

システム——現代の陰の主役

木村英紀

1 システムとは何か？

システムという言葉は私たちは最近よく使うようになってきた。少し用例を挙げてみよう。「○○銀行のシステムがダウンした」「EVはガソリン車よりシステムが簡単だ」「スマホは実によく出来たシステムだ」「あの人は弊社の会計システムがわかっていない」「データ入力がシステムになっていない」。それぞれ銀行の決済、自動車、スマホ、会計処理、データ処理の仕組みを「システム」として捉えている。実にいろいろな対象がシステムとよばれていることに気付く。システムという言葉がよく使われるはずである。ちなみにアメリカでは *system* は英語で最もよく使われる五〇〇語に入っているそうである。

私たちの身の回りには沢山の巨大な「システム」が林立し、私たちの生活を支配している。いまやシステムの良し悪しが私たちの生活の質を左右している。例えば皆さんがインターネッ

トで使う検索エンジンは、クローラとよばれるロボットが、何十億もある世界中のサイトをくまなく最低一日三〇回は訪問して情報を採取し整理棚に格納し、ユーザの問い合わせに対してリンク付けしてほぼ瞬時に答える途方もなく大きく複雑なシステムである。インターネットの利便性はこの人知を超えたシステムで支えられている。このような例は実は枚挙にいとまがない。システムがどうしてこのような巨大な魔物に成長したかを、それを探求する知の在り方も含めて素描してみたい。

システムとは何かについては昔から議論されてきた。ごく常識的に考えてみると、まずシステムは複数の要素からなることは確かである。それぞれの要素の価値の総和を超えた価値を持つことがシステムのシステムたるゆえんであるという人もいる。部分と全体は昔から人類の大きなテーマであるが、システムはその問題を最も鋭い形で体現している。もう一つはシステムが目的をもっていることである。太陽系や生物のような自然

のシステムもあるが、私たちが関心を持つのは目的とする機能を發揮することによって価値を実現する人工のシステムである。「要素と全体」「目的志向」の二つが、多様な存在からシステムというコンセプトが抽出した共通の性質である。これから以下のような定義が考えられる。

「システムとはある目的を達成するために機能要素が適切にむすびついた複合体」

こう定義するとモノを要素とするシステムは工業製品やインフラなど、人を要素とするシステムは企業やカード決済、自治体、税制、教育など、私たちの身の回りの存在はほとんど右の定義に当てはまるシステムである。システムでないものを見つけることのほうが難しい。そうだとすれば、何にでも成り立つ言葉をとさら持ち出してきても意味がないと思われるかも知れない。実はそうではない。この短い定義の中に、現代がさまざまな深大な課題が隠されている。

2 システムイノベーションの歴史

システムが技術や社会をどのように変革してきたか歴史をさかのぼって考えてみたい。

まず一九世紀末の白熱電灯の発明である。これによって人々の夜の時間が大きく変わったと言われる。発明者のトマス・エジソンは、白熱電灯をルーブル美術館に持ち込み、それが照らし出す名画に人々は新しい美を見出したとのことである。とこ

ろがエジソンは白熱電灯という「要素のイノベーション」だけでは満足しなかった。人々が好きな場所でも好きな時間に電灯を使えるように、発電所を作りそこから電力を供給する送電システムを作ったのである。電池を使って電灯を灯すことしか考えていなかった他の発明家とは、視野の大きさにおいて一頭地を抜いていたのである。送電電システムの実現は新しいシステムが生み出した「システムイノベーション」の典型例である。

ほぼ同時代のシステムイノベーションの例として、自動車の流れ作業による製造がある。それ以前は固定された組み立て台の上で順番に部品を取り付けて自動車は作られていた。ヘンリー・フォードは、現代の自動車工場のようなコンベアベルトによる流れ作業を初めて実現したのである。当時食品などの軽工業品ではすでに流れ作業は普及していたが、部品数も加工の種類も多くしかも重さもある自動車にコンベア方式で作れるとは誰も思わなかった。これを実現するには各工程の順序とタイミングを調整し、工場全体を一つのシステムとして構成しなければならぬ。流れ作業によって、フォード車の生産台数は四十五倍に跳ね上がり、価格は三分の一になった。フォード生産方式はアメリカにマイカーブームをもたらしたのである。

