

〔大阪体育大学紀要
第22巻(1991) pp.157-167〕

工学の哲学的基礎づけをめざして

齊藤了文

91年3月31日受付

Toward philosophical grounding of engineering

Norifumi SAITO

In this paper I want to pick up and clarify the features of engineering. Contrasting to the science, engineering, synthesizing many levels of knowledge, treats complex systems. These complex systems are large and include some unknown parts.

These features have some philosophical implications. Because of the complexity it is very difficult to understand their justifications (e.g. four-color problem). Engineering have many levels of knowledge with some unknown parts, so engineering investigations tend to be indifferent toward 'the truth'. It is important that explanatory consistency may not be needed in engineering.

But when treating complex systems (our ordinary world is one of them), we must behave ourselves like an engineer. If not, we are not rational in our world, even if we have 'the truth' and we can talk consistently.

この小論で目指していることは、工学、つまり工学的な研究の特徴を明確にし、そこに含まれている基本的な考えを解明することである。

そのために、(1)「工学」ということで一般的にどのような理解が行われているかを概観し、この小論の視点を設定する。そして次に、(2)科学などと対比することによって、工学の特徴を取り出すことにする。最後に、(3)このような工学的な視点が、どのような意味をもつかを見ることにする。

この考察は試論であり、工学の詳細な内容の吟味や考察すべき哲学的論点もまだ多く残っている。しかし、「資源の有限性」という制約もあるので、この小論では、いくつかの論点の提示で満足することにした。

(1) 工学はどのようなものだと理解されているか

まず、工学についての次のような主張の理解から始めることにしよう。

「工学とは何か、工学と理学との違いは何か、といった問題は種々論ぜられているが、ここでは次のごとく考えることにする。

理学とは、自然界の法則を明らかにすることを目的とする学問で、人間社会とのつながりは少なくとも第1次的な目標ではない。自然科学の中で、最も純粋な形の学問といってもよいであろう。

これに対し、工学とは自然科学的な方法をもって自然と人間社会とを結びつける学問であって、その目標が長期的である場合には理学に近い基礎的なものとなるが、目標が短期的な場合には直接実用につながる。いずれにしても結局はその成果を人間社会に役立たせることを目標とする。したがって、学問的方法と

しては理学におけるほとんどすべての方法を用いることになるが、何か、社会につながる目標を実現するために最も有効な形に自然科学的手段を整理しようとする傾向があり、それが理学に対して工学の特徴とするものを生んでいる。

工学の特徴を明確に抽出することは極めて難しいが、工学は常に目標を設定して、それを実現するために設計をする学問であるといういい方で、その特徴を現すことができよう。もちろん、この場合の設計とは、きわめて広い意味である。¹⁾

ここでは、まず理学(科学)が、「自然界の法則を明らかにすることを目的とする学問である」のに対して、工学は、1.「自然科学的な方法を用いる」2.「自然と人間社会とを結びつける」3.「設計して実現する」学問であると述べられている。

このそれぞれの論点をもうすこし敷衍して、この小論で考察する問題点を限定する。

1. 自然科学的な方法を用いるということは、常識的な言い方では「科学を応用する」と言ってもいいであろう²⁾。

西欧においては、科学と技術は異なる伝統をもっていった。そして、それが結びついていわゆる「応用」科学となるのは、19世紀になってのことである³⁾。

そのような流れを受けて、この小論では、科学と結びついた技術として「工学」を理解した上で、工学者の基本的な考え方はどのようなものであるか、を明らかにしたい。(そのため、いわゆる技術論とは、少し観点を異にする。)そして、概念を明確にするためには、常に対比すべきものが必要である。それで、ここでは、自然科学と工学を対比する。しかし、もちろん、両者が全く異質であることを前提しているのではない⁴⁾。科学の成果を利用し、応用していると言われるときに、ここでいう「応用」にはどの程度の意義または独自性があるかを見ておきたい。それによって、工学的試みに独自の学問性が見つかるであろう⁵⁾。

従って、この小論で「工学」を扱おうとするときには、技術—技能という側面をあまり重視しないことにする。つまり、人間の能力としての「わざ」といった「人間」に焦点を当てた考察は、ここでは差し控える⁶⁾。

2. 自然と人間社会とを結びつけるということは、

工学には目的や価値が入り込むということである。

もちろんこの論点は工学において一つの重要な論点である。そして、工学者の社会的責任を強調することも行われている⁷⁾。

しかし、社会を強調しすぎることによって、工学の実質的内容的な吟味が行われないならば、工学独特の考え方は見失われてしまうであろう。つまり、すべての学問は人間がつくったものである限りは社会との結びつきを必ずもっている。従って、必要条件の一つを強調しすぎることは、工学的思考の特徴を探る上であまり有利な方法とはならないであろう。

