

システムアプローチ再考

高原 康彦*

要 約

システム思考が最初に提唱されたのは1940年代であるが、その本格的研究が開始されたのは1950年代であり、それ以来40年間の時が過ぎている。その間システム思考の適用対象が変遷し、それに伴いシステム思考自体の考え方も変化している。この変化をハードシステム思考からソフトシステム思考への変遷とすると、何故変遷が生じたか、ソフトシステム思考というのは何か、を考察する。

特に、1970年初頭に行われたローマクラブの世界モデルのプロジェクトをシステムアプローチの立場から再考する。従来世界モデルのプロジェクトはハードシステムアプローチの枠組みの中で理解され色々の非難をあげた。しかしソフトシステムアプローチの立場からは興味のあるプロジェクトである。

システムアプローチを次のように理解する。

() 対象をシステムモデルを使って認識する。

() システムアプローチ自体は問題解決のためのアプローチである。

システムモデルの基本は、入力、出力、その間を結ぶ変換及び入力の源あるいは出力の行先となる環境の概念である。これを入力 - 出力モデルと呼ぶ。

入力 - 出力モデルの変換を、代替案概念でパラメーター化し、代替案選択のための意思決定のメカニズムを導入したものがゴール追求モデルである。

問題解決における問題概念は、現状とあるべき姿との差として定義され、現状をあるべき姿に変換するものが解決案である。問題解決には、不確定要素が必ず伴うため、決定原則が必要となる。

ハードシステムアプローチの典型は、目的の明確化、目標の選択、代替案の生成、代替案の分析、選択、開発、実施と階段化されているシステム工学の方法論である。ハードシステムアプローチは、目的・目標を所与として、代替案の生成、分析に力点が置かれがちのため、工学的問題には有力であるが、人間を含む社会的問題にはあまり成功していない。社会的問題では、目的の不明確さ、“政治的”環境への配慮が重要である。

本論文で取り上げるソフトシステムアプローチSSM(Soft System Methodology)は、ハードシステムアプローチを経営問題に適用しようとした努力から生まれた。それは典型的に、問題状況の調査・表現、関連システムの抽出とその根底定義記述、概念モデルの生成、概念モデルと問題状況の比較のための論議、それを通しての実現可能で望ましい案の生成、実施の段階からなる。

SSMは、人間の活動をシステムとして認識し、“政治的”環境を考慮しながら、目的

* 東京工業大学工学部教授

設定までも代替案に組み込んだアプローチである。

ローマクラブは、地球的規模の問題を解析した最初のレポートとして1974年に「成長の限界」を発表している。これはSD (System Dynamics) と呼ばれるシミュレーション技法を使い、地球的規模の問題を人口、農業、産業、自然資源環境汚染の5つのサブシステムに分割して解析した。この結果、今のままの成長を続けることは不可能であると結論し、成長を止めることを提案したものである。

これは大きな反響を呼び、賛否が戦わされた。ハードシステムアプローチの立場からすると、モデル設定及びモデルの不正確、データの不足と不正確から、アカデミックな意味では否定的意見が大勢であった。

しかしソフトシステムアプローチすなわち、議論のために概念モデルを提出するという点、あるいは目的・目標（この場合は人類の）までも代替案の中に取り込んで考察するという点では非常に成功したプロジェクトと考えられる。

現在、「成長の限界」が指摘したことが、定性的には現実になりつつある。いま一度ホリステックな立場からの考察が強調されなければならない。

．はじめに

システム思考が最初に提唱されたのは1940年代^(注1)であるが、それが本格的に研究され、実用化が図られたのは1950年代からである^(注2)。現在約40年間の時が過ぎている。この間に、システム思考の適用対象が変遷し、それに伴いシステム思考自体の考え方も変化している。この変化を参考文献[3]にならい、ハードシステム思考からソフトシステム思考への変遷とすると、何故変遷が生じたか、ソフトシステム思考というのは何か、それが成功していると主張されるのはどのような意味であるか、を考察したい。

特に、1970年初頭のローマクラブによる世界モデルのプロジェクトをシステムアプローチの立場から再考する。従来世界モデルのプロジェクトはシステム工学的アプローチの典型とみなされ、後述のハードシステムアプローチの枠組みで理解されたが故に色々の非難をあびた。し

かしソフトシステムアプローチの立場からは非常に興味のあるプロジェクトと考えられる。

次節で述べるように、システムアプローチの本質は全体的見方にある。現在も既に、そして未来においてはますますこのような見方が必要となるのは明らかである。“問題が複雑である”という言明は、とりも直さず還元主義的見方ではなく、全体的見方を要請するものである。このような要請に答えるためのシステムアプローチは、ダイナミックに動いていっているものであるが、この論文はそれを整理し、これからのシステムアプローチ研究に備えようとするものである。

システムアプローチを語る言葉は色々ありうる。“複雑”を対象とするために、最も適している言葉は、数理的形式言語であるというのが著者の主張である^(注3)。曖昧な言葉を使うことから生ずる誤解は、システム論の議論での大きな

(注1) 参考文献[1]参照。

(注2) 参考文献[2]参照。

障害要因となっている。この論文では特に形式的議論の展開は行わないが、“知の経済”のた

めに、システムアプローチの概念を簡単な記号によって表現しながら議論を進める。

．システムアプローチの枠組み

システム思考は元来“組織化された複雑性”を取扱おうとするものである^(注4)。上記概念に対応して、“非組織化された複雑性”と“組織化された単純性”の概念がある。前者は、複雑（直観的に多種多様なものからなるとここでは理解しておく）ではあるが、これがまったくランダムであるが故に、統計的取扱いが可能となり、厳密科学の対象となるようなものを意味する。典型的には、気体の分子運動論のようなもので、空気中には多数（ 10^{23} 個位）の気体分子が存在し、勝手に運動しているが、その運動がまったく勝手であるので、気体の状態は例えば3つの変量、圧力・体積・温度によって表現することが可能になる。もし社会を構成する人間が気体分子と同じ様な取扱いが可能ならば、社会システムは簡単な統計的表現に従うことになるであろう。

