社会システムの分析方法についての覚書
―― システム・ダイナミックスから行動システム理論へ ――

常田　稔

§1. はじめに

J. W. フォレスターにより開発されたインダストリアル・ダイナミックスは，最初は個別企業におけるマネジメント・システムの分析に用いられていたが，その後名称をシステム・ダイナミックス（以下 SD と略記する）と変え，都市問題，環境汚染問題，人口問題，資源問題等いわゆる社会システムに関する問題の分析にも用いられるようになって来た(1)。近年社会システムの問題に対して，オペレーションズ・リサーチ，システムズ・アナリシス等いわば自然科学的な方法でアプローチする例が多くなっているが，SD もそのうちのひとつであるといってよい(2)。

SD では，対象をひとつのフィードバック・システムとして認識し，そこにおけるさまざまな要因の相互関係をフィードバック・ループのうちに明確化し，レベル変数とフロー変数の概念を用いてシステムを数式的に表現し，システムのダイナミックスをコンピュータ・シミュレーションによって分析する。これは極めて明解で又便利な方法であり，その意味で非常に強力な方法でもある。

しかし，上記のような社会システムの分析・研究に SD を安易に適用することは危険である。その理由として少くとも次の2つを指摘することができる。第1に，SD における数式モデルやコンピュータ・シミュレーシ

ョンは極めて明解であるが，数式モデルやシミュレーション・プログラムを作成する前の段階，すなわち因果連鎖図によるフィーバック・ループの表現の段階においてあいまいさの入る余地がある。第2に，社会システムはその要素として人間を含み，人間の意識的側面がシステムの挙動に重大な影響を与えるが，SD ではシステム内のすべての変数（variable）を実数として数量化するため，本来数量化困難なはずの人間の意識的側面を捨象してしまう危険がある。

本小論は，以上の問題意識のもとに，社会的なシステムへ SD を応用したひとつの事例（原始農耕社会における人口コントロール）を取り挙げ(3)，これを概観することにより，SD の方法を検討し，さらに同じ事例を別の方法（行動システム理論に基く方法）で分析することによって(4)，そこから社会システムのあるべき分析方法を考察する。

§ 2. 人口コントロール・メカニズムに対する人類学からの研究

この節では，以下で取り挙げるべき事例をごく簡単にスケッチする。

R. A. ラパポートは，1962年10月から1963年12月にかけて東ニューギニアの高地人マーリング語族のひとつの部族ツェムバーガ族についてフィールド•ワークを行った。(図1参照)(5) マーリング語族は全体で人口約7,000，そのうちツェムバーガ族の人口は1963年11月現在 204 人，年令構成は図2の通りである(6)。

マーリング語族は森を焼き，その後に根菜類等を植えるといういわゆる焼畑農耕（slash-and-burn agriculture）を行っている。このような農耕法では，肥料は焼かれた森の灰であるから，何年か経つうちに土地が疲弊して収穫が落ちてしまう。そこで収穫がある程度まで落ちると，その畑を放棄して自然に戻し，新たに別の森を焼いて畑を作る，放棄された畑は自然の力により何年かを経て元の熱帯雨林に戻る。これを操り返すわけである。ツェムバーガ族には約 1,353 エーカーの耕作可能な土地があり(7)，そ

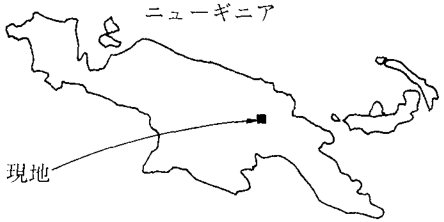


図 1 ツェムバーガ族の居住地域

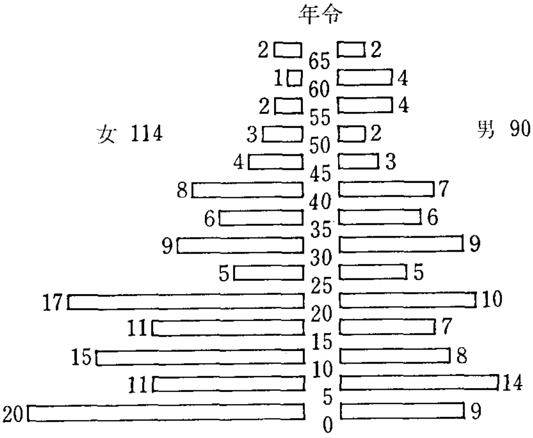


図 2 ツェムバーガ族の年令構成

の周囲は山にかこまれている。

さて，このような原始農耕はそれほど人口の扶養能力がないから，そのもとでひとつの部族（社会）の成立と存続が可能であるためには，利用できる土地が十分に広いこと，および人口の増加と減少にある制限すなわち人口コントロール・メカニズムが存在することの２点が必要である。もちろん食糧生産能力そのものがそれによって養いうる人口の上限を規定し，これがひとつの人口コントロールをなしうるが，これだけでは不十分である。ツェムバーガ族のいまひとつの人口コントロールは約12年から15年間隔で起こる近隣部族との戦争によってなされている。戦争を引き起こすト

リガーの役目は彼らの飼っている豚および彼らの祭りが果たす。又彼らが rumbin と呼ぶ植物の存在は戦争に対するタブーの役目を果たす。これらの間には実に功妙で雑雑な生態学的・社会学的メカニズムが存在していて，それが人口コントロールをなしとげているわけである[8]。

ラパポートは彼のフィールドリークでこれを把え，それ自体興味深い人類学的記述の中でこれを分析している。

§ 3. SD による人口コントロール・メカニズムの分析

この節では，前節で簡単にまとめたツェムバーガ族の人口コントロール・メカニズムの分析に SD を摘用した例を概観する。

S. B. シャンツィスらは，ラポポートの分献においていわばヴァーバルな言葉で語らわれた人類学的記述を，いわば数学的な言葉へ移しかえて SD モデルを構築し，分析している。この移しかえに関してシャンツィスらは次のようにいう[9]。

1. 複雑なフィードバック・ループ・システムの理論は，観察されたシステムの重要な因果関係の理解および因果関係の構成を助けることができる。
2. パラメータの変化に対するモデルの感度分析は，全体的な社会機能を理解するためには，正確な観察あるいは測定が必要な所はどこか，又観察上の大きい誤差が相対的に重要ではないのはどこかを示すことができる。
3. SD モデルは，新しい問題を浮き彫りにすることができるし，又それ以上の研究をより効率的にデザインしようとするとき，見逃しがちな情報を気付かせることができる。
4. モデルの分析は，観察された諸関係において，観測されたパラメータの範囲を越えた行動の意味に関する情報を与えることができ，したがってそれは新技術や社会政策の社会への効果をテストするのに有益であ