また更に、ここで「工学」として問題にしようとしていることは、工業製品や工場での生産ラインではない。これらのものを扱う場合には、労働や商品や経済というタームが重要になり、社会との結びつきが特に重要になる。例えば、社会の福祉という目的を基準として、合理性が判定されることになるであろう⁸⁾。しかし、この小論で問題にしようとする「工学」とは、いわば工学研究者、技術者の立場から見た、ある種の学問としての工学である。この点を強調した工学の合理性を追求したい。

3. 設計して実現するという事は、具体的なものを制作するという工学の特徴を示している。

これは、科学が普遍性のある法則を発見しようとしているのと、まさに対比されるような方向を工学がめざしていることを示している。この論点を更に追求することが、以下の考察の中心になる。例えば、ここで考えなければならないことは、科学における実験と工学の設計や制作は同じ役割を果たしているかということである。このあたりの問題を明確にすることによって工学の特性を示したい。

こうして取り出された1. 科学を応用する、2. 目的や価値との結びつき、3. 具体的なものを制作する、といった3つの特徴をさらに解明することによって、この小論では、工学という独自の学問にとって、このような特徴がどのような意義をもっているか考察していきたい。

つまり、この小論では、工学には学問としての合理性の根拠はどこにあるかを探ろうとしている。それが科学の法則に依存しているか、つまり科学の法則に対する大規模な例題を解いているだけにすぎないのか、

というのが、そこでの一つの典型的な問題である。

(2) 工学の特徴

工学研究の基礎にある考え方を探究していこう。もちろん工学のみがもち、他のどのような学問ももたない特徴を取り出そうとするのではない。(このようなものは本当に存在しうるのだろうか。) そうではなくて、工学において特に強調されている考え方を取り出して、それがどのような意味をもっているかを概観したい。もっとも、工学にそれほど通じているわけではないので、ここでは差し当たり個人的に非常に興味を引かれる特徴を中心に論じることにする。したがってもちろん、それについて幾つかの箇所での修正を迫られることになるかもしれないし、また補充すべき論点も多数残っているであろう。ただ、このようなまとめ方をすると何が見えてくるかに注目したい。

科学は合理的探究の一つの典型だと言われている。そして、工学は科学と密接に結びついている。従って、工学が科学に全く依存した学でない限りは、科学と対比することによって、工学の重要な特徴が見出され、しかもそこには科学とは異なる、少なくとも強調点の置き方の異なる合理性の基準が見出されることが期待されるであろう。

さて、技術や工学はモノを作ることを目指すのに対して、科学は物事を「科学的に」説明しようとするという対比に注目しよう。ここにおいては、工学と科学との究極の目的という立場からその両者を対比している。

この「科学的な」説明というのは差し当たりここでは、なぜこういう現象がおこるのかを説明しようとすることであり、しかもそれをその場限りでなく、普遍的一般的に説明しようとするのだと考えておく。それに対して、工学は具体的なものを作ろうとする。このような視点での対比によって、どのような論点が明らかになるだろうか。

このときまず、実験することと対比して、工学の製作ということを考えてみる。すると、実験は理論の検証に用いられ、工学は例えば橋やビルを立派に作り上げることによってその学問の正しさを示しているように思われる。しかしながら、更に立ち入って考察すると、実験と製作はその位置づけが非常に異なってい

ることが分かるのである。

以下、(a) 法則の選択、(b) 複雑さ、(c) 多様な見方の関与、という3つの点の考察を行おう。

(a) 科学においては、ある現象に関与している独立変数と見なせる要因を取り出し、それに対応して問題の現象がどのような関数によって変化していくかを求めようとする。そして、多くの実験をすることによって、予想された関数が現象をうまく説明しているかどうかを検証しようとする。このとき、注意したいことは、実験をする場合には、まず理論や仮説があり、その検証のために実験が行われるということである。つまり、何の実験をしているかは、もちろん明確に意識しているはずである。さもなければ、単に何か操作をしているだけであって、「実験」をしているとは言えないであろう。

これに対して製作においては、実はどの理論を使えばいいか予め分かっていない。一つの科学の内部ですべてがけりがつくことは、大規模な問題ではおそらくあり得ないであろう。そのような場面で研究するのが工学である。常識的に考えても、船を作ろうとするとき、その船は、引力の法則に従うし、流体力学に関する多くの法則にも従うし、また材料力学や構造力学の法則にも従っている。例えば具体的な乗物を新たに作る場合に、どのような一般的な法則を特に考慮すべきかは、それほど単純に決定できる問題ではない。つまり、製作を中心にして考えると、使用する理論の選択ということがまず問題になる。その運行に太陽の引力の影響までも考慮すべきなのか。特に考慮すべき法則はどれなのか。

しかしもちろんここで、関係のある理論や法則をすべて考慮すればいい、と言われるかもしれない。しかし、関与している法則は非常に多く、しかもまだ発見されていない法則が関与しているかもしれない。そして、結果的には必要な法則がすべて与えられていても、その中から必要な法則を選びだすことは簡単ではない。実はフレーム問題はこの選択が、實際上非常に困難であることを示している⁹⁾。

