システム科学序説

――背景・体系・位置づけについて――

松田武彦

この小論の目的は、システム科学(systems science) という新しい学問が、どのような知的要請にこたえるために発生してきたか、そして現在の段階でこの学問の中心的内容はどの程度まで体系化されているか、といった点について若干の考察を加えることにある.

さらに、いわゆる 科学的管理法 (scientific management)や IE(industrial engineering)・OR(operations research)・経営科学(management science)・情報科学 (information science)・行動諸 科学 (behavioral sciences)ならびに制御科学(control science)ないし制御工学(control engineering)など、これまで"仕事や組織の科学技術"として多少なりとも親しまれてきたものとシステム科学とが、どのようなかかわり合いをもつか、また一方、どこでその狙いを異にするかを明らかにすることを通して、この新しい学問領域の位置づけを行なうことを試みる。

いわれるまでもなく、現在の段階でシステム科学について、このような議論を企てるのがはなはだしい冒険であることは、筆者も十分承知している。しかしOR関係者、システム科学関係者ともにこうした検討を迫られているのも事実である。たとえば、筆者は IFORS(International Federation of Operational Research Societies; 国際OR学会連合)の会長としてその長期計画委員会に対し、OR・経営科学・情報科学・システム科学の相互関係を考えたうえで、もしできれば、IFORS にかわってこれらの諸領域を包括するような学会名称と略称(acronym)を提案するよう諮問している。また筆者の勤務する東京工業大学大学院総合理工学研究科システム科学専攻における研究・教育体制の整備のためにも、この問題と取り組むことが必要となっている。

以上の経緯からも明らかなように,以下の所論は決して厳密な学問論を展開しようとするものではなく,むし

ろ実際上の要求に迫られてのこととご理解願えれば幸い である.

1. システム科学への要請

今世紀に入って、科学技術は2つの方向に沿って大きな発展をとげた、1つは"ものを扱う科学技術"の発展で、現代自然科学の急速な発達によって人間の自然認識がいちじるしく深まる一方、科学的認識の範囲も大いに拡張された。こうした科学的知識の深化と多角化は、その知識の応用としての技術の進歩と多様化をうながした。また逆に、技術が進歩し多様化するとともに新しい技術的要求が発生し、これが刺激となって新しい科学的発見が生まれた例も数多い。このようにものを扱う科学と技術とは、相互に作用し合いながら急激に進歩して人類の文明活動を推進し、今日の高度産業社会の実現に貢献した。この点についてはこれ以上くわしく述べる必要はないと思われる。

科学技術のもう1つの発展方向は"仕事や組織の科学技術"の線である。もっと視野を広げるならば、人間による人間そのものの認識や、社会認識の深まりによる純粋な人間科学・社会科学の進歩発展も見のがせない。しかし新しい人間科学的ないし社会科学的知識や、その応用による社会技術の進歩の多くは、自然科学文明の進展や産業社会の高度化にともなって生じてきた人間的・社会的問題を解決するために、人間科学・社会科学の発達がうながされた結果と見られる場合が多い。そこで、ここでは、自然科学・産業技術の発達による産業社会の進展ないし高度化に触発されたり、逆にこれを促進してきたものとして"仕事や組織の科学技術"をとらえる。もちろん、この方向の発展には"ものを扱う科学技術"の発展ほどのはなばなしさはない。しかし第二次世界大戦

後の約四半世紀にわたる最近の展開にはかなり見るべき ものがあらわれており、実はシステム科学の進歩もこの 方面の発展と決して無縁ではないのである.

"仕事や組織の科学技術"として最初に登場したのは、 いわゆる科学的管理法である. アメリカにおけるその萠 芽はすでに前世紀の末期にあらわれている。 すなわち、 南北戦争における北軍の勝利を契機として、アメリカ合 衆国はそれまでの農業立国の線から急速かつ大規模な工 業化路線へと転進をはじめた、ところが、先進工業地域 であった西ヨーロッパの諸国と異なり、当時のアメリカ には工業生産の熟練技能者がそう多くはいなかった. そ こへ急速かつ大規模な工業化をもち込むとすれば、 当 然、ヨーロッパから大量に流入しつつあった未熟練の移 民労働力に依存せざるを得なかった. そして, そのため には、仕事の徹底的な構造化・標準化・細分化をはかっ て各作業者の担当を明確化する一方、仕事の分担の仕方 すなわち分業形態を明らかにして, 各人の努力を組織目 的にむかって統一する体制をとることが必要となった. これがすなわち大量生産方式・科学的管理法などすぐれ てアメリカ的な仕事の進め方や組織の動かし方を発生さ せた動機である. ここでシステム科学との関連において 注目すべきは、 仕事の分割(decomposition)と統合(coordination) の思想が すでに はっきりとあらわれている 点である.

