



## 巻頭言

# 科学技術の構造と産学連携

東京大学 石川正俊

### 科学技術の構造の変化

近年になって科学技術の構造が大きく変化している。新しい科学技術は、従来とは少し違った構造から生まれている。この時代認識から話しを始めよう。

新しい知識の創造に至る知的生産の構造は、大きく2つに分けられる。

一つは、いわば古典的な構造で、実験や理論的解析から得られる証拠を積み重ねることによって、論=真理を形成する方法であり、実証主義的帰納法と呼ばれる構造である。この構造は、自然現象そのものの観察によって、あるいは目の前に存在する与えられた課題に対して、それまで築き上げられてきた既知の知識や新たに創発され検証された知識を駆使して、与えられた課題を解決したり、有用な製品を構成し性能を上げていくというアプローチである。この手法は、解析（アナリシス）的であり、与えられた問題を解くことに最大の焦点がある。古き時代には様々な形で人類共通の課題があり、人類は世界中で同じ課題の解決に取り組んできた。20世紀の科学技術は、この構造を基本として大きな進歩を遂げ、未知なる真理を次々と解き明かし、社会に対して数多くの有用な成果を生み出してきた。21世紀に入った今も、この構造が今後の科学技術の基本であることに疑いはなく、その重要性に変わりはない。

### 第二の構造

もう一つ、別の新しい構造が存在する。この構造は、先に独創性の高い仮説を提起し、それを実証することによって社会における新たな価値を生み出す方法であり、仮説演繹法と呼ばれる構造である。この構造は、自らが生み出した仮説=創造に対して、社会での利用という面からその正しさや有用性を実証し、具体的な知識や製品として構成していくというアプローチである。構成（シンセシス）的であり、独創的な課題の設定に焦点がある。外部から与えられた課題はなく、既存の課題といかに違った課題を提起できるかと言う点に焦点がある。筆者は、21世紀の科学技術は、この第二の構造が重要な意味を持つと考えている。ただし、前述の構造とこの構造とは相反するものではなく、お互いに相補的な協調関係をもって双対構造をなすものと考えている。

このような第二の構造が重要になってきた背景を考えるとき、科学技術を取り巻く社会の変化に注目する必要がある。情報化社会の進歩は、科学技術の知識を一握りの人間の所有物から全世界の共有物となるまでの時間を限りなくゼロに近づける方向で推移している。すなわち、公知となった知識は瞬刻間に世界中を駆けめぐり、時間と空間を超えて人類共通の所有物となって、世界中で利用されることとなる。情報化が進んでいなかった時代には、知識の伝搬遅延により、無用な研究を排除する力は弱く、研究開発コストを引き上げる原因ともなっていたが、逆に研究開発の独立性により、成果の多様性を維持することができていた。戦後のアカデミズムは、この構造に支えられて研究開発の規模と組織が維持されてきた。しかし、情報化が進んだ現代の科学技術を見ると、課題は解かれると瞬時に知識として全世界に供給されるため、研究開発のターゲットは精緻化・細分化へ向けられている。つまり、共通に与えられた課題の中では、多様性や独創性を発揮することが難しくなってきた。上述した第二の構造の重要性が高まってきたわけである。

### artとしての科学技術

このことはキャッチアップの限界を意味するものであり、人類共通の知識に基づく研究開発は、言い過ぎかも知れないが、誰にでもできる大衆化された科学技術であることを意味している。真のフロントランナーとなるためには、前述の第二の構造を導入することがどうしても必要である。つまり、シンセティックなアプローチに基づく創造性を重視する姿勢なくしては、キャッチアップ体質からの脱却は難しい。このことは、科学技術が、芸術・創造の世界に近づくことを意味しており、artとしての科学技術の必要性を意味している。このartとしての科学技術は、レオナルドダビンチの世界やクヌースのThe art of programmingを例に引くまでもなく、科学技術が芸術の要素を求めていることを意味する。「どう作るか」「どう解決するか」も依然として重要な課題であるが、それに加えて「何を作るか」「何を解くか」という観点での独創性が必要となってきたわけである。

このことは言うのは簡単だが、実現は難しい。受験戦争にならされた世代にとって、課題は与えられるものであるし、「解く」ことでしか新しい知識は得られないと考えてい

る研究者は多い。これではいけない。筆者も教育の一環として課題を見つける力を育てたいと日々思っているが、教科書などはどこにもない。もし教科書があれば、その時点でキャッチアップである。もしかしたらレオナルドダビンチのような天才を見つける作業でしかないのかも知れない。せめて、社会が第二の構造の重要性を理解することが必要であり、そのことを強く期待している。

