特集　システム研究

システム科学の概念

市川惇信

システム科学に関する一般論を語る時代はすぎた．一般システム理論からシステムズ・アプローチにわたるシステム科学の前線全体において着実な前進をはかることこそ現在の急務である，と著者は考えている．その著者が“システム科学の概念”なるものを開陳するのは，クレタ人エピメニデスの語った“すべてのクレタ人はうそつきである”という命題と同様，矛盾に満ちている．とすればどんな偏見を書いても許されよう．これが幾多の名著，名論説が山積したうえに，文字どおりの粗稿を積まねばならぬ著者の精一杯の開き直りである．中庸公正なシステム科学観を期待する読者は，この稿をとばしてさきに進んでいただきたい．

1.　システム科学の概念

システムとは

システム科学はシステムを対象とする科学である．とすればシステムとはなにかを定義することからはじめるのが常道であり，ほとんどの著者がそうしている．Klirがリストアップしたところによると，システムの定義は24にのぼっている[4]．世界の著名なシステム科学者はそれぞれ自前の定義をもっている勘定になる．したがって，システムとはあなたの心の中にあるものである，といえよう．このことは，システムとは対象の属性として存在するものではなく，人間が対象を認識する1つの観点として存在することを示している．

システムは，その語源

$$\left.\begin{array}{l}\text{syn : with or together}\\ \text{histemi : to set}\end{array}\right\}\Rightarrow\text{to set together}$$

からも明らかなように，対象を要素の集合とそのうえの関係（これをシステムの構造という）という構造で認識するときの言葉である．このあたりまではどの定義でも異論のないところである．

この定義のもとでは，この世にある森羅万象ことごとくシステムならざるはない．素粒子といえども最近はクォークとやらの構成要素が云々されているところをみるとシステムであるし，太陽系も系の字が示すようにシステムである．しかしながら，システム科学がその対象として素粒子とか，太陽系とかを取り上げたこともないし，またこれからも取り上げそうもない．システム科学の対象となるシステムはもう少し限定を受けるもののようである．この限定の仕方が千差万別であり，人の数ほどシステムの定義が存在するゆえんである．

組織化された複雑な（organized-complex）

ここでは，システム科学が対象とするシステムは，組織化された複雑なシステムである，と限定しよう．

「組織化された」とは，なんらかの目標（複数）を達成するように，システムを構成する要素と，その要素の間の関係が内的あるいは外的に規定さ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

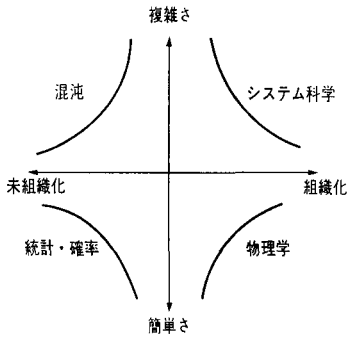

図 1　組織化された複雑さ

れていることを意味する．

「複雑な」とは，①要素がまたシステムとして認識されること，すなわちシステムの構造が階層的であること，および(and/or) ②要素間の関係が密で多元的であることを意味する．

惑星を質点あるいは剛体としてとらえ，惑星間の関係が万有引力によって一元的に規定されていると考えるならば，太陽系は複雑なシステムではない．これに対して人間社会は，人間がよりよく生存しようという目標のもとで自己組織化されて成立しており，要素である個人（またはそのグループ)の間の関係はきわめて多元的である．この意味で社会は組織化された複雑なシステムである．

システム科学が対象とするシステムを，組織化された複雑なシステムと限定するのは，図1に示すように，この領域をカバーする科学がこれまで存在しなかったことによる．これによってシステム科学は“すべてを含むものは，結局なにも含んでいない”という自己崩壊から免れられるのである．

同　形　性 (isomorphism)

システム科学が科学としてもつ普遍性は，その成果があるクラスのシステムすべてに適用できることである．この普遍性は，そのクラスに属するシステムすべてに共通する同形性が存在することを基盤とする．

同形性とは，その語源

$$\left.\begin{array}{l}\text{isos : like, similar}\\ \text{morphe : form}\end{array}\right\}\Rightarrow\text{similarity in form}$$

のように，形の上の類似性を意味する．システムにおける形として

① 要素の属性を支配する法則

② システムの構造（要素間の関係）

③ 要素の属性がシステムの構造を通じてシステムの属性として発現するプロセス

が考えられよう．言語に例をとれば．①は words, ②は syntax, ③は semantics である．

システムにおける同形性の存在は，ほとんど疑いのない経験的事実である．問題は，なぜこのような同形性が存在するかである．

① アリストテレスのいうように，ある進化はいくつかの可能性を開くことによって，他の無数の可能性の芽を摘み取ってしまうためであろうか．

② それとも，どんなに複雑なシステムもきわめて簡単な原理のもとでの進化によって形成されたのであろうか．たとえば動物のもつすぐれたパターン認識の能力は，それによって喰う相手か喰われる相手かを識別するという意味で，生存競争という簡単な原理の所産であるように．