科学的管理法はその後IEに発展して仕事や組織のい っそう細密な分析技法を発達させたが、第二次世界大戦 前後からORがあらわれて仕事や組織の問題をすぐれて 計量的・数理的に解決することに成功しはじめ、この接 近法が特に経営に関する諸科学と連繫するとき経営科学 と呼ばれるようになった。つづいてコンピュータの出現 とそのめざましい発達は、ORや経営科学の応用面を一 挙に拡大させる貢献をすると同時に、その理論面の開拓 にも大きく寄与し、コンピュータのハードウェアならび にソフトウェア開発のための科学技術の進歩 を う な が し、こうした動きを総括するものとして情報科学という 領域が誕生した. こうして"仕事や組織の科学技術"が 次第にその内容を充実するのにともなって、それに影響 される人間の個人や集団としての行動についての科学的 知識が求められるようになるのは必然で、ここに心理学 ・社会学・文化人類学そのほか多くの分野から派生した 行動諸科学が関係するようになったのである.

"ものを扱う科学技術"と"仕事や組織の科学技術" との境界領域として発展してきたのが制御科学ないし制 御工学である.第一次産業革命以後,人間の手の機能の一部を機械に代行させるための科学技術,すなわち「ものを扱う人」の働きの一部にかわって「ものを扱うもの」を開発する科学技術が次第に発展し、機械化・自動化が行なわれはじめた. ついで計測技術の進歩によって人間の感覚の代行,さらにはその代行機能の精密化や増幅が進み,これに加えてフィードバック原理の適用によって人間の頭脳の働きの一部を代行する自動制御の科学技術が開発され、第二次産業革命などと呼ばれた. この制御科学ないし制御工学においても、やはり第二次世界大戦以後の発展がじつにめざましいが、注目すべきは、それが本来ものを扱うハードな技術でありながら、近来いちじるしく"仕事や組織の技術"としてのソフトな性格を強めてきている点である.

さて、"ものを扱う科学技術"にしろ、"仕事や組織の 科学技術"にしろ、近代科学技術の特徴はその分析的方 法にあった. つまり、近代科学は、観察や認識の対象を 部分に分割する操作をつぎつぎと加えること、いいかえ れば対象全体を部分に分割し、その部分をさらに細かい 部分に分割することと、そしてそれぞれの細かい部分ご との観察や認識をより深化させることによって発達して きたし、技術進歩もまたこれに対応する方法によって実 現されてきた.

この結果、科学技術の各領域ごとの専門家がそれぞれの"蛸つぼ"に閉じこもりがちな弊害はまだしも、人間活動の一つの面でよかれと思って行なった意思決定ないしそれにともなう行為が、思いもよらない不幸な事態を他の面でひき起こすようなことがいろいろと経験されてきた。大きくは、産業化の進展にともなって環境汚染、生態系攪乱、資源枯渇などが起こり、人類全体の運命についての不吉な予言すら聞かれるようになった。

また一企業レベルでも、ORで開発された線形計画法(LP)によって"最適"生産計画を立てて実施したところ、目的が"利益極大"であったことから、利益の少ない製品はことごとく生産打切りとなり製品系列がすこぶる弱体化したため、企業としてはかえってマーケット・シェアを失なう結果になったというようなこともある。これらはすべて、人間活動が分析的な科学技術を頼りにしたため全体の調和を見失って、部分ごとに勝手に進行した結果起こった悲劇である。

