

社会システム・モデル構築のための 情報科学的アプローチについて

樋口 透

1. はじめに

社会システムという用語を使用する背景を簡単にのべておこう。社会科学と呼ばれるそれぞれの専門領域における研究は、社会の諸問題を特定の光の下で解明しようとするものである。しかも、研究の方向は、より狭くより深くというように、専門分野の細分化に向っている。

一方、社会そのものは、ますます複雑化しかつ多様化しつつある。社会を構成する各グループは、それぞれ独自の価値体系のもとに行動している。しかも全体（国家とか世界）としても、ある目標（明確に意識されることはないかも知れないが、民族の永続的繁栄というような目標）をもっている。社会活動の水準が比較的低かったこれまでは、各グループが互いに影響を与えることも少なく、あったとしても、資本家と労働者の利害の対立のように単純明確（必ずしも単純ではないが）な関係をもつものが多かった。しかし今日では、企業と社会の関係は労資の関係のみならず、直接関係をもたない多くのグループに大きな影響を及ぼしており、企業の社会的責任の問題として提起されていることは周知のことである。社会の複雑化した背景として科学技術の進歩を第一にあげることができよう。今日の科学技術文明は、商品の大量生産、交通・通信手段および情報の処理・伝達の飛躍的發展をもたらした。そのためにグループ間の結合は複雑さを増してきたといえる。しかも、これらのグループを構成する主要素である人間は通常同時に複数のグループに属しているのでグループの最小単位でもある個人の行動基準を明確に捉えることさえ困難になっているとい

えよう。価値観の多様化、脱イデオロギーなどの問題も、このことと深く係わり合いをもっているように思われる。

このように複雑化しかつ多様化した社会を、一般システム理論の創始者である Bertalanffy, によるシステムの定義⁽¹⁾—相互に作用する要素の複合体—に照らしてみると、システム論的アプローチの可能性と必要性を主張する論拠が明確になろう。専門領域での研究成果を総合し、つまり Analysis (分析) と Synthesis (総合) の過程によって問題解決をはかることが望ましい。学際的な研究が呼ばれてはいるが、その成果についてそれ程期待されていないのは、専門分野間を有機的に結合する方法論が確立されていないためである。システム分析はこれを実現する一つの有効な方法である。

社会をシステムとして認識し、これをシステム分析の対象にすることの意義が認められたとしても、多様な問題を統一的に論ずる理論がある訳ではない。一般システム理論は、確かに研究の動機や概念構成には大きな影響を及ぼしたとはいえ、少なくとも現在までのところ、分析手法は、そこから演繹されたものではなく、個々の問題に対し開発され適用されてきたものである。まだ方法に対するメタ・ランゲージは存在してはいない。

本論では、社会システムの一般的特徴と問題解決のための情報科学の方法を概説する。

情報科学とはここでは、コンピュータを用いる数理科学的な分野を指すものとしておく。

分析の目的や対象あるいは入手可能なデータ—さらに定量化のレベルなどによりいくつかのタイプのものがある。もち論、問題の複雑さを考えるまでもなく、この種の問題が単に数理科学的な最適解を導出することで解決し得ないことは言うまでもない。解の前提となる仮説が現実問題で許容されるか否かの検討がなさなければ意味がないからである。それ以前の問題として、社会システ

原稿受領日 1980年7月29日

(1) 文献(1)

ムには目的が明示されないこともあり、またたとえ目的を設定することが可能であるとしても、どのグループにとっての目的なのかを明確にする必要がある。つまり、人間の判断すべき問題と、機械的に処理すべき問題を明確にすることによってはじめて分析手法の適用が可能となる。社会システムのしくみを解明することから、さらに一歩進んで、社会の管理という観点は、政策科学の分野として脚光を浴びている。しかし、このような視点が欠如しているならテクノクラート（技術官僚）による管理社会は受け容れ難いものとなる。

2. 社会システムの特徴

システム分析の立場から社会システムを眺めるとき、その特徴として、大規模性、多変数性、あいまい性、多目的性、目的主体の多様性、非再現性、データの不完全性、非線形性などをあげることができよう。

これらの特徴はいずれも、システム分析を困難ならしめる要因であるが、次に、これらの特質と障害を突破するための方策を概観しておこう。

(1) 大規模性

システム論的アプローチの目的が、従来の狭い研究対象からより広範な対象を考察することである以上、規模が大きくなるのは必然的である。大規模システムを扱う場合には、まず構造同定に際しては、できるだけ単純な構造を見出すことを目指す。そのためには、まず、

(i) システムをサブ・システムに分解し、他のサブ・システムと独立なもの、一方向的に結合されているもの（階層構造）、相方向的に結合されているもの（フィード・バック構造）に分ける。さらに、

(ii) 階層構造をもつシステムについては、下位のサブ・システムの問題を解き、上位のシステムが、これらの解を調整し必要があれば前提条件を変えて再びサブ・システムの問題を解くというプロセスを繰り返す。上位システムに人間をサブ・システムに機械システムを対応させると、いわゆる Man-machine Interactive System が構成される。

(iii) フィードバック作用を多重に受けるとシステムの振舞いは個々の要素の作用の重ね合わせた結果とは非常に異なることがある。このような相互作用を分析するには、主要なフィード・バック・ループを見出すことがシステムの単純化には不可欠である。

(2) 多 変 数 性

一概に社会システムと呼ばれるものも、その対象によりまたアグリゲートのレベルにより様々である。変数の概念はシステムを数量的に扱う場合には不可欠である。

しかし数量化を伴わない分析では変数という概念は不要なこともある。だからといって、定性的な分析には変数が不要とは限らない。

分析のレベルを詳しくする程変数の数が増えることは云うまでもないが、このことは数学的抽象化には好ましくない。モデル化が困難であるだけでなく、解を求める計算が容易でない。

また解が求められても、モデルが現実のシステムの一つの近似に過ぎないことを考えると、モデル上での正確な解が現実のシステムの理解にどれ程役立つかを考慮しなければならない。またモデル上では多くの変数を扱っても、解釈する人間の能力を越えない程度に出力変数を減らすこともときには必要である。他方、元来数量化になじまない変量に対しても、何らかの方法で数量化しなければならないこともある。

(3) あ い ま い 性

要素の結合関係が明確でなかったり、あるいは定量化になじまない要素を含んでいることがある。これに対しては、データに基いて、ある仮説的構造の中から尤もらしいものを推定する、あるいは、人間の判断にまかせる。他にファジー理論の適用などが考えられる。

(4) 多 目 的 性

経済システムのように貨幣により定量化の可能なモデルにおいても、その評

価関数は一元的には定められない。つまり効用関数の構成の問題が生じる。多目的計画法により得られたパレート解のうえで、トレード・オフ分析を可能にするマン・マシン・システムが考えられよう。

(5) 目的主体の多様性

価値観を異にする個人あるいはグループの効用関数を一つにアグリゲートすることの無意味さを Arrow の不可能性定理⁽²⁾は示した。

この定理の前提条件の一つである序数的効用⁽³⁾を基数的効用に改めることにより、効用関数の合成できることを Keeney⁽⁴⁾は最近発表している。

(6) 非再現性

自然科学における実験とは対照的に、同一条件での観測データを繰り返し得ることは困難である。また長い期間の時系列データが与えられたとしても、その間にシステムの構造変化があるなら、システム同定は困難になる。

(7) データの不完全性

社会システムのモデル構築には、従来の統計資料に含まれていない多くのデータが必要である。場合によっては与えられた統計データから新たなデータを生成できることもある。

一方、モデル構築は必ずしもデータに依存することなく、人間の経験や知識を使うことが有効なこともある。

3. 分析手法

分析手法の選択はその分析目的に依存する。つまり、入手できるデータ、定量化の可能性、要因間の結合関係（構造）の定式化の可能性などを考慮したうえで、分析目的に適うものを選択すべきである。また、いくつかの手法を同時に試み、共通する要因に関して斉合性を確かめることは分析結果の信頼性を高

(2) 文献④村上泰亮「社会選択の理論」(5章)

(3) 序数的効用が選好順序のみを規定に対するのし、効用の差を数量化する。

(4) 文献⑩, (11), (12)

めるうえで有効となろう。

一方、定式化の全く不可能なモデルもある。この種の問題に対する解決法は有識者の頭脳にモデルを設定することであるが、その場合でも、人間の判断に伴う非合理性（自己矛盾）を減らしたり、基礎となるデータ・ベースを提供するなどのサポート・システムを構成することは可能である。本論で説明する手法は、計量経済モデル、システム・ダイナミックス、産業連関モデル、クロスインパクト法、ISM、デルファイ法、GMDH、ゲーム理論などである。次に各手法の概説と社会システムに適用する場合の若干のコメントを試みよう。

3.1 計量経済モデル

モデルは全面的に統計データに依存している。したがって定量化される変数のみと対象にしている。この意味で計量経済モデルはデータ・オリエンテッドなモデルと呼ぶことができよう。分析の手順の概略は、

(i) 連立モデルの構築：変数はシステムの外部から値が与えられる外生変数とシステムの構造によりその値が決定される内生変数とからなる。方程式自体は経済学固有の理論から導びかれる。式の右辺には外生変数（確定変数とみなす）以外に内生変数（誤差項を含むので確率変数）を含むため、内生変数と誤差項は独立でなくなり、推定されるパラメータは不偏性や一致性を備えていないので好ましくない。そこで構造方程式を内生変数について解く。