一方組織化された単純性は、例えば太陽と地球のみからなる2質点の力学系のようなもので、これは単純であるが故に直接システムとして厳密に取扱うことが可能となる。

上記の両者を超えた存在である“組織化された複雑性”は、人間の社会が典型的例である。これは正に複雑そのものであり、従来の厳密科学の対象となり得ず、ここに新しいアプローチ、すなわちシステムアプローチの必要性が生ずる。

システムアプローチを簡単に次のように定義しておく。

- (i) 対象をシステムモデルを使って認識する。

()システムアプローチ自体は問題解決のためのアプローチである。

最初にシステム認識について考える。システムの基本的認識は、複数の構成要素が相互干渉しているものである。いまシステムSがn個の要素からなり、i番目の要素の状況あるいは動作がとる値の集合を V_i とすると、システムSの一般的記述は

$$S \subset V_1 \times \cdots \times V_n \quad (1)$$

となる。後で世界モデルの考察を行うが、世界モデルは農業、工業、人口等のいくつかの要素の相互干渉しているものとして表現される。農業はそれを特徴付けるいくつかの指標（例えば農業生産量）によって表現できる。故に農業を表す V は、これらの指標からなるベクトルの集合である。

(1)式は一般的システム認識であるが、より深い議論を行うために、(1)式より限定された形でのシステム認識が採用される。図1がそれを示すものである。この認識では、システムとして取扱う対象とそれ以外とをまず区別する。対象以外のものを環境と呼び、対象と環境は境界により分離される。そして、環境から対象に対し入力と呼ばれる作用があり、対象は逆に出力と呼ぶ作用を環境に与える。認識対象は入力を出力に変換するもので、このようなシステム認識を暗箱モデルあるいは入力-出力モデルと呼ぶ。入力 x 、出力 y の集合をそれぞれ X 、 Y とすると、入力-出力モデル P は一般に

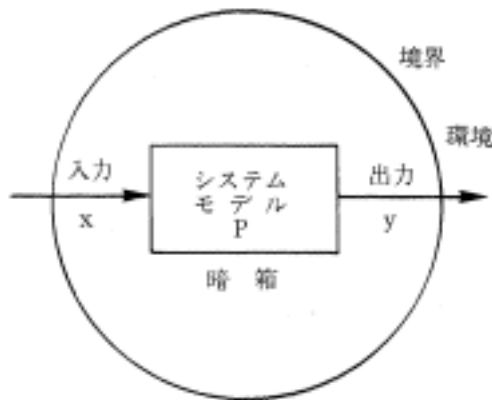
(注3) 参考文献[4]参照。

(注4) 参考文献[3]参照。

$$P : X \rightarrow Y \quad (2)$$

のように表現される。すなわち入力 x は P により出力 $y = P(x)$ に変換される。

図1 入力 - 出力モデル



(1) 式の実際表現では、 V は単に集合ではなく、入力 - 出力モデルであることが多い。すなわち $V = P : X \rightarrow Y$ の形となる。(数学的には、関数は集合の特別なものと考えることができる。) S は入力 - 出力モデルが相互干渉したものとなる。世界モデルはそうように構成されている。

入力 - 出力モデルは、因果関係として対象を認識するもので、特に工学的システムにおいて有効である。システム理論の原形である回路理論や線形制御理論は入力 - 出力モデルに基づいている^(注5)。

対象が複雑になると、例えば社会システムに対しては、概念的には入力 - 出力モデルを適用できるが、実際的に入力と出力の因果関係を明示的に表現することが困難となってくる。この場合には暗箱をシステム論的にホワイトボックス化したモデルとしてゴール追求モデルが使用される。

図2がゴール追求モデルを概念的に示したものである。

図2 ゴール追求モデル

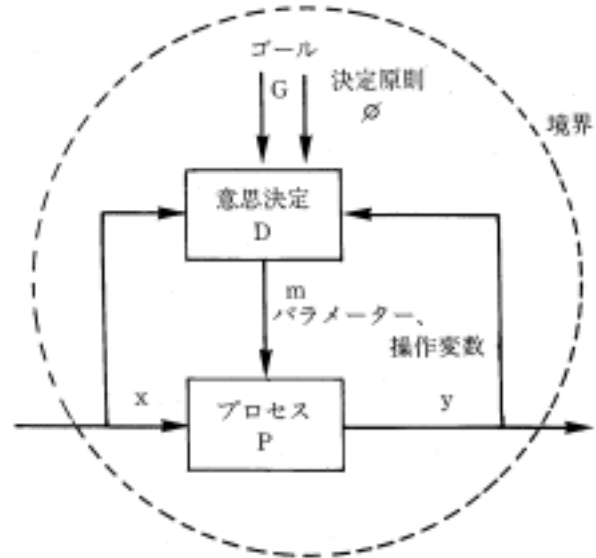


図2が示す如く、ゴール追求モデルでは、対象モデル P に m というパラメータが導入され

$$P : M \times X \rightarrow Y \quad (3)$$

の形の表現となる。 M は P の動作（入力 - 出力関係）を説明するためのものである。 M の要素 m に対応して入力 - 出力関係は

$$P(m, -) : X \rightarrow Y$$

のように色々な形をとる。 P の動作の理解は、 m がどのような値をとるかの理解に変換される。 m を操作変数あるいは代替案とも呼ぶ。操作変数の値は、図2が示す如く、意思決定要素 D により決定される。経済における市場は D に対応するが、この場合の意思決定要素は理念的なものである。企業をモデル化した場合、企業は入力（人、物、金、情報）を出力（人、物、金、情報）に変換するものと理解できる。そしてこの変数は、企業内に存在する経営組織により管理される。この場合意思決定要素は具体的に存在する。

