科学技術と未来

～人と技術・システムとの関わりを中心に～

科学技術は、産業革命以来、今日に至るまで目覚しい進歩を遂げる一方で、技術・システムは巨大化・複雑化し、その全貌は見えづらく、予見不可能なリスクが存在する可能性も大きくなっている。今号では、人間と技術・システムとの関わりを中心に、特に安全に関する観点から、明治大学理工学部の向殿教授にご寄稿いただいた。

まえがき
～科学技術と未来予想～

科学技術は、積み重ねが効くという基本原理に基づき、常に進歩し続けることができ、産業革命以来、その発展には目覚ましいものがある。科学技術が、人類に幸福をもたらしてきたことは間違いないだろう。確かに、環境破壊や地球汚染、またシステムの巨大化により大惨事の発生など負の面もあることは事実であるが、総体的には科学技術が我々の日常の社会生活の幸せの実現に貢献してきていることに、極端な意見を持つ人は常に存在するから全員がそう思っているとは決して言えないが、一般的に言って異を唱える人は少ないのではないだろうか。それに対して、法律や制度等の社会科学の進歩は、遅々としている。試行錯誤を繰り返しながら、戦いや混乱を経て、100年のオーダでの進歩であり、決して早いとか積み重ねが効くとかとはいえまい。進歩と書いたが、この分野では正解があるわけではなく、人類の知恵を蓄積しつつ、よりよい制度、組織等を求めて、遅々とはしているが、進展しているというのが適切かもしれない。一方、人間の能力とか感情とか思想とかの人文科学的な面での進歩というものはあったのであろうか。大昔とそんなには変わっているとは思えない。いや、危険察知能力とか、運動機能等に関しては、後退している面があるかもしれない。人間に関しては、ほとんど進歩していないと言わざるを得ないだろう。コンピュータなどの道具を用いて人間の能力が向上したとか、人間の生理機構が明確になったことによる病気の克服があったとか言っても、これらは科学技術の進歩に支えられているものであって、人間の心や知能そのものが進歩しているのではない。社会科学においても、特に社会制度等の変革は、科学技術の進歩に大きく影響されている。この点からは、科学技術の進歩こそが、我々人類社会に本質的は変革をもたらしている根源なのかもしれない。進歩しない人間、遅々としてしか進展しない社会制度、それに対して確実に急激に進歩する科学技術、これらの進歩のスピードと原理の違う三者の在り方に関して、グローバル化し、システム化する未来社会で、我々はどのように考えるべきであろうか。ここでの本来の目的は、人類の幸

●向殿 政男
明治大学理工学部情報科学科
理工学研究科新領域創造専攻
安全学系　教授

【略歴】1965年明治大学工学部電気工学科卒業。70年明治大学大学院工学研究科電気工学博士課程修了。工学博士(明治大学)。70年明治大学工学部電気工学科専任講師、73年同大学助教授等を経て、89年より現職。2002年明治大学理工学部長(～07年)。09年明治大学校友会長。アジアファジィシステム学会会長、日本信頼性学会顧問、日本知能情報ファジィ学会評議員 等。

せの実現にあるという視点を忘れてはならない。

科学技術の50年先や100年先の未来を予測するという話題は、昔から盛んでその的中率などがよく議論される。人間の願望のみから来る夢の科学技術の実現予測は極めて難しく、的中率の高いものは、少なくともその予測時点で科学技術の芽が出ているものが多いようである。この点、鉄腕アトムの例は興味深い。1952年4月に雑誌「少年」(光文社)に手塚治虫は50年後を予測として鉄腕アトムの連載を開始した。すなわち、鉄腕アトムの誕生日を50年後の2003年4月7日としていて、もう8年も前である。1952年ごろ、最も将来有望視されていた科学技術の芽は、原子力とコンピュータであった。手塚治虫が、原子力に関しては、100万馬力の原子炉が空を飛ぶロボットに搭載できるほどに安全にそして小型になり、コンピュータは人間の脳に匹敵するほど発達すると予想して、鉄腕アトムを誕生させている。50年後の2003年にこの二つがどれほどの程度で実現されているかは問題ではあるが、現状を考えるとある面でその未来予想は見事と言わざるを得ない。しかし、50年前にはまったく科学技術としての芽も出ていなかったインターネットの現在の発展を予測した人など誰もいなかったのではないだろうか。なお、手塚治虫の科学技術としての予測で優れている点は、アトムを人類の幸せの実現のために登場させたことである。アトムは、西欧人の人間とロボットの対立というロボット観から、人間とロボットとが共生するという新しいロボット観へと視点を転換させたことであり、これが現在でも我が国がロボットで世界をリードしている理由の一つと考えられている。

