一体となって地方創生を推進し、若者の地域定着を目指せと言われ続けている。地方創生には地方に人を呼び込むことが第一歩で、そのためには地方に魅力がなければならない。住みよい環境、子育ての便宜、働ける場の創出である。工学や科学技術の力で改善できる部分も多い。筆者も本学での取り組みを進めたが、当時、作成した方針を図3に示す。学内では、地域課題を教育に取り入れ、グループで主体的に考える科目、「地域技術学」¹¹⁾「地域社会学」¹²⁾を始めた。従来から開講の「地域産業論」でも、地元産業界や教育界から講師を招いて実学授業を行った。JABEE審査の指摘を受け、工学部各学科で10年ほど前から開始した、“必ずしも解が一つでない課題に対して、種々の学問・技術を活用して、実現可能な解を見つけ出して行くこと”を学ぶ「デザイン工学」¹⁰⁾も、昨今の高等教育改革にある「チームワークによる学習」、「社会とのつながりを学習に取り入れる」に合致し、卒業研究へつながる役割を果たしている(図4)。卒業研究についても、毎年10~20件を地域課題に関係する研究テーマに選び、支援研究費を補填して奨励した。成果はポスターにまとめ、市立図書館や市役所で公開し支持を得た。こうした姿勢は大学に対する理解を生み、様々な技術相談も大学研究室に持ち

山口東京理科大学の特徴を生かした、新たなCOCの役割を
目指した体制作り “COC事業の3つの柱”

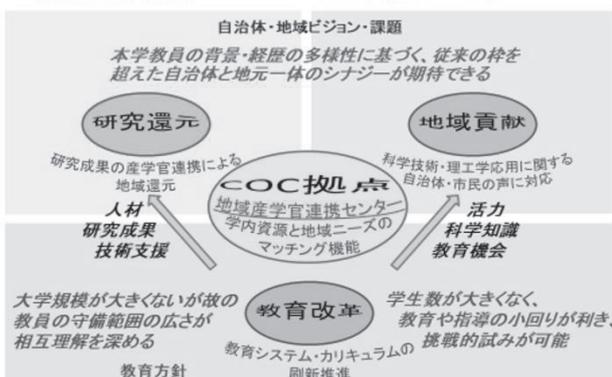


図3. 本学 COC活動の構図(2013年)

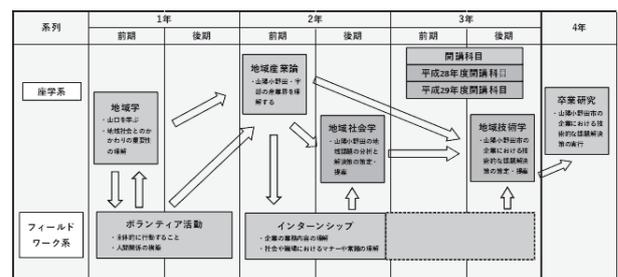


図4. 地域関連科目の体系化

込まれるようになった。本学の地元との活動は緒に就いたばかりだが、工学と薬学の力で地域の発展を推し進められたらと願う。

4 研究開発の刷新

4.1 戦略性

4.1.1 戦略策定の基本プロセス

近年の日本の研究での遅れや工業製品や技術分野での凋落の要因として戦略の欠如や不備があると感じざるを得ない。戦略について論ずる。まず戦略策定には、次の一連のステップが重要である。①実現したいビジョンを明確化し、②世の中や競争相手の動向を考慮した外部環境を把握し、③自らを客観的にみて内部資源の評価を行い、④総合的に分析して、⑤意思決定を行い、⑥それを明確な目的として掲げ、⑦実行すべき行動を作るまでの計画のステップ、⑧行動の実行、⑨結果の評価を行いながら、繰り返すプロセスが戦略の実践ステップである。図5のように図示され、実行する上で大事なことは、調査・分析の徹底と正しい判断である。外部環境分析や内部資源分析が十分なされないままに戦略構築のステップに入る実態が技術開発や研究の分野で多々ある。

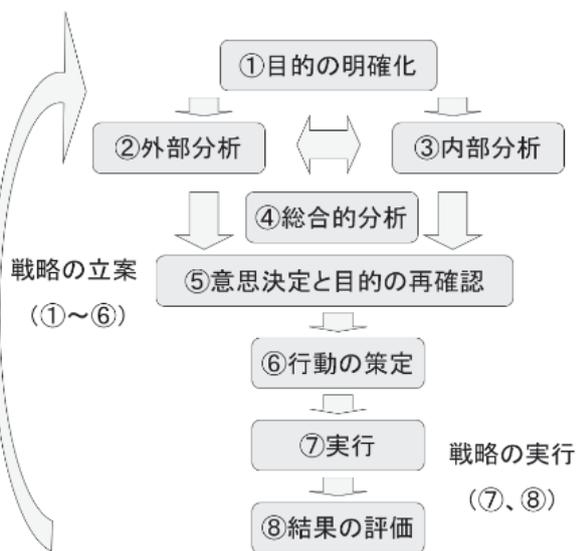


図5. 戦略の策定から実行のステップ

4.1.2 戦略策定の前提「己を知る」

「孫子」の兵法に“敵を知り己を知れば百戦危うからず”とある。これが戦略の基本である(図5)。まず、己を知る、すなわち「内部分析」について。一橋大学の沼上は著書¹³⁾の中で戦略の行動原理を述べ、「企業が健全な利益を得るために競争を回避することは重要であるが、競争の