(注5) 参考文献[4]参照。

操作変数 m の値を決定するために、何らかの基準が必要となる。この基準は目的関数と呼ばれ、一般的に次の形の関数 G で表現される。

$$G: M \times X \times Y \rightarrow R \quad (4)$$

ここでは R は実数の集合で、 G によりプロセス P の動作の良さを評価していると考え。操作変数 m は、 G の値が極力大きくなるように選択される。

ある意思決定 m を行ったとき、プロセスの動作の評価は、(3)、(4)式より

$$g(m, x) = G(m, x, P(m, x)) \quad (5)$$

という関係で表現される。すなわち一般に意思決定を行っても、その結果と評価は一義的に定まらず、外界からの入力 x に依存する。特別な場合として、外界の入力が既知の場合（外界からの入力がない場合も含む）は評価が一義的に定まる。既知の値を x_0 とすれば評価は $g(m, x_0)$ となる。この場合意思決定でなすべきことは、 $g(m, x_0)$ の値が極力大きくなるような m を探索することで、このような形での意思決定を最適化と呼んでいる。

本論で問題とするような複雑なシステムに関しては、外界からの入力が既知であることは、ほとんどあり得ない。このような場合には、どのような意思決定をするべきかが一意的に定まらない。外界の取扱いに依存するからである。この取扱いを表現するために決定原則 ϕ と呼ばれるものを導入する。

いま意思決定問題を、代替案集合 M 、外界からの入力集合 X 、(5)式で定義した関数 g の組 (M, X, g) と表現する。また意思決定の結果を代替案集合 M 上の順序関係 $<$ とする。すなわち意思決定というのは、代替案 m と m' に優劣をつけるもので、 $m < m'$ は m' の方が m より好ましいことを表すとする。このように定義すると、決定原則 ϕ は、与えられた意思決定問題 (M, X, g) に対し代替案の集合に順序

付けをする関数として表現できる。すなわち

$$\phi((M, X, g)) = (M \text{ 上の優劣 } <) \quad (6)$$

となる。

非常に重要な意思決定を行うとき、人間は多くの場合最悪の状況を想定して意思決定を行う。すなわち2つの代替案 m と m' に対し、

$$m \leq m' \leftrightarrow \min_x g(m, x) \leq \min_x g(m', x)$$

として代替案に順序をつける。ただし、 $\min_x g(m, x)$ というのは、 m を固定し、 x を考えられる範囲内で動かして $g(m, x)$ を最小にすることである。このような代替案の順序の中で、最も望ましいもの（すなわち $\leq$ に対する極大要素）、を意思決定案として採用する。これはマックスミン(max-min)による意思決定と呼ばれているが、典型的な決定原則の例である。

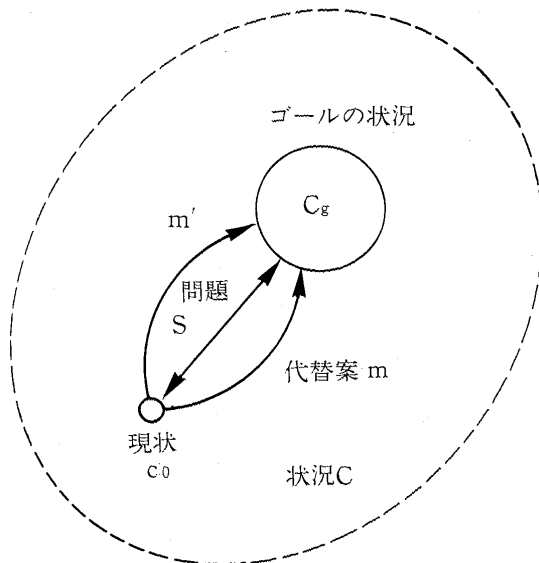
以上がシステムアプローチを理解するための基礎となるシステムモデルである。

一方システムアプローチは問題解決のアプローチである。

問題解決を概念的に図示したものが図3である。図3が示すように、問題という概念の定義は、関心対象の状況の集合 C が出発点となる。関心対象の現在の状況を現状 c_0 とする。 c_0 に対して、望ましい状況（通常これは1つではない）の集合を C_g （ C の部分集合）する。問題というのは c_0 と C_g の差として定義する。

現状 c_0 を C_g の要素に変更させるためにいくつかの方法がある。（あるいはまったくないかも知れない。）この方法が上述の代替案に対応する。現状を変化させる代替案の集合を M とすると、ゴール追求モデルに従い M と Y の関係は $y = P(m, x)$ と表現できる。一般的に、現状を変更するための行動 m を行っても、結果は一意的にはならない。このバラツキを説明するものが x の存在である。