③ 人間の貧弱な認識および処理能力が，有用な形での表現の方法をかぎってしまっているので，これにもとづいて同形性が発現するのであろうか．

①，②の場合には，同形性の存在に，外的あるいは内的な進化，すなわち組織化が本質的となる．換言すれば，組織化された複雑なシステムをあつかうことが，システム科学の存在の基盤となる．

いずれにせよ，あるシステムについての知見はこの同形性を通じて，同じクラスに属する他の数多くのシステムに拡大され，システム科学的知見として市民権を獲得する．もっとも市民として大きな顔をするためには，できるだけ成立する範囲の広い同形性に基盤を置く必要があるが．

個　別　性 (individuality)

どのようなシステムも他のシステムと同形であ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

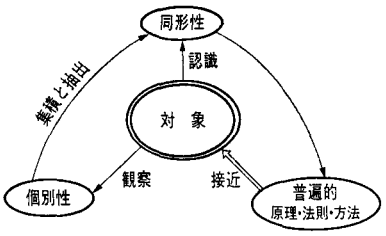

図 2　システム科学の概念

ると同時に，そのシステムに固有な個別的特殊性を合わせもつ．さもないと，そのシステムを他のシステムから区別して認識できないはずだからである．このような個別性については，そのままではシステム科学は無力である．

しかしながらこのような個別性を多数のシステムについて集積するとき，そこにまた新たな同形性を発見でき，新しいシステム科学的知見が加わることになる．この楽観主義がシステム科学の発展を信ずる心の支えである．

“ちがう”という認識は“同じ”という認識があってはじめて成立する．vice versa．同形性の追求を基盤とするシステム科学の意義が理解できるゆえんである．

以上要約すれば，図2に示すように，システム科学は組織化された複雑なシステムを対象とし，それがもつ同形性を基盤として獲得した普遍的な知見を武器として対象に接近し，対象についての透明な理解と取りあつかいの方策を与えようとする．同時に個々のシステムがもつ個別性の集積から新たな同形性を発見することによって，システム科学自身が発展するというラセン状の進化をとげていくものである．

還元主義と展望主義

ニュートン以来の近代科学は，対象をその要素に分解することを繰り返すことにより統一した理解が得られると信ずる意味において，還元主義的であった．この信念に支えられて，科学は対象の分析を繰り返し，物理学は素粒子に到達したが，上のレベルの問題の多くは解決をみないままに放置されてきたわけである．

システム科学は，要素に分解するよりも要素の統合としてシステムをみることにより，レベルの異なる実在のシステムの間に共通する原理を見いだし，解決の糸口を探ろうとする．これは新しい意味での還元主義かもしれないが，区別のため展望主義と名づけよう．

還元主義と展望主義の両者あいまって，科学の一体性はより強い基盤をもつこととなる．

2.　システム科学の構造

システム科学もまた1つのシステムである．それを構成している要素とその間の関係を明らかにしなければならない．

システム科学の構造をどうとらえるかはどのような観点に立つかによって異なるが，ここでは，システム科学の基盤となっている同形性に着目して考えよう．

システム科学の階層を，その基盤となる同形性の広い順に上位から書き出すと図3となる．

システム概念

このレベルの意味と内容はすでに述べたところである．このレベルはシステム科学を動機づけ，アプローチの指針を与えるものではあるが，このレベルだけで具体的な作業が進められるものではない．“すべてを含むものは，なにも含んでいない”からである．K.E. Boulding[1]，L.V. Bertalanffy[2]の著作はこのレベルにあるといってよい．科学に新しい方向を指し示したが，“so what”がこれ以下のレベルにゆだねられている．

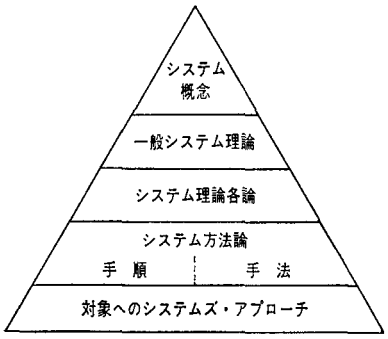

図 3　システム科学の階層

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

一般システム理論

システム概念を厳密な理論として展開するレベルである．要素の集合とそのうえに導入された関係を公理によって規定し，システム全体に通ずる同形性を確保しつつ，システムの特性をできるだけ有用な形でできるだけ多く引き出そうとする．