る。

さて，シャンツィスらは，人口コントロールのメカニズムは基本的には図3のような人口水準，出生，死亡の各要因による正負のフィードバック・ループ構造によってなされているという[10]。

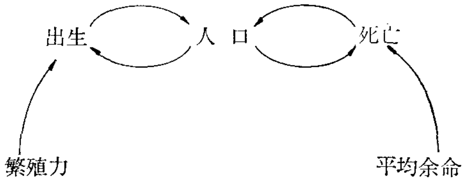


図 3 人口コントロールの基本フィードバック・ループ

この図は因果連鎖図あるいは因果関係図等と呼ばれ，ある要因が原因として働き，何らかの要因をその結果として引き起こすとき，それらの要因を矢印で結んだものである。結果としての要因が別の要因に対して原因として働くとき，その矢印はさらに延長されてひとつの連鎖を形成するが，もしこの連鎖による矢印が最初の要因に帰るならば，これはひとつの閉ループを形成していることになるので，フィードバック・ループと呼ばれる。ここで，フィードバック・ループの正負を，もしある要因の増加がフィードバックされてもどって来たとき，その要因に再び増加をまねくように働くならば正，もしある要因の増加がフィードバックされて，その要因を減小させる方向に働くならば負と定義する。正のフィードバックは，もしそれが適性に働くならばシステムを成長させ，不適性に働くならばシステムを不安定にし，負のフィードバックは，適性のときはシステムを安定にし，不適性のときはシステムの消滅をまねく。

出生率が一定であると仮定すると，人口が増加すれば，当然出生数は増加し，したがって人口は再び増加する。すなわち図3の左側のループは正のフィードバック・ループである。逆に右側のループが負であることも容

易にわかる。左の正フィードバック・ループはツェムバーガ族というシステムにおける人口の成長を促進させ，右の負フィードバック・ループは人口を焼畑農耕のもとに安定させる働きをもつ。実際に人口が増加するか減少するかは，出生と死亡の差によって決まるわけである。

人口のダイナミックな変化を精密に研究するためには，年令構造も考慮に入れる必要があるが，ここでは簡単のためそれは考えない。シャンツィスらは，長期的な人口変化の傾向を調べるためには，モデルに年令構造を組み込む必要はないと主張している[11]。

さらに，シャンツィスらはツェムバーガ族の人口ダイナミックスの基本的な動きを分析するため，当面の仮定として次の4つを置く[12]。

1. 豚は飼育していない。
2. 避妊な嬰児殺しのような人口コントロールはしない。
3. 戦争や祭りはない。
4. 人口の移入や移出がない。

これらの仮定は，ひとつには自然科学的な方法の常套である分析をまず簡単な所から始めることにより，アプローチを容易ならしめるという意味もあるが，いまひとつには分析の出発点をツェムバーガ族という特殊な部族の現象に限定せず，そのような原始農耕社会のどれにも共通するような現象におくことによって，より一般的なモデルの構築を目指すという意味もあろう。したがってここに作られるモデルは基本的にはどの焼畑農耕社会の分析にも通用できるものになるだろう。もちろんツェムバーガ族に特有な特徴を内含させたモデルを作るためには，この一般的モデルから上に設けた仮定を順次はずし，それに応じてツェムバーガ族に特有な現象を表わしうる因果関係をフィードバック・ループとして設定して，モデルを修正すればよい。実際，シャンツィスらは上の仮定のもとでモデルを作成し，分析した後で，これらの仮定をはずし，ツェムバーガ族に特有な豚の飼育，

祭り，戦争のメカニズムを組み込んだモデルを作っている。（本小論はそれに言及することは省略する）

さて，上の基本仮定のもとでは，ツェムバーガ族の人口コントロールは食糧だけによって行われることになる。そこで，シャンツィスらはこの人口コントロールのメカニズムを図4のような因果連鎖図に表現する[13]。（図中の NF_1, PF_1 等は筆者）

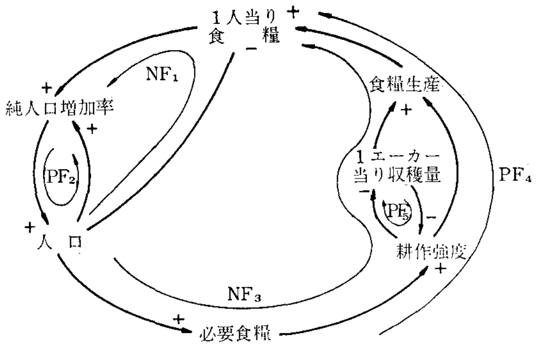


図 4　原始農耕社会の人口コントロールの因果連鎖図

図中の＋又は－の符号は，ある要因の正の方向への変化がそれによる結果として正の方向への変化，又は負の方向への変化を導くことを意味する。たとえば，人口の増加は1人当り食糧の減少を導くから，人口から1人当り食糧の矢印の頭部には－の符号がつけられる。もしあるフィードバック・ループの－符号の数が偶数ならばそのフィードバック・ループは正，奇数ならば負である。

図4より，次の5つのフイードバック・ループが抽出される。

NF_1：人口と1人当り食糧の間の正のフィードバック・ループ

PF_2：人口と人口増加率による正のフィードバック・ループ

NF_3：人口と食糧生産，収穫の間の負のフィードバック・ループ

PF_4：全人口と全食糧の間の正のフィードバック・ループ

PF_5：耕作強度と１エーカー当りの収穫の間の正のフィードバック・ループ

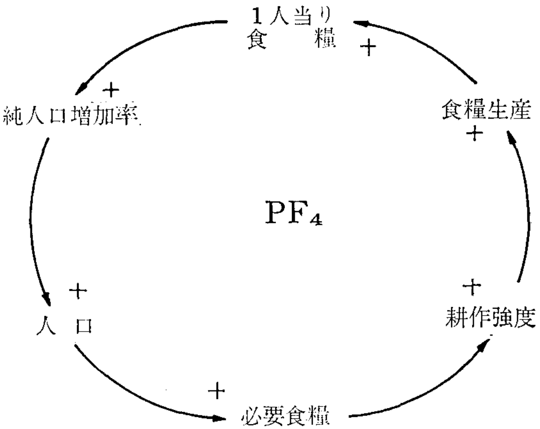


図 5　人口と食糧の間のフィードバック・ループ

このうち PF_4 は人口を増加させる最も基本的なフィードバック・ループである。（図５）[14] 人口が増えると，その人口を養うための食糧の必要性が増す。又人口が増えることは労働力の増加を意味し，したがって耕作の強度が増す。すなわち，より多くの森を焼いて畑とするから食糧の生産が増加することになる。その結果，１人当りの食糧が増え，これは出生率の増加に好影響を及ぼすから，人口はますます増加する。これが食糧と人口のフィーバック関係である。