多様なメリットにも目を向けて戦略を築くべきだ。ライバルの存在がもたらす効果は大きい」と言っている。競争は科学技術の世界での進歩や進化をもたらす原動力であり、競争者それぞれが独自性を発揮して異なるアプローチで競争すれば、生まれるものの価値はより大きいものになる。大事なことは、「独創性」や「異なるアプローチ」である。研究においては、自社や自身の能力要素をあげつらい、得意技を有する、新しいアイデアがあるといったものについて勝負すべきである。勝てない部分は他者や外部に委ねればよい。これがオープンイノベーションである。手元の限られた資源を選択したアイテムに特化して戦う戦略こそ、科学技術の開発や研究に望まれており、まずは内部能力の的確な把握が肝要である。

4.1.3 戦略策定の前提「敵を知る」

次は敵を知る、「外部分析」である。当該分野を含む研究や技術開発環境の動向把握が技術戦略立案の前提になる。研究者や技術者は自身の研究の動向については論文誌や学会発表の最新情報から察知しているが、アンテナを研究環境にまで広げなければならない。自分野の研究や技術開発の大外の動きを見る視点が往々にして欠ける。ここからさらに業界動向や競合他者の情報を得て分析することが必要である。詳細は専門書に譲るが、3C分析や時系列マップ、SWOT分析は、非常に有用な手法である。現在では、ビッグデータを基にしたAIを駆使した予測も可能である。以上は大きな組織では研究企画部門やスタッフが行うが、研究者や技術者も情報を日々、把握しておくべきである。また、技術者や研究者は、実務の渦中にあるとき、対象の姿を忘れがちである。扱う技術開発や研究の成果である製品や部品、システム、場合によっては研究そのもののアーキテクチャを見逃さないようにしなければならない。例えば、研究が工業製品に結びつくものであれば図6のようなスキーム¹⁴⁾を心得ておく戦略に道筋が

- ①モジュラー(組み合わせ)型: 部品の接合部が標準化していて、部品を寄せ集めれば多様な製品ができる。
- ②インテグラル(摺り合わせ)型: 部品設計を相互調整して、部品毎に最適設計しないと製品全体の性能が出ない。

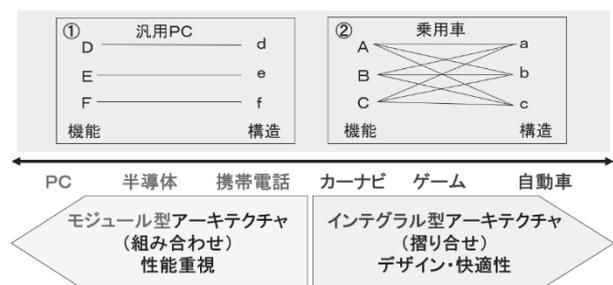


図6. 製品アーキテクチャを見逃すな

立つ。自動車に代表される、部品と製品との関係が摺り合わせに基づくようなインテグラル型では、相互調整して、部品毎に最適設計しないと製品全体の性能が出ないので、開発研究者といえども材料や部品の吟味からスタートする。他方、パソコンのような部品の組み合わせで製作できるモジュラー型は標準化された部品を集めれば多様な製品を作り上げることができるので、製品やシステムの姿から着手すればよい。

4.1.4 戦略転換を感じる感性

図7は技術の転換期を示したS字カーブである。技術の成熟途上にあり、カーブが上昇過程にあるときは技術者・研究者は成長に貢献する。成長微係数が小さくなり頂点に近づくとときに意識の転換、戦略の転換ができず、一気に悲哀をみるケースが多々ある。第2、第3の技術の出現を感度良く察知するには、神経を研ぎ澄ますしかない、このような状況に身を置き続けた、インテルの会長であったグローブは述べている¹⁵⁾。

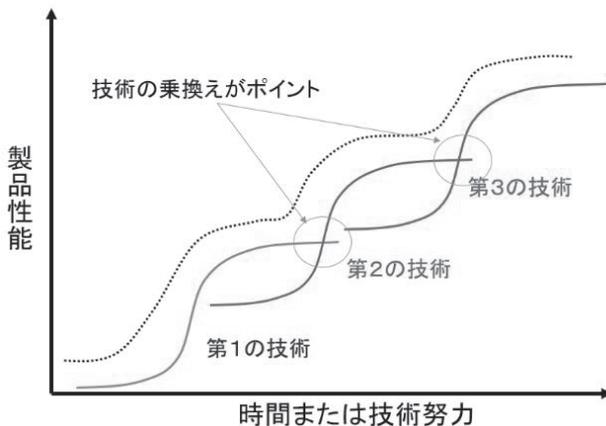


図7. 戦略的な判断が必要なとき

4.2 研究資源と効率的運用

4.2.1 研究費の実態

研究開発における資源は「研究者」「研究費」「研究設備」「研究情報」である。研究者に関わる費用も人件費の名目で研究費の内数とし、設備の原価償却費も研究費の中で扱うことが多いので、「研究費」を中心に考える。2020年度の科学技術研究費の国内総生産(GDP)に対する比率は3.59%、総額は19兆円を超えている¹⁶⁾。研究主体では企業が72.1%、大学等が19.1%の内訳となっている。支出源では民間が82.0%、国・地方公共団体が17.5%である。次に、研究費をGDP比で他国と比べる。UNESCOによれば、2020年のデータ¹⁷⁾では、日本の3%台の数字は、イスラエル、韓国の5%前後を除けばスウェーデン、ベル