ところが、科学技術が人類に不幸な事態をもたらした からといって、人類が科学技術を放棄するわけにはいか ない、またいまさら後戻りをすることもできない、むし ろ、科学技術がもたらした 諸問題の本質的解決のために、新しい科学技術の開発が要請される。そして従来の分析的科学技術に対する新しい科学技術とは、とりもなおさず総合をめざす科学技術であり、システム科学はこうした要請にこたえる総合化のため科学技術として出現したものである。

2. システム科学の体系

システム科学の研究対象は、いうまでもなく、システムである. けれども、システム科学とその対象であるシステムとの関係は、自然科学とその対象である自然現象との関係や、もっと具体的にいって、物理学とその対象である物理現象との関係とは異なる. すなわち、システムという現象が実体として存在するのではなく、システムとは人間の対象認識の一方式である. つまり、システムというものがあるのではなく、ものごとを"システムとして見る"という一つの見方を問題にするのである. したがってシステム科学は対象の認識の仕方そのものに関係する科学である.

ものごとを"システムとして見る"というのは、次のような概念にもとづく認識の仕方をさす。

- 1) 全体は複数の部分によって構成される.
- 2) 部分同士は相互に関連し合って固有の構造(structure)を作る。
- 3) その固有構造を媒介として各部分の挙動(behavior)は全体挙動とそれぞれ固有の関係に立つ.

これをシステム概念 (systems concept) という. もっとも、システム概念については何十という定義が試みられていて¹⁾、いずれもうなずけるものであるが、大切なのは定義そのものよりも、この概念のうえに立ってどのように有用な認識をするかということである.

システム概念にもとづいて行なわれる認識は、それが 事実関係であれ、価値関係であれ、「こうである」(Sein) という記述を行なっているのであるから、これは 理論 (theory)のうえでの認識である。このような理論的認 識のためのシステム概念の明確化は、von Bertalanffy? によれば、生物学上の新しい概念 として、彼自身によってすでに1928年に提唱されたという。システム 理論 (systems theory)はここにその源を発したといってよか ろう。

しかしシステム概念にもとづく認識の有用性が認められ、そうした認識を科学として体系化する企てが表面に

出てきたのは、第二次世界大戦後のアメリカにおいて、 大規模の実用的な仕事を推進するに当たってとられたい ろいろなやり方の間に期せずして共通の面があらわれ、 これがいわゆるシステムズ・アプローチ (systems approach)の効果として確認されてからのことである.

すなわち、はなばなしい科学技術の進歩の成果を急速に国防、原子力、宇宙開発などに生かすための大型プロジェクトの開発・実施、アメリカ防衛のため陸海空三軍の効果的な統合運用をはかるための PPBS (Planning Programming and Budgeting System)の計画・運用など、また企業レベルでも、強力なコンピュータの導入による大規模なデータ処理能力を生かすための組織業務の分析・設計などに、いわゆるシステムズ・アプローチが大いに威力を発揮したのである。

システムズ・アプローチは本質的に「こうあるべきである」(Sollen)という方策論(policy)のうえでの認識である. すなわち,上の1),2),3)の理論的認識を前提として,次のことを企てる.

- (a) 全体挙動の選好順位(preference ordering)または(もし設定可能ならば)評価尺度(performance measure)を決める。
- (b) 上の選好順位または評価尺度のうえで、全体の 目的(objective)または目標(goal)を決める。
- (c) システム概念における3)の全体と部分の固有関係から、全体の目的・目標に対する各部分それぞれの貢献度や、部分の組合せの効果を知る.
- (d) 全体の目的・目標をよりよく達成できるように 各部分のあり方(=挙動特性)や、部分相互のつな がり方(=構造特性)を変える。

こうした方策論的認識は,当然,システム技術(systems technology)に基礎を与えるものである.

さて、システム科学を体系化するに当たって2つの段階が考えられる。1つは、予備的に、システムにおいて行なわれる意思決定を構造化する過程に沿う段階で、いま1つは、最終的に、システムを認識するに際しての抽象化の階層に沿う段階である。前者を横の方向とすれば、後者は縦の方向であり、これら2つの方向が相まって特に"仕事や組織の科学技術"の一環としてのシステム科学の位置づけを念頭に置いた体系化が可能となる。

まず第1の意思決定の構造化の過程に沿う段階ではシステム科学は次のような2つの方向から体系化される.

