

## これからの工学教育についての一提言

### [定量的,決定論的方法の偏重からの脱却と定性的方法]

A Proposal Regarding Future Engineering Education

= Moving Away from an Emphasis on Quantitative and Deterministic Approaches with Qualitative Way =

菊地 隆<sup>1)</sup>

Atsuhsi Kikuchi

1) 数値解析開発株式会社 (〒195-0072 東京都町田市金井6丁目, E-mail:kikuchi.atsuhs@job.zaq.jp)

In this presentation, I would like to describe some of the problems in science and technology education in Japan, especially in engineering, and to offer some suggestions on how to solve these problems. Recently, the so-called decline in national power has been seen in reality. On the other hand, the world as a whole is in the midst of the “age of science and technology”, whether directly or indirectly. It can be said that technology, regardless of the existence or non-existence of various problems and merits or demerits, has permeated and been shared by the masses as a result. Against this background, we believe that the starting point for Japan to become a technological power lies in education. Therefore, I would like to make a specific proposal mainly from the perspective of engineering. Although the consideration should include elementary and high school education, the reality is that there is a big barrier which is entrance examinations, especially for universities and technical colleges. Then it is hard to imagine that the system and its contents will change anytime soon. By other words, the barrier of the examination system is basically the so-called “○-×” system, which is knowledge-oriented. The fundamental aim of this proposal is to shift the emphasis from knowledge to heightened intellectual curiosity. A balance and collaboration between quantitative and qualitative approaches are proposed.

**Key Words :** Engineering education, University curriculum, Quantitative and qualitative approaches

#### 1. はじめに

本発表では、我が国における科学技術、とくに工学の教育に関しての問題点とその解決のための方法についての一提案について述べる。最初に、タイトルに書いた‘定量的・決定論的’な教育の方法やシステムからの脱却について誤解なきよう説明を加えておく。ここでの‘脱却’は、決して定量的や決定論的なことに注力しないという事ではない。むしろ定量的な理解や決定論的な解釈についてその背景や意義をしっかりと理解し活かしていくように、それらに偏重し過渡に依存したりすることのないようにという趣旨である。

いわゆる戦後（あるいは戦前からでも）、資源の少ない我が国は“技術立国”でなくてはいけないとわれ、いまでもそれは基本的には変わっていないと思う。しかし、最近は所謂、国力の低下が実態的にも現れてきている。一方、世界全体は直接・間接に関わらず”科学技術の時代“の真っただ中にあると言え、種々の問題点の有無や功罪はともかくも、結果的に大衆に浸透し共有されていると言える。このような背景において、我が国が技術立国であるための原点はやはり教育にあると考える。特に、工学 (or/and 技術) は、必ずしも「科学」を基盤として成立しているわけではなく、むしろ科学の発展の原動力にもなり得る<sup>(1)</sup>ともいえることから、具体的な提言としては主に工学の視点から述

べたい。本来は、初等教育から高校教育までも含めた考察をすべきであるが、実態は受験、特に大学・高専入試という大きな壁があり、そのシステムおよび中身としてもすぐに変わるとはとても思えない。戦後の教育としては生き抜くためや経済の発展のための‘道具・手段’として有無を言わざず押し付けてきた傾向があるし、学ぶ側もそういうものだと信じて従順し、現在でも基本的にはその域から脱し切れていないのではと思う。その結果が現行の‘受験システム’であるとも言えるかもしれない。すなわち受験システムの壁とは、基本的には知識偏重のいわゆる○×式ではと考える。本提案の根本的な狙いは、知識偏重から知的好奇心の高揚化への転換である。

本発表の構成は、先ずは科学技術全般について自分の考え方の必然性のために時代の背景について考え、そして科学技術の一般化、すなわち正しく大衆に受け入れられるべく、特に‘専門’の問題点について述べ、そのうえで大学教育などでの具体的な提案について述べる。

#### 2. 科学技術時代の背景について

必然性は説得性をもつ、という考え方の基、時代の背景について考えてみる。ある著書（残念ながら引用先を失念したが…）によると古代の時代は情念の時代でそこから宗教の時代に移ると書いてある。そこで、著者は思いを馳せ