PF_4 だけでは人口は増加し続けることになるが，現実はそうではない。たとえば NF_1 が働くからである。（図６参照）NF_1 は人口が増えると，１人当りの食糧は減り，正味人口増加率を低下させ，それが人口に対して減少方向に効くということを意味している。このように，５つのフィードバック・ループが複雑に絡み合って人口コントロールを達成しているわけである。

ところで，あるフィードバック•ループが正か負かを分析するためには，ある任意の要因を増加させたと仮定し，その結果その矢印の先の要因は増加するか減少するかを考察し，その増加もしくは減少によって次の要因はいかに変化するかを次々と追って行き，もとにもどったとき，その要因の増加もしくは減少に従って正もしくは負の判定を下すという方法がある。

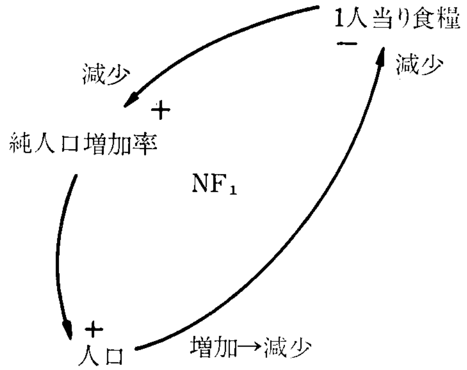


図 6　フィードバック・ループの正負の判定

（図6）もちろん，ある要因が減少したとの仮定から始めてもよい。これは先の，＋，－の符号による機械的な判定法に比べると，手数的に面倒なようではあるが，システムのダイナミックスを理解する上では便利である。すなわち，あるひとつの要因の正負いずれかの変化を想定し，その変化がどのように波及して行くかを次々に追って行くから，これは一種の思考実験的なシミュレーションであり，これによってシステムのある程度の定性的な分析が可能であるし，又描かれた因果連鎖図が妥当なものであるか否か（取り挙げた要因に不足や余計なものはないか否か）を検討することができる。したがって，先の判定方法よりもこの方法が望ましいものであるといえよう。

SD では分析すべきシステムをすべて流れのシステムとして把握する。これは，そもそもフォレスターが企業システムを対象としてインダストリ

アル・ダイナミックスを開発したとき，企業とは基本的には人間（労働力），物（材料・製品），機械・設備，注文，金（資金）の5つの流れおよびそれらのいわばフィジカルな流れを制御する働きをもつ情報の流れのシステムとして把握表現であると考えたことによる[15]。

流れのシステムとしてシステムを把握，表現するために，SD ではレベル（level）とレイト（rate）の概念を導入する。レベルとはある時点におけるシステムを特徴づける状態変数あるいは流量のストックであり，レイトはレベルの流れを調節する流量の率である。これらは，たとえば水の流れにおいては，レベルが貯蔵されている水量に相当し，レイトが単時間当りの水量に相当するようなものである。ツェムバーガ族のシステムについては，人口はレベルであり，出生率はレイトの例である，SD では，さらに流れの源と溜りであるソース（source），シンク（sink）等の概念を導入する。これらをまとめると図7になる[16]。

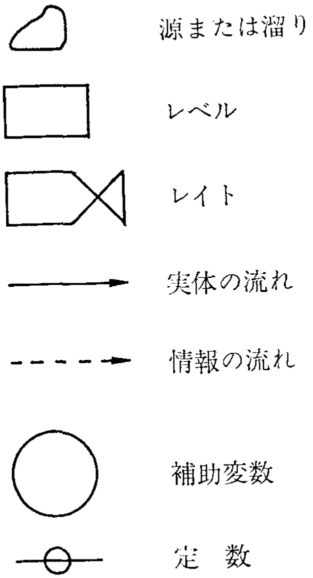


図 7　SD における使用記号

以上の用具を用いてツェムバーガ族の人口コントロールのメカニズムを流れのシステムとして表現すると，図 8 を得る[17]。この図がダイナモ流れ図と名付けられている。SD ではシステムをコンピュータ・シミュレーションによって分析するために，コンパイラー言語 DYNAMO（dynamic models の略）を用意していて，図4を流れ図として手掛りに使えば，コンピュタ・シミュレーションのための DYNAMO によるプログラムを容易に作成することができる。このプログラムをコンピュータにかけてシミュレ