ギー、米国、オーストリア、ドイツと同等で、中国やフランスが2%台で続く。日本の研究開発投資は決して少なくない。

筆者は産業界の半導体やディスプレイの分野にあつて、国全体としてみれば、研究費が、多重投資される実態を目の当たりにしてきた。同一の研究開発目的のために同業他社で多くの研究費が並行して費やされていた。国の研究費の8割近くが企業の研究費であるが、企業任せである。儲かるとなれば多数の企業が同じ研究を多額の研究費と技術者を投入して同時に行う。競争を進歩の源泉とする社会構造からは当然であるが、大局的には自社の得意分野に絞った研究投資に限り、他は他者に委ねるべきである。

4.2.2 研究効率の悪さ

日本の科学技術成果の産業への寄与効率の悪さをMOTの有識者たちは、画期的な技術も研究開発の過程で断絶が生じ、製品につながらない技術のデスバレー現象にあるとしている。さらに、一連の過程における、トップのリーダーシップ、コンセプト創造力、部門横断的統合の弱さをあげている。帰結として筆者が結論付けるのは、研究と製品開発との技術統合力やコミュニケーションの不足、製品開発部門の客先ニーズ把握の不足、研究部門のコンセプト明確化の欠如である。そもそも原因の根幹を成す、研究や技術開発のプロセスの円滑性や無駄を排す効率性の意識が希薄だからだと考える。大学など教育の場では効率や生産性に重きを置き過ぎてはいけないが、業務の遂行や資源の活用においては心得ておかねばならない。筆者も企業では常識であったものが大学では概念すらないことが多々あった。一例に「AAR (After Action Review)」や「DR (Design Review)」があり、企業では同じ失敗を繰り返す無駄の排除や転ばぬ先の杖として重んじた。「AAR」は仕事や物事が終わった後、必ず、関係者で反省を行い、次の機会の行動指針を共有して生かすことであり、「DR」は様々なプロセスの途中に関門を設けて関係者で先に進めても良いかを判断することである。筆者はこれらを大学での業務や研究にも取り入れ、意識改革させて頂いた。大学では定理や公式を学生に「必ず解が出る」として教える。しかし、世の中には一筋縄で完遂できることはほとんどない。今や、学生は世に出て解の無い問題に取り組みかねばならないのである。

4.2.3 企業版研究投資効果のマクロ的考え方

企業で用いる「労働生産性」は一人当たりの事業付加価値をいう。同様に、「研究開発生産性」は“研究者一人当たりの研究成果付加価値または投下研究費当たりの研究成果付加価値”といえるが、具体化となると難しい。ここで

は簡便に把握でき、利用されているものを取りあげる。研究投資効率(営業利益÷研究費) vs. 研究売上高比率(研究費÷売上高)であらわす、ある種のポジショニング指標がある。この定義の「研究投資効率」は投資した研究費に対して事業活動で得られた利益の大きさを表し、1よりも大きいことが投資の成功を意味する。「研究売上高比率」はよく用いる指標で、同業態で同程度となり、最先端技術分野では高い数字となる。図8は産業業種別の、図9は電機事業の中での各セグメントのポジションをプロットした例を示す。ある時期に各業種や事業の代表的企業のIR情報から概略作成した。図10は、ポジションに応じた事業の戦略である。電機業界は研究費投資率が高い割に利益が薄く、筆者の携わったフラットパネルディスプレイ事業ではその傾向が顕著であった。電機事業も細分化すると社会インフラや重電は良いポジションにあるが、半導体、デジタルメディア機器、パソコン、家電については定期的に先行研究投資を行える状況になく、様子を見ながら戦略的に投下する状況にある。先行きが見えない状況では半導体のように研究売上高比率を大きくとらなければ事業維持ができない業態は厳しい。事業経営としては市場でのプレイヤーの集約化、研究開発としては、利益率の向上に向けた研究資源の効率的集中しかない。各社総花的な事業展開をやめ、勝てる戦略を描ける分野に研究資源を特化し、中長期的に勝てる技術を生み出せる研究に意志を持って投資することである。

なお、上記議論は時間軸のパラメーターを無視したもののだが、現実には研究開発投資とリターンとの間には時間的ギャップがある。製品化サイクルの長短や時間の遅れに差があるため、例えば研究開発～上市のリードタイムに5期を要する場合、5期間での投資とその後の5期間での利益を

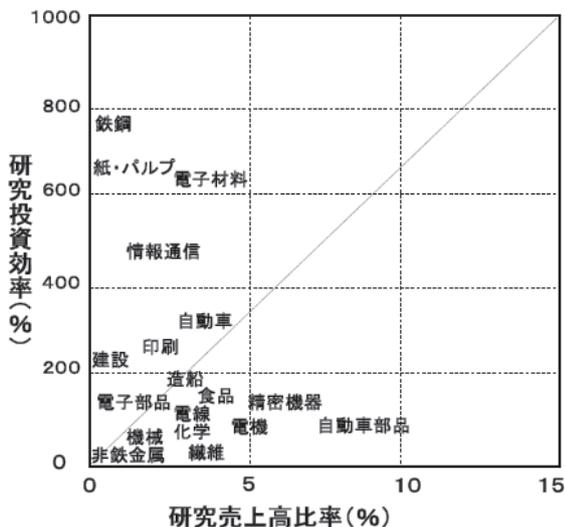


図8. 研究投資効率 vs, 研究売上高比率(業種別)

