

# システム概念と サイバネティックス (I)

加藤 武信

1. システムの意味
2. サイバネティックスの背景と理論構造
3. システム論とサイバネティックスの関係
4. サイバネティックスの適用と情報化の問題

現代社会において、管理の問題への有効な適用理論として、システム論やサイバネティックスがとりあげられている。この機会に、それぞれについて検討を試みることは、有意義なことであろう。

本稿の課題は、種々の分野に適用を試みられているシステム論とサイバネティックスの関係を明らかにすることである。さらに、サイバネティックスの適用について検討を加え、経営における情報化の問題点と限界を明らかにする足がかりをつかみたい。

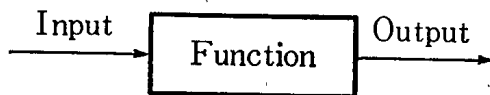
## 1. システムの意味

システムの考え方は、系統的な秩序づけの意味で、特に自然科学における理論として発展してきた。システムの考え方の特徴として、次の2点をあげることができる。

- (1) 物事を、構成している要素に分解する。
- (2) 分解した要素間に関連を見出し、系統的に秩序づけ、総合する。

このような基本的特徴を持つシステムが、複雑で混沌とした過程を単純化する手段としてシステム技法を備えたとき、分析手法としてのシステム論が誕生

した。すなわち、20世紀後半における技術の著しい進歩と社会の複雑化に伴い、工学の分野や産業界において、複雑化した過程をコントロールするための手法として、システム・モデル(図1・1)が登場した。システム論やシステム



ム・モデルの原型については後でとりあげることにする。

図1・1 システム・モデル

ここに、物事を構成要素の集合としてとらえ、構成要素間の結合関係を問題にすると、いかなるものもシステム論の対象となる。

まず、システム論が取り扱うシステムの特徴について、ベア(Staford Beer)は次のように述べている。すなわち、「それは、非常に複雑である。それは高度に確率論的である。それは、少なくとも、ある方法において、自己調整的(self-regulating)である<sup>(1)</sup>。」

それでは、このような特徴を持つシステムは、いかにして認識されるのか。ベアによれば、「システムは、与えられるものではなく、知性(intelligence)によって定義される<sup>(2)</sup>」として、システムとして認識する場合次の三つの段階を経ることを指摘している。

まず、(1) 顕著な(obtrusive)特有の関係を知る。これにより単なる集まり(collection)が、組立てられた集合(assembledge)となる。(2) 関連しあっている関係に、一つのパターンを発見する。これにより、組み合された集まりが、系統的に整序された集合(systematic arranged assembledge)になる。(3) この整序(arrangement)によって、遂行される目的(purpose)が把握される。そしてここに、システムが認識される<sup>(3)</sup>。ここでシステムの把握は演繹的であることが理解できる。

システムは、目的に貢献するための何らかの機能を果たすものとしてとらえられ、情報を通じて関連性を明らかにしていく性格を持っている。

システムの目的を遂行する機能を持つものとして、システムを細分化する場合、機能の最小単位としてのシステム・モジュールを考えることができる。

「しかし、モジュールを考察対象として選ぶよりも、サブ・システムとして考

察対象を選んだ方が良い場合がある。一般にサブ・システムとは、システムを最適分割したものである。……システムの目的のために、サブ・システムはそれぞれ機能・目的を持つことによって、システムとして全体が一義的な目的を指向するのである<sup>(4)</sup>。」ここに、システム・モジュール、サブ・システム、システムという、システムのヒエラルキー（階層性）を見出すことができる。

システム論は、システム・モデルを用いてシステムを把握するのであるが、システム技法として、I (Input)、F (Function) を説明することにより、O (Output) を検討するシステム分析、O、Fを説明することによって、Iを検討するシステム逆分析、I、Oを説明することによって、Fを検討するシステム設計をあげることができる。

これまでシステムの意味について概括したが、以後においてサイバネティックスとの関連を検討するにあたり、ポールディング (Kenneth E. Boulding) が試みた経験分野の「個体」に対応した理論的なシステムや構成体の配列をみてみたい。それは、システムの複雑性のヒエラルキーに従った配列であり、サイバネティック・システムをその中に位置づけているからである。以下に、ポールディングの配列を抜粋し、後ほど若干の考察を加えよう<sup>(5)</sup>。