## 産学連携の基本構造

このような科学技術の構造の変化に対して、大学と産業界はどう対処すべきであろうか。

大学は、第二の構造に対して、大学の位置づけから見直しを迫られている。もちろん、教育と基礎研究という従来からの使命は何ら変わることはなく、その基本が変わることはないが、付加的に第二の構造に積極的に関与していく必要がある。つまり、新しい価値を生み出す構造を大学は具備する必要がある。このことは、大学が社会の価値を無防備に受け入れようということでは決してない。無防備に受け入れれば、その時点でキャッチアップである。むしろ、社会に必要な新しい価値を創造することに、積極的に取り組もうとしている。筆者は東京大学で関連する活動を推進する立場にあるが、この構造の整備こそ、新時代に要求される大学の重要な機能の一つである。

一方、企業の研究開発は、科学技術の細分化と短命化に起因して、すべてのコストを負担することが困難になってきて、知識や知識生産のマネジメントが必要になってきている。すなわち、外部に存在する知識をどのように評価して、どのように導入するかを検討する必要が出てきたわけである。いわゆる自前主義の崩壊である。積極的な観点からみれば、研究開発の時代認識に立って、いかにオリジナリティ豊かな研究成果をつかみ取るかという基準に立てば、必然的に帰結されるものであるし、防御的観点からみれば、知的財産の国際競争の中で、いかに独自性を維持できる研究成果を保持するかという基準からも当然の指針である。

これら大学と産業界の変化は、相補的な関係にあり、その関係強化が望まれる。世界の最先端の研究の一部は、大学の研究室で急速な発展を遂げている。この発展を必要であれば社会に還元することが必要であるし、企業が有するキャッチアップでないニーズは、マッチングを取りながら大学の研究開発の中に取り込む努力も必要であろう。

## ビジョンチップとその応用

理念的な議論では実態がわかりにくいので、少し具体的な例を挙げて、議論を進めたい。筆者の研究室では、ビジョンチップと呼んでいる1kHzのフレームレートで画像処理を実現するLSIと、その応用としてロボットを中心としたビジュアルフィードバックシステムを開発している。ビジョンチップは、光検出素子と汎用のデジタルプロセッシングエレメントを一体化することにより、完全並列処理を実現した

チップである。また、1kHzのフレームレートで画像情報をフィードバックすることにより、ロボット等の機械システムの周波数帯域の限界で動作させることが可能となる。

筆者らがこの研究を始めたのは1986年頃であるが、当時世界中で設定されていた課題は、「いかに人間の目の機能をLSIで実現するか」であり、人間の目の機能の解析に基づき、同等の機能を実現するアナログの回路設計に焦点があった。多くの研究室で、アナログの回路が採用されたのは、人間の目のモデルが単機能のアナログ回路モデルであったことと当時の技術ではアナログ回路の方が集積化しやすかったという事情からである。特に米国の研究室ではその後もずっとアナログ回路の研究のみが進められてきた。

しかし、筆者らの研究室は課題の設定から違っていた。筆者らの研究室ではロボットに具備された各種センサの情報を用いたセンサフィードバックの研究を行っており、その研究の中で提起されていた理想的なセンサ情報処理のアーキテクチャにとっては、演算の汎用性が最も重要な要素であることが示され、しかも1kHzのサンプリング周波数を持たせることがロボットの制御に重要であることが示されていた。その結果、筆者らの研究室は、当時のビジョンチップの研究の流れとは違った課題を設定することになった。基本的には応用システムに利用する観点を重視したわけで、アナログの特定用途回路を捨て、一つは完全並列アナログ回路+学習機構で、もう一つは完全並列デジタル汎用処理回路を基本として1kHzのフレームレートを実現することを目標に設定した。日々の議論は、「どういうものを作れば、ロボットに何ができるか」という議論であり、人間の目の機能の解析でもなければ、解説論文に載っているような課題の解析でもなかった。

このような経緯から、目標達成時にロボットをはじめとする機械システムが根底から変わることに夢を描いていたが、ビジョン研究の流れに逆らうこととなったため、達成までの道のりは長く険しいこととなった。具体的には、デジタル汎用回路の採用は回路規模が大きくなって集積度が足りなくなり、結果として実用にならないという解析である。当時の状況ではこの指摘は正しかったが、その後のLSI技術の進歩はめざましく、1988年には8個の画素分の回路しかワンチップに入らなかったものが、10年後には4096個が入るようになり、実用的なレベルになった。この間、内外の研究室が技術的な困難さのために追従してこなかったのも幸いし、世界的に見て独自の研究成果を生み出すことができたと考えている。

最近になって、この分野の独自性を理解した企業2社が共同研究により実用化を達成し、もう1社も実用化を目指している。

## バッティングロボット

このようなアプローチでは、研究の開始段階で応用システムのニーズに基づいているため、応用分野は幅広く、様々な展開が期待されている。その一つがバッティングロボット

である。このロボットは、ストライク=動作可能範囲に入る限りすべての球を打ち返すロボットである。もちろん、バッティングという動作自体が目標ではない。視覚も含めて帯域を保証されたロボットシステムにより、対象のダイナミクスをカバーした制御が可能となり、運動する対象物に対する作業を可能とするロボットの誕生である。つまり従来のロボットのように対象物を停止させることなく作業を行うことができるようになり、生産システムのスループットが大幅に改善されることが期待できる。現在のロボット研究の目標の多くが、人間の動作の実現にあるのに対して、筆者らの研究室では、人間の動作ではなく機械の限界を目標とした研究開発を行っている。機械の限界でロボットが動くと言うことは、人間の目に見えないスピードで動くことであり、人間を超えた機能の実現が可能である。

## 分野を拓く

この研究開発が実施されていた時代は、まだ日本はキャッチアップの時代であった。半導体関連技術にしても、例えばDRAMという与えられた大きな課題に対して様々なアイデアで問題を次々と克服し、世界の頂点に立っていた。このアプローチを否定するつもりはない。このアプローチは今の時代でも重要なアプローチであり、科学技術の進歩に不可欠である。しかしながら、DRAM以外の課題を自ら設定する努力をしてきたであろうか。斬新な課題設定をその時点での研究開発状況のみで、つぶしてこなかったであろうか。与えられた課題をこなせば何か新たな成果が出るのではないかという期待感に身をゆだねることはなかったであろうか。技術レベルの高さや著しい進歩が独創性だと誤解してこなかったであろうか。

独創的な課題は、どこかに落ちているわけではない。課題は自らデザインするものである。新たな分野を拓くことは、分野をデザインすること、つまりシンセシスが必要である。独創的な科学技術の分野が一つの時代を築くには、優れた成果とともに優れた課題が必要である。

ところが、課題設定の評価や判断は、社会における価値構造を分析し予測することでもあるので、難しい判断となる。もし、評価する時点でよく理解できる課題、あるいはポジティブな予測が可能な課題は、そのことをもって独創性が低いと判断せざるを得ない。なぜなら、既存の知識体系の中で理解できる課題は、同じ知識を保有する多くの研究者が同様の課題を設定する可能性が高いことから情報化社会の中ではすぐさま人類共通の課題となることは明白であり、科学技術の第二の構造からすればリスクが大きい。もちろん第一の構造からすれば課題設定のリスクはなく、研究成果の競争となる。

つまり、課題設定の評価や判断には、二つの大きなリスクが存在する。一つは上述した独創性の判断に対するリスクであり、もう一つは優れた成果が出ないというリスクである。シンセティックアプローチの場合、この高いリスクを負わなければ分野を築くことはできないが、一つの研究組織で

そのすべてを負うには、あまりにもリスクが高すぎる。

## リスクの分散と分野間融合

そのリスクを分散することで創造性を生み出す構造を維持することが喫緊の課題である。国の予算もリスクの高いものに対しては積極的に活用を図るべきである。一方で、自前主義の崩壊の中で外部組織にこれらのリスクを分散することが必要である。その一つが前述したように産学連携であり、他にも縦型連携（異業種連携）や横型連携（同業種連携）といった分散手法が存在する。

一方で、近年の科学技術の特徴の一つに大規模性、あるいはシステム化という特徴がある。科学技術の多様化・細分化と対置される構造として、開発された要素技術を融合し大規模化する必要性に注目すべきである。分散化は要素技術の深化には繋がっても、それだけではシステム全体のパフォーマンスの向上には直接的には繋がらない。そこには、融合の論理が必要であり、統合原理が必要である。例えば、人間の感覚情報処理に例を求めれば、デカルトは人間の感覚情報処理を俗に言われる五感に分解した張本人であり、要素分解の説明性を示したわけであるが、同時に共通感覚と言われる要素技術を統合する機能の必要性を説いている。デカルトは、感性の世界は要素技術の複合として理解されるが、理性の世界と直接的に写像されるわけではなく、共通感覚と呼ばれる統合・融合機構が理性の世界と完成性の世界をつなぐものであるとしている。つまり、分散を基調として多様化・細分化を続ける科学技術が、要素技術の統合・融合のメカニズムを持ったとき大きな展開が期待できる。複合的な情報のバインディングから統合・融合といった情報処理への昇華が、重要な要素となる。すなわち、技術の分散化は、リスクマネジメントとしての意味とシステム化への対応の両面から必須の構造であるわけである。

## 科学技術の未来

科学技術は、「解き明かす」ものから、「創り出す」ものへと変わってきた。ソフトウェア、LSI、ロボットなどの分野では、顕著な動きとなっている。このような時代の中であって、研究者や研究組織は何に価値を見いだすかを真剣に考える必要がある。そのための知的生産構造を整備する必要がある。世界をリードする研究開発は、未来を設計することでもある。社会の夢を描くartとしての科学技術に未来を託したいと考えている。