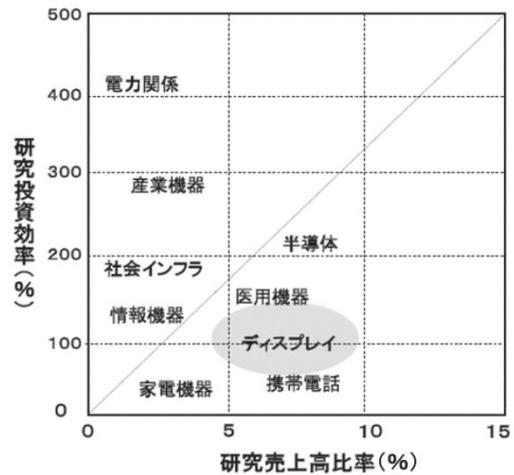


図9. 研究投資効率 vs, 研究売上高比率 (電機事業の中での各事業セグメント別)

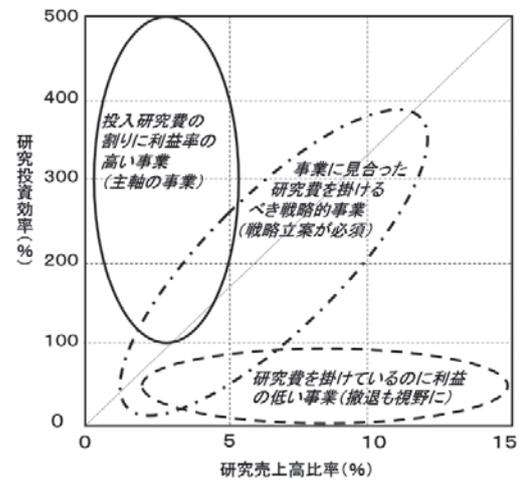


図10. 関係図でのポジションに応じた事業戦略

比較すると、「研究投資効率」、「研究売上高比率」は各々、次のようになる。

研究投資効率=5期間の営業利益÷その前5期間の研究費、研究売上高比率=5期間の研究費÷その後5期間の売上高

4.2.4 研究開発ステップとミクロ的効率

前項のマクロ指標は、事業活動の結果を大まかに表すもので、肝心の研究開発プロセス中の生産性、効率性にまでは言及できない。この点の改善について論じる。まず、研究開発のステップを量産品の例について図11に示す。[アイデア段階]→[コンセプト化]→[フィージビリティスタディ]→[研究開発]→[初期商品化]→[量産]と表すことができる。研究費の発生は試作に始まり、量産試作までである。この研究費に対する量産後の売上高と利益がマクロ指標であるが、研究開発の効率を細かくみることはでき

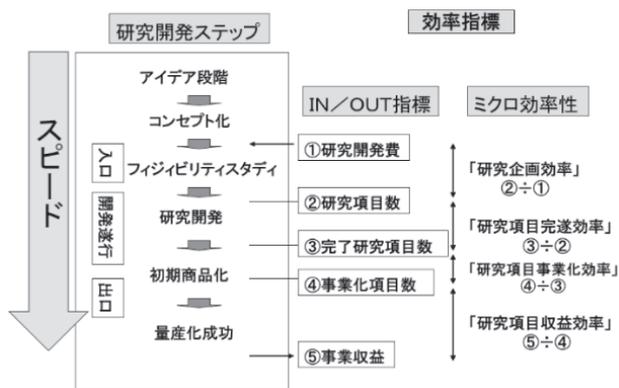


図11. 正しい研究開発効率の考え方

ない。そこで、ミクロ的な視点に立ち、研究開発で価値を生み出す連鎖を構成する各ステップを考える。ステップ毎のインプットに対するアウトプットの比率で各ステップの効率が表示され、これがミクロ指標である。マクロ指標をもとに、研究開発ステップに基づいてマクロ指標の定義式を分解する。

・事業の研究開発効率

＝事業価値の増加／研究開発投資
 ＝ Σ 事業収益／ Σ 研究開発費
 ＝(研究項目数／研究開発費) * (完了研究項目数／研究項目数) * (事業化項目数／完了研究項目数) * (事業収益／事業化項目数)

＝研究企画効率*研究完遂効率*事業化効率*収益効率

この式で、各項の意味は次の通りである。

- ・研究企画効率；研究費当たりの選定研究項目数
- ・研究項目完遂効率；着手項目に対する開発完了率
- ・研究項目事業化効率；研究開発結果の事業化割合
- ・研究項目収益効率；事業化項目当たりの収益性

4つのミクロ効率指標はそれぞれ、研究開発プロセスの入口から出口までの流れに沿った各ステップの事業寄与を示す。テーマに応じた時間軸で4つのミクロ効率指標を管理することで研究開発全体の効率管理・評価を行うことができる。