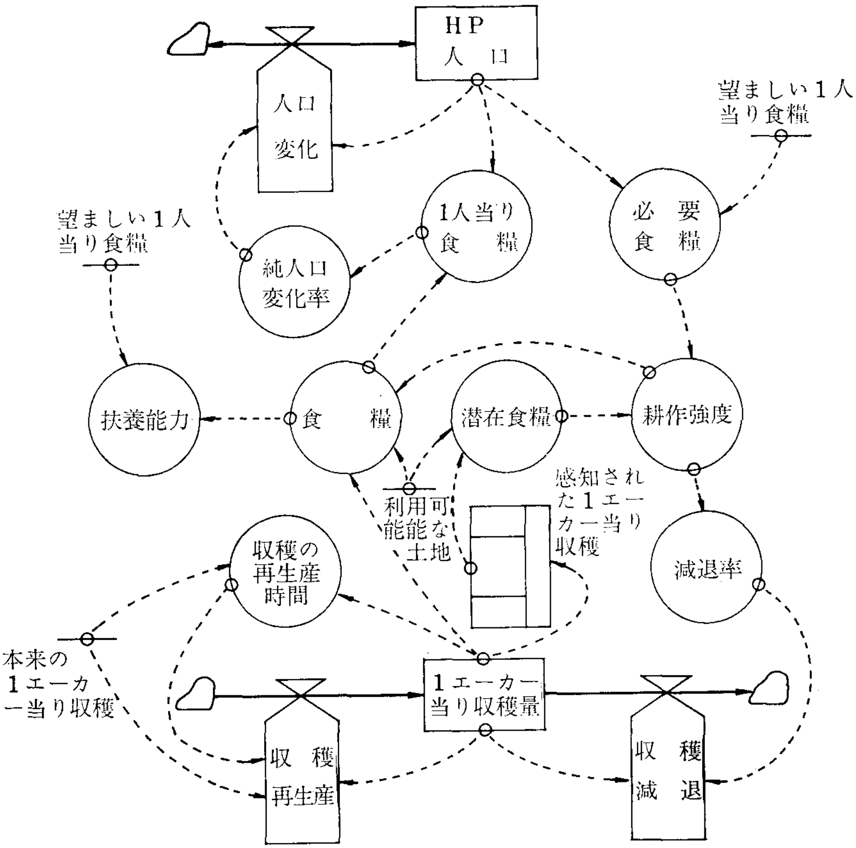


図 8　人口コントロール・メカニズムのダイナモ流れ図

ーション実験を行えば，システムのいわば定量的な分析が可能となるわけである。これについては省略する[18]。

§ 4.　行動システム理論によるアプローチ

この節では，行動システム理論に基き，前節でのシャンツィスらによるモデルを改めて考え直し，これを修正することを試る。

行動システムとは，簡単に言えば，人間をその主たる構成要素（システム要素という）とし，人間以外の要素とともに1個のシステムとしての行

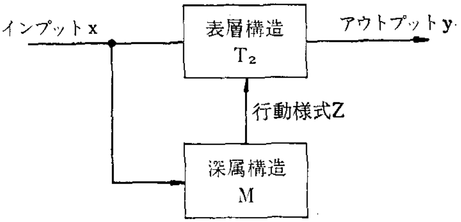


図 9 行動の図式モデル

動特性を示すような行動集団である[19]。このようなシステムは人造物である機械システムあるいは天体のような自然システムとは本質的に異るから，その分析・研究方法も必然的に工学あるいは自然科学の方法をそのままの形で取り入れるわけにはいかず，独自のものを開発しなければならない。

松田は，行動システムの行動を表現するモデルとして，図9のような図式モデルを導入している[20]。図中，表層構造は単純な刺激一反応系であり，与えられたインプットに対するアウトプットが十分観察観測できるという意味で表層的である。深層構造はこの表層構造を制御する，あるいは表層構造の行動様式を決定する働きをもつ。したがって深層構造の動きは直接的には観察できない。別の見方をすると，あるインプットxのうち，その消費成分をインプットとして具体的なアウトプットに変換する logic が表層構造であり，x の中の情報成分を受けて表層構造のこの変換を制御する logic が深層構造である。深層構造は人間がその部分として存在するシステム（あるいはシス要素）に特有のものである。

表層構造は，これを数学的モデルに表現するためには，インプットをx，アウトプットをyとして，$y=f(x)$ という普通の関数を使えばよい。言うまでもなく，インプットあるいはアウトプットが単一変数ではなく，複数の変数と考えられる場合は，この関数はベクトル関数となる。SD の考え方および SD モデルを用いてこれを表現することも十分可能である。

深層構造はこのように単純な関数で表現するわけにはいかない。これは，第1にそこに表われる変数が量的な性質を持たず，質的な性質のものであり，したがって実数関数として表現できないものであるかも知れないし，第2にある時点tのアウトプット y_t は，t におけるインプット x_t から単純に決定されるというようなものではなく，インプットの過去の履歴によって決まる，すなわちインプットの系列 $x_{t-k}\,x_{t-k+1}\cdots x_t$ によって決まるという性質のものであるかも知れないからである。これは，たとえば人間の意識的な側面を表現しようとするときには，当然置かなければならぬ仮定であろう。

このような情況を表現する数学用具としてオートマトン（automaton）がある。オートマトンは次の形式により記述される数学モデルである[21]。

$$\begin{cases} \lambda(q,\ x)=z \\ \delta(q,\ x)=q' \end{cases}$$

ここに，x, z, $q\,(q')$ はそれぞれインプット，アウトプット，状態（次の状態）と呼ばれ，λ, δ はそれぞれアウトプット関数，状態遷移関数と呼ばれる。この式の意味は，ある時点のアウトプット z はそのときの状態 q とそのとき入って来たインプット x によって決まり，さらに q は q 自身と x とによって変化（遷移）するということである。オートマトンは，実数による関数だけを仮定しているわけではなく，したがって質的な変数の変換を扱うことが可能であり，インプット系列によってアウトプットが決まるような変換を記述することが可能である。これは状態 q なる概念の導入に負うところである。

松田は，深層構造の数学的表現にオートマトンを使い，

$$M(x)=z:\begin{cases} \lambda(q,\ x)=z \\ \delta(q,\ x)=q' \end{cases}$$

とし，この z によって規定される関数

$$T_z(x)=y$$

で表層構造を表現するというモデルを提唱している[22]。これは，人間を含んだシステムを分析・研究する上で大いに便利なモデルであるといえよう。

なお，あるシステム（システム要素）の行動は，それに対するインプット x とアウトプットの組をもって (x, y) と表現される。

以上の準備のもとに，SD を行動システム理論の立場から考察してみよう。

まず，このようなモデル形式をとる立場に立って SD を考えると，それはどのように解釈できるかという問題から始める。

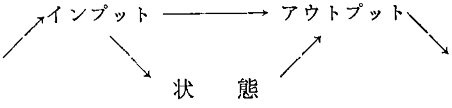
SD は，端的にいうと，表層構造の変換の連鎖としてシステムを表現していると解釈できる。すなわち，SD においてはすべてのシステム要素が表層構造のみからなるあたかも機械システムであるかのように対象を見なし，モデル作りをしていると考えることができる。そして（あるいはそれ故に），そこにおけるインプット，アウトプットはすべて実数として定量化（数量化）できるものを扱っている。あるいはすべての変数を，その量的・質的性質のいかんにかかわらず，実数として数量化して，そのモデルを作る。