コンベア生産方式は自動化すなわちオートメーションに進化していく。逆に言えば、オートメーションを実現するにはシステム化が不可欠であることを自動車産業の歴史は示している。現在の最も進んだ生産現場では完全な無人化が実現している。

このように機械がシステム化されさらに自動化に進むことは技術発展の自然な流れであるが、それを最も早く予見したのはカール・マルクスである。マルクスは『資本論』の中で産業革命を推進した紡績機を分析し、それが「原動機」「伝達機」「道具機」からなるシステムであることを看破し、さらに機械はシステム化を通してやがて自動化に向かうことを予言している。「産業革命」という言葉すらなかった一七〇年も前にこのことを予測したマルクスの洞察力には脱帽するしかない。

その後も社会を変革したシステムイノベーションはひっきりなしに起こる。いくつか例を挙げると、「Battle of Britain」でイギリスの勝利の原動力となった英国のレーダー防空網、そのアメリカ版である対ソ連ミサイル防空システム「SAGE」(Semi-Automatic Ground Environment)、アポロ計画、などである。日本でも国鉄による切符予約システム(MARS)や新幹線運行システム、年産一〇〇万トンの一貫製鉄所の生産管理システムなどが挙げられる。最近では、GPSやインターネット、それに付随する様々のシステムイノベーションがある。システムのイノベーションが技術だけでなく社会の変革をもたらしてきたことがお分かり頂けただろうか？

これまでのシステムの進化の歴史を振り返ると、技術が社会に根付き人々に恩恵を与えるのはシステムを通してであることが分かる。その傾向が次第に強くなってきたのが技術の歴史であるともいえる。システムの進化が社会の進化を促し、社会の

進化がシステムを進化させてきたとも言える。こう考えると、歴史をシステムの進化としてとらえる「システム史観」もあり得るのではないかと思う。関連するヘーゲルの次の言葉を引用しておこう。「真なるものはシステムとしてのみ現実的である」(『精神現象学』)。牽強附会かも知れないが、ヘーゲルの言葉を技術と社会の接点がシステムであることの宣言と受け止めた。

3 システム研究の系譜

システムにかかわる研究の歴史を概観し、現状を述べてみたい。すでに述べたように、私たちの対象は自然のシステムではなく人工のシステムである。従って自然科学はその知的基盤にはなり得ない。自然科学ではない「人工物の科学」が必要である。その萌芽が二〇世紀の初頭の論理学と数学の連携の中に生まれた。二〇世紀初頭の科学は量子力学の誕生という華々しいドラマに彩られているが、その陰に隠れながらもそれと同じくらい重要なテーマが「数学の論理化」であった。「論理学の数学化」はすでに一九世紀後半のブールやフレイゲによって進められていたが、その逆の「数学の論理化」が「数学とは何か」という基本的な課題に関連して浮かび上がってきたのである。この研究は課題自体が分かりにくいのでポピュラーではないが、その成果が計算機科学を含む人工物科学の基礎を地ならした。ここで詳しく述べることはできないが、ヒルベルト、ラ

ツセル、ヴァイトゲンシュタイン、チャーチ、チューリングなどの多くの天才が、数学と論理学の奥深い茂みに分け入って両者の深いつながりと裂け目を探り出した。

その後一九三〇年から一九五〇年までのほぼ二〇年間に計算論をはじめネットワーク、最適化、制御、予測、品質管理、情報理論、ゲーム理論、サイバネティックスなど人工物の科学が一挙に開花した。私はこれを「第三の科学革命」とよんでいる³⁾。システムに関する学問は第三の科学革命の嫡子である。科学史家の多くは人工物科学の誕生と発達にはあまり関心がないらしく、その誕生の経緯は科学史の暗黒地帯になっているのは残念である。

システムに関する学問的関心は、当時の科学を支配していた要素還元論に対する批判から生まれた。物質を細かく分割して行けばやがて単純で一様な存在すなわち素粒子に行きつき、素粒子の性質が分かれば物質を究極的に理解できるという要素還元論は、専門分野を細分化し対象を狭くして行けば研究範囲が狭まり理解が深まるという学問の細分化と相同であり受け入れやすい。素粒子論の成功がその傾向を後押しした。