(1) 個別の意思決定過程に沿う方向

ここで意思決定過程をさらに細かく3つにわけ、それ

ぞれ次に示すような研究内容を当てはめる.

- A) 目的・目標の形成過程——人間の選好関係, 行為 の選択基準(最適化・満足化)など
- B) 代替行為の発見過程——探索理論, 創造工学など
- C) 行為と目的・目標の対応過程——制約条件下の選択,不確実性,あいまいさなど
- (II) 意思決定間の相互作用過程に沿う方向 この相互作用過程をさらに2つにわけて、それぞれ次 のような研究内容があげられる.
 - A) 相互対立の過程---ゲーム理論など
 - B) 相互調整の過程——グループ・ダイナミックス, コオーディネーション理論など

しかし、この予備的段階の体系化では、システム科学 と他の"仕事や組織の科学技術"との接点は見いだせる が、システム科学の独自性は主張しにくい。

第2の、認識の抽象化の階層に沿う段階において、は じめてシステム科学は独自の体系化を与えられ、抽象か ら具体への方向に沿って、次のように配列される.

- i. システム概念――システムにおける意味論, サイバネティックスなど
- ii. システム理論
 - ア) 一般システム理論——代数的システム理論, 大 規模システム理論など
 - イ)システム理論各論――オートマトン理論,グラフ理論,制御理論,応用確率論,数理計画法,効用理論,数量化理論など
- iii. システム技術
 - ア) システム工学——システム分析, システム制御 など
 - イ) システム技法――シミュレーション,システム ・ダイナミックス,ソフト・テクノロジー(デル ファイ法,シナリオ法,関連樹木法など)など
- iv. システム・マネジメント――機械・電気・化学などの工学システム、経営システム、都市システム、 生態システム、社会システムなどの具体的個別システムの解析・計画・設計・運用などの技法
- 3. 在来の"仕事や組織の科学技術"との関係

アメリカで起こった大量生産方式の中に仕事の分割と 統合の思想が見られることはすでに述べた. すなわち, きちんと構造化され,標準化された仕事を分割して各担 当者に割り当てるのであるが、この分割が組織における 分業の論理に従って行なわれるため、この論理を逆の方 向にたどることによって各担当者の仕事の成果が組織全 体の目的に向かって統合されるのである。このように素 朴ながら全体を部分へわけてゆく分割ないし分析の方向 と、部分を組み合せて全体を作ってゆく統合ないし合成 の方向とがあらわれている点が注目に値するのである。

システム概念から明らかなように、ものごとを"システムとして見る"とき、すなわちシステム思考を行なうときには、その対象の全体と部分とを対立概念として扱いながら、しかも全体と部分との関連において対象をとらえることを行なう。そしてこのときのとらえ方に2とおりの方法があって、一方は全体から部分への分割ないし分析であり、もう一方は部分から全体への統合ないし合成である。ここに大量生産の思想と、システム科学の基盤をなすシステム思考との間の共通点が見られる。

大量生産が南北戦争後の移民労働力による急速・大規模な工業化というすぐれてアメリカ的な背景から生まれた方式であることをさきに指摘した。この方式は、単に工業生産におけるアメリカ独得のものとなったのにとどまらず、のちに大量消費、大量事務処理、はては大量教育などに見られるように、アメリカ社会全般に通じる独得の行動原理にさえなったのである。そして、このような行動原理が確立され定着してゆく過程で、アメリカ社会がもともと拠って立つ「契約理念」と結びついて、組織における「構造化性向」(propensity for structuring ――業者造語)というべきものがあらわれた。

これは、明確化できることはすべて積極的に明確化する傾向であるが、この傾向があるために、アメリカ社会では組織における分業も、仕事の分割・分析もできるだけ明確に行なわれるが、これがまた成果の統合・合成に際して誤りや無理・無駄の少ない明確な論理を与えるのである.