以上、企業においては、目指す企業価値の増加を営業利益の増出と考えることでマクロ的に評価できる。しかし、大学となると話はかわる。科学研究における評価として一般化されているものは、研究の「量」としての「論文数」、研究の「質」としての「論文あたりの被引用数」等である。しかも、成果を論文発表しない分野やできない場合もあり、実際には8割程度をこの対象にして残りは自由度をもたせるというのが、最近のアカデミック・イノベーション・マネジメ

ントの考え方である。

4.3 組織間の研究開発連携

4.3.1 連携の必要性

日本の多くの企業が競って優秀な人材を採り、中央研究所を作って高度成長の牽引車に仕立て上げたのは昭和30年代であった。その後、研究開発のあるべき姿が議論され、開発段階の時間軸に沿った社内研究開発組織の階層化や目的成果志向による組織間の壁を取り払った研究PJの導入など変遷をたどって今日に至っている。しかし、あくまでも企業や研究所組織内のできごとであった。研究開発の壁を取り払い、世界中の英知を集めての研究開発や製品化が行われるようになったのは日本ではつい最近のことである。人材も流動化し、会社の壁を越えて仕事を行い、産学官の連携の下に研究開発が推進される例も多くなった。それでも既に述べたようにまだまだ多くの会社が同じようなテーマを抱え、人材不足に悩んでいる。研究者、技術者はいっそう、企業や組織を超えたところに目標や価値を見出し、世の中で補完しあって研究開発を進めていかなければならない。技術を囲い込んで他者の参入を防ぐ考え方が高じると研究もガラパゴス化する。研究開発のオープン化は偏った判断を退ける効果も有り、率先して進めるべきである。

4.3.2 企業間の連携

企業間連携は双方が利益を究極の目的にしているのだから分かりやすい。自社に不足している技術の部分の補いながら製品や事業の完成を早期に目指すところに価値を見出す。筆者は、無駄な競争をなくし、国レベルで研究開発資源を有効に使うことを主張するが、同業での技術連携は独占禁止法とか談合問題とか自由競争に対する微妙な境界が存在するので気をつけなければならない。科学者は勝算の無い分野だったら手をささず、未踏で成果を上げる可能性が残された領域に能力を費やす。一方、企業の技術者は、事業の成功要因の一端を担う存在なので、多くの競争相手がいても、最終的に事業としてのものになる可能性が残っていれば、遅れても着手する。各々が得意分野を行えばよいという主張は個別の最適化しか求めないかつての競争論理の前には成り立たなかった。しかし、経済的に厳しい今日、競争の美德とか効率を阻む正義とかで協働の機会を失ってはならず、企業連携を節度と良識をもって積極的に行うべきである。

4.3.3 学官のクローズアップされる役割

現実には、企業の利益追求型の連携には社会性や将来

性、全体観を見る余裕が無いことも事実である。状況を是正し、効率を求めた研究開発を統率主導するのは渦中の産業界の企業には荷が重すぎ、「学・官」の役割である。学官の公共性・説明責任に対して企業は秘密保持・囲い込みを主張する。反面、苦境に陥ると重要な技術資産を他の企業等に移転し目先の資金に換えてしまう。これまでは企業の力が相対的に勝っていたので企業寄りの相互理解とバランス運営にプロジェクトや協働活動の推進役は腐心してきた。しかし、今や、企業の主張を説き伏せてでも学官の正論を通さなければならない場面が多々ある。

4.3.4 大学の研究

経済的余裕が無くなり、企業での緊急ではない研究が排除されると、大学への研究委託が浮上、企業での研究を大学が担うスキームができあがった。大学ファンド制度などにより資金力の乏しい日本の大学を支援する動きはあるが、寄付文化の盛んな米英に比べると原資に事欠く。多くの理系大学では少ない研究費の拡充を、厳しい大学運営費や科研費等の国庫の競争的資金に求めるだけでは不十分である。不足分を外部資金に求めるので、社会や企業に従属する傾向が強まり、大学も実学に偏重しがちになる。本学は理学部系ではない工学部と基礎医学的な性格ではない薬学部の実学中心の小さな大学である。筆者自身も大学で研究全体を統括する立場にあったときは、世の中に見える形で役に立つ研究をして研究費の獲得額を高めなければならないとしたが、現実には基礎的な研究を行っている教員もおり、教育審議会でも外部の識者から基礎研究と実用研究のバランスを促されたこともあり苦慮した。真理探究と実学を両立しながらの経営は難しいが大学の根幹をなすべき理念に違いないので、運営する立場にあるものは均衡を保つ努力を怠ってはならない。

4.3.5 協働を円滑に進める要諦

組織間や集団で社会や産業の課題を解決するために科学技術の成果を展開するにあたっては、個人間、組織間でのバランスに配慮しなければならない。異なったもの同士が同じ舞台上上がり、互いの立場を尊重しあいながら協働するところから、さらに突っ込んで“煮えたぎる鍋”の中のような議論や活動を行いながら、今までに無かった成果を創造するのである。筆者が企業で成果を上げ、大学でも活用した管理手法、「バランス・スコアカード(BSC)」がある¹⁸⁾。これは複眼的視野で経営を考え、バランスをとる統合的、戦略的手法で、欧米や多数の日本企業が導入している。在職した企業で、経営のみならず研究開発にも活用した。この経験をもとに、大学の経営はもとより、教育・研