“すべてを含むものは……”から脱却して，しかもシステム全般に通ずる普遍性をもつためにはつぎのことが最小限必要となろう．

① 概念とその間の関係を明確に定義したうえで理論が構築されていること．

② システムの性質を記述するのに用いられるだけでなく，システムに関連した問題を記述し解くことができること．少なくとも解けるか解けないかが明らかになること．

③ システムを分類して，その1つについて理論を展開するのではなく，その理論のもとでシステムが意味をもって分類されるべきこと．あるいはあらかじめ分類されているとすれば，それが理論の特殊ケースとして対応すること．

このレベルにおいても，システムに共通するどのような同形性に着目するかによって異なる一般システム論が構築される．

サブシステムの入力出力関係とその結合，およびシステムがその目標を追求するための意思決定機構をサブシステムへどのように分配するかに着目したのが Mesarovic[6]らを代表とする一般システム理論である．制御理論，サイバネティックスの流れをくむ研究者の多くが歩む筋道である．

システムにおける状態の遷移をシステムの属性として重視し，オートマトンとしてシステムをモデル化しようとするのが Wymore[7] らを代表とする流れである．

システムの型および特徴からシステムを分類していこうとするのが Klir[4]らの一般システム理論である．

これらの一般システム理論は，その発展した形として，カテゴリー理論を1つの論理数学的な体系として表現したものとなるであろう．一般システム理論は現在のところ，システムについて統一的な見とおしのよい理解を与えてくれる段階に到達しており，システムの解析合成を進めるうえでの有効な指針を提供してくれる．しかしながら具体的なシステムについて，具体的技術を与えるところまでにはいたっていないと考えられる．これは，このレベルの研究の任務とはいえないのかもしれないが．

システム理論各論

システムのクラスを限定し，あるいはシステムを見るときの観点を限定することによって，すなわち成立する範囲が狭い同形性に着目することによって，深くかつ有用な結果と手段を引き出そうとするレベルである．このレベルにおける個々の理論は，システム科学の体系のなかで発展したというよりも，システムを取りあつかううえで有用な理論を，すでに発展してきている理論のなかから集めてきたという色彩が濃い[8]．もちろん，これらの理論がシステム概念にさらされることにより，その発展の方向がシステム指向的になってきたことは事実であるが．

どのような理論が個別のシステム理論であるかを規定することは意味がない，というより有害である．発展しつつある各分野での理論を有用なかぎりにおいて取り入れ援用発展させるべきである．システムの構造についてのグラフ理論，組合せ理論，システム内における信号の流れに着目する制御理論，モデル形成のための諸理論，システムにおける情報の伝達を取りあつかう情報理論，システム・サブシステムにおける意思決定に関する決定理論・ゲーム理論・数理計画法，等々がこれらの代表的なものである．

このレベルのシステム理論は，それらがシステム科学のなかに組み入れられてきた過程から明らかなように，具体的でありかつ有用である．システムの解析，計画，設計，運用等において生じる

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

具体的な諸問題は，これらの理論を援用することによって，定式化され，解を得る筋道が与えられる．

これらのシステム理論の各論は，すでに述べたように一般システム理論から演繹されたというよりも，むしろこれらの個別的システム理論のうちのあるものが，その同形性の成立する範囲を拡大し抽象化のレベルを高めることによって，一般システム理論へと展開したと見るべきであろう．

システム方法論

このレベルは，対象となるシステムを目的に則して解析，計画，設計，運用するために利用できる具体的な手段・方法を集大成したものであって，つぎのように分類できよう．

- システム方法論
  - ・手順
  - ・手法
    - ・数理的手法
    - ・人間～機械対話型手法
    - ・ソフト的手法

手順は，システムを具体的に取りあつかううえでの手順（procedures）をまとめて体系化したものである．これは理論的というより経験的なものである．実際にシステムを取りあつかうにあたって，手落ちがないように仕事を進めるうえでのマニュアルまたはチェックリストとしての性格をもつ．

手法は，手順を進めるうえで対象について適用される方法である．これには，上のレベルの理論を方法にまで展開した数理的手法と，人間の知識・経験および勘をそのまま積極的に採用しようとするソフト的手法，およびその両者の長所を結合しようとする人間～機械対話型手法とがある．近年，ソフト的手法，およびそれにともなう人間～機械対話型手法の発展がめだっている．

このレベルもその範囲を限定することは意味がない．システムの取りあつかいに役立つかぎり，貪欲に他分野での方法論を取り入れ，整備を進めていくべきである．このレベル以下では，システム科学は他の学問分野に境界なしに拡散していく存在となる．システム工学という形でシステム科学の現実的効用を生み出す原動力となってきたこのレベルを発展させることは，システム科学の存立にかかわるところと考えてよい．