(ii) 誘導型の導出：内生変数を先決変数（外生変数と遅れをもつ内生変数）だけで表わせれば前述の欠点を排除できる。

(iii) パラメータ推定：統計データに基づき最小二乗法により誘導型のパラメータを推定する。

(iv) 構造認定：誘導型パラメータから構造方程式のパラメータを導出する（間接最小二乗法という）。

(V) 検定：パラメータの有意性の推定および信頼区間の推定さらに理論の前提条件についての検定を行なう。

(vi) テスト：先決変数と初期値を与えてモデルを全期間に亘って走らせ、

実際のデータと比較する。

ここで述べた方法は、全体を一つのシステムとしてパラメータを推定した（同時推定）が、一式ずつパラメータを推定する（単一方程式モデル）やいくつかのブロックに分けて同時推定する方法などが実際にはとられることがある。期間の途中での構造変化が明きらかなときはダミー変数を用いて、ある程度の構造変化に対応することが可能である。

計量経済モデルは、産業部門間の財の移動を無視しているが、産業連関分析と連動させる、多部門計量経済モデルの研究も為⁽⁵⁾されている。さて、計量経済モデルを経済の分野のみならず他の社会システムの分野に適用する場合の問題点として

(i) パラメータ決定に必要なデータが得られないことがある。

(ii) 非線形（パラメータに関して）なモデルが十分には扱えない。

などの問題があり、完成された理論を十分生かせないのが難点である。モデル検証の点ではこれに劣るが、現実のシステムをより素直にモデル化する方法として、システム・ダイナミックスがしばしば用いられる。

3.2 システム・ダイナミックス

システム・ダイナミックスの手法は、計量経済モデルの手法とは若干異なっており、実際のシステムの構造（仕組）をよく観察することにより、構成要素間の直接の関係を定める。それには、データに基く客観性の高いものから、モデル・ビルダーの主観によるものまであり得る。システム・ダイナミックスの目的は、このように定められた要素間の関係のもとで、システム全体として、各変数がどのような動的な振舞いをするかをコンピュータ上のモデルを走らせることにより追跡することにある。各要素の間には、時間的な遅れ、フィードバック作用、非線形型性、外乱など、システムの振舞いを不可解にする要因を含んでいる。創始者である Forrester によれば、多くの要素が複雑に結合している場合には、直接結合していない要素間の関係を人間が直感によって判断することは不可能なことが多く、しばしば逆の判断をしてしまうとのことである。

(5) 文献(3)

モデル作成にあたっては、可能な限りデータに基く客観性の高いことが望ましいが、将来の動向を調べる目的には必ずしも過去のデータのみ依存するのが好ましいとはいえない。しかし、そうした場合にはモデル・ビルダーの恣意性に支配されることになるので結果の評価には十分な配慮が必要である。したがってまた、モデル・ユーザはモデル・ビルダーと同一であることが望ましい。計量経済モデルをデータ・オリエンテッドなモデルと呼ぶなら、これは構造オリエンテッドなモデルと云えよう。

モデルの主要部分は、一階差分方程式により記述される。つまり、レイト式 (rate equation) と呼ばれる意思決定機構、それにレベル式 (level equation) と呼ばれる、レイト式 (変数) により決定されたレベル変数の変化量を1単位時間内で調整 (差し引き) する式とから成立っている。他に式の記述を容易にするために補助方程式 (auxiliary equation) があるが、これは代入により消去できるので本質的ではない。モデルの記述法は2通りある。まず人間が構想しながら記述するのに適切なブロック・ダイアグラムと、コンピュータに対する記述形としての Dynamo 言語とである。Dynamo は、遅れ関数、テーブル関数などモデル記述に便利な機能を備えている。モデル構築が容易である反面、計量経済モデルの検定に相当するものがないのが弱点の一つである。理論的側面を補ううで、過去のデータに対する適合性の他にパラメータに対する感度分析が必要である。効果的に感度分析を行う方法、パラメータや初期値を確率変数とみなすとき、その分散の時間軸上での伝搬の様子を調べる試みも報告されている。⁽⁶⁾

3・3 産業連関モデル

経済活動における財は、消費者により消費される量 (最終需要量) とその量を確保するために産業活動を維持するための量 (中間需要量) を結局は生産する必要がある。生産活動と消費活動においてすべての財に過不足を生じない条件 (配分過程の問題は除く) を定式化したものが産業関連モデルである。

(6) 文献(3)