究管理に導入を試みた。企業とは使命を異にする大学にあつては、手法を簡略化して適用した。「戦略マップ」「ドリルダウンツリー」を基に、「BSC表」を作成し、計画化した「アクションプラン」を実行した活動の詳細は本学の紀要に示した¹⁸⁾。“いつまでに誰が何を行うか”という、社会では常識でも大学では不慣れな管理手法が教職員の理解と協力のもと、一定の期間を経て功を奏するようになった。「BSC」は関係者の合意の下、共通目標に向かって進める羅針盤である。さらに企業での経験を踏まえて、筆者は学部長、学長時代に毎週、「業務週報」を発行して学内関係者に配布した。企業では“ほうれんそう(報告・連絡・相談)”という言葉を使い、コミュニケーションの大切さを社員に意識付けていた。「週報」は組織で仕事を行う上でのコミュニケーションツールであり、月、週、日とタイミングは業務に合わせ、定期的に情報を共有するためのものである。筆者の研究室で実施した「研究週報」は、毎週のゼミと並んで研究遂行上でも大変役立った。研究、技術開発の中でメンバーや関係者間の情報共有を円滑化する手段を持つことは大切である。

4.4 研究成果に加えて

4.4.1 研究成果

研究者にとっての研究成果は、実験、観察、調査などを通して調べた、物事についての事実あるいは真理を追求した一連の結果であり、論文にまとめ、学会などで発表して公表するものである。これが企業の研究成果となると、企業目的達成のための手段として扱われ、新規技術や新製品として世の中に出ることとなる。科学技術や工学の研究は人類や社会の役に立つものと筆者は捉えているが、役に立つまでの時間には制限をつけられない。基礎研究が時間の定まらない性格であるのに対して企業での研究はそれが明確になっており、新技術や新製品が何よりも成果である。これに加えて、研究開発の帰結として忘れてならないものに「国際標準化」と「特許」がある。

4.4.2 標準化・国際標準化

新技術や新製品を世に出すにあたり、設計や製造に関わる「標準化」が不可欠となる。製品や部品を作る側は標準化することにより、コストや製造、技術継承からのメリットが大きい。標準化は汎用化につながり差異化とは裏腹の関係にあるが、他者との違いを訴求したい部品や機能で差を示し、それ以外の部分は汎用品を用いればよい。社内から業界へ、国内から国際的へと標準化の動きが広がり、今や研究成果の製品化には標準化の壁を避けて通れない。さらに、近年は、製品、技術の囲い込みを国家的に

推進する、国際標準化が熱を帯びている。自国に有利な規格や仕様を国際的に認めさせることが国際市場での優位性につながる。多くの産業で各国がこの活動にしのぎを削っており、電機業界でも各社、推進組織をつくり、活動を展開し、製品開発の目的のひとつに位置づけた。標準化を戦略的に活用する方法としては、川下製品、川上部品、自社不得意領域、インターフェース部分などを標準化し、自社のコア技術領域は標準化から遠ざけておくことが肝心である。即ち、有利な競争をするために自分のもっとも得意とするところの差別化をはかり、そうではないところでは勝負を避けるということである。

4.4.3 特許

もうひとつの研究開発成果の帰結が「特許」である。企業において特許は研究・技術活動の成果として高く評価されている。特許提案を奨励し、定期的に発掘会議や提案検討会を開催して、実用的な権利取得を目指し、外国出願も戦略的に行っている。多くの研究開発投資により新製品を開発しても知的財産権の取得を逃したために事業撤退を余儀なくさせられ、製品化や研究の継続を断念するケースもある。技術成果を守るには知的財産権の取得が不可欠である。諸外国において有力な権利を取得することは、これを武器（ライセンス収入、クロスライセンス等の手段）として海外戦略を展開する意図がある。また、特許権には研究者や技術者の成果の証としての意味もある。特許の先行取得により、栄誉や権利が主張できる。保有する知的財産の質と量は企業の技術力、研究者や技術者の社会的評価につながる。プロパテント時代の波に乗り遅れないようにしなければならない。最近では大学でも、研究成果の社会実装を通じた社会的・経済的価値の創出に向けて権利化が重要である。国際標準化と特許で裏打ちされた研究開発成果である技術、商品こそが次の時代を担うことができる。

5. 科学技術教育の在り方

5.1 企業や実社会での実務教育からの教訓

企業における教育は第3章で述べたように社業達成のためとの明確な目標がある。会社の売上や利益目標、中期的な経営目標に沿った人材の育成につながるよう、技術者や研究者にはキャリアシートが準備され、管理職になるまでの育成計画が示される。その上で、「必要なときに必要な人に必要な教育を行う」「テーラーメイド教育」が実施される。企業活動の要諦は“保有する資源を最大限活用して、最大の成果を生む”ことであるので、属するひとひとり