対象へのシステムズ・アプローチ

対象となるシステムに，システム概念，一般システム理論，方法論を結集して接近し，有用な方策を得ようとするレベルである．いうまでもなくこのレベルでは，対象そのものについての知見およびあらゆる分野の専門知識とシステム方法論との結合が本質的となる．このことについては次項でさらに検討を進めよう．

3. システムズ・アプローチ

対象であるシステムに，システムズ・アプローチを機械的に試みることによって，つねに有用な方策を見いだし得るだろうか．答はNoである．繰り返し述べたように，システム科学は同形性を基盤として普遍性を獲得している．したがって同形性の成立する範囲では，システムズ・アプローチによって一通りの理解が得られ方策がたてられ得る．しかし，これではそのシステムのもつ個別性，すなわちそのシステムの存在意義が切り捨てられていることとなる．この意味でシステム科学は医学にたとえられよう．

クリニカル・アプローチ

医学は，生物のとくに人間の，生物学的同形性を基盤として，すべての人間に適用できる普遍的な対処の方法を獲得し生みだしている．生物学的に見た場合，“人間は皆同じ”であるからである．しかし1人1人の人間にとって自分は他とは異なる存在である．したがって医者は臨床的に1人1人の相違を明らかにし，“きめの細かい”診断と処置をするよう徹底して教育されている．このことは医学を学んだだけで得られるものではない．多数の患者に接して，人間の同形性と1人1人の生物的，社会的相違とを身をもって体験しなければ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

ならないとされている.

システムズ・アプローチもこれと同じである.対象である1つ1つのシステムの個別性を認知して，その中に入り込んで判断し処置するのでなければシステムズ・アプローチはきわめて浅薄なものになる．筆者の尊敬するシステム実務家の1人は，システムズ・アプローチのこの面を強調して，クリニカル・アプローチとよんでいる.

基礎医学が臨床医学から発展の種を得ているように，クリニカル・アプローチによって得られる1つ1つのシステムの個別性の集約が，システム科学の発展につながるのである.

システム屋は神ではない

システム屋は，対象となるシステムを解析し，その構造および外部システム(環境)との関連を明らかにし，システムの挙動を予見し，決定の効果を予測することによって，最善の方策のいくつかを立案しようとする．これを間違いなく果たすことは神の業である．ただちにいくつかの疑問が発せられる[3].

① モデルをいじくりまわすことによって将来は予測できるのか

② 最善の方策というが，なにをもって“よい”というのか

③ 将来が予測でき，なにがよいかがきめられたとして，はたして矛盾のない決定というものが存在し得るのか，等々.

これに対してシステム屋としての反論あるいはいいわけはいろいろあるであろう．しかし著者はここで，いいわけ・反論は必要ないと考える.

再び医学との対応をとる．臨床医は患者が生き伸びるのがいいのか，死ぬのがいいのか，あるいは医学者は寿命の延長が人類にとっていいことか悪いことかは，職業人としては考えない．ただ患者を生かすことだけに専念することが職業的倫理である.

システム屋もこれに同じである．システム屋は，現在われわれのもっている知識と利用できるデータを最大限に用いて，われわれがおかれている状況のもとで，もっとも矛盾のない方策を考えればよい．クレタ人エピメニデスの“すべてのクレタ人は……”のような最小ループの矛盾を避け，考え得るもっとも遠廻りのループで矛盾があらわれるようにすればよい．ただそれだけである．システム屋は神ではない.

むすび

以上，著者の考えるシステム科学の意味するところをまとめてみた．これらは著者がこれまでに接した多くのシステム関連の方々との対話の中から生まれてきたものである．とくに東京工業大学システム科学専攻での筆者の同僚である松田武彦教授，寺野寿郎教授，高原康彦助教授，ならびに京都大学の椹木義一教授にはいろいろな機会にご啓発をいただいた．付して感謝の意を表する.

参考文献

1) K. E. Boulding : The Image, Univ. Michigan Press, Ann Arbor, 1956.

2) L. V. Bertalanffy : General Systems Theory, George Brazillar, New York, 1968.

3) C. W. Charchman : Challenge to Reason, Mc Graw-Hill, New York, 1968.

4) G. J. Klir : An Approach to General Systems Theory, van Nostrand, New York, 1969.

5) G. J. Klir ed. : Trends in General Systems Theory, Wiley, New York, 1972.

6) M. D. Mesarovic and Y. Takahara : General Systems Theory : Mathematical Foundation, Academic Press, 1975.

7) A. W. Wymore : A Mathematical Theory of Systems Engineering : The Elements, Wiley, New York, 1967.

8) L. A. Zadeh and E. Polak ed. : System Theory, McGraw-Hill, New York, 1969.

いちかわ・あつのぶ　1930年生

東京工業大学教授　システム科学専攻

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．