この事実は SD における重大な問題点であろう。SD では World Dynamics, Urban Dynamics 等本来その要素として人間を含んでいるような（社会）システムを研究対象とすることがあるが[23]，これをあたかも機械システムであるがごとく扱っているし，又これらのシステムは数量化が本質的に不可能な変数（たとえば人間の意識的側面）を含み，これらがそのシステムにおいて重要な役割を演じているにもかかわらず，全くそれを無視するかあるいは恣意的に数量化してモデルを構築している。これは重大な危険をはらんでいるといわなければならない。あるいは，SD には最初

からその摘用範囲にある限界があるといわなければならない。したがって，社会システムへのSDの摘用に当っては，はじめからこの限界を覚悟して，分析をその範囲内にとどめるか，あるいはSDによる分析の後でこの面での修正を施す用意をあらかじめ用意しておかなければならないはずである。

次に，われわれは松田モデルによるとき，因果連鎖図をどのように解釈すべきか，SD 流のそれをどう修正すべきかという重要な問題の考察に入る。

インプットはあるシステム（要素）への原因としての作用，アウトプットはそこからの結果としての作用であり，深層構造における状態はインプットからアウトプットへの変換に働きかけ，かつ働きかけられて変化する内的な要因である。これから考えれば，因果連鎖図に記されるべき要因は，システム（あるいはシステム要素）に対するインプット，アウトプット，状態の三者でなければならない。そして因果連鎖図とは，あるインプットはいかなる状態の働きによっていかなるアウトプットに変換されるか，あるいはいかなる状態に変換されることを経ていかなるアウトプットに変換されるか，そのアウトプットは次にいかなるインプットとして働くかを一連の連鎖図として表現したものであると解釈できよう。



⟶ インプット ⟶ 状　態 ⟶ アウトプット ⟶

この解釈からしても，SD の因果連鎖図は表層構造における行動のみを扱い，したがってSDはシステムの表層構造のみを分析対象としていることがうなずける。

そこで，われわれの立場に基き，ラパポートの仕事を検討しなおし，改めてツェムバーガ族における人口コントロール・メカニズムの因果連鎖を

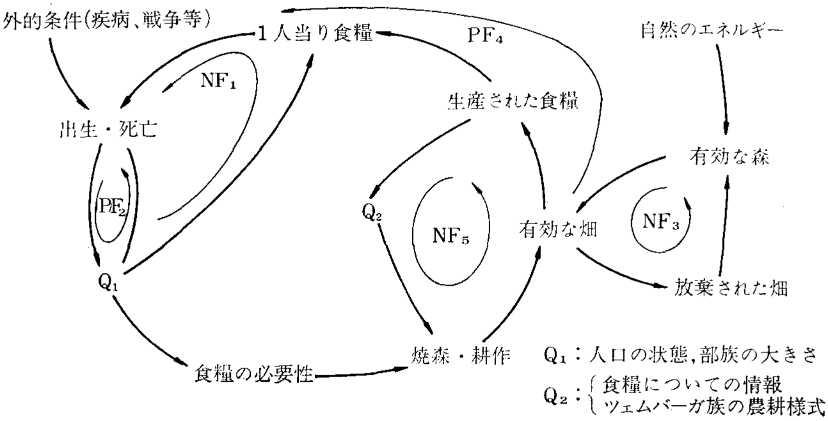


図10　行動システムによる人口コントロールの因果連鎖図

描いてみると，シャンツィスらのSDによる因果連鎖図は次のように修正される。(図10)

この図はシャンツィスらによる因果連鎖図の内容はすべて含み，かつそれ以上の内容を含んでいる。以下，それを示そう。

図10からわれわれはフィードバック・ループとして，NF_1, PF_2, NF_3, PF_4, NF_5 を得るが，このうち NF_1, PF_2, PF_4 は図4のシャンツッスらによる NF_1, PF_2, PF_4 と本質的に同じである。そこでこれ以外のものについて検討しよう。今後図4のシャンツィスらによるものを NF_1(S), PF_2(S)，図10の筆者によるものを NF_1(T), PF_2(T) 等と記して区別する。

PF_5(S) についてシャンツィスらは次のように説明している。焼畑農耕では，焼いて畑とした森はすぐ生産力が落ちるから，もとの生産力に戻すために相当期間放棄し，休耕にしておかなければならない。ツェムバーガでは，1年の使用に対して上級の土地は15年，下級の土地はその以上の休耕を要する[24]。そうすると，人口が増加すれば，耕作の強度が増加し，より多くの森が焼かれるが，ツェムバーガ族に使用可能な土地は有限だから，

必然的に休耕のサイクルは短くなる。そうすると，そのため森は十分育たないうちに再び焼かれて畑とならざるをえないから，1エーカー当りの収穫量は減少するようになる。この結果，食糧の生産は減少せざるをえなくなり，したがって1人当りの食糧は減少し，人口は制限される。そしてこの事情は $PF_5(S)$ と $NF_3(S)$ によって表現されるされているというわけである。

しかし，この説明は先の因果連鎖に対していかにも不自然である。上の説明に対して，$NF_3(S)$ あるいは $PF_5(S)$ の耕作強度──→1エーカー当り収穫量，および $PF_5(S)$ 1のエーカー当り収穫量──→耕作強度の部分は因果関係が短絡しているように思われる。又ふたつのフィードバック・ループ $NF_3(S)$ と $PF_5(S)$ のかかわりあいも不自然である。この原因は上の説明中のツェムバーガというシステムの把え方にもあるように思われる。

放棄された畑は，自然の恵みを得て再び森となる。つまり，森と畑は自然の法則に従う営みにおいて，あるサイクル（たとえば周期15年の）を描いて互いに入れ替る性質のものである。一方，人間にはその意識と慣習による営みにおけるサイクルがある。両者がかかわりあうことによって，人間と自然との間の複雑な交流が行われるはずである。又このかかわりあいによって，人口の食糧によるコントロールがなされているはずである。これは言い換えれば，ツェムバーガ族というシステムはそこに生きる人間と自然が森と畑を介在として結合したシステムであるということに外ならない。そこの所がエクスプリシットに描かれていなければなるまい。われわれの因果連鎖図では，森と畑のサイクルは $NF_3(T)$ に，人間の営みは $NF_1(T)$ 等に表わされ，両者は $NF_3(T)$ と $NF_5(T)$ との結合点（有効な畑）によってかかわりあっていることが示される。又われわれの因果連鎖図は，シャンシィスらによるものよりも，森が畑となり，食糧を生産し，その結果土地が疲弊していく過程が生き生きと説明できるといえよう。