法則の適用の問題に関しては、法則の数の多さ以外に、法則を用いる時の条件を確定する場合の問題がある。

つまり、法則は、ある条件の下で用いられる。そし

て、現在の状況が、その法則を用いていい状況であるかどうかの判定（類似性発見）がまず必要とされるのである。しかし、この問題についての考察はまだまだ進んでいない¹⁰⁾。

このような論点と結びついて、工学における目的の問題を考えることができる。つまり、工学は（科学とは違って）現実の社会的政治的目的とのつながりが強調されることがある。しかし、そうはいつても、目的を実現するという事は、それほど単純なことではない。要求される目的が発言されるのは、ふつうは日常言語、もしくはある程度高次の言語である。このため、日常言語と科学言語のギャップを埋める必要があり、もちろんこれは単純な一義的な解決はない。そして同様に、すべての知識やデータを備えていたところで、そこから現に今要求されているものを取り出すことが単純なことでないことはフレーム問題から理解される。この意味で、多くの理論が与えられたにしても、工学において科学を応用することはそれほど単純なことではないのである。

さて、多くの理論の関与ということは、少し別の論点にも導く。そのため少し長くなるが、理論物理学とコンピュータ物理との相違を概観しよう。

理論が発展して、量子力学や相対性理論などの基礎理論が確立されることによって、それに基づいた、多くの現象を記述する方程式も多数発見された。しかし、研究する現象が複雑になったために、それを記述する方程式も複雑になり、結局は人間の手ではその方程式が解けないということにもなっている。また、実験についても、大規模な実験や高圧、高温といった極限状態での実験も必要になっている。

これはどういうことかと言うと、理論物理学の発達のために複雑な方程式が多数生じたために、そして境界条件の観察も困難になったために、それらの要素を合わせると結局はどのような自然現象が生じるかが分からなくなるということである。

つまり、理論物理や実験物理は、自然現象を要素に還元しようとしている。それに対して、「コンピュータ物理は実験・理論両物理で還元した要素を再構成して、自然全体のシステムを理解しようとしているのである¹¹⁾。」

このとき、再構成するということは、どういう意味

をもつのであろうか。それは逆に、理論物理学がこれまで成功してきた理由を考えるとよくわかる。それは理論物理学者が複雑な現象に関してその本質をついてはいるが、単純なモデルを使ってきたということである。太陽や地球を点とみなす質点の物理学はその典型である。

しかし、野球のボールを投げることを考えると、ここには多くの条件が入ってくる。つまり、空気の抵抗や玉のひねり具合、ボールの縫い目の形などが関係してくる。それによってカーブやフォークが生まれるのである。また生物学的な現象も考えると、タンパク質や遺伝子などがわかっても、生物という大きなシステムについてはあまりよく分かっていない。

つまり「これまで科学が解明してきた現象は、要素の性質を単純に加えることによって全体の性質も求められる、いわゆる線形的なものが、ほとんどである。これまでは、要素の性質さえわかれば、たいした苦労もなく全体の性質を予測できる線形的現象の研究が、正統的科学とみなされてきた¹²⁾。」

しかし、要素について、つまり法則や境界条件をいくら知っても、それだけでは全体としてのシステムの動きを理解できないような非線形的な現象も多いのである。

複雑な世界や、非線形の法則においては、モデルを動かして知ることが必要だ。それに基づいて、そこに働く方程式を知ることとは別種の理解が生まれる。つまり、例えばフラクタルの美しさなどである。これは、複雑な世界の理解においては、レベルの相違を考慮しなければ、我々にとって役立つ情報とはならないということを示している。これは、プログラムの詳細を読んだからといって、そのプログラムが何をするか（大きなプログラムなら特に）分からないということと同じである。

つまり、部分を構成することが特に意味をもってくるのは、「非線形的現象」を扱うことに関係している。非常に複雑な世界を理解しようとするときには、多くの法則を構成して利用することは、正しい法則を知ることとは別の新たな意味を理解することなのである。コンピュータ物理と理論物理はこのように対比される。

要するに、工学は知識を総合して具体的なものを作

るという意味で、コンピュータ物理と類似した側面も持っている。しかし、ここでは更に、コンピュータ物理と工学との相違する側面を見ておかなければならない。

コンピュータ物理においては、物理法則が基本的にすべて分かっていることに基づいている。その上で、それを組み合わせ、計算することによって全体の振る舞いを調べようとする。それに対して、工学においては、少なくともそれを人間が使うということが含まれている。(その他の論点についてはすぐ後に述べる。)つまり、「人間」というまだ解析され尽くしていないシステムを考慮に入れた上で、「製作」を行う必要がある。ヒューマン・インターフェイスを含んでいる限り、工学における要素の構成¹³⁾は、コンピュータ物理のある程度きれいな世界を越えた泥臭いものになってしまわざるをえない。つまり、工学においては、このような多くの法則の構成に加えて、いまだ解析の済んでいない世界をあつかわなければならないのである。