図3 問題解決



問題解決の典型例は、例えば環境問題である。現在の悪い環境を望ましい環境に変えることが問題解決である。環境問題解決の為の政策（代替案）の実行には通常コストがかかる。このことを

$$\Pi(m) = \tau \text{ (実数)} \quad (7)$$

と表現する。すなわち m の実施には $\Pi(m)$ だけのコストを必要とする。また望ましい環境というのは一意的に定められるものではなく、それぞれの環境がそれぞれに望ましさを程度を持っていると考えられる。このことを

$$\Psi(y) = \gamma \text{ (実数)} \quad (8)$$

と表現する。すなわち y という環境は $\Psi(y)$ という望ましさを持つとする。

上記のように定義すると、問題解決というのは意思決定問題であり、通常その評価関数 G は損益比

$$G(m, x, y) = \Psi(y) / \Pi(m) = \Psi(P(m, x)) / \Pi(m)$$

として定義される。望ましい代替案は G を極力大きくするべきものであるが、この場合にも x の存在のために、一般的には最適代替案は存在せず、政策決定のためには決定原則を必要とする。

・ハードシステムアプローチ

節の準備のもとに、最初にハードシステムアプローチについて考察する。

ハードシステムアプローチは工学の現場から生じたものである。工学の現場において、大規模複雑な対象を相手にして問題解決を行い、それに成功した方法を整理してハードシステムアプローチが構成されている^(注6)。これの典型的例が、人間を月に送ったアポロ計画であるとされている。旧ソ連の宇宙開発に遅れをとったアメリカが（スプートニクショック）、それを挽回するべく、1960年に打ち出した計画である。こ

の計画では10年後の1970年に月に人間を送ることになっており、アメリカは実際に成功した。

アポロ計画は問題解決の枠組みで説明されている。すなわち最初に、1970年に人間を月に送るという仕組み（システム）をゴール状況とする問題設定がなされた。

次にそれを実現するべき代替案の探索がなされた。これを目的 - 手段の関係で考えると、手段（代替案）が目的となり、問題は新たな問題解決の問題を産みだす。すなわち解決すべき問題の鎖が生ずる。この代替案探索では、画期的

(注6) 参考文献[5]参照。

な技術開発は行わず，できる限り既存の技術の組合せで目的達成を実現しようとした。また計画実施も P E R T 等の管理技法を使用しシステムティックに行ったとされ，これらのことからアポロ計画はシステムの勝利とされている。

ハードなシステムアプローチが定式化されたのはアポロ計画より前である。その典型的形は次のようなシステム工学の方法として述べられているものである^(注7)。システム工学の方法は，問題解決において，システムを構築することで（例えば月に人間を送るという仕組み）問題の解決を図ろうとし，方法の直接の目的はシステム構築の方法を述べたものである。

システム工学の方法は次のような手順とされている。

- 1．目的の明確化
- 2．目標の選択
- 3．代替案の生成
- 4．代替案の分析
- 5．選択
- 6．開発
- 7．実施

これは 節で述べた問題解決の枠組みをプロセス化したものである。目的の明確化というのは，構築すべきシステムが果たす一般的な機能とその意味を明示することで，次の目標の選択の基礎となる。アポロ計画における目的は，月に人間を送ることと同時にそれによりアメリカの国威の発揚が含まれていたであろう。

目標の選択は，目的を実現するために，具体的にシステムが満たすべき仕様である。システム工学における一般的なシステムモデルは（2）式で示される入力 - 出力モデルである。ここでいう仕様というのは関数 P の規定である。与えられた資源と技術（入力）を使い，人間を月にどのような形で送るか（出力）を具体的に規定するものである。

代替案の生成は，目標の選択で規定された P を実現することである。一般に P の実現には

色々な方法がある。この色々な方法を代替案とすると，代替案の作成は（3）式のように

$$P^*: M \times X \rightarrow Y$$

として表現できる。目標に照らして有意味な代替案は，考えられる x にに対し $P^*(m, x) = P(x)$ となる m である。（実際には $P^*(m, x)$ と $P(x)$ は厳密に等しくなる必要はないが，ここでは理想的な状況を考えて等しくなるとする。）

代替案の分析では，有意味な代替案の中から何が“最適”を決定することである。このためには，代替案の評価を行うための（4）式の関数と，入力が一意的ではない（例えば利用できる資源，技術が一意的に確定できない）ので，決定原則 ϕ を必要とする。アポロ計画のような大規模かつ失敗が許されない場合には，決定原則は（慎重な）max-min原則が使われるであろう。またこの段階で入力がとる値の範囲を表す X_0 。 X も定められるであろう。

代替案の選択は，各 $x \in X_0$ に対し， $P^*(m, x) = P(x)$ となる代替案 m を考え，それを $G(m, x, P^*(m, x))$ によって評価し，決定原則 ϕ により“最適”代替案を選択する。一般的には，どの様な代替案を選ぶべきかが分かっていても，それを具体的に求めることは容易ではない。これを求めるために，例えば線形計画法等のような解法がシステム工学の道具として研究されている。

$m^* \in M$ が代替案として選択されるならば，それを実行することが，開発である。

実施においては，真の入力が $x_0 \in X$ と分かるので，実際にえられるシステムは $P^*(m^*, x_0)$ となる。

以上のような問題解決の方法は，工学の分野では成功を収めたことから，当然他の分野にも適用することが考えられた。例えば次のような問題解決のための経営分析の手順はハードなシステム工学の方法と本質的には同じと考えられ

（注7）参考文献[5]参照。

る^(注8)。

- 1．分析目的を明確化する。
- 2．企業をシステムとして認識する。
- 3．環境システムを同定する。
- 4．企業の内部組織を同定する。
- 5．全体から部分システムへと分析を行う。
- 6．解決の代替案を同定する。
- 7．代替案の評価を行う。
- 8．最適代替案を選択する。
- 9．選択された解を実施する。
- 10．実施結果を改良する。

このような経営分析が対象とする典型的問題は、例えばマーケットシェアの拡大である。これを目的として、2、3において全体像をシステム工学の入力 - 出力モデルとして定式化する。4、5によって目標例えばある部門の情報システムの改善が提示される（マーケットシェアの拡大のために情報システムが必要と判断して）。6以降は、情報システムの実現を問題とし、ハードなシステム工学の方法論とまったく同じである。