て,大括り的には,宗教の時代→産業の時代→経済の時代という推移ではと考えた.もちろん夫々はかなりの期間が互いに重なり合ってはいる.そして現代は,もしかすると経済の時代の終焉時期であり,核の問題やIT,AIに代表される情報技術の発展,医療技術の進歩そして環境問題等々から基本的には科学技術の時代であると言えると思う.しかし,「科学技術が大衆にもたらす明白な恩恵と,大衆が科学技術に対して示す関心との間にある不均衡があまりにも大きい・・・科学に対するしかるべき(大衆の)感謝の欠如・・・」という指摘<sup>[2]</sup>があるが,まさに的を射た意見であり,科学技術が一般大衆にほぼ正しく理解されていないまま使用されていると考えてよい.

### 3. 科学技術が正しく理解されるために

科学技術という視点から,あまり適切な言葉でないかもしれないが'一般大衆'に対しては'専門・専門家'という言葉が浮かぶ.しかし,この専門という言葉は本発表の趣旨からは大きな障害になるのではと危惧する.すなわち専門という表現の裏には,'囲い込み」「疎外」「自己優越」「逃避(専門家を利用する立場の人の)」「無用な嫌悪や忌避」等が感じられ,先ずはここをどのように変えていくべきか,変えるための方策を考えなくてはならない.この'専門'に関しては「現在の教育プロセスは専門分化を進めるための存在」<sup>[3]</sup>とか「'専門主義'の野蛮性」<sup>[2]</sup>とかその弊害や方向性への疑問を指摘している例もある.この'専門(家)'と'一般大衆'との関係についての重要性は,具体的で身近な例として,福島の原発の事故,コロナのパンデミックへの対処,直近のAIの話題などからも十分認識される.科学技術が'大衆'に正しく理解されるためには,先ずは専門家側がその専門的な内容を'聞き手の言葉'で語れるようにしなくてはいけないと思う.しかし,これはおそらく容易なことではないし相手の立場(言葉)を先ずは自分が理解できているかも問題になるかもしないことは想像に難くないが,実現に向けて努力すべき重要なことと思う.大衆の正しい理解が進むことにより,結果的に社会としての人材も含む科学技術への投資が円滑に進むことも期待できる.なお,以上述べたことは現在の各専門自体に弊害がありやめるべきという趣旨ではない.

### 4. 工学教育に関する一提言

前述の背景を基に,冒頭に述べたように工学の視点から具体的にどうすべきかについて提言したい.

#### 4.1 対象者と狙い

冒頭でも触れたが,対象は,本来初等教育からということもあり得る.しかし,初等過程では幼児教育のような「学ぶ楽しさ」や「知識を得る楽しさ」の継続的発展も必須であり,本主張を短絡的に幼児や小学低学年にまですぐ及ぼすことには慎重を期すべきであろう.対象を絞るとすれば(内容によっては中学からもあるが)高校生からかも

しれない.しかし高校生には先述の様に'受験システム'という巨大な壁がある.よって現実としては,大学初期にもう一度'学びなおし'をしてもらうしかないと考える.すなわち,本提言の対象者は具体的には,大学・高専の初期としたい.狙いは,冒頭に述べたような戦後教育の「生き抜くための道具(術)としての知識」はまずは教えるとして,'興味と知的好奇心に強く訴える教育内容と教え方'つまり'知的好奇心に基づいた学ぶことへの動機付け'である.つまり,知識偏重から'創造・創出'へ切り替えていくためである.スローガン的には,AINシュタインの言葉を借りて「Imagination is more important than knowledge」とでもいえるかもしれない.