コンピュータ物理は部分を構成するという意味で、普通の科学と工学との中間にある。科学は分析し、方程式や法則を求めようとする。コンピュータ物理はすべての法則が見つかったとしても、それらの法則が線形でないためにすぐには理解されない「全体像」を示そうとしている。

工学は、「非線形現象を扱う」という点に加えてシステムに未知の部分があることを認めている。この2つの意味を含んだ意味で「複雑な世界」を扱うことが工学の特徴である。

(b) 次いで、複雑性に関する論点を更に見ることしよう。

科学においては、境界条件の設定や単離操作によって、実験において独立変数をできるだけ少なくすることが行われる。これをうまくやらなければ、今生じた現象が何を原因としたかが分からなくなる。例えば心理学の研究発表では特に、このことがどの程度完全に行なわれているかということがよく質問されている。これは、世界を限定することによって、そこに働いている要因を純粋に取り出そうという試みである。そのため実験室という閉じられた世界が必要とされる。純粋な法則を求める場合には、このような限定が必要である¹⁴⁾。(多くの要因が絡み合っているために、心理学

の実験は非常に技巧を要する。非常に単純な刺激と反応の問題でないときには、いろいろな側面からその他の要因の影響を排除する実験をしている。)

それに対して、工学では作った機械が現実で使用されるのが必須である。(おもちゃの世界にしか役立たないプログラムは、そのゆえに非難されることになる。)これは、機械の外にある世界が、未知の影響をその機械に与える可能性を残しているが故に、問題を含んでいる。それだけでなく、機械の部品の信頼性も完全ではない。このようなエラーやノイズを含んだ現実の中で使うことが、作られた機械にとっては決定的な条件となる。機械の機能や構造の単純さは差し当たり許されても、複雑で未知の要素を含む現実に耐えないような機械は許されない。(これが、ヒューマン・インターフェイスに続く論点である。)

すると、具体的なシステムが「うまく」動くことを保証しているのは、システムの信頼性だと考えることができる。例えば、システムや機器の一部が故障しても、安全側に動作するようなフェイルセーフ性が、原子炉や交通などの複雑なシステムにおいては求められている。

例えば、鉄道においては信号機やポイントにおいて、これまでは継電運動装置が用いられてきた。そしてこれは 10^{-9} の非対称誤り特性を有することによって、故障時にも安全側に制御するフェイルセーフ性を確保している¹⁵⁾。

このように工学においては、故障が生じる可能性をいつも考慮している。そして、それに対処しようとしている。これが複雑な予測のできない環境に対する対処の仕方なのである。

また機械にとっての環境が含んでいる未知の要素以外に、機械の内部にも未知の要素が含まれている。つまり部品となるもの材料となるものも、純粋な物質を取り出すことはほとんど不可能であり、不純物は幾分か含まれている。また超伝導物質のように、材料として使うためには安定化が必要なものもある。そして大規模なソフトウェアなどを考えても、バグやエラーは常に含まれている。このため、科学的理論的に予測された性能が生まれにくいことになる。

要するに、理学的理論が前提している理想状態と比べると工学においては外的な環境における未知の部

分があるのに加えて、部品にもいろいろな問題を含むと言われることになる。このような意味での予想できない複雑さを工学は考慮しなければならない。

また、更に工学の問題にする複雑さの特色を見ることにする。

ウィーヴァーは科学の問題には3種類あると言う¹⁶⁾。

1. 単純さの問題 解析力学は基本的には単純な系の運動理論だ。
2. 無秩序な複雑さの問題 統計力学が扱う。気体分子はそれぞれ勝手に飛び回っていて、衝突するまでほとんど相互作用がない。
3. 組織化された複雑さの問題 生きた細胞や人間の脳や体がその典型である。相互作用や相互転化のあり方が周囲の局所的な構造によって規制されている。

ここで工学が扱う複雑な機械大規模なシステムは、この第3に当てはまるであろう。第1は解析力学によって、第2は、統計力学によって、解析する手段が成立している。しかし、この第3の問題は、既成の数学や物理学ではうまく解析できない。そのような種類の複雑さを工学は扱おうとしているのである。つまり、大規模なシステムを作る場合、多くの要因を総合して考察すべき場合に、今までの科学とは違った工学の対象が示されることになる。

(c) 実験に関する第3の論点、多様な見方の関与について見ていこう。まず科学と工学の端緒を考える。

科学においては、非常に限定された状況での実験から始まる。それに対して工学においては、試作品を作ることから始まる。この場合、科学は説明の統一性を求めるために、矛盾した実験結果が出た場合には、大変困る。少なくとも今説明しようとしている現象に当てはまる法則を見つけなければならない。そのために、さしあたりは対象を限定して、その後理論を発展させることによって、普遍的な法則を求めようとする。すなわち、非常に限定された領域であるにせよ、その領域での現象の「本質」を求めようとする。