1970年代に入ると、アメリカの社会は、ベトナム戦争の後遺症もあり、失業、犯罪、教育、環境等色々な面で社会問題が続出してきた。筆者は当時アメリカに居たが、そのときのアメリカ社会のモットーは“月に人間を送った国が社会問題を解決できないわけがない”であった。そして実際にシステム工学の方法の社会問題への適用が試みられた。

その中で最も有名なのがカリフォルニアの実験である。カリフォルニア州では、ベトナム戦争終結により、特に航空機産業に従事していた技術者が失業していた。その救済をかねて、当時の州知事が技術者を採用し、カリフォルニアの社会問題の解決をシステムアプローチによって行わせた。

その1つの問題として、州の情報システム構築がある^(注9)。このプロジェクトの目的は、州の

行政のためによりよいサービスを提供する情報システムを作ることであった。技術者達は、この目的を所与とし、目標を、現在流れているのと同じ情報を、コンピュータシステムを構築することにより、より安価により迅速に提供することとした。このように操作的な目標を設定することにより、情報システム構築の代替案を定量的に評価可能にした。そして、当時入手可能な計算機技術で目標を実現する最適なシステム構築に全力を上げて計画案を作成した。しかし結果は、知事が交代し、新知事は効率性の観点から全ての予算の見直しを行い、その結果、計画案は見捨てられた。

このプロジェクトはハードなシステムアプローチの失敗とされているが、その原因として2つのことが指摘されている。

第1は、目標の設定である。技術者達が立てた目標は、自分達の専門領域の内で実現可能でかつ評価が安易なものを目標としている。すなわち目標は自分達で処理できるものから選んでいる。目標システムが目指している情報そのものがそもそも有意義なものかの考察を行っていなかったために、新知事の効率性の判断に対処できなかったとされている。

第2の批判は、社会システムを対象とするとき、それがもつ“政治的”背景を無視したことである。社会的問題を考察するとき、文脈を考えず、技術的問題として処理することはありえず、問題を絶えず広い立場でとらえる必要がある。ハードなシステムアプローチにはこのような視点が欠けており、知事の交代、ある性向をもった新知事の出現という環境変化にまったく無力であった。

(注8) 参考文献[6]参照。

(注9) 参考文献[3]参照。

．ソフトシステムアプローチ

ソフトシステムアプローチは，社会のような人間を含むシステムに対するシステムアプローチである。このようなシステムには，工学のシステムのような明確なモデルを立てることはできない。その最大の特徴は，誰もが納得する“操作的目的”すなわち目標が唯一に定めることができないことである。

ハードなシステムアプローチは，前節で議論したように，実現可能な目標の設定が前提となる。故にハードなシステムアプローチをソフトなシステムに適用することには本質的に無理があり，実際1970年代以降，工学者の行うシステムアプローチに対し厳しい批判が行われていた。

しかし社会や企業は複雑な対象であり，それは全体的視野から取扱われねばならない。すなわち何等かのシステムアプローチが必要である。このことから，ソフトなシステムを対象とするシステムアプローチが色々な形で提案されてきたが，その中で，最も成功したと思われるシステムアプローチとしてSSM (Soft Systems Methodology) を取り上げて考察する^(注10)。

SSMは，企業における経営問題を対象として作られたものである。SSMは次のようなステップからなっている。

- 1．問題状況を調べる。
- 2．問題状況を表現する。
- 3．対象をシステムとして認識し（関連システムと呼ぶ），それを根底定義と呼ばれる形式で記述する。
- 4．根底定義を詳細化し，それを概念モデルとして表現する。
- 5．概念モデルをステップ2の問題状況と比較する。
- 6．比較は，問題状況の中で関連システムに直

接関与している人との論議（debate）を通して行い，その結果として，問題状況を改善すると思われる実行可能で望ましい改革案を構成する。

7．改革案を実行する。

SSMは，ソフトなシステムの中でも特に人間の活動に注目し，それをシステムとして扱うシステムアプローチである。そして，ハードシステムアプローチのように実現可能な目標の設定を前提とはしない。問題をできる限り広い文脈で考察するという立場からアプローチが構成されている。

そのために，まず最初に問題ではなく，問題状況の調査に力を入れる。問題状況というのは，あるべきものからの漠然とした差として定義される。問題状況の表現は，対象の構造とプロセス特に対象に含まれる人間の役割，役割期待，情報の流れとして表現する。

このような問題状況の調べに基づいて，問題を表現していると思われる側面を抽出し，それをシステムとして認識する。これを関連システムと呼ぶ。SSMで強調することは，見方を変えることで関連システムがいくつも生ずることである。

関連システムは，ハードシステムアプローチの仕様 $P: X \rightarrow Y$ に対応する。複数の関連システムが存在するということは， P の形はもちろんのこと， X ， Y 迄も変更されることを意味する。

根底定義というのはSSM固有の言葉で， $P: X \rightarrow Y$ の文脈を規定するものである。文脈は“CATOWE”を規定することで表現する。 C はclientで，変換 P により直接影響を受ける人である。 A は変換に携わる人で，ステップ6

(注10) 参考文献[3]参照。

の論議に参加する人である。Tは変換で、Pのことである。Oは関連システムの所有者で、このシステムの存続を左右できる人である。Wは関連システムの存在意義を示す世界観である。Eはシステムの環境を表す。