どのような科学技術が未来に花咲いているかの予測について、ここでは十分に述べるゆとりはないし、第一に筆者にその能力はないので、人間と技術・システムとの関わりを中心に、特に安全に関する点から、科学技術の将来方向について考えてみることにする。

科学技術という言葉

本稿ではここまで、科学技術という用語を何のこだわりもなく使ってきたが、昨年来より、科学技術という用語の代わりに、両者の間に「・」を入れて、科学・技術とすべきであるという議論が学術会議を中心に、にわかに起きている。科学と技術は本来異なるものであり、それを連結して一つの言葉として記すことによってその意味が曖昧になり、本来の両者の概念の違いに目を向けなくなり、結局は我が国の健全な科学と技術の発展を阻害するという主張だったように記憶している。科学は、真理を解明すること(知ること)を目的としており、経済や技術とは本来無関係である。一方、技術は、人間の生活に直結して役に立つこと(人間を幸せにすること)を目的としていて、科学の結果を利用することはあっても、直接には科学とは関係ないという趣旨である。科学技術というまとまった概念は存在しないという主張である。そう言えば、工学の工という字の由来の話は、興味深い。工の字の上の横棒は天の原理を表しており、下の横棒は地を意味していて人間社会を表している。天の原理を用いて人間の生活の役に立てる営みを真ん中の立ての棒が表している。これが工学の意味であり目的である。だから英語では、天と地とをつなぐ役割を果たすのがエンジェル(天使)であり、工学をエンジニアリングという話である。この話は明らかに作り話であるが、よくできていて、科学と技術、そこにおける工学の役割をよく表現している。本稿では科学・技術という形で使うべきであるという主張をさておいて、従来の科学技術という用語を用いることにするが、その内容は、技術に近いニュアンスとして用いることとする。上の工学の趣旨にあるように、人間との関わりの面を重視する、特に、人間の幸せを実現するという視点から考えることにする。

科学技術で人間の幸せを実現しようとするときに、最も深刻に考えなければならない問題の一つとして、安全の問題がある。人間の幸せの実現のために構築、製造した人工物により、故障、ミス、等が原因で人命が失われたり、傷害を受けるようなことがあってはならないはずである。これを防ぐことを実現するための科学技術が安全技術である。

安全技術の過去、現在、未来

安全技術の歴史[1]

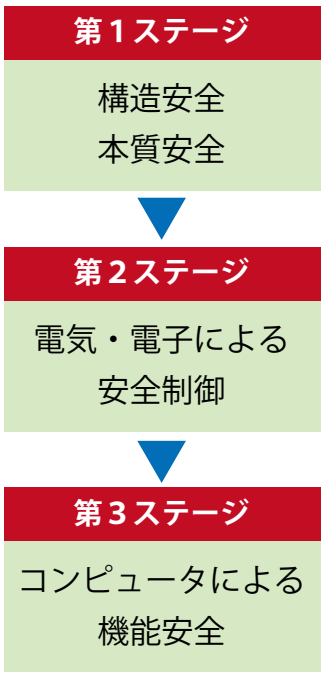
未来を見るためにまず過去を眺めてみよう。安全技術の歴史はどのように始まり、どのように変遷してきたのであろうか。大変興味ある課題であるが、もちろん、安全の分野によってその内容は大きく変わるはずである。ここでは、機械・設備・装置等の人工物の分野に限って安全技術の変遷を簡単に振り返ってみる。これまで、各分野で多くの独自の安全技術が蓄積され、発展してきたが、そこには技術的に共通の考え方が存在する(表1)[2]。例えば、故障した時は安全側にすべきであるというフェールセーフの技術、ある操作が完了しない限り危険を伴うような動作は許可しないというインターロックの技術、危険な機械と人間とは隔離し、危険なところを枠で囲うといった安全防護の技術等は、どの分野にも適用可能な共通の技術である。また、人間は間違える動物であり、間違えても大丈夫なように安全を確保する技術がフールプルーフであり、どうしても稼働し続けることが安全性を確保するためには必須な場合に多重系等で信頼度を上げる技術がフォールトトレラントである。このような各種の安全技術が開発されてきた経緯を眺めてみると、人工物における安全技術の変遷は、次のように時間的に分類することができる(図1)。まず、機械の材料・構造から安全を組み込む技術及び初めから危険源が存在しないように設計する技術、すなわち構造安全と本質安全の技術が第一ステージであり、第二のステージは、電気・電子信号を用いた安全制御の技術の出現であり、その次が、コンピュータを導入して安全を実現しようとする機能安全が第三ステージであり、現在、安全技術の開発はこのステージに入っていると言えよう。