これに対して工学においては、最初からすべての機能がそろってなくてもいい。これは、作ろうとしているものが、その本質を表していなくても、さしあたりは満足するということである。つまり、人間のよう

な能力を備えたロボットを作ろうという最終目標をもっていても、さしあたりは、表面的な類似性を示すものを作ったり、不十分な機能しかもたないものを作ったとしても、それである程度の満足が得られる。このような不十分さは、研究を続けていくための方向づけを与えに過ぎない。これは科学における反証の意味は持たないのである。つまり、探究のあらゆる段階で「本質」が提示されていなければならない、という考えを工学はもっていない。

科学は、世界を狭めることによって研究を始め、工学は全体の一部または表面的な機能を実現することから研究を始める。これは、説明することを基にすることと、作ることを基にすることとの相違を表している。

このため、工学においては、様々な種類の知識が使用できる。表面的と思われる知識を用いても平気である。世界全体をうまく説明するモデルとして(つまり世界の「本質」として)、アトムが見つかったとしても、工学においては、アトムから始めるのではなく、取り扱い易いレベルで、即ちある程度の大きさの材料から始めるのである。これが具体的なものを作ろうとする工学の進む道である。

一言でいえば、今現実の問題にしているこの具体的なものを作ろうとすると、科学において知られている多くの知識を利用しなければならないし、更にはいまだ科学的になっていない知識も利用しなければならないこともある¹⁷⁾、ということである。

工学は多くの知識を総合している。特にいろいろなレベルの知識を使っている¹⁸⁾。つまり、知識の階層構造(多分こういう単純な言い方では不十分であろうが)があった場合、そのどのレベルでも使うことができる。階層の上下をいったりきたりできる。現象の表面的な性質にしても、それをうまく利用できれば、それでいいと考える。

このレベルとは、例えば、普通にもものを見ているレベルから、古典物理学のレベル、量子力学のレベルといったものを考えてもいい。(目的を表現する言語のレベルもある。)非常に単純な例を上げると、椅子を作ることと考えてみると、もちろん量子力学のレベルまで考えて椅子を作る必要は普通はない。(もっとも、非常に小さい椅子やブラックホールの近くでの椅子と

なるとまた話は違うであろう¹⁹⁾。

例えば、生物の真似をしようとするロボットを作ることを考えてみよう。少なくとも非常に初期には、からくり人形のように、その動きの一部分を真似ることで満足していた。それから、 Weiner のサイバネティクスになって、フィッドバックという考えが導入された。これは差し当たり反射運動のモデルである。そして、マッカロック、ピッツによって神経細胞のモデルが提案された。そしてニューロコンピュータは神経回路網のモデルを提案している。そして現在は分子素子やバイオ素子の研究が進んでいる。このそれぞれにおいて、ある部分をブラックボックスにしてロボットが作られている。例えば、からくり人形からサイバネティクスに移ると、感覚を運動に用いる神経の働きが取り出されることになる。また、ニューロから分子素子に移ると情報处理的な入出力関係だけでなく、生物の分子機械としての働きも取り出されることになった²⁰⁾。そして、ロボットを作るということは、このどの段階でも可能であるということである。どれが生物に近いかという基準でなく、どれが役に立つかという基準ならば、どの段階においてもそれぞれ役に立つのである²¹⁾。しかし恐らく科学の立場からすると、不完全な理論に従ってものを作っていることになるであろう。

科学においては、それぞれのレベルの研究が個別的に進められ、精緻になっていく。これは、ものごとの「本質」を突き詰めるということ、そしてそれが「本質」であることを正当化しようとする科学にとっては重要である。

例えば、機械翻訳のことを考えてみても、アド・ホックの集積でも許される。事例や辞書を集めることによって、自然言語が扱えることを目指してもいい。統一的な言語理論がまず存在する必要はない。統一的な見通しを「予め」必要とはしない。もちろん、これがあれば役に立つ。しかし科学は統一的な理論を必要とする。そしてその正当化をしようとする。

(3) このような特徴の意義

このように、工学の特徴を概観すると、哲学的に意味のある幾つかの主張が見出される。まず、(A)法則の選択が自明でないということは、工学が科学の「単

なる」応用と位置づけられることはできないということを示している。(B)工学が複雑な世界を扱っているということは、実は結果を生じ製品を作ることが、理論を正当化するための実験の一種として考えられるべきではないことを示している。(C)工学が様々なレベルの知識を用いるということは、「本質」に関する議論を正面に据える必要のない知識の姿を示している。これらの論点をもうすこし細かく見ることにする。