社会システムのモデルでは、経済サブ・システムに組込むことの外に、産業廃棄物⁽⁷⁾を同様に扱ふことができる。つまり、公害除去産業部門を設け、他部門と同様に種々の財を投入し、公害を一定量減らす（負の公害量を生産する）活動を行う。一定量は、総発生量から消費者に引き渡されるべき量（許容量）を差し引いた値にすればよい。産業連関モデルでは線形が仮定されているので最終需要（または許容量）を一定とせずに、ある上限または下限（その両方を含む）を設定し、種々の目的関数について最適化、つまり最適産業構造を求める線形計画法の問題を定式化することが可能である。たとえば、雇用拡大、省エネルギー、低公害などの指向する産業構造をモデル上で調べることができる。

これまで外部不経済として扱われてきた公害を内部化したことの意義は大きい。産業廃棄物処理部門に対する需要が、国民の健康維持を基準とする許容量であることから分かるように、他の商品のように市場機構に組入れることはできない。

3・4 デルファイ法

社会システムの構造とそのメカニズムを定式化することが困難な問題、たとえば技術予測とか国民の社会的ニーズの予測などに対しては、専門家の意見を総合判断して結論を導き出すという方法がとられることがある。

その場合、客観性の高い結論を得るためにはできる限り偏見や独断を排除する必要がある。デルファイ法は、このような観点から同一内容のアンケートの結果を公表しながら繰り返すことにより、妥当な結論に意見を収斂させる方法である。専門家集団の選び方によって収斂する意見も異なるのでその選定には配慮を要することは云うまでもない。

また、多くの質問項目があり、それらが互いに関連をもつような場合には、人間の判断に伴う非合理性を完全に排除することは非常に困難になる。つまり、要素間の相互関係を無視してしまうことがあるため、自己矛盾する意見を

(7) 文献(3)

表明することになる。この問題を解決する方法としてクロスインパクト法や Dematel 法がある。

3・5 クロスインパクト法

これは相互連関をもつ事象に関する主観確率の判断に伴う矛盾を解消するための方法である。つまり、将来に生起する種々の事象の生起確率を専門家に推定してもらい、ここで得られた確率は一般に確率法則を満たさない。そこで確率法則を満たす体系にできるだけ近づけるように主観確率を修正する方法がクロスインパクト (cross impact) 法である。いま、 n 個の事象の生起確率 (n 次元確率) のうち事象 i の生起する 1 次元確率 $\bar{p}(x_i=1)$ と事象 j の生起、非生起に伴う、条件付確率 $\bar{p}(x_i=1 | x_j=1)$ および $\bar{p}(x_i=1 | x_j=0)$ を推定してもらい、このとき n 次元確率を $p(x_1, \dots, x_n)$ とするとき、 \bar{p} が確率法則を満たすなら、 $\bar{p}(x_i=1) = \sum p(x_1, \dots, x_j=1, \dots, x_n)$

$$\bar{p}(x_i=1 | x_j=1) = \sum p(x_1, \dots, x_i=1, \dots, x_j=1, \dots, x_n)$$

$$\bar{p}(x_i=1 | x_j=0) = \sum p(x_1, \dots, x_i=1, \dots, x_j=0, \dots, x_n)$$

が成立する筈であるが、実際には等しくならないのでその差を e_i , e_{ij} , および $e_{i\bar{j}}$ とそれぞれおくと、これらの重み付き二乗和、

$$J = \sum_i w_i e_i^2 + \sum_i \sum_j w_{ij} e_{ij}^2 + \sum_i \sum_{\bar{j}} w_{i\bar{j}} e_{i\bar{j}}^2$$

を、 P についての確率の前提条件である、

$$\sum p(x_1, \dots, x_n) = 1, p(x_1, \dots, x_n) \geq 0$$

なる条件のもとに最小化する n 次元確率 $p(x_1, \dots, x_n)$ を求め、これを始めの式 ($\bar{p} = p \Sigma$) に代入して \bar{p} の修正値とすることである。解を求める部分は通常の 2 次計画の問題に定式化されているので、その解法によればよい。

しかし事象の数が大きくなるとやっかいなので工夫が必要である。前述の式で添字のない総和記号は、 n 個の事象の夫々の生起 ($x=1$, 非生起 ($x=0$)) のすべての組合せ (2^{n-1} 個) についての総和を表わす。

3・6 ISM (Interactive Structural Modeling)

システムの構造に何ら予備知識をもっていないときには、まず要素間の因果関係を定性的なレベルで明きらかにしておくことが望ましい。KJ法⁽⁸⁾は、人手を介してこれを効果的に行う一つの方法であると見ることができる。ISMは、人間の頭脳に描かれているあるシステムの構造を、できるだけ容易に、しかも明確な形で表明するための、コンピュータによるサポート・システムである。いかえると、人間とコンピュータが対話しながらシステムの同定を行う、マン・マシン・システムである。手順の概略を示すと、