表－1　安全技術の例

安全技術	内　容
フェールセーフ	故障しても安全側になるようにする
インターロック	条件が整わない限り次へ進めないようにする
フォールトトレランス	多重系を用いて信頼性を上げる
フールプルーフ	人間が間違えないように工夫する

安全技術と現状と未来

現在では、人工物の安全確保は、機械設備側で施すべき技術と、利用者が安全に注意して使うステップで構成されていると見ることができ、この順番で実施しなければならないとされている。すなわち、設計、製造者がいくら安全に設計・製造しても必ずリスクは残る。この残留したリスクに対しては、警告表示をしたり、注意書きを出したり、正しい使い方を示して、使用上の情報を提供し、最後に残留リスクの取り扱いを利用者に委ねる。ここまでが設計者が技術としてやるべき安全確保であり、使用上の情報に従い利用者が注意して使う、これが正しいリスク対応の順番であり、役割分担である。人間の注意の前に、まず、機械設備側で安全を実現せよ、というのが現在の安全の考え方である。そして、安全技術そのものは、機械設備の安全化とその高度化と共に、使用する人間の価値観をも取り組む方向に変遷してきている。この方向に従えば、今後の安全技術は、技術的側面だけでなく、人間の特性や価値観を考慮した人間的側面、そして、技術と人間の側面を制度や仕



図－1　安全技術の発展過程

組みや組織で担保する組織的側面の三側面を考慮して、統一的に、包括的に取り組み、最終的には安全の文化を醸成に向かう、安全学(2)の主張に沿って進んでいくことになるだろう。今後の安全技術は、総合化、システム化に向き合わざるを得なくなる。一方で、危険源として、これまでシステム内の故障、障害や人間の過誤を対象としてきたが、今後は、人間の悪意も危険源として考えざるを得ないセキュリティの世界まで取り込むことになる。このように、安全技術は今後、ヒューマンエラーはもちろんのこと、人間の意志・意図や社会制度等との融合化の方向を考えざるを得なくなるだろう。

人と技術・システムとの関わり合いの未来

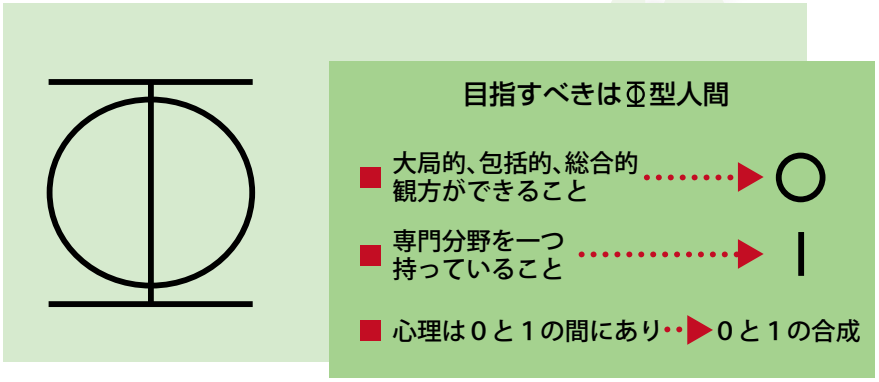
科学技術の未来を予測するのには、現在、その芽のあるところの先を探すのが的中率が高いと述べたが、現時点で将来有望な科学技術の芽は何であろうか。身近な例でも、iPS細胞による生命や医療の技術、ナノ技術による新材料の開発、宇宙科学やロケット技術による宇宙への旅、ロボット技術による福祉や家庭内での実用的なロボット、自動車の電子化・電動化・電池化で事故を起こさないソフトは車の開発、情報技術によるインターネットやクラウドコンピューティングの将来、等々、興味ある課題は多い。しかし、ここでは、違った観点から科学技術の未来の在り方を考えてみたいと思う。それは、我々を囲む避けがたい潮流や現状認識の中での将来の科学技術の在り方、及び技術やシステムとの人間との関わり方である。それは、グローバル化、ネットワーク化で世界は一つになりつつあるという潮流であり、かつ、環境問題からわかるように地球は有限であり、我々は運命共同体であるという現実認識である。一方で、科学技術は人類の幸せのためにあるもので、どこまで開発を許し、どこまでを受け入れるかは、我々が価値観を持って判断しなければならないものである。科学は蓄積が効くために、更なる進歩は常に可能であり、「知ることを楽しむ」のが人間の性であることを考えると、これからも科学は進歩し続けるに違いない。しかし、科学の進歩の成果が必ず人類の幸せにつながると素朴に信じることは、最早、できない。技術が我々の幸福の実現に活用されるためには、人間の立場から、科学の進歩の方向性の制御と、科学の成果をどこまで技術として取り入れるかの判断が迫られ、これらが今後の科学技術の未来の方向を決める条件になると思われる。科学には価値判断はなく、技術は価値判断に依存する、という主張が、冒頭の科学技術と科学・技術の議論の背景にある。このことは古くから議論されてきてはいるが、これまで以上に科学技術の未来を決める最も重要で、極めて強い条件となるに違いない。