(A)工学の合理性は、全く科学に依存するものと考えられるのだろうか。もちろん、真なる理論に基づく探究こそが、優れた探究であると考えられるかもしれない。

しかし、具体的なものを作り上げるには多くの法則を用いざるをえず、このときの選択には知性を必要とする。また、法則というものは、どのような条件において用いられるかが示されていても、現実の具体的な状態とそれが完全に一致するとは限らない。ここにおいても、法則を用いる時に知性が介入している。言語化でき、数式で表される法則にのみ知性の姿をみるのではなく、それを用いる知性の姿も見失うべきではない。少なくとも、この意味で、工学の合理性は科学に全く依存しているとはいえないであろう。

例えば、研究の最先端を考えてみよう。ここにおいては、数学においてさえ²²⁾、それまでの理論は導きの一種、手掛かり、道具という役割をもつにすぎない。正当化や真理を先行させることはできない。

そして、現実への適用ということ、実はこういう状況が生じているということである。目の前の画像を認識することも、非常に複雑なことになっている。これがうまく行われて始めて、科学の示す法則を利用できるのである。現実には複雑で混沌とした多様であり、それに有限の理性が向かうのである。このとき、問題になるのは、正当化された部分や真理は、そのうちの明示化された部分にすぎないということである。

(B) 次に、結果からの論証を工学はしているのではないか²³⁾、という論点を考察しよう。

まず確認すべきことは、論理的誤謬は、結論された命題が偽であることを意味しないのである。すべての対象に対しては妥当しないというようなことを意味しているのである。だから、我々の生きている世界に

おいては、その結論がうまく妥当することを排除しないのである。更に、工学における製作は、科学における実験とは違った位置づけをもっている。科学は理論を正当化しようとし、その理論の普遍性を主張しようとする。ただし、ここで必要とされる実験は、分析的実験であって、工学の要求する総合されたものに対する実験ではないのである。

ここでは、フィードバックのことを考えるのがいい。例えば、部屋の温度を一定に保つということを考えてみる。このとき、外気の温度、日射状況、風の状態、部屋にいる人数の変化、窓の開閉状態等々の多くの条件（外乱）が、部屋の温度に関係する。そして普通の意味での科学的な探究によると、それぞれの要因が部屋の温度とどのように関係するかを決定し、それらの方程式を構成することによって、全体的な温度変化を求め、それに応じて室内の暖房を調節することになるであろう。しかし、このようなフィードフォワードの制御は、（もし可能であれば）予め全てを予定できるという利点は持つが、考慮すべき要因が多数になれば実際上非常に困難になる。理論の正当化を先行させることはこのようなフィードフォワード制御をめざすことと類似する。

それに対して、フィードバックの考え方は、このような複雑な外乱のそれぞれを特定することから始めるのではない。つまり、これらの複雑な（時には予想もしなかった）外乱の結果を得て、それが望ましい温度以上であれば暖房を弱め、以下であれば暖房を強くする。これは、工学のやり方に似ている。つまり個々の詳細な理論を先行させるよりも、ある程度のレベルで対象を扱い、しかもエラーが起こった後での修正の可能性を考えようとする。

つまり、生じた結果からの情報を「うまく」利用することによって、複雑な計算によって始めて獲得されるのと、あまり変わらない成果が得られるのである。（もちろん、このように「うまく」いくためには、世界の状態についてある程度の仮定が必要である。）

つまり、正当化をすることから始めるのではなく、修正を受け入れるような仕組みを考えていき、このことによって機械がうまく動くことを保証している。さて、科学における法則の正当化は、結局はその法則に対する信頼性をどれだけ与えられるかという問題だ

と考えられる。すると、これに対応する工学の信頼性は、システムの冗長度を増すといった方法で信頼性を増すことだと考えられる。科学の理論の正当化が科学の合理性を保証するとすると、工学の合理性はシステムの信頼性を保証することにあると考えられる。

多分ここには世界についての、仮定がひそんでいる²⁴⁾。しかし、不必要な正当化に資源を費やすよりも、差し当りはこの仮定に従う方が合理的とは言えないであろうか。

例えば、論証による正当化を考えてみると、われわれ人間にとっては、時間や資源の制約を考慮する必要がある。例えば、4色問題の証明は、個人的にたどることは非常に困難である。このような例が多数ありうるとすると、実は証明を与えるということが、どれだけの意味をもつかかわからないであろう。

非常に複雑なシステムとしての、コンピュータ・ソフトウェアにおいては、プログラムの検証を進めることは違った仕方での正しさを示そうとしている。つまり、普通は幾つかのよく分かっている例を与えて、それを走らせている。これではもちろん、完全な正当化にはなっていない。しかし、そのような不完全なものを「うまく」使うことが重要ではないのか。

また（A）でも述べたように、工学においては、法則を「使う」というところに大きな知性の働く場所を求めている。そして、ここにおいては言語化をうまくできるかどうかさえもあやしいのであるから、その論理的正当化をすることは困難であろう。しかし、だからといって、工学を非合理的な試みとして排除できるとは思えない。