の価値を高める必要がある。大学教育とは目的が異なるが、大学時代に何かに目覚め、集中して知識や技術を習得するには企業教育の手法は効果的である。企業の教育に座学は少なくOJTが多いが、さらにローテーション教育とか資格取得、インセンティブ付与、メンター制度（本学では類似のものあり）といった通常は大学にない手法がある。これらについても有効性を検討しながら大学でも採り入れていくと良い。筆者は企業に在職し、新入社員の専門知識の優秀さに感心したが、反面、周辺の学問や知識に疎いため、設計した製品が使い勝手が悪かったり、環境への悪影響や品質事故をもたらしたりするのを目の当たりにしてきた。大学教育が悪いのかと思ったものの、自身が教員として大学に移ると、既に大学では遅いと感じた。出前授業等で高校生に接する機会もあったが、そこでも既に知識偏重の兆しがある。さらに前の義務教育や家庭教育までさかのぼらないと根源は断ち切れないと思った。入試や社会の学歴による人間評価等、反省点も浮かび上がるが、まずは幼児期からの教育環境の重要性を悟った。地元の小学校に赴き、科学実験を行って見せたときの彼らの目の輝きが忘れられない。子供の理科嫌いの責任は大人達にあると痛感した。IT環境の進歩とともにバーチャルな教育が導入されてきているが、企業で筆者が最初に教えられたことは「3現主義（現場で現物を見て現実を知る）」であった。それが、VRやインターネット上の仮想空間が教育の世界でも活用され始め、人との接触が感染症の原因とする現下のコロナ禍ではいっそう難しくなった。直接、人やものに接することが物事の客観的理解の第一歩であり、分析や推論の前提である。大学生も「3現主義」の片鱗を体験して世に出て欲しい。実務家教員による授業、社会や企業での体験学習、インターンシップを活用して欲しい。

5.2 大学とは何か、学ぶ場はどこにある

筆者は学長拝命時、学位記授与式で、「めでたい式にはふさわしくない表現であるが、たかが大学卒業、人生の通過点に過ぎず、本当の意味での大学はこれから行く社会の組織であり場所である、身の回りの人たちを師と思い、学び続け、いつの日かそこを卒業しなさい」と述べてきた。根底には筆者自身の経験がある。半世紀前に大学を卒業し、優秀でもなければ勤勉な学生でもなく、卒業とは名ばかりで、仕事に就いた途端から何もわからず面喰らったのを思い出すと、古希を超えた今でも、冷や汗が出る。社会に出てから多くの方々から仕事を通じて知識や技術を学んだ。昼間聞いたことが分からないのが悔しくて、仕事の帰りに専門書を買って求め、徹夜して読んだことが数えきれないほどあった。必要に迫られて必死に身に着けたものこ

それが本物の知識だと今にして思う。世の中には事情により大学で学ぶことのできない人が大勢いる。80億人といわれる人類からすれば、大学で学ぶ恵まれた人はほんの少数である。したがって、知識を身に着け自分を高めるところを大学と呼ぶのなら、多くの人にとっての大学とは自分のいる場所であり、組織であり、会社であり、家庭であり、社会そのものである。ひとりひとりが属する社会の組織を大学と思ひ、いつか、そこを卒業するつもりで励もうというのが筆者の持論であり、教育の原点である。もちろん、大学はその教育のファシリティを社会教育にも開放し、リカレント教育や生涯教育を社会構造に取り込む手助けをしなければならないし、企業の生産性を高め、個人の働き方改革を支援するためのリスクリングにも協力しなければならない。今、人生100年時代¹⁹⁾という声をよく耳にするが、新しいステージに向けた備えを怠ってはならない。

5.3 大学では何を学ぶべきか

前項で筆者は卒業時の話を引用したが、転じて入学式の式辞では毎回、ケルケゴールの「野鴨の話」を伝え、学ぶべきは、即効性のある知識(餌)ではなく人生をかけて学ぶ術(餌の取り方)であると語りかけてきた。そして、教養、リベラルアーツこそ専門の教育と並んで重要である。なぜならば、これからの研究対象や仕事はひとつの学問領域に捕らわれない学際的なものとなり、様々な価値観や視点を持てることが重要であるからだ。教師もひとつの信念で教育を行わなければならない。「青は藍より出でて藍よりも青し、氷、水之を成すが水よりも寒し」の荀子の言葉を引用し、教師は学生を自らよりも優れた人材に育てる熱意を持って欲しいと鼓舞したい。教育方法も重要である。オールラウンドな学生はほとんどいない。多くの学生は科目の得手不得手がある。科目ごとの出来不出来の個人差は当然である。解決するには習熟度別の少人数教育しかないが、教員数も限られる中では、多数の学生に対するきめ細かいフォローをしなければならない。ひとつのヒントとして、学生同士が教え合い、意見交換する場を取り込んだ、筆者も担当した「デザイン工学」や「地域技術学」の授業形態がある。もちろん、筆者の所属した電気工学科の電気工学実験やコンピュータ科目の演習では以前から同様の取り組みを行っているが、「地域技術学」では、工学部各学科横断的な講座で、実務家教員がファシリテーターとなり、学科を超えたグループ構成で、時には社会人も交えたグループワークを行うことで互いに触発し教えあう理想的な場が創り出せた。このような授業が増えることを望みたい。