(手順1) ある要素*i*とそれ以外の結合関係の有無を各要素について問う。

(手順2) 2項関係の推移律⁽⁹⁾を用いると質問項目にない多くの要素間の結合関係を機械的に決定することができる。つまり、*i*以外の要素の関係について要素*i*を經由して他の要素のうち結合関係をもつものが分かる。したがって、*i*以外の要素対の結合関係のうち未知の部分は、

(i) 要素*i*と無結合の要素対の集合

(ii) 要素*i*が一方的に影響を与えるかあるいは受ける要素対の集合

(iii) 要素*i*と無結合の要素集合と、要素*i*と一方的な結合関係にある要素集合の間の要素対の集合

であるが、このうち、(i)と(ii)に属する集合については、手順(1)と(2)を帰納的に適用し、さらに(iii)に属する集合には、2項関係を用いてできるだけ少ない質問項目により関係を決定することができる。

このようにして、対話的に要素間の関係を定めるのであるが、要素の数が*n*個あるときは、しらみつぶしに質問すれば*n*²個の質問項目を答えねばならないのに対し、それよりずっと少ない回数で要素間の結合関係表が埋められる。

(手順3) 前の手順で求めた結合表(到達可能行列—reachable matrix)に対し、行列に対する論理代数演算を適用することにより、階層構造や最小の結合関係の要素からなるスケルトン行列(skeleton matrix)が得られる。

(8) 名前は開発した川喜多二郎氏の名前に由来する。

(9) この手法の前提条件である。

(手順4) 階層構造やスケルトン行列を明示するための有向グラフに表示する。最後に得られた有向グラフは、被験者の頭脳のシステム構造の表示に外ならない筈であるが、実際には食い違いがでてくる。それは、部分を全体と斉合的に表明することが、必ずしも人間にとって得意でないためである。そこで有向グラフを見て、結合表を修正する。それは一連の手順を繰り返すことにより行われる。このようにして、得られた有向グラフに修正の余地がなくなれば、それを、その人の頭脳に漠然と存在していたシステム構造が identify されたものと見なすことができる。

3.7 DEMATEL (DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory)

ISM が要素間の結合関係の有無だけを問題にしたのに対し、この方法は結合の強弱を考慮する方法である。したがって ISM の結合表が 1 (結合あり) と 0 (結合なし) の 2 つの値のみをとるのに対し、0 から 1 までの任意の値を結合の強さに応じてとり得る。得られた有向グラフにも結合の強弱がつけられるので、主要な構造と副次的な構造とを判別することが可能である。アンケート調査に基く、国民の意識構造の同定などに適用される。

3.8 GMDH (Group Method of Data Handling)

計量経済モデルにおける構造同定は、経済学の知識などから変数間の関係がある程度分かっているか、またはある関係を仮定したとき、データによって未知パラメータを決定することであった。ここでは、システムの構造に対して殆んど知識がなく、またデータもあまり多く存在しない場合の構造同定の方法を扱おう。つまり、データだけをたよりに構造同定を行う訳である。基本的には考えられる種々の構造を試み、最良の構造と最良のパラメータを決定することに外ならない。考え方は、生物の品種改良のプロセスに類似している。いまある生物の n 変種 (これをみな原種と考える) があるとき、これらすべての対を交配すると $n(n-1)/2$ 種の新種が生まれる。この中から好ましい m 種だけを残し、同様に交配を続ける。十分好ましい品種が得られたら、逆にたど

ることにより、それが、どの原種のどのような組合せから生まれたかを知ることができる。生物の場合と違って GMDH では3種以上の交配も考えることができる。いま変数 y を変数 x (n' 次元ベクトル) で説明するモデルを GMDH によって決定する手順を述べると、

(手順1) x の中から y と相関の高いものを n 個 ($n < n'$) 選ぶ。

(手順2) データを2分する。一方は、中間データを得るため、他方は、中間データの中から好ましいものを選出するために

(手順3) 中間データ(変数) z をつくる。たとえば、2個の x を用いるときには、
$$z_k = f(a, x_i, x_j),$$

とおき、原データ y との二乗平均誤差を最小ならしめるようにパラメータ a を決める。(最小二乗法) 平均誤差を e_k^2 とすると、

$$e_k^2 = \sum_{i=1}^{n_k} (y_i - z_{ki})^2 / n_k.$$

ここで、 f は任意の多項式、 a はその係数、 n_k は x_i と x_j とからつくられる z_k のサンプル数である。 z は n 個の x の中の任意の2個の組合せからつくられるので、 $k = n(n-1)/2$ 個生成される。

(手順4) 残りの原データをいま求めた f に代入し、 z を求め、 e_k^2 を計算する。 $n(n-1)/2$ 個の二乗平均誤差のうち、値の小さいもの m 個を残す。