上の議論から明らかなように，ツェムバーガ・システムのシステム要素は人間，森，畑の3つであるが，これらはわれわれの方法によってまず考察すべき（あるいは観察された）システムの行動を因果連鎖図上に描き，そこから抽出することも可能である。先に見たとおり，われわれの因果連鎖図ではそこに記される要因はインプット，状態，アウトプットであるから，矢印上にはそのような変換をなさしめる主体が必ず存在し，隠されていると考えることができ，その主体は何であるかを同定すれば，そこにシステム要素を抽出，設定できたことになるからである。実際にシステムを分析する場合，まずシステム要素を明らかにし，それからシステムの行動を考える行き方と，システムの行動をまず調べ，そこからシステム要素を設定する行き方とがあるが，後者に対してわれわれの方法は特に有効であるといえよう。

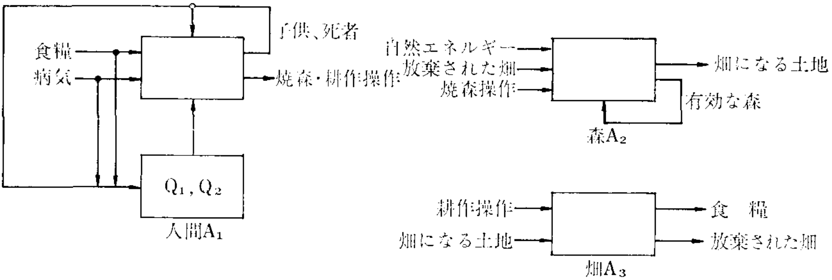


図11　ツェムバーガ・システムのシステム要素

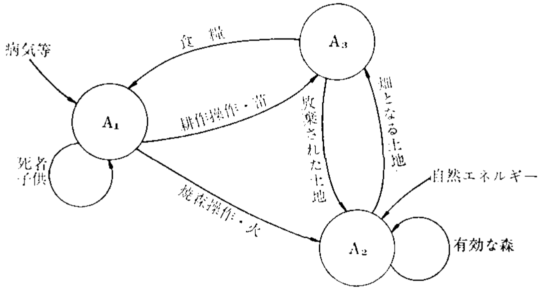


図12　ツェムバーガ・システムのシステム要素結合図

ツェムバーガ・システムについてシステム要素をブラック・ボックスの形で描くと，図11のようになる。この図で森および畑というシステム要素は深層構造が存在せず，単なるインプットアウトプット変換体として描かれている。しかし，これは今までの議論からすれば，むしろ当然であろう。

図12はツェムバーガ・システムの各システム要素はいかに結びついているかを示したものである。これをシステム要素結合図と名付けよう。因果連鎖図はシステムの行動を，そのシステム要素は捨象して，スケッチしたものであるが，システム要素結合図は各システム要素のシステムに対するあり方をそれぞれのインプットとアウトプットによる結合関係によって表現したものである。つまりシステムのより具体的な姿を表わしたものである。

システム要素はその結合関係によって全システムにおける機能を発生する。そこで，図12の各システム要素はツェムバーガというシステムにおいて具体的にいかなる機能を果しているかを考えてみよう。

機能は社会（システム）を分析・考察するうえで極めて重要な概念であるが，その意味，用語法ははなはだ多義，多様である[25]。ここではそれらを改めて吟味，検討し直すことは省き，行動システム理論の立場からの定義をそのまま用いることにする。再び松田によると，システム要素 A_i から A_j への結合があるとき，A_i にとっての A_j の行動の意味を役割機能，A_j にとっての A_i の行動の意味を意味作用といい，役割機能と意味作用機能の複合を機能という[26]。

この定義によれば，われわれの例の場合，たとえば森というシステム要素 A_2 は，人間というシステム要素 A_1 の火を放ち，焼くという行動とその行動に基く A_1 との結合を通して，畑となる肥沃な土地を提供するという役割機能（これを記号で f_{21} と書こう）を発揮する。同様に，畑というシステム要素 A_3 は，A_1 に対しては食糧の産出・供給という役割機能 f_{31}

を発揮し，A_2 に対しては森になりうる土地の提供という役割機能 f_{32} を発揮している。又 A_1 は，A_2 に対しては食糧の消費 f_{11}，耕作 f_{12}，A_2 に対しては焼森 f_{13} という機能があると考えられる。

ところで，図12には意味作用機能が浮き彫りになるようなインプット，アウトプットはエクスプリシットには表記されていない。図12はもっぱら役割機能に基く結合図であるといってもよい。しかし，われわれのモデルにあっては，当面意味作用機能は重要ではない。たとえば，森 A_2 は萋萋として生い茂り，深く暗い景観をつくることによってツェムバーガの人々 A_1 に何かしら重要な意味作用を与えているかも知れない。ツェムバーガ族の宗教等社会学的な考察をする場合，その分析は重要な意義を持つだろう。しかし当面のわれわれの分析においては，それは大して重要ではない。もし分析が進んで，意味作用の重要性が認められるようになったならば，その段階でそれが分析できるようにインプット，アウトプット，状態を設定し，モデルを改善すればよい。そのように，各段階においてシステム分析者が前段階でのモデルに必要な事項を積み重ね，モデルを改良改善していく行き方が，むしろ自然科学風のオーソドックスな流義であるともいえよう。

次に，上に考えた各機能の関係を調べてみよう。

機能 f_{21}，f_{32} は連合すると，合成されて，畑と森の再生産という機能 f_4 を生成する。これは記号的に，

$$f_{21} \to f_{32} \Rightarrow f_{21} f_{32} = f_4 \quad \text{または} \quad f_{32} \to f_{11} \Rightarrow f_{32} f_{21} = f_4$$

で表わされる。同様に，

$$f_{13} \to f_{21} \Rightarrow f_{13} f_{21} = f_5 \quad \text{(畑の造成)}$$

となる。なお，$f_{21} \to f_{13}$ という合成は存在しないと考えるべきである。すなわち，機能の合成は順序によっては存在しないことがある。又 f_{11}，f_{21} については，$f_{11} \to f_{21}$ も $f_{21} \to f_{11}$ も存在しない，このように，機能の合成