#### 4.2 “教え方”の工夫

大学でカリキュラムを変えることはかなり難しいということをよく先生方から耳にする.であれば,私の提案は'教え方'を変えてみては,という事である.前述の創造・創出の趣旨から,好奇心やチャレンジ精神の高揚化が必要となり,いわば「思考をする権利と選択肢およびその時間」を与えることになるのではと思う.解りやすく,かつやや具体的に述べると,先ずは'真実・事実'を示して,例えば法則や原理・定理などについてはその前提や背景の解説を省いて安易に押し付けるようなことをしない.さらに例を挙げれば「数学・物理を分けずに同時進行で教える」<sup>[4]</sup>等も考えられる.ただし実際に,しかもより客観的に行うとすると容易なことではないのではと認識はしている.もちろん,このような趣旨で大学の先生方は今でも様々な工夫をされて実行しているとは思うが,あくまで推測ではあるが,基本的には学部の後期で(つまり,既に“専門”を志している学生に対して)行っているのではと思う.文科省も当然ながら創造性の重要性は認識しており例えば高等学校学習指導要領<sup>[5]</sup>などでも触れてはいる.しかし,その中身自体は既存の延長上での組み換えの域を出ていないような気がする.

#### 4.3 教え方の工夫; '定量的・決定論的'提示と'定性的解説'のバランスとコラボレーション

前述の狙いの実現のために,教え方の工夫することを提言したが,さらにその'教え方'が工学全般に共通的,基盤的に適用され,かついくらかでも実現出来ていくことを期待して標題の提言をしたい.ここで,'決定論'という言葉も入れたのは,いわゆる法則や原理などは,当然ながら常に定量的に表現されているわけでもなし定量化できていないことも多々あるので誤解を避けるためにあえて入れている.また,バランスやコラボレーションの意味は,定量化や決定論をおろそかにしない・・・どころか,逆に定量的,決定論的なことをより'活き活き'とあるいは'心地よく'理解し納得するために,という趣旨である.この定量的・定性的ということに関して,カタストロフ理論を創出したルネ・トム(René Frédéric Thom)の象徴的な言葉を紹介する.彼は,その著書<sup>[6]</sup>の(日本語翻訳版への言葉の)なかで「現象がどのようにして起こるかを記述することだけが

重要ではないと思います。…（中略）…それよりも重要なのは、現象がどうしてそのように起こるかを理解することです」と述べて、さらに[定性的か定量的か]という標題章の本文の中で「科学とくに物理学において‘定性的’という言葉を使うときには、軽蔑的な響きがある。…（中略）…しかし、次の例を考えてほしい」として、Fig. 1 のような図を掲げ、「量的に正確な  $\theta_1$  よりも、実験曲線  $\theta$  と同じ挙動を示す曲線を導く理論  $\theta_2$  の方が、現象の背後にあるメカニズムについてより多くのことを明らかにできると考えられる」と述べかつて「日常にもっとも必要なのは常に定性的結論であって…」とまで述べている。この図例は、少々極端ではあるとは思うが、重要な示唆を与えてくれている。ここで、再度‘決定論’ということについて考えてみる。前述のように論理の解説はいつでも定量的に表わせるわけではないということもあるが、いわゆる三段論法的に「 $A = B$ ,  $B = C$  ゆえに  $A = C$  である」というような記述の仕方も含むことを意味する。また、定性的という言葉には、”質“の意味も含んでいることも重要な点である。すなわち、定量的（決定論的）なことを解説（定性的）するのみならず、その背景や意義、つまりその‘質’にも言及することを意味している。

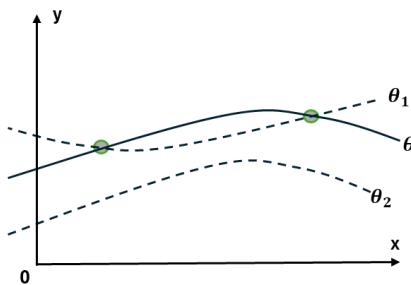


Fig 1. Overview of quantitative and qualitative by René Frédéric Thom

さらに、本提言を以下に具体例をもって説明したい。ただし、あくまでも例でありすべてに通じるとは限らないことはご容赦願いたい。先ずは、「フックの法則」を挙げてみる。ChatGPTによれば「物体が弾性範囲内で変形する際、変形の大きさ（伸びや縮み）は、その物体に加わる力に比例する」という法則」と出る。前述の「戦後教育の立場」では、これで十分であり答えとしておそらく満点に近い。しかし、本標題の趣旨の立場、すなわち‘知的好奇心の高揚化’から言えば、ある学生は「数学では単なる一次（比例）関数に過ぎないのに”フックの法則”と固有の名前がついている意味は？」というような疑問を持つかもしれない。また、真実を語るという意味からは、「実現象として見かけ上比例である場合」というような解説をすべきかもしれない。あるいは、式自体には”法則”と名がついているが、実は試験の結果や経験則として成り立っている、というような解説も重要なことではと思う。さらに、これを契機に“材料にはいろいろなものがあるその挙動も様々である”と材