いわゆる科学的管理法は、今世紀の初頭 F.W. Taylor らの手によってひろめられ、アメリカの工業生産における仕事や組織の科学技術としての地歩を固めた。科学的管理法の普及によって工業生産における仕事や組織の構造化・標準化はますます広い範囲におよび、アメリカ社会のもつ構造化性向はますます強固なものになるとともに、「組織内契約」の性格をもつ計画・目標・標準といったものが仕事や組織の中心概念として認識されるようになった。そして、これらの中心概念を設定する計画策定(planning)、それらの実現・維持をはかる実施活動

(execution), 実現・維持の状況を査定し必要とあれば 修正を施す 統制活動(control)が 派生してきたが, これ らを連結して計画一実施一統制のいわゆる管理サイクル (management cycle)というものが考えられるようになった.

さて、組織における管理サイクルの運用は、まさしくサイバネティックス (cybernetics) によるものであり、システム科学における制御理論と共通の原理に拠っている。管理サイクルを具体化したものとして、品質管理(quality control), 生産管理(production planning and control), 在庫管理(inventory control)などがあるが、その要所要所でシステム科学におけると同じく、応用確率論・数理計画法などが適用されていることはよく知られているとおりである。

このように科学的管理法は理念のうえでは多分にシステム科学と共通のものをもつが、その技法面が I E として発展してゆく歴史的過程においていちじるしく要素本位の性格を強めた。これは当時の科学技術の一般的風潮であった分析中心の発展の結果である。

こうして I Eは工業生産システムの構成要素である作業や動作の精密分析用の技法体系を生み出して、工業における生産以外の仕事や、さらには工業以外の分野の仕事にも広く応用されるようになった。しかしその要素本位の視点については反省が加えられ、 I E の総合化をはかることの必要性が最近では強調されており、システム科学との関連は今後いっそう深まるものと思われる。

仕事や組織の科学技術のうち、第二次世界大戦後に発達したOR・経営科学・情報科学がシステム科学ときわめて緊密な関係に立つことは、いまさら指摘するまでもあるまい、事実、前に述べたシステム科学の体系化のうち意思決定の面からの考察で明らかなように、この面ではシステム科学とOR・経営科学との共通部分は大きい、また、システムの抽象化階層の面でのシステム科学の体系でいうと、システム理論各論における解析手法の多くが、実はもとOR・経営科学の領域で開発され発展させられてきたものなのである。情報科学と呼ばれる領域には、OR・経営科学と重なる分野と、コンピュータ科学(computer science)と呼ぶべき分野とがあるが、後者においても、ハード面・ソフト面を問わずシステム思考を必須とするという意味で、システム科学とは切っても切れない関係にある。

また、行動諸科学の最近の進歩はめざましく、とりわけ経済学・心理学・社会学などにおける数理的モデルや

コンピュータの利用の成果がいちじるしい点で、システム科学との接点は広がりつつある。しかし現状ではまだいくつかの問題がある。まず、これだけ数多くの研究業績が行動科学の各分野であげられていながら、現実の組織において適用できるよう具体的に方策化されたものがきわめてまれであるという点があげられる。

また、行動科学のいずれの分野においてもその研究に際して、実証科学的方法がとられることが多くなっているが、さきにも述べたような近代科学の分析的傾向に災いされて、考察が要素本位の段階にとどまっていることが多い.一方システム科学の領域で経済システム・社会システムなどが論じられているが、現段階ではその取扱いが抽象的・理念的で、行動諸科学の実証的成果と適切に結びつかないうらみがある.

制御科学ないし制御工学がもともとものないし機械システム(machine system)を扱うために発達したことは前に述べた。第二次世界大戦を契機とした科学技術の飛躍的な発達によって、機械システム一般に対する性能上の要求も飛躍的に高度化した。これにともなって、当然これを制御するための科学技術にも急速な進步発達が要請され、かつ実現された。また思想のうえではサイバネティックスを生み出して、単に制御科学・制御工学の領域における指導原理を与えたにとどまらず、社会科学・人間科学・生物学・生態学(ecology)などにおける有力な説明原理を提供した。

つまり機械システムだけでなく、人間一機械システム (man-machine system)や、社会システム・生態システムなどをも包括する理論体系が構築されたのである。このようにして、システム科学の体系の項に見られるように、理論・技術の両面において、制御科学・制御工学はシステム科学に対して重要な寄与をしており、システム科学との関連の緊密さはOR・経営科学・情報科学に優るとも劣らない。

むすび

この小論では、システム科学の背景・体系・位置づけ について私見を述べるにとどめ、この領域での研究方法 ・研究成果にはいっさい触れなかった。これらについて は今後このシリーズでつぎつぎと取り上げられるはずだ からである。

また, (1)システムにおける人間の情意的行動や"非合理的"行動の問題, (2)「構造化性向」が弱く,むし

ろ「非構造化性向」(propensity for destructuring— 筆者造語)をもち、したがって「漠構造」(筆者造語)を 好む日本社会ないし日本組織の風土の中でのシステム思 考の問題などの考察についても後の機会にゆずった.