概念モデルは代替案の生成に対応する。すなわち $P: X \rightarrow Y$ を1つの企業組織の機能とするならば、これを実現する組織は色々ありうる。これを(3)式にならひ、 $P^*: M \times X \rightarrow Y$ と書くと(Mは色々な組織構造を表現する集合)、 $P^*(m^*, x) = P(x)$ となる m^* が望ましい組織である。ハードシステムアプローチとの大きな違いは、 m^* が実現可能な代替案とは限らないことである。

ステップ5, 6の比較と論議がSSMの特徴となる。いま理念的に、現実の対象は、

$$P_0: M_0 \times X \rightarrow Y$$

で表現されるとする。すなわち企業の(XとYで表現される)ある側面を考えたとき、実現可能な組織 $m \in M_0$ に対し $P_0(m, -): X \rightarrow Y$ となるシステムが実現されるとする。

このとき2つのシステム $P^*(m^*, -)$ と $P_0(m, -)$ の差を

$$D(m) = \| P^*(m^*, -) - P_0(m, -) \|$$

と書くと、論議によって求めるべき改革案 m^0

M_0 は $D(m^0)$ が最小となるものである。実現可能は $m^0 \in M_0$ を、望ましさは $D(m_0)$ の最小を意味する。

差 $D(m)$ の定義は一意的ではない。どのように定義するかは問題状況の表現、C A T O W Eの文脈に依存し、ここで論議が生ずる。論議はAとシステム設計者の間で行う。

この論議において納得のいく m^0 が得られない場合には、関連システム $P: X \rightarrow Y$ を変更し、概念モデルを作り直し、再び論議を行う。

納得のいく m^0 が得られたときは、 m^0 が改革案となり、 m^0 の実施を行う。SSMの立場では、 m^0 の実施自体が次の解くべき問題となる。

以上がSSMの概要である。SSMとハードシステムアプローチと大きく異なる所は次の3点に要約される。

1. ハードシステムアプローチでは、 $P: X \rightarrow Y$ は実現可能かつ実現されるべき仕様である。また原理的にはハードシステムアプローチでもPの変更は可能であるが、計算機のライフサイクルアプローチが示すように、通常変更しない所与の条件として取扱っている。このために、望ましい性質をもつ仕様が明らかである場合にはハードシステムアプローチは適用可能であるが、ソフトなシステムではこのような状況が成立しないことが多い。

一方SSMでは、 $P: X \rightarrow Y$ は実現可能でもなければ、実現されるべきものでもない。あくまでも論議のためのたたき台を提供するものである。Pは変更されることが前提となっている。

実現可能性の条件をはずすことで、 $P: X \rightarrow Y$ を創出することが格段に容易となっている。

2. ハードシステムアプローチは、上述のように、仕様 $P: X \rightarrow Y$ の実現を目標とする。仕様を作り間違えると、それを実現する代替案が存在しないことがある。一方SSMでは、理念的には $\| P_0(m, -) - P^*(m^*, -) \|$ を最小化する m を探索するものであるから、これはいつでも存在する。また差の定義も、状況に合わせて決定するということは、曖昧であるという欠点と同時に、柔軟性があるということで、改革案の創出が容易となる。

3. ハードシステムアプローチでは、問題の文脈の考慮がされていないが、SSMでは明示的に文脈を考慮する仕組みになっている。

節で述べたカリフォルニアのプロジェクトにSSMを適用するとどのようなになるかは興味のある思考実験である。SSMを情報システムへ適用することも試みられている(注11)。それに

(注11) 参考文献[7]参照。

よると、情報システムは人間活動に合わせて作られるべきであるということから、最初に行うことは、情報システムの仕様作成ではなく、有意義な関連システムの同定である。これは上記のSSMのステップに従って行われる。

関連システムが同定されれば、そのシステム内の人間の活動を調べ、それに必要とする情報を決定する。そしてその情報を提供する情報システムを設計することになる。

このような手順を踏むならば、代替案の1つ

としてカリフォルニア州に情報システムは必要がないという結論も生ずるかも知れないし、少なくともシステムアプローチの結果が効率性のチェックにおいて無視されることはないはずだというのがSSM論者の主張である。

次節において、ハードシステムアプローチとソフトシステムアプローチの2つの見地からローマクラブが行った世界モデルのプロジェクトを検討する。

・ローマクラブのプロジェクト

この節では、ローマクラブが行った世界モデルのプロジェクト、特に“成長の限界”として報告された第1回目のプロジェクトを中心に検討する^(注12)。

ローマクラブは、1968年にローマで設立された。当時学生運動に象徴されるように社会の矛盾が露呈し、環境問題も知覚されつつあった。このような問題状況は1国家で処理できるようなものではなく、地球的規模で対処するべきであるという考えから、100人に会員数を限り、個人の資格で世界中の有識者を集めて作ったクラブである。現在でも活動が続いている。

ローマクラブでは、世界的規模の問題に対し、世間の注視を集めるためには、単に言葉で警鐘を鳴らすだけでは駄目で、定量的な形で事実を示す必要があるということで、1970年にMITのフォレストに、彼のSD(System Dynamics)を使って世界モデルの解析を行うことを依頼した^(注13)。

SDは連立の常微分方程式でモデルを表現し、動的動作を調べるシミュレーション技法である。もちろんモデルを記述し易いように色々

な工夫がしてあり、ユーザは特に常微分方程式を解くことは意識しなくてよいようになっている。

フォレストは世界を人口、農業、産業、自然資源、環境汚染の5つのサブシステムに分割してモデルを作った^(注14)。そして各サブシステムを動的なモデルとして記述し、またモデル間に相互干渉を規定することで、複雑な動的モデルが構成された。