料のことについて広く言及することはさらに好ましいかもしれない。説明が特異点にならないように、他の例も考えてみる。やや性格の違う「数学・物理」の例として”ガウスの発散定理“というのを上げてみると、例えば「内部と表面の関係を結合する数学的表現」とでも言えるかもしれない。もう一つの例として、やや難しいが”テンソル“などは定性的な解説を併用すればもっと興味を持つてもらえるかもしれない。ただし、特に数学などの場合には法則とか定理がすべて定性的な意味を持つとは限らないし、背景となる定説がはっきりしない場合もあると思う。いずれにせよ、大変難儀なことは思うが誤解されないような配慮は必要と思う。

## 5. 実行時に懸念される主たる問題点について

以上の提言をいざ実行しようとしても、様々な課題や問題点に遭遇するであろうことは想像に難くない。そこで、予想される主たる問題点を推測しその対処の方向について述べる。

### 5.1 科学（サイエンス）と技術（テクノロジー）の関係について

ここまで、工学の視点で…と述べてきたが、上述の定性的な解説の際には、おそらく、（工学の出口としての）‘技術’と基礎・基盤としての‘科学’の両方に触れざるを得ない場面は多々起こり得ると容易に想像できる。教育のシステムとしては、ほとんどはいわゆる理学系と工学系に分かれているのが現状であると思う。しかし、本提言の趣旨からは、実際に教える場面では所属部門に関わらず科学と技術の両者の視点で教えることが望まれる（もちろん、必要に応じて…ではあるが）。少々余談気味になるが、科学が技術と（しかも政治…つまり‘大衆’とも）直接的に結合して世に大きなインパクトを与えた例としては、物理学者オッペンハイマーが関与した所謂「マンハッタン計画（つまり‘原爆’）」ではないかと思う。この例自体は極端な例であるし、これ以上触れないでおく。しかし、このような、いわゆる（純粹？）科学が技術を介してあるいは融合して世にインパクトを与えることは日常いくらでも起こり得る。科学（サイエンス）が真実を明らかにし技（“テクノロジー”）は現実に対処するとでも表現するとすれば、一般大衆に科学技術を正しく理解してもらうためには両者は常に相互の関係を無視してはいけないし互いに尊重しなくてはいけないと思う。ただし、日常的には、両者は、各々が携わる現場では相互交流を頻繁に行う必要はないであろうし、事実、理学部と工学部そして各々の延長上で職業は成り立っている。がしかし、これから時代の科学技術の教育において（つまり具体的には大学初期などでは）、その両者の関係を必ず解説し教示することが強く望まれる。つまり、サイエンスが中心の学部では、教科内容の「現実性あるいは世に出るための実現性とそのための必要な‘技術（工学）’に触れること、一方、工学中心の学部では‘その教科内容’の背景にある真理や根本的仕組

みなどに必ず触れることが望まれる。気づいた具体例を挙げてみると、例示が適切か否か不確かではあるが、「フックの法則vs材料微細組織」「ボイルシャールvsファンデルワールス」「エネルギー保存則vs非可逆過程」etc.などである。