は任意の機能に対して常に存在するとは限らない。これらは，機能の合成がシステム要素の結合によってなされることによる。機能合成の可能条件を理論的に考察することは，システム理論の重要な課題であるが，ここではそれには立ち入らない。

さて，f_4 と f_5 はさらに合成され，

$f_5 \rightarrow f_4 \Rightarrow f_{13} f_{21} f_{32} = F_1$　（農耕地の再生産）

となるが，この合成は細かくみると，

$f_{13} \rightarrow f_{21} \rightarrow f_{32} \Rightarrow f_{13} f_{21} \rightarrow f_{32} \Rightarrow f_{13} f_{21} f_{32} = F_1$

$f_{13} \rightarrow f_{21} \rightarrow f_{32} \Rightarrow f_{13} \rightarrow f_{21} f_{32} \Rightarrow f_{13} f_{21} f_{32} = F_1$

の２通りが存在することがわかる。すなわち，この合成のプロセスは数学的には図13のような束（lattiel）をなしている。

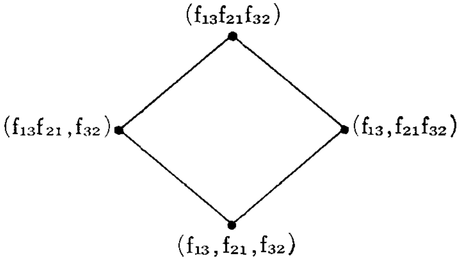


図13　機能合成プロセス(1)

同様にして，機能合成を進めれば，

$F_2 = f_{12} f_{21} f_{31}$　（食糧の再生産）

$F_3 = f_{12} f_{31} f_{11}$　（人口の再生産）

という合成機能が得られる。

F_1 と F_2 はさらに合成されて，

$F_1 \rightarrow F_2 \Rightarrow F_1 F_2 = F_4$　（焼畑農耕）

ととなり，F_4 と F_3 とが合成されて，

$F_4 \rightarrow F_3 \Rightarrow F_1 F_2 F_3 = F_0$　（原始農耕社会の維持）

となる。この合成プロセスは図14のごとき束構造を持つ。

よってわれわれのシステムは，機能的には，各システム要素のもつ小機能 f_{ij} がほぼ独立に合成されて，中機能 F_k をつくり，これらがさらに合成されて，大機能 F_0 をつくるという二重の構造を持つシステムであることがわかる。この機能的に二重の構造のありようは，図15におけるシステム全体の機能合成図においては，部分束（sublattice）の構造に現われている。ただし，図15は表現の簡単化のため，記号を簡略化している。たとえば，f_0，f_{11}，f_{21} などは本来

$(f_{11},\ f_{12},\ f_{13},\ f_{21},\ f_{31},\ f_{32})$

$(f_{11}\ \ f_{21},\ f_{12},\ f_{13},\ f_{31},\ f_{32})$

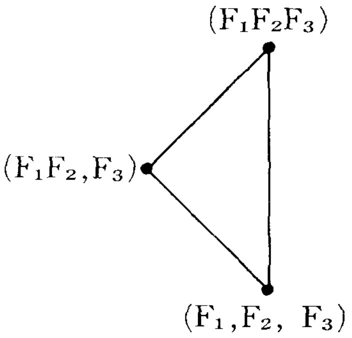


図14　機能合成プロセス(2)

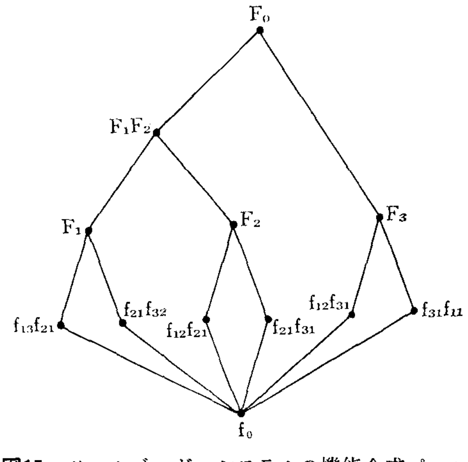


図15　ツェムバーガ・システムの機能合成プロセス

と書くべきところである。

このように，システムの機能合成の構造は数学における束を形成する。システムの機能分析には束論（lattice theory）が有力な手掛りを与えるであろう。

以上，行動システム理論に基き，ツェムバーガ族という社会システムについて，因果連鎖図を描き，システム要素を設定し，各要素間の結合関係を明らかにし，機能を分析して来た。次の段階として，Q_1，Q_2 の構造を具体的に把えてオートマトンに表現し，畑（の面積，肥沃度，休耕期関等）と食糧（の生産量）の関係を関数に表現する等の作業によって，われわれは SD モデルとは異質の数学モデルないしはシユュレーション・モデルを得ることになる。もし Q_1，Q_2 を数量として扱えれば，シャンツィスらによるものとはやや異る（それを含む）SD モデルを作成することも又可能である。われわれは，それは次の課題として，この小論では割愛しなければならない。

§ 5.　おわりに

SD にしても行動システム理論にしても，そのアプローチ方法は自然科学の方法論によっている。周知のごとく，自然科学ではそのアプローチ方法として，まずいくつかの仮設を立て，その仮設の下に演繹体系としてのモデルを構成し，そのモデルに対して何らかの操作・演算を施して推論し，そこから結論を導き出し，その結論と実際とを照合して理論の妥当性を検証するという過程がとられる。

このような方法が社会システムの研究手段として最適なものであるか否かには議論の余地があろう。社会システムに対しては，その現象を忠実に記述できるような演繹的モデルを構成することは必ずしも可能ではないし，演繹的モデルを作ることがその本質を理解するための唯一の手段であるとはいえないからである。しかし，それにもかかわらず，この方法が極

めて強力なものであることも又確かであろう。その多くの理由の中のひとつは，逆にこの方法がモデルを作るという過程を含んでいる所にある。モデル作成のための仮設およびモデル作成の手法を先人の研究成果に積み重ねて改善しうるということ，換言すれば方法自体を進化させうるということである。

社会システムを分析研究する方法は，すでにいくつか開発・提案され，又実際に使用されている。SD はその中のひとつである。前節で展開したわれわれの方法は，SD の成果を踏え，SD の方法をさらに進化させるものであるといえよう。と同時に，それは社会システム研究のために開発された新しいひとつの方法のささやかな第一歩であるともいえよう。