モデル自体は動的なモデルであるから、それを動かす(シミュレーションを行う)為には、適当な初期値と、またパラメータの値を必要とする。節で導入した定式化に従うと、世界モデルは(3)式のように、

$$P_w : M_w \times X_w \rightarrow Y_w$$

と表現される。ただし、 $Y_1, \dots, Y_5$ を各サブモデルの動作の集合とすると、 $Y_w = Y_1 \times \dots \times Y_5$ である。また Y の要素 $y(t)$ は時間関数である。(厳密には、時間の集合を T 、各時刻でとる値の集合を A とすると、 $y : T \rightarrow A$ と表現で

(注12) 参考文献[9]参照。

(注13) 参考文献[8]参照。

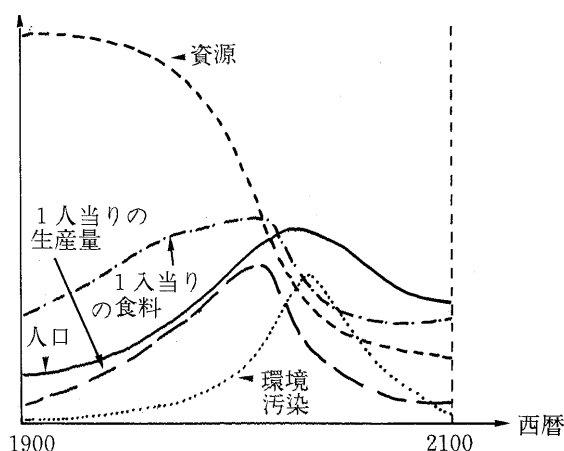
(注14) 参考文献[9]参照。

きる。) M_w は調整可能なパラメータ (政策変数), X_w は初期値及び外部入力表現する。

X_w の要素を適当な値 (x_0) に定め, $m = M_w$ を動かすと $P_w(m, x_0)$ に従い, 5つのサブシステムの動作がコンピュータにより計算される。

図4は標準モデルと呼ばれるものである。

図4 標準モデル

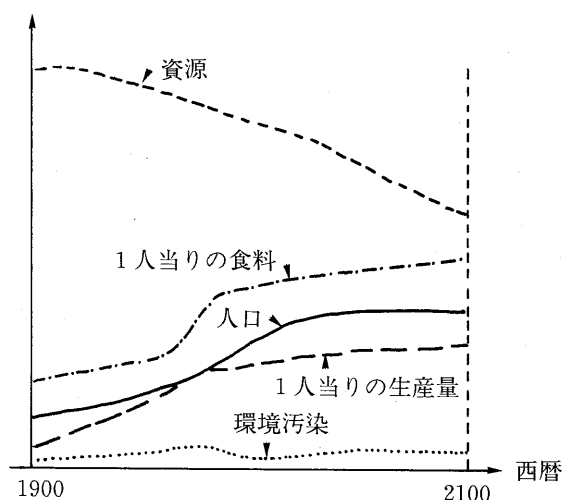


これは1970年代の物理的, 経済的, 社会的状態を示すパラメータが将来も続くと仮定した上で, 1900年から2100年までの世界モデルの動作を計算したものである。この計算によると, 産業はある程度まで成長するが, 資源の洞涸によりそれも減少に向かい, それに遅れて食料の欠乏, 医療サービスの低下によって人口も減少していくことになる。

図5は安定化モデルと呼ばれるものである。これは有効な産児制限を行ったときのモデルで, これによると2100年で地球はある平衡に對することができる。

MITグループは, このようなシミュレーション結果をまとめて報告書としてローマクラブに提出した。この報告書が有名な“成長の限界”(Limits to Growth)である^(注15)。これは世界中で翻訳され, 大きな衝撃を引き起こした。

図5 安定化モデル



当然のことながら, このプロジェクトの結果に対して多くの批判が起こった。この論文での枠組み, すなわち世界モデルを $P_w: M_w \times X_w \rightarrow Y_w$ として表現するという立場から, 批判を整理すると

1. モデルのドメイン M_w, X_w, Y_w への批判
 2. P_w への批判
 3. 計算実行のためのデータへの批判
- に分類できる。

まずドメインの批判は政策変数としての政治的意思決定が導入されていないこと, 外部入力の中に技術進歩が入っていないことである。1970年に初期値を入力するとそのまま将来にわたって人間社会の動作が決定されるということは実際の社会では考えられない。人間は環境適応的に動作するはずである。また図4の標準モデルの場合, 人間社会が消滅していくのはまず資源の欠除から始まるとされているが, 技術進歩により, 現在の地層より深所の資源の利用, あるいは海底のマンガン塊の利用が可能になると, 資源制約は大幅に緩和されることが指摘されていた。

P_w の批判は2つある。1つは, P_w が現実の世界を正しく記述しているかという P_w の正確

(注15) 参考文献[9]参照。

さあるいは予測力への疑問である。実際は、1900年から1970年までは P_w のパラメータを調整することで、過去のデータと一致するようになっている。パラメータを合わせてモデルが正しいということは恣意的であり、モデルの信頼性を非常に損なうものである。実際世界モデルは大規模なモデルであるために、あまり安定ではなく、パラメータを少し変えることで最終的結果（2100年の様子）が大きく変わることが報告されている。

P_w の批判の第2は、国別、地域別の差異を無視し、全てを平均化して取扱ったことである。報告書は成長を抑えることを勧告しているが、平均化しているためにその指摘を受けているものは誰であるかが不明である。また全世界が成長を止められたときは、低開発国は貧しいままの生活が強いられることになり、受け入れられない勧告となる。

世界モデルは単純化した世界の記述であるが、それでも多数のデータを必要とし、そのかなりのものが入手不可能であったり、関係が不明であったりしている。そのために事実というより仮定と理論的推論を使って計算を行うわけであるが、その仮定の妥当性が批判された。（とりわけ経済学の専門家からの批判が強かったが、これに対しては、経済学自体も現実離れた仮定（例えば経済人の仮定）に基づいているという反批判もあった。）

上記の批判、特に国別、地域別の差異を無視していることに応えるため、階層モデルによる2番目のプロジェクトが行われ、それが“転期に立つ人類”（Mankind at the Turning Point）という報告書として公表された^(注16)。それ以後もいくつも報告書が出されている。

以上が世界モデルのプロジェクトの概略である。このプロジェクトは間違いなくシステム工学者といわれる人たちが、システムの見方に立ち、コンピュータの上で仕事を行ったもので、世間一般からはシステム工学のプロジェクトと

理解されている。それではこの論文の立場からするとこれはハードなシステムアプローチであるかそれともソフトなシステムアプローチと解釈すべきかが問題となる。

まずハードなシステムアプローチと解釈する。この場合、アプローチの目的は人類が生存を続けているような世界システムの構築である。目標は、5つのサブシステムの側面に限定して、少なくともそのドメインの中で安定的な世界を築くことである。代替案は、政策変数 M_w である。代替案の分析は、 P_w の構築とそれを動かすことである。そして選択された代替案は、成長の停止ということになる。ハードなシステムアプローチによれば、成長の停止という代替案を m^* 、仮定を x_0 とするととき $P_w(m^*, x_0)$ が実現されるべき世界システムである。もし m^* が容認でき、 $P_w(m^*, x_0)$ がパラダイスであるならば誰も余り批判しなかったであろう。しかし、成長を止めることはかなりの苦痛を被ることであり、またその結果生ずるシステム（安定化モデル）も必ずしも楽しいものではない。批判は結局、ローマクラブのプロジェクトは、 $P_w(m^*, x_0)$ が実現されるであろうシステムと主張したと解釈して、それを打ち消すことに集中している。すなわちほとんど全ての人々はこのプロジェクトをハードなシステムアプローチと解釈していた。実際モデルの細部にわたり検討し、現実とは一致しないということの指摘に全スペースを割いた雑誌もあった。

ハードシステムアプローチのプロジェクトとしてはローマクラブのプロジェクトは失敗したプロジェクトといえる。そもそも誰も最初から世界モデルのように世界が動いていくとは考えていなかったし、またゼロ成長の勧告を受け入れた国はなかった。

しかしソフトなシステムアプローチ、特にSSMの立場からするとどうであろうか。

ローマクラブが結成されたとき、世界は無秩序、不安定、生存不可なものに向かう気配であ

(注16) 参考文献[8]参照。

り，SSMがいう典型的問題状況にあった。MITのグループがこのような問題状況に対して，関連システムとして選び出したものが5つのサブシステムからなるモデルである。これに対する根底定義は明白である。Cは地球上の人類，Aは政策の実行者，Tは M_w を入力とし， Y_w を出力とする変換，Oは人類，Wは人類の生存に関係する重要な要素は5つのサブシステムであるという信念，そしてEは X_w で表現されるものである。

概念モデルはMITのグループが作った P_w である。これは世界の現実をシミュレートしているものではなく，かなりの部分（データの不足，関係の不明な部分）はまったくの論理思考から構成されている。ハードなシステムアプ

ローチならば，（結果の信頼性から） P_w は現実 に極力近いものであることが要求されるが，SSMでは現実とは無関係であってよい。それ以上に，後の論議を活性化するために，無関係に，論理的に構成することが推奨されている。世界モデルはまさにそうになっている。

SSMによると， P_w の分析から生ずる代替案 m^* をたたき台としてローマクラブと世界の政策実行者の間で論議が行われ，実行可能で望ましい政策の決定を探索しなければならない。

この段階及び最後の実施段階を除けばローマクラブのプロジェクトは正にSSMにそったものと考えられる。そして，論議を行い，学習することがSSMの本質とするならば，成功したプロジェクトと言えるだろう。

．おわりに

現在の社会は問題状況にある。オゾンホール，温暖化に代表される環境問題人口の増大を考えれば明らかである。そしてますます全てが全てに関連する複雑なシステムになっている。このような状況の解決には全体的観点から取扱うシステムアプローチがますます必要となっている。システム論の世界に居住し，またローマ

クラブのプロジェクトに間接的に関係したものとして，プロジェクトから20年経過した現在のシステム論からプロジェクトを再考したのがこの論文である。実際の政策変更を呼び起こすような有効なシステムアプローチの開発にいささかでも寄与できれば幸いである。

参 考 文 献

- [1] L. von Bertalanfy, "The history and status of general systems theory", *Trends in General Systems Theory*, edited by G. Klir, Wiley, 1972
- [2] 1955年に *Philosophy of Science* に "Society for the Advancement of General Systems Theory" の設立が述べられたのがシステム研究の最初とされている。学会は "Society for General Systems Research" となり現在は "Society for Systems Science" という名前に
- なっている。
- [3] P. チェックランド 『新しいシステムアプローチ』 高原康彦・中野文平監訳 オーム社 1985
- [4] 高原康彦・飯島淳一 『システム理論』 共立出版 1990
- [5] A. Hall, *A Methodology for Systems Engineering*, Van Nostrand, 1962
- [6] R. McLeod, Jr., *Management Information Systems*, Macmillan, 1990
- [7] P. Checkland and J. Scholes, *Soft*

Systems Methodology in Action, Wiley, 1990

[8] E. Pestel, *Beyond the Limits to Growth*, Universe Books, 1989

[9] D. Meadows et al, *The Limits to Growth*, Universe Books, 1974