### 5.2 言葉や表現の重要性

科学技術に対して大衆に正しい理解を得るために留意すべきことに‘言葉の表現’がある。よって、これまで述べた‘定量的’なことについての‘定性的’な解説に関する言葉や表現の方法も非常に重要と考える。藏本はその著書<sup>[8]</sup>の中で「科学的に知ることは“知ること”の全体の一部でしかない」と言っている。つまり、これまで述べてきたことに対して置き換えて言えば‘定量的に知ったことは‘知るべきことの全体’の一部でしかない’とも言える。つまり、本当に‘知ってもらう’ためには、言葉自体はもちろんその表現にも十分な配慮が必要となることを示唆している。その意味から、“専門家同士だけでの議論”的結果生まれた言葉、これは大変多いのではとおもうが、これを先ずは見直し、あるいは表現の仕方を変えることが重要ではと強く思う。例として、私が疑問や違和感を感じて、気づいた範囲では（狭い分野でランダムではあるが…個人名付の用語はおいておき…）‘仮想仕事の原理’‘物質座標’‘有限変形’‘行列式と行列’‘仕事、エネルギー（定義？）’‘空間’‘固体、物体、物質、材料’‘塑性・粘弹性’‘降伏’‘応力測定’…等々、その違和感の理由まではここでは触れないでおくが、他にも一般性としては適切でない言葉は非常に多いのではと思う。また、原理や法則という言葉は‘例外ではなく絶対的である…’という印象を与えがちになるので慎重に使用すべきと思う。これらを‘専門分野では日常用語と定義が違います’とやや説教的に改まって延々と説明せざるを得ないことは本趣旨からは好ましくないことになる。もちろん、再整理は多々必要であるし、今改めるのは様々な弊害があると思われる。しかし放つておくこともできないであろう。世に知ってもらうのであれば‘知らない方が悪い…’では済まされないし、少なくとも定性的な解説を相手の言葉で語れるように努力をすべきと思う。

### 5.3 ‘定量的’と‘定性的’の効果的サイクル

前述の様に狙いが‘知的好奇心に基づいた学ぶことへの動機付け’であること、そして、定性的な解説は定量的なアプローチをおろそかにすることではなく、むしろ、定量的内容を納得して理解するためであること、これらを加味して教育現場での実際のアクションをイメージすると（やや抽象的な図示ではあるが）Fig.2の様に、夫々のフェーズを繰り返しなら、いわゆるスパイラルアップを図っていくことになるのではと予想される。

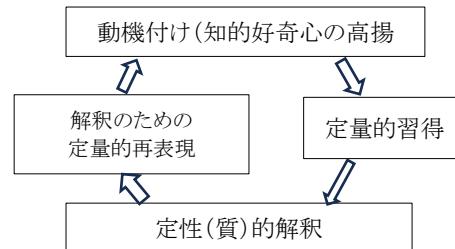


Fig.2 ‘定量的’と‘定性的(質)’の‘スパイラルアップ’

## 6. 結言

筆者は、いわゆる教鞭をとったことはなく、企業内社員教育を経験した程度である。しかし、社会人になった以降も含め“学ぶ立場”は経験しているわけだが、その間に、納得できなかったこと、理解できなかったこと、誤解してきたこと、もちろん、理解し納得して爽快に感じたことも含め、それらを振り返り、かつ自分の努力不足も加味しながら、できるだけ客観的に考察したうえで提言したつもりである。しかし、説明のために掲げた種々の例が、果たして各々の該当の部分を代表しているか否か、はなはだ心配であり、この点はみなさと議論して充実させていきたいと思う。なお、本学会の計算工学は現象 자체をシミュレートするという面もあり、既存の分化した学問を横断し、基礎から実現象までも把握しなくてはいけない立場にある。その点からも、本発表で提起した課題には、先ずは本学会関係の皆さんのが率先して取り組んでいただくことを期待したい。

## 参考文献

- [1] ヘンリー・ペトロスキ：エンジニアリングの真髄，安原和見 訳、筑摩書房、2014.
- [2] オルテガ：大衆の反逆、桑名一博 訳、白水社、pp123-133, pp156-163, 1991.
- [3] ジェレミー・リフキン：エントロピーの法則、竹内均 訳、祥伝社、pp245-265, 1982.
- [4] 菊地 隆：実現象と数理のバランスを常にとる教育方法の提案、計算工学講演会論文集、Vol.25, 2020.
- [5] 文部科学省、高等学校学習指導要領 解説、(H30年告示[数学編,理数編])
- [6] ルネ・トム：構造安定性と形態形成（原書第2版），（彌永昌吉、宇敷重広 訳）、岩波書店、ppV-VI, pp1-8, 1980.
- [7] ポアンカレ：科学の価値、吉田洋一 訳、岩波書店、1977.
- [8] 藏本由紀：新しい自然学-非線形科学の可能性、岩波書店、pp23-26