時間や資源の有限性と、対象の複雑さを考えれば、正当化に固執することはないと思われる。システムの誤りに対処する方法は、他にもいろいろあるのだから。例えば、原因は予め特定できなくても、おかしな動きをした後で、それを修正するということは、システムが少なくとも日常レベルで「うまく」動くことを保証している。

（C）多様な見方の関与を認めるということは、ある場合には第1次近似でも許せるということである。このことは、ものごとの「本質」を探ろうとしている科学にとっては、奇妙なことをしているように思えるであろう。説明の統一性という基準からすると工学

は、不十分な試みをしていると言われるであろう。

しかしながら、複雑な現象を一つのモデルでカバーするのは、難しく、たとえできて、不経済である。机の上の本をとるということを、量子力学モデルに基づいて考えるのはばかげている。人間にしる機械にしるある時間内に決定し行動しなければ役に立たない。統一的な説明ができるかどうかは、適切な行動ができるかどうかには関係ない。あまりにも、詳細で扱えないモデルを使うならば、知的な働きをするとは思えない²⁵⁾。

同じものを、違ったパースペクティブから見るのが、人間の知性の一つの重要な側面である。ただし、この見方をいつシフトさせるかが、問題である²⁶⁾。

またレベルの相違を受け入れるということは、理論的な整合性という点から言うと、全くの混乱に近いものに思われるかもしれない。

しかし、複雑な世界においてシステムが動くということは、それなりの意味のあることである。有限の我々が複雑な世界で生きる時には、よく考えると整合的にならない理論もつかわなければならない。そのうちの性質のいい部分を利用することによって、ものをつくるのが可能になるのである。

最 後 に

最後に幾つかの論点を提示しておこう。

まず、複雑な現象を、不完全な現象と見るのではないことが重要である。我々の生きている世界は、本質的に複雑な世界である。それに対処しようとして、知性が発達したということに注意したい。恐らく、整合的な説明をめざす場合には、モデルの方が重視されて、我々の世界はそれと比べて不完全だと言われるかもしれない。しかし、この工学的な見方は、この複雑な世界をまず認めた上で、それに有限の知性として我々が対処していくという見方をとるのである。人間の知性の在り方として、論理的に推理したり、正当化する能力よりも、自然にうまく調和する能力を強調したい。

これは、理想に基づいて現実を批判するということでないために、非常に保守的だと思われやす

い。しかし、世界をただ、受け入れることは恐らくできない。それが、「複雑な」世界に対処することによって改良を行うということである。工学は、この意味での批判に開かれている。

さて、工学においては、本当であるかどうかはどうでもいい。実は作ったものが複雑な世界で動くかどうか問題である。

これは機能主義であるといえるのか。しかしそれでも多様な見方を認めるものになっていること、単なる物真似を許すことは重要である。

サールのことばを使うと、強い AI 研究でなくて、弱い AI 研究の立場を工学はとっている。例えば、適切にプログラムされたコンピュータは実際、「心にほかならない」と主張するのが、強い AI の主張であり、機能主義の主張であろう。それに対して、弱い AI においては、コンピュータが心の研究において強力な道具を提供するということである²⁷⁾。工学の立場は、「本質」が何であるかに拘泥しない。しかも、機能の同一性にも拘泥しない。ある程度の科学力、技術力、資金力、時間などの制約の下で、差し当たり必要な機能を果たすものを作ろうとする。もちろん、この機能はだんだんと増すことが可能である。何が実在であるかということに関して、首尾一貫してコミットしようとはしない。この意味での存在論を工学はもたない。もしくは、もとうとしない。しかし、そのことが工学の学問としての合理性を弱めることになるのだろうか。

工学は、総合的な対象を取り扱い、しかもそれが複雑な状況下に置かれていることを意識した上で、多様な方法を用いてある種の機械やシステムを作ろうとする。このため、工学は科学の単なる応用であるとはとても言えず、それ自身の合理性をもっていると考えられる。しかもこれは、論理的統一性を求める哲学においては問題にしにくい立場であろう。使用する理論の矛盾が決定的なも