自然科学においては，演繹的モデルとして数学モデルを特に重要視するが，注意すべきは数学モデル即数量（定量）モデルという誤解である。これは科学的分析即数量的分析という誤解でもある。そもそもわれわれが数学モデルを使う理由は，決して現象をすべて数量的に表現し，分析しようとすることではなく，数学の持つ簡潔にして厳密な表現方法を以て現象を記述・表現し，その無矛盾の演繹的論理体系に依て推論し，われわれの理論をより厳密な論理体系の上に構築しようとすることのはずである。又それゆえにこそ演繹的モデルであり，科学的な方法なのである。社会システムにおける現象は，本来数量化不可能あるいは数量化不適当な場合が多く，これを徒らに数量化し，分析しようとすることは，自ら誤った方法を採用し，誤った結論を導こうとしていることであるといわなければならない。

この観点からすれば，社会システムの現象をオートマトン等必ずしも数量だけを扱うとは限らないような数学形式で記述・表現し，モデル化しようとすることは，ややともすれば厳密性に欠ける社会科学の方法を補完し，かつ徒らに数量的分析にのみ走りがちな自然科学流の研究方向を正す

ことになるだろう。社会システムをこのような方法で研究した成果も現れはじめている[27]。

そもそも社会システムにあっては，その定量的側面よりも定性的側面の方が重要である場合が多い。すでに数学のグラフ理論を用いて社会システムの定性的な分析を試ている例もある[28]。束論も又この面において有益な貢献をするであろう。

社会システムを分析，研究しようとするときの大きい特色は，その対象が物言わぬ自然物や人造物ではなく，人間を含んでいるということである。したがって，分析者はそのモデルを作成するに当って，まずシステムの当事者と作成されるモデルのありようについて討議することが必要である。あるいは討議することが可能である。一旦作成されたモデルについても，その妥当性を両者の討議によって検討・検証する必要があるし，又可能である。ところが，一般にシステムの分析者は対象となるシステムの細部に精通しているとは限らず，システムの当事者はシステムの分析方法に精通しているとは限らない。このような事情に対する重要な要請は，システムの分析者にとっては厳密な演繹的論理体系にのせやすく，システムの当事者にとっては日常言語に近くて理解しやすく，そして両者にとってはできるだけ簡潔であるようなコミュニケーション手段である。行動システム理論による因果連鎖図は，SD によるもの以上に，この要請に答えるものであるといえよう。

最後に，本小論は，早稲田大学システム科学研究所１年制専門教育課程（エクステンション・コース）において松田正一教授を中心に文献［10］をテキストとして行われた研究ゼミナールの討論がその発想において非常に有益な示唆を与え，内容的にもその折の討論成果に負う所が大であることを記して置かなければならない。もちろん，内容に対する責任はすべて筆者が負う。ここにそれを記し，末尾ながら松田教授をはじめゼミナール参

加諸氏に厚くお礼申し上げる次第である。

注

(1) [1] および [2]
(2) たとえば，[3]，[4]，[5]，[6]，[7]，[8]
(3) [9] および [10]
(4) [11]，[12]
(5) [9] p. 11
(6) [9] p. 16
(7) [9] p. 286
(8) [9] chap. 5, 6
(9) [10] p. 256
(10) [10] p. 261
(11) [10] p. 261
(12) [10] p. 261
(13) [10] p. 262
(14) [10] p. 261
(15) たとえば [1]，[3]
(16) たとえば [1]，[2]，[3] 等
(17) [10] p. 265
(18) くわしくは [10] p. 267～p. 288 参照
(19) [11] p. 121
(20) [13]p. 10
(21) この形式のオートマトンはミーリー型と呼ばれている。この他に，ムーア型と呼ばれるものがあり，これはアウトプット z が状態のみよって決まり，$\delta(q)=z$ と表わされる。実は，数学的にはミーリー型とムーア型とは互いに変換可能である。これについては，たとえば [14] 参照
(22) [13] p. 11
(23) たとえば[2]およびローマ・クラブによる一連の報告を参照
(24) [10] p. 263～p. 265
(25) たとえば [15] 参照
(26) [12] p. 12
(27) たとえば，[16] は注目すべき文献である。
(28) [17]，[18] 等

参 考 文 献

[1] J. W. Forrester, "Industrial Dynamics", MIT Press, 1961
[2] J. W. Forrester, "Urban Dynamics", MIT Press, 1969
[3] bit 増刊号システムダイナミックス, 共立出版, 1973
[4] 兵庫ダイナミックス研究チーム,「兵庫ダイナミックス」, bit, 共立出版, 1974
[5] 日本 OR 学会都市研究委員会編,「OR 手法による都市問題解析型シミュレーションモデルに関する調査研究」,（社）日本オペレーションズ・リサーチ学会, 1974
[6] 宮川公男編,「システム分析概論」, 有斐閣, 1974
[7] 大島恵一訳, ケレハー,「システムズ・アナリシスへの挑戦」, ダイヤモンド社, 1971
[8] オペレーションズ・リサーチ,「特集公共体の OR」, vol. 15, No. 12, 1970
[9] R. A. Rappaport, "Pigs for the Ancestors", yale University Press 1967
[10] S. B. Shantzis and W. W. Behrens III, "Populution Control Mechanisms in a Primitine Agricultural Society", D. L. Meadows and D. H. Medows ed. Toward Global Equilibrinm: Collected Papers, Wright-Allen Press, 1973
[11] 松田正一,「行動システムの理論 第1報」, 早稲田大学生産研究所紀要, No. 1, 1970
[12] 松田正一,「行動システムの理論 第2報」, 早稲田大学生産研究所紀要, No. 4, 1973
[13] 松田正一,「人間の行動モデル I」, 早稲田大学システム科学研究所紀要, No. 6, 1975
[14] J. Hartmanis and R. E. Sterns, "Algebraic Structure Theory of Sequential Machines", Prentice-Hall, 1966
[15] 森東吾, 森好夫, 金決実訳, マートン著,「社会理論と機能分析」, 青木書店, 1969
[16] 村田晴夫,「社会の情報構造モデル」, 武蔵大学論集, No. 22, 1974
[17] 田中和衛, 山本国雄, 中島一訳, ケメニイ, スネル著,「社会科学における数学的モデル」, 培風館, 1966
[18] C. Flament, "Application of Graph Theory to Group Structure", Printice-Hall, Inc.