それへの批判が起こったのは生物学である。生物は多くの要素(器官、臓器、細胞など)をもつ。しかし個々の要素の性質をいかに精緻に解明しても生命現象を理解することは出来ない。生命現象は要素の間の連携協力を通して発現しているからである、この至極真つ当な主張は多くの人々の共感を呼んだ。この

考えに基づく「一般システム理論」を提唱したのがベルタラン・ファイである⁴⁾。システムを背景にした「全体論」は、ニュートン以来の物理学が護持する要素還元論に挑戦し、そのインパクトは生物学を超えて精神医学、社会学や経営学、国際関係論までおよび大きなブームを巻き起こした。しかし当時のシステム論のレベルでは研究の現場で要素還元論に匹敵する成果を出すのは難しい。一般システム理論はその後システム科学として生き延びたが、抽象的哲学的な議論に堕してしまった。

システム研究でその後起こった二つの事象を述べておきたい。一つは一九七二年の『成長の限界』の出版である。この本は、今のままで経済成長を続けていたら悲劇的な未来が待ち構えていることを、地球の動的なモデルとそれを用いた計算機シミュレーションによって数値として示し、「システムダイナミックス」と呼ばれるシステム科学の手法が用いられた。この本は大きな反響を生んだがその余波の一つとして国際的な共同研究機関である「国際応用システム分析研究所」(IIASA)が生まれたことを付け加えておきたい。冷戦下で緊張緩和(データバンク)を模索していたソ連人とアメリカ人とが、データバンクの象徴として創設した東西の共通問題を共同研究する組織である。システム研究が世界中に貢献したのである。

もう一つは一九八四年のサンタフェ研究所の創設である。この研究所のテーマは「複雑適応システム」で、ノーベル賞受賞者を含むさまざまな分野の著名な研究者が参加した。カオスや

人工生命、遺伝アルゴリズムなど優れた成果を挙げたが、この研究所の関心事は簡単なシステムが複雑な挙動を示すことにあったようで、今求められている複雑なシステムを簡単に分析し制御する方法についての実績はない。

システム科学は科学のコミュニティで完全な市民権を得ているとは言えない。しかし、科学の世界に「部分—全体」、「閉鎖—開放」、「可逆—不可逆」、「因果—創発」、「単純—複雑」などの形で対案を提示し続けてきたことは評価に値する。

4 システムは現代のデーモン

システムは抽象的な概念である。だからそれ自体を見ることがも触ることもできない。しかし確実にそれは現代社会を隅々まで支配している。私たちが何かの課題に直面しそこに深くかわると課題の「システム性」が浮かび上がってくる。例えば、ビジネスモデルという言葉はビジネス界では流行語である。Googleの成功はそのビジネスモデルの優越性によることは定説になっている。しかし実は1節で示したようにその成功は優れたシステムに支えられている。ビジネスモデルを構想することは一歩踏み込むとシステムを構想することに帰着する。

社会は複雑であると感じる時も、実はシステムの複雑さに直面していること、また、未来の不確かさを嘆く時、システムの変化が捉えにくいことを嘆いていることが多い。政府や自治体、企業などでの政策の実施もその核はシステムを構築するこ

とに尽きる場合が多い。このように、表面には出てこないがあらゆることを引き起こす原因となっているシステムは現代社会における陰の主役であって言えは「デーモン」、と言ってよい。この正体を分析し味方につけるための本を上梓した⁵⁾。興味ある読者はご笑読頂ければ幸いである。

- (一) 3000 Most Commonly Used Words in the English Language (pauhold.com).
- (二) 科学技術振興機構研究開発戦略センター「俯瞰報告書: システム科学」二〇一五年。
- (三) 木村英紀「第三の科学革命Ⅰ Ⅱ」、「科学」、岩波書店、八〇—八四、二〇〇二—二〇〇六年一、二月。
- (四) M. D. Mesarovic, *Systems Theory and Biology*, Springer, 1968.
- (五) 木村英紀『現代システム科学概論』東京大学出版会、二〇一二年。(webchir・ひでり 制御工学)

木村英紀

現代システム科学概論

システム思考を支える知の基盤

A5判・三五二頁・四八四〇円

東京大学出版会(表示は税込価格)