5.4 学ぶ情熱の源泉は目標を持つこと

研究には基礎研究のような“無用の用”を掲げるものもあるが、教育には必ず目的が存在する。幼少期の教育は人間として社会で生きるために必要なことを身に着けることであり、企業での教育は企業目標達成のための手段としての個人や組織の能力向上にある。大学や高等教育機関で学ぶ目標が定かでない学生は学ぶ熱意が希薄になる。その結果、授業に出てこなくなり退学する学生もあり、筆者もその都度、胸が痛んだ。ボタンの掛け違えに気づき、進路変更することは肯定的にとらえ支援すべきだが、積極的な動機が無くドロップアウトしてしまう学生を多く見てきた。成人に達する頃には進むべき方向が決まっていることを期待したい。日々の勉学に身が入るし、自ら学ぶ姿勢が生まれてくる。目標は意欲につながる。異文化と接する機会もなく必要も感じない学生に外国語の習得を促すことは難しいが、近々、留学するとか、外国人と交渉せざるをえない状況になれば自ずと態度は変わる。可能ならば大学に進む段階で、遅くとも大学1、2年の頃には漠然とでも将来の目標を描いて欲しい。入学オリエンテーションや1年前期に開講の「キャリア基礎」ではそう話してきた。難しい点は、20歳前後で進路を決めても、心の変遷や環境で変化が起こるのは特別なことではないことである。それも可である。長い人生でのやり直しや修正は時に必要であり、臨機応変性や柔軟性も持たなければならない。

6. おわりに

人類の継続的な繁栄のためには科学技術や工学の進歩が欠かせない。短期的な実用研究と長期的な基礎研究にバランスよく投資することが国家の役割である。研究対象については、人類の生存を脅かす危機に直面している環境・エネルギー・医療分野の対策にもっと研究資源を割くべきではないかと思う。資源を効率的に用いるためには、戦略的に計画実行し、大学や国の研究機関と産業界は連携、補完し合うべきである。企業と大学の双方に籍を置いて感じたことは、互いの役割の明確な認識が希薄なことと互いの特性を尊重した協働ができていないことである。利益を追求する企業も教育研究に崇高な目標を有する大学も社会の持続的繁栄や人の幸せを目的とする共通基盤があるのだから背反するものがあっても協働や融合が可能である。人口減少は国力の低下を生じ、少子化や高齢化は社会の停滞をもたらす。抗するには、生産性の向上しかない。人口減少はどこかで食い止めなければならないが、生産性の向上を科学技術や工学の力で成し遂げることが課せられた使命である。大学では機械の自動化や大量情報

の分析を駆使して省力や生産力を上げるための教育や研究を推進することである。さらに、ひとりひとりが効率的に行動する必要がある。生産性とは、製造現場の効率化や業務の機械化、電子化、IoTを活用した利便性向上といった外的機能活用に関することばかりではない。知識科学に基づいて、行動様式を改め、自らをイノベートすることが重要である。効率的にものごとを考え、生産性を意識して行動する知識科学の知恵の習得を今後の人口減少に対する活動指針として、高等教育の世界でも行動基準に位置付けて欲しいと願う。

本稿は、工学の知識を生業とする産業界、大学工学部での教育研究という狭い社会での筆者の拙い経験から考察したものであり、異なる分野ではまた違った考え方があると思う。是非、それぞれの専門家には新たな提言を示していただきたい。

参考文献

1. デービット・アトキンソン：新・所得倍増論，東洋経済新報社，2016.
2. 文部科学省 科学技術・学術政策研究所：科学技術指標2022，2022年8月.
3. 中央教育審議会：新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について—すべての若者が夢や目標を芽吹かせ、未来に花開かせるために—（答申），2014年12月22日.
4. 中央教育審議会：2040年に向けた高等教育のグランドデザイン（答申），2018年11月26日.
5. 日本学術会議：科学者の行動規範（暫定版），2013年1月25日.
6. M.E.ポーター（著），土岐坤（訳）：競争優位の戦略—いかに高業績を持続させるか，ダイヤモンド社，1985年12月1日.
7. (社)日本経済団体連合会教育問題委員会：産業界の求める人材像と大学教育への期待に関するアンケート結果，2011年1月18日.
8. JEITAディスプレイデバイス運営委員会人材育成タスクフォース：技術者育成と技術蓄積の仕組みへの取り組み，JEITA，2005年12月16日.
9. 環境省：気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書（AR6），2021年8月.
10. 森田廣：デザイン工学の教育手法と模擬実践教育，山陽小野田市立山口東京理科大学紀要，3，pp57-63，2020.
11. 森田廣，金田和博，貴島孝雄，大嶋伸明，吉村敏彦，池上啓太：“地域技術学”の試行とその効果・課題，山陽小野田市立山口東京理科大学紀要，3，pp65-71，2020.
12. 中村洋：地域社会学におけるフィールドワーク実施報告，山陽小野田市立山口東京理科大学紀要，4，pp73-75，2021.
13. 沼上幹：経営戦略の思考法，日本経済新聞出版社，2009年10月23日.
14. 藤本隆宏：ものづくり経営学—製造業を超える生産思想，光文社新書，2007年3月1日.
15. アンドリュー・S. グローブ（著），佐々木かをり（訳）：インテル戦略転換，七賢出版，1997年11月1日.
16. 総務省統計局：2021年（令和3年）科学技術研究調査の結果，総務省ホームページ，2021年12月17日.
17. グローバルノート - 国際統計・国別統計専門サイト：世界の研究開発費対GDP比 国別ランキング・推移（UNESCO），2022年8月5日.
18. 森田廣：アクションプランとKPI管理による大学の業務改革 -大学経営へのBSC（バランス・スコアカード）的手法の導入，山陽小野田市立山口東京理科大学紀要，1，pp83-91，2018.
19. リンダ グラットン，アンドリュー スコット（著），池村千秋（訳）：LIFE SHIFT（ライフ・シフト），東洋経済新報社，2016年11月3日.