(手順5) いま求めた好ましい中間データ $z_{k'}$ ($k' = 1, 2, \dots, m$) を x とみなし、手順3に戻る。(このとき m を n におきかえる。) 繰り返し過程において、 e_k^2 の有意な改善が見られなくなるか、それ自身が十分小さくなったら停止する。

(手順6) 最後に残った z を多項式に代入し、以下、右辺が x のみでわされるまで繰り返すことにより、

$$y = f^*(a^*, x)$$

が決定される。以上の手順中3と4は適用する問題の性質など考慮して別の基準を用いることも可能である。

変数選択型最小二乗法は、GMDH にやや類似しているように思われる。

3・9 ゲーム理論

社会システムを人間の行動原理の一面から考察しようとするもので、たとえば利害関係を共にする、あるいは異にする個人またはグループの間での行動様式を探ることが考えられる。

ここでは、グループの各メンバーに対して利得（あるいは費用）が配分されたとき、それが各メンバーにとって受け容れられる条件を、コア (Core)、核 (Kernel)、仁 (Nucleolus) によって概説する。⁽¹⁰⁾

(1) コア (Core) n 人からなるグループに配分 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ が提示されたとき、もしこの中の n_1 人が提携することにより、彼らが提示された自分の配分 x_i より大きな利得を得られるなら、この n_1 人はこのグループから離脱して新たなグループ (提携) をつくる可能性がある。したがってこのような配分 x は、 n 人からなるグループによるシステムを不安定にする。逆に、このグループに対し、たとえどのような提携をつくっても、より有利な利得が得られないような配分が提示されることもある。このような配分の集合をコア (Core) という。コアに含まれる配分が提示されたときは、これに不満を感じて新たな提携が生じる可能性はない訳である。

(2) 核 (Kernel) コアは、グループのメンバーがグループの外にいる配分の提示者と対決する場合の議論であるが、ここでは同一グループ内の2人 (i と j) の間での配分をめぐる対立の可能性を考える。ある配分 x が提示されているとき、 i は j を除外した他のメンバーと新たな提携をつくり、しかもこのメンバーにとって誰もが x より有利な利得を得られるなら、 i は実際に彼らを説得してそのような提携をつくるのが可能になるから、 i は j に対して j の利得 x_j の一部を i に配分することを要求できるだろう。しかし、 j にとっても、同様のことが云えるなら、 i の要求は退けられる。もし j にそのような可能性がないなら i の要求は不合理とは云えない。したがって、このような状況では、はじめの配分 x は提携の再編成の可能性を秘めておりやはり不安定である。 i が j に配分 x に関して対抗しうる提携は一般に複数

(10) 主に文献(5)に依拠している。

個存在するが、その力の最大なものは、そのメンバーの x からの差額の総和（提携の配分に関する不満）の最大なものである。同一提携内の任意のメンバー間で x より有利な提携の可能性が全くないか、あってもその不満が等しならシステムは安定である。このような配分の集合を核（Kernel）という。

(3) 仁（Nucleolus）

メンバーの外部から提示された配分が、たまたま核に属しているときには前述の意味で安定しており受け容れられる可能性をもっているが、外部との交渉を通じて配分 x を定めようとするときには必ずしも結論が得られない。また核に属する配分は、もち論提携間での利得配分の公正を保証するものではない。一意的でしかも、提携間でも公正とみなすことのできる配分を導く一つ的手段として、配分 x と可能な提携についてその不満（各提携の獲得可能利得と提示配分額との差）を求める。不満の最大な提携にとってこの配分に対する対抗力は最大となる。ところで最大不満は、提示された配分 x の関数と考えられるので、最大不満を最小ならしめる x を求めることができるなら、このような x は一意的に定まる（保証されてはいないが）し、また最大不満を最小化するという意味で提携間での公正を保証している。このような配分 x を仁という。しかし、仁では、提携の大きさを考えていないので大きな提携ほど有利になる傾向があるし、また提携内での配分の問題は考慮していないことに注意する必要がある。仁は、利害関係をもつ集団の間での交渉を終結させる一つのアプローチとなる。水道事業における事例がある。⁽¹⁾

4. おわりに

以上、社会システムの特質を、システム分析を適用する側面から眺め、また、これまで開発された分析手法、あるいは他の分野で開発されたものの援用について概説を試みたが、各手法の関連などを補足的に述べておこう。