ここで人間と技術・システムとの関わり合いの中で、切実な課題の一つとして、どこまで機械設備的なシステムや技術に任せ、どこまでが人間の注意や倫理観に任せるのかのというせめぎ合いの問題がある。例えば、進展中の身近な例でいえば、インターネットで何百万通ものメールをワンクリックで世界中に発信できることを、便利で効率的であると言って本当に許してよいのだろうか。プライバシーや卑猥・中傷等の内容の問題として、インターネットの利用に制限が掛るか、それができない技術の開発が望まれる。また逆に、政治がこれらを情報の管理と監視の道具として利用し始めている。発信者や管理者の倫理観だけには任せられない。残念ながら、人間の故意、悪意は避けがたい。しかし、技術だけでは対応できないのは明らかである。一方、定着した小さな例として、携帯電話は、高速で走る電車の中でも通話が可能なように技術者が苦心して開発したが、現実には車内で通話は遠慮願うという倫理が定着し始めている。また、大きなシステムの例として、例えば、スマートグリッドと呼ばれる電力系統が、多くの発電所や風力・太陽光発電などと連結し、IT技術を用いて効率

的で便利な分散型巨大エネルギー受配信システムとして計画されつつある。ここでは、一つの不具合や不正がネットワーク全体の障害に広がる可能性があり、また、エネルギーが大きいだけに大惨事になる可能性を含みつつ進行している。他の多くの巨大システムも同様である。どこまでの便利さと不便さ、効率と不効率、そしてリスクをどこまで許すのかが重要な判断ポイントとなる。この問題は、まさしく前節で触れた安全の問題そのものであり、リスクはゼロにはできないが大きなリスクは許されない、すなわち、どこまでやったら安全かの問題である。我々は、再度指摘するが、進歩する科学技術を人間の幸せのために、人間が使うシステムとしてどのように、どこまで実現するかの価値判断を迫られることになる。

あとがき
～社会全体で安全づくりをする時代～

積極的で前向きな夢のある科学の探求と、人類の持続可能性と人間の幸福への実現を考慮した慎重な社会への技術・システムの導入、この二つのバランスを持った科学技術の在り方を我々は目指すべきであろう。この典型例が安全の問題に表れている。現代では、技術・システムは巨大化し、複雑化して、全貌が見えづらくなり、予見不可能なリスクが存在し得る可能性が大きくなってきている。そして、一つの事故、失敗、予見不可能性が、再起不能な結末を導く可能性が出てきた。これまでの技術・システムは、事故から学び、事故の不幸の積み重ねで安全技術が実現され、安全確保の考え方が確立されてきた。しかし、今後は、大きな事故は一つでも起こしてはならない、それが許されない時代を迎えようとしている。そのためには、技術者は、安全について自分の専門を深く知り、リスクを前もって評価して許容可能なまでリスクを低減しておくリスクアセスメントなどの安全の共通技術を熟知するだけでなく、安全に関して自然科学、社会科学、人間科学を含めて総合的、統合的な観点で眺めるという安全学の視点が必須である。そして、科学技術的にリスクが未確定なものは、実施までに時間を置くといった予防原則の考え方が重要になるだろう。これからの科学技術者は、特に安全に携わる技術者は、全世界を、そして関連する全分野を包括的に眺めて、その中で自分の分野を深く追求するというΦ型の人間であることが望まれる(図２参照)。我々市民は、小さなリスクは許容し、小さな事故を許すという冷静で合理的な判断をする安全文化を醸成していく必要がある。マスコミも含めて、ヒステリックな過失事故の犯人探しや責任追及は、明らかに逆効果であり、大きな事故を準備させていることにつながりかねない。行政は、すべてを規制・管理するのは不可能であることを悟って、民間の自主的な活動に委ねる必要があるだろう。安全は社会全体で作っていくしか道はない。これからの科学技術の在り方も又、同様である。



図－２　Φ型人間の必要性

■参考文献
(1) 向殿政男、安全技術面からみた変遷と今後の展望、安全と健康、Vol.12, No.1, pp.29-32, 中央労働災害防止協会、2011-1
(2) 向殿政男、北野大，他，安全学入門－安全の確立から安心へ，研成社，2009-8