のと考えないことは（工学の合理性を全面否定できない限りは）非常に興味深い工学の性質である。

注

- 注1 p.23『基礎工学概説』向坊隆 in『岩波講座基礎工学0』
- 注2 p.24『同志技術者諸君』山下博典
- 注3 第三章『技術とは何か 科学と人間の視点から』村上陽一郎 NHK ブックス p.6『科学と技術のはざま』山田慶児 in『科学と技術の近代』朝日選書206などを参照
- 注4 応用という言葉に拘泥すると、理論と科学とその実践である技術との区別を（実は連続しているにもかかわらず）予め前提しているとか、理論が先導して技術や工学が常に生ずると考えていると見られやすいかもしれないが、ここでは、差し当たり科学との結びつきがあるということにとどめておきたい。そして、理論と実践の前後関係はともかく、理論が存在したところで、それを「応用」することは自明ではないということを主張したい。いわば歴史的由来の問題ではなく、基礎理論があったときに、それ以外に何が必要になるかを考えたい。つまり応用科学は、基礎科学に依存する単なる物真似にすぎないかどうかを考えたい。
- 注5 例えば、法学においても、科学的合理性や論理性（三段論法）とは異なった合理性を見出そうとする試みがあるように、工学においても、（応用科学と言われているにもかかわらず）独自の合理性が存在するという事を見出したいと思う。法学に関しては、『哲学と法律学』田中成明 in『哲学研究』第554号 昭和62年9月20日発行などを参照。
- 注6 この点については、『「わざ」から知る』生田久美子 認知科学選書14 東京大学出版会などを参照。
- 注7 例えば、『現代社会における工学者の使命』西山 知三 in『講座＝現代人の科学4 日本の技術と工学』大月書店などを参照。
- 注8 純粋な学問研究ではない場合には、何か不純な動機があるように考えられる。そして、技術を自分の為用いるか、人々の為用いるかということが非常に重要な問題として意識されていた。例えば、儒教的伝統においては、生産技術だけでなく、社会的技術も四書五經に基づく

有徳な人に従うべきものと考えられていた（p.158『現代技術の課題』樺山紘一 in『情報の文化史』朝日選書365）。しかし、このように工学を単なる手段として位置づける見方はここではとらない。

- 注9 『フレーム問題の諸相』拙論 大阪体育大学紀要第20巻などを参照。
- 注10 この論点は、長尾真の指摘による。『知識と推論』p.18f.岩波講座ソフトウェア科学14、『機械は考えるか』p.201『科学』1987/4などを参照。
- 注11 p.41『コンピュータ物理の世界』神原武志、佐々木直幸、内藤正美、淵上信子 ブルーバックス以下コンピュータ物理に関してはこの本を参照した。
- 注12 p.51同上書
- 注13 工学の中心をなす設計が、総合の作業であるということはさまざまな箇所ですべて述べられている。例えば、『日本機械学会誌』1990/9に載っている次の論文を参照。
『「工学と物理学の接点」発刊に際して』p.743 西尾茂文、『CAD/CAM—数学モデルと情報処理—』p.754 木村文彦
- 注14 「重力の法則の実験は、鉄球を用いてピサの斜塔で行うのがよいのであって、でこぼこな丘の上で球を転がしたり鳥の羽を落としたりしない方がよいのは明らかだ。」p.85『雲のゆくえ』山口陽子 in『数学近未来』
- 注15 『フェイルセーフ設計による鉄道用電子連動装置』村上春雄 in『情報処理 Vol.27 No.1』
- 注16 この論点は、『経済学の夢は数学』塩沢由典 in『数学近未来』による。同様の論点は『物理の“複雑な”システムと脳』篠本滋 in『科学』1991/4にも見られる。
- 注17 p.33『科学と技術のはざま』山田慶児 in『科学と技術の近代』
- 注18 p.50『文化としての科学技術を考える』猪瀬博 三田出版会
- 注19 このように非常に特殊な場合をあまり考慮しようとならないのが、工学の立場である。複雑な未知の世界と対しているのであるから、その世界をある程度だけモデル化して、それを扱おうとする。現実の常識的な世界を想定してモノを作っている。もちろん、極限状態に対処する機械はまたそれに合わせて作ることになる。

これは、普遍性を求める科学から見ると、非

常にアド・ホックな処理の仕方であるかのように思えるであろう。そして、なぜこの工学の立場が許されるかを考える必要がある。

注20 p.37 『生命科学と新しいコンピュータ』神沼二真 『bit』 1991/4

注21 これが工学のバランス感覚、折り合い感覚である。p.752 『工学的視点と理学的視点の接点—超伝導を例として—』荻原宏康 in 『日本機械学会誌』 1990/9

注22 p.50 『数学における臨界現象』齋藤利弥 in 『別冊数理科学 数理物理学の展開』
『近代科学・その秩序と混沌』森毅 in 『科学技術の発達と人間の不安』化学同人

注23 この問題点の指摘については、『技術的探究について』伊藤邦武 in 『関西哲学会紀要 第22冊』を参照。

注24 例えば、あまり急激な変化が生じない世界であるとか、すばやい対応によって、結果が生じた後でも、修正することによってもとに戻れる、といった仮定が存在している。しかし、我々の住んでいる世界がこのような性質を持っているから、ものを作ることができるのではないのか。

注25 p.395 Sifting Ontological Perspectives in Reasoning about Physical Systems Zheng-Yang Liu & Arthur M. Farley in AAAI-90 Proceedings

注26 ibid.

注27 p.67 Minds, Brains, and Programs: John R. Searle in “The Philosophy of Artificial Intelligence” ed. by M. A. Boden