(1) 『地域学研究』10巻（末刊）参照。

産業連関分析に産業廃棄物とその除去産業を加えることについては前述したが、さらにこれを動学化したダイナミック・レオンチュフ・モデルの中での分析⁽¹²⁾がある。そこでは、公害防止活動が最適成長径路に与える影響が論じられている。他に、産業連関モデルとシステム・ダイナミックスを結合する試み⁽¹³⁾がある。DEMATEL 法をシステム・ダイナミックス・モデル構築に用いた例⁽¹⁴⁾、確率的な概念を導入するために、クロス・インパクト法とシステム・ダイナミックスを結合したモデルなどが報告されている。一方、最適制御理論やシステム最適化法とシステム・ダイナミックスを結合して、ヒューリスティックなパラメータ探索（思考錯誤）から一步進んで、機械的に最適パラメータや最適制御（政策）変数を導出すること⁽¹⁵⁾、多評価関数の最適化でヒューリスティックな方法と組合わせた、man machine interactive な手段による方法⁽¹⁶⁾についての研究がみられる。使用される非線形最適化アルゴリズムの各手法の特質や効率の比較なども報告されている。

構造把握を目的とする ISM 法と、データにより試行錯誤的に構造同定を行う GMDH とを結合し、つまり互いに他にない特質⁽¹⁸⁾をうまく融合することによってその有効性が高められたとの報告もある。

一方、多評価関数の最適化を志向するモデルでは、

- (i) 主要なファクタを一つ選び他は、一定水準を満すようにする（制約条件とする）
- (ii) 各ファクタをウエイト付して一つの関数を合成する。
- (iii) パレート解を与えて、トレード・オフを判断させる。

(12) 文献(37)

(13) 北海道モデル（道庁が中心になって作成した）

(14) 宮城ダイナミック・モデル（宮城県庁）

(15) Cross Impact 法を開発した Gordon. T.J. ちが発表している。Technol. Forecast. Soc. Change, 9 (1/2), p191—p211, (1976) 参照。

(16) 文献(2), (22), (23), (25)

(17) 文献(6), (74)

(18) (19)文献(28)

(iv) 多次元評価空間での目標値からの距離を最小化する。

などの方法に分けられよう。

社会活動を、組織、制度あるいは機能などを超越した、よりマクロな観点から眺めることにより、つまり、熱力学モデルによって捉えようとする試みがある。⁽¹⁹⁾そこでは、熱力学で用いる、熱量、温度、エントロピーなどに相当する変数を見出すために、多変量解析法により変数のアグリゲートが行われる。まだモデルの有効性を評価できるに十分な研究が進んではいない。

社会変動を不連続過程として捉えるモデルに、カタストロフィ理論によるアプローチがある。⁽²⁰⁾定性的ではあるが、革新とか改革などに含意される急激な質的および量的な変化を伴う社会システムの一面を抽象化するのに成功している。

一方、生活の質 (Quality of Life) の実体を測定するための社会指標の構成に関する研究も進んでいるようである。異質の要素を比較して一つの評価指標をつくるには人間の判断を介在させなければならない。その場合、選好に関する論理的矛盾を排除したとしても、総合判断に不可欠な情報 (知識) が欠落しているなら正しい結論は得られない。何が不可欠な情報であるかは、判断する人の価値観によってきまるのであり、はじめから与えられるべきものではない。アンケート調査などにより民意を問う場合など留意すべきことである。知識が、偏っていたり、誤っていたり、無かったりするなら正しい結論は得られないからである。

今日、益々増えつづける情報の中で我々が正しい意思決定をするためにはデータとその処理手法を結合した情報システムを確立する必要があるらう。

(19) 文献(32)

(20) 文献(26)

参 考 文 献

- (1) J.R. Burns, D.W. Malone, "Computational Techniques for Analysis of System Dynamics Models of Social Systems", *Socio-Econ. plan. Science*, Vol. 8, 1974, p215 - p223.
- (2) J.R. Burns, et al., "Optimization Techniques Applied to the Forrester Model of the World", *IEEE Trans. on Sys., man, and Cyb.*, Vol. SMC-4, No.2, 1974, p164 - p171.
- (3) J.R. Burns, "Error Analysis of Nonlinear Simulation: Application to World Dynamics", *IEEE. Trans. on Sys., man, and Cyb.*, Vol. SMC -5, No.3, 1975, p331 - p340.
- (4) J.G. M. Cuypers and O. Rademaker, "Analysis of Forrester's World Dynamics Model", *Automatica*, Vol, 10, 1974 p195 - p201.
- (5) R.H. Day, "System Simulation on System Dynamics", *Behavioral Science*, Vol. 19, 1974, p260 - p271.
- (6) A.M. Geoffrion et al., "An Interactive Approach for Multi-Criterion Optimization", *Management Science*, Vol. 19, No.4, 1972, p357 - 368.
- (7) A.G. Ivakhnenko, "Problems of Simulation of Complex Systems and Applied Mathematical Statistics", *Soviet Automatic Control*, Vol. 4, No.4, 1971, p1 - p6.
- (8) A.G. Ivakhneko, "Heuristic Self-Organization", *Soviet Automatic Control*, Vol. 5, No.2, 1972, p31 - p43.
- (9) A.G. Ivakhnenko, and B.K. Svetal'sky, "Self-Organization of World Dynamics Model according to Forrester's Data and Control Synthesis by Selecting the Vertices of the Hypercube of Feasible Controls", *Soviet Automatic Control*, Vol. 7, 1974, p25 - p40.
- (10) P. Keeney and Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives*, John Wiley & Sons, 1976.
- (11) R. Keeney, "Multiplicative Utility Functions", *Operations Research*, Vol. 22, 1974, p22 - p34.
- (12) R. Keeney et al., "Decision Analysis for the Selecting of Nuclear Power Plants-The Relevance of Multiattribute Utility Theory", *Proc. of IEEE*, Vol. 63, No.3, 1975, p494 - p501.
- (13) W. Leontief, "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach", *Proceedings of International Symposium on Environmental Disruption*, Edited by Shigeto Tsuru, 1970.
- (14) D.W. Malone, "An Introduction to the Application of Interpretive

- Structural Modeling”, *Proc. of IEEE*, Vol. 63, No.3, 1975, p397 - p404.
- (15) L. Mariani and Nicoletti, “World Dynamics: An Optimization Study of the Pollution Subsystem”, *J. of Optimization Theory and Applications*, Vol. 17, 1975, p251 - p271.
 - (16) J.N. Warfield, “Toward Interpretation of Complex Structural Models”, *IEEE Trans. on Sys, man and Cyb.*, Vol. SMC-4, No 5, 1974, p405 - p417.
 - (17) J.N. Warfield, “Implication Structure for System Interconnection Matrix”, *IEEE Trans, on Sys., man, and Cyb*, Vol. SMC-6, No.1, 1976, p18 - p24.
 - (18) J.N. Warfield, “Some Applications of Interpretive Structural Modeling”, unpublished, 1978.
 - (19) 合田周平, 「エコ・テクノロジー概論」, 『講座:情報社会科学6社会システム論の基礎I』, 学研。
 - (20) 馬場正雄編, 『計量経済学入門』, 有斐閣, 1970年。
 - (21) フォン・ベルタランフィ (長野敬・太田邦昌訳), 『一般システム理論』, みすず書房, 1973年。
 - (22) 樋口透, 「SDシミュレーション・モデルの最適化について」, 『商学討究 (小樽商科大学)』, 28巻4号, 1978年p1 - p20
 - (23) 樋口透, 「システム・ダイナミック手法の理論的側面の考察」, 『情報科学編集 (東洋大学付属電子計算機センター)』, 第6号, 1978年, p45 - p52
 - (24) 樋口透, 「SDモデルの最適化手法—多評価関数モデル」, 研究会資料, 1978。
 - (25) 樋口透, 「システム・ダイナミックス・モデルのパラメータ最適化と感度分析—宮城ダイナミックス・モデルについて」, 『日本地域学会国内大会発表資料』, 1979年。
 - (26) 星野克美, 『社会変動の理論と計測』, 東洋経済新報社, 1977年。
 - (27) 池田三郎, 榎木義一, 「GMDH と複雑な系の同定と予測」, 『計測と制御』, 14巻2号, 1975年, p11 - p21
 - (28) 池田三郎他, 「Structural Modeling における複雑さの処理と GMDH-Structural GMDH-」, 『システム・シンポジウム資料』, 1975年p53 - p57
 - (29) 石川真澄, 茅陽一, 「社会システムのモデリング」, 『計測と制御』, 15巻3号, 1976年, p309 - p315
 - (30) 茅陽一他, 『新産業技術の今後の方向と産業社会に関する調査研究』, 産業研究所1978年。
 - (31) 経済審議会, 『経済計画のための多部門計量モデル』, 1977年。
 - (32) 神品光弘, 宝剣純一郎, 樋口透, 「社会の変化構造の分析」, 『地域学研究』, 9

卷, p95 - p116

- (33) 公文俊平, 「一般システムの諸類型」, 『講座: 情報社会科学6』, 学研。
- (34) 村上泰亮, 嘉治元郎編, 『現代経済学の展開』, 勁草書房, 1971年。
- (35) 鈴木光男, 中村健二郎, 『社会システム—ゲーム論的アプローチ』, 共立出版, 1976年。
- (36) 高木純一, 「マン・マシン・システムの社会」, 『講座: 情報社会科学6』, 学研。
- (37) 筑井甚吉他, 『ターンパイク・モデル』, 経済企画庁経済研究所, 1974年。
- (38) 通産省編, 『産業構造ビジョン実現のために』(財)通商産業省調査会, 1977年。