システムに関連するいろいろな概念・手法ならびにそれらに関する重要な文献については3)を参照されたい.

最後に、本小論中システム科学の体系化の項について は東工大大学院システム科学専攻における同僚市川惇信 教授から基本的な示唆をいただいたことを感謝する。

参考文献

- 1) Klir, G. J., An Approach to General Systems Theory, Van Nostrand, 1969, 付録
- von Bertalanffy, L., "The History and Status of General Systems Theory" in G. L. Klir(ed.), Trends in General Systems Theory, John Wiley, 1972
- 3) 「OR事典」,日科技連出版社,1975 (まつだ・たけひこ 東京工業大学 大学院システム科 学専攻)

木間々勇造氏の発言

さわらぬ神にたたりなし

むかし、陸軍に11年式軽機関銃というのがあったそうである。1人で持ち歩いて、タンタンタンと連続に射つことのできる武器である。当然のことながら、このシステムでは、送弾の機能が、重要な機能の1つとなっているようだ。一方一番故障を生じやすい箇所ともなる。そこで、故障が発生してもすみやかにその回復をはからねばならない。ゆえに、重要な訓練項目の1つとして取りあげられ、訓練のテストでも重要なチェック項目となっていたと聞いている。

ところで、一方では次のようなささやきも耳にして いる。すなわち、

「その機関銃の 送弾機能を 開発したのは、 現某将軍 である. よって、より良い送弾機能を発案しても、 その将軍が存命であるかぎりそれを取り替えることはできないのだ. やむを得ず、機能の悪さを訓練でカバーしているのだ」と.

旧軍の作り話的例を持ち出して申しわけなかったが これに類した例は,現世のいろいろの社会のいたると ころに存在しているように思える. それが,科学的で あるべしと自負しているORの分野とか、工学系の応 用分野とかに存在するとき、ことは重大であるように 思える.

「あのモデルは、某先生の作ったものである。その先生が、その問題に取り組んでいる段階では、他の人々は、そのモデルの不備点や改良方法がわかっているとしても口出ししないし、触れたがらないのだ」という声を耳にすることがある。仲間意識からする遠慮かもしれないが、上記旧陸軍の例と軌を一にするように思える。もちろん、すべてがそうであるわけではないが、このような事象の存在も事実のようだ。しかも、モデルを作った当事者のその道での権威が高いほ

ど,この傾向が強いようにも判断される.

ところで、その当事者の支援を受ける政策執行者や、 執行される側の立場に立ってみれば、不幸な話となる。 権威という名声が大事か、村八分にされないようにす るが大事か、有用な政策の選択そのものが大事か、む ずかしいところではある。あるいは、さわらぬ神にた たりなしということかもしれない、不満点があっても、 そっとしておいてやる態度を大人の態度、それを公然 と指摘し対抗するのは大人げない態度と考える価値概 念が世間では普遍的であるかもしれない。そうである とするとき、「科学的とは何か」という素朴な 反問へ の答の見いだしに悩む。 (木間々勇造)

▶ 今月号から「木間々勇造氏の発言」や「トップの 視点」などの新顔が登場しました。

「木間々氏」は、1月号にその趣旨を説明いたしましたように、日科技連時代の本誌の〈ORマンの抵抗〉欄の執筆者のペンネームを拝借してスタートいたしました。

「トップの視点」のページは、 企業や 団体などの

トップの方々に、日ごろお考えになっていることや 随想などを自由に語っていただこうという趣旨のも のです。

本号にはそれらのトップをきって、「木間々氏」には本家の木間々氏、「トップ」には前々会長であり名誉会員でもある小林宏治日電社長にご執筆いただきました。 (編集部)