- (i) 第一のレベルは、静態的構造のレベルである。それを枠組のレベルと呼んでもよからう。これは、宇宙の地理学および解剖学である。すなわち、原子核のまわりの電子のパターンや、分子の構造式における原子のパターンや、結晶のなかでの原子の配列や、遺伝子・細胞・植物・動物などの解剖学的構造や、地球や太陽系や天文学的宇宙の地図の作製、などがそれである。こういった枠組の正確な記述は、ほとんどいかなる分野においても、組織だった理論的な知識の始まりをなす。なぜならば、静態的な関係の記述の面でのこのような正確さなしには、いかなる正確な機能的もしくは動態的な理論も、不可能となるからである。たとえばコペルニクス革命は、実は、太陽系の運動のヨリ簡単な記述を可能にするような新しい静態的な枠組の発見だったのである。
- (ii) システムティックな分析の第二のレベルは、あらかじめ定められた必然的な運動を行なう単純な動態的システムのレベルである。これは時計仕掛けのレベルと呼ぶことができよう。いうまでもなく、太陽系それ自体は、人間の見地から見れば巨大な時計の世界であって、天文学者が行なう爽快なまでに正確な予測は、彼等が研究

しているこの時計の優秀性の証明である。梘子や滑車のような単純な機械は、いや蒸気機関や発電機のようなごく複雑な機械ですら、ほとんどがこの範疇に属している。物理学や化学、さらには経済学さえも、理論的な構造のかなりの部分は、この範疇に入る。二つの特殊なケースが注目されてしかるべきであろう。単純な均衡システムは、実は動的な範疇に属する。というのは、すべての均衡システムは、動的なシステムの極限の場合であると考えられなければならない、その安定性は、それを作っている動的なシステムの諸特性の知識なしには決定し得ないからである。均衡に到るような統計的な動的システムもまた、そのあらゆる複雑さにもかかわらず、このシステム・グループに属する。原子に関する、あるいは分子にさえ関する、近代的な見解はこのようなものであって、システムの各々の位置もしくは部分は一定の確率つきで示されるが、それにもかかわらず全体としては決定論的な構造を示す、というようなものなのである。ここでは二つの型の分析法が重要となる。それは、経済学者の用語法を使えば、比較静学および真の動学と呼ぶことができよう。比較静学においては、われわれは、基本的なパラメーターの値がちがう場合のシステムの二つの均衡位置を比較する。これらの均衡位置は、通常、連立方程式体系の解として示される。比較静学の方法は、方程式のパラメーターが変化した場合について、解を比較することである。簡単な力学の問題のほとんどは、この方法で解決される。他方、真の動学にあっては、われわれは、システムを連立微分方程式あるいは差分方程式の体系として示し、それを解くことによって、各々の変数を時間の関数として陽表的に示すのである。このようなシステムは、定常的な均衡位置に到達するかもしれないしあるいはしないかもしれない。発散する動的なシステムの例はたくさんある。そのきわめて単純な例は、元金の複利成長である。だが、ほとんどの物理的および化学的な反応や、ほとんどの社会システムは、現実に均衡に向う傾向を示している。さもなければ、世界ははるか昔に、外に向かって爆発するか内に向かって破裂してしまっていたことだろう。

- (iii) 第三のレベルは、制御機構あるいはサイバネティック・システムのレベルであって、これにはサーモスタットのレベルというニックネームをつけることができよう。このシステムと単純な安定的均衡システムとの相違は、主として、情報の伝達と解釈とがこのシステムの本質的な部分をなしている、という事実に見られる。その結果として、均衡位置がシステムの方程式によってたんに決定されるのみではなく、システムは、ある限界内で、任意の所与の均衡位置を維持するように働くのである。こうしてたとえば、サーモスタットはセットされた任意の温度を維持するだろう。つまりこのシステムの均衡温度は、たんにその方程式だけによっては決定され

ないのである。もちろんこの場合の仕掛けは、この動的なシステムにとっての本質的な変数が、その値を維持すべき変数の「観測」値もしくは「記録」値とその「理想値」との差とされている、という点にある。この差がゼロでなければ、システムはそれを減少させるように動くのである。たとえば記録された温度が「低すぎる」ときは、ボイラーのスイッチが入って熱が送られるし、記録された温度が「高すぎる」ときはスイッチが切れるのである。生理学で非常に重要な位置を占めているホメオスタシス・モデルは、サイバネティック・メカニズムの一例であり、このようなメカニズムは、生物学者や社会学者が対象とする経験世界の全体にわたって存在しているのである。

- (iv) 第四のレベルは、「開いたシステム」あるいは自己維持的構造のレベルである。これは、生命が自分を非生命から分化させ始めるレベルである。そこで、これを細胞のレベルと呼ぶことができよう。いうまでもなく、物理・化学的な均衡システムにおいてさえ、開いたシステムのようなものは存在する。原子構造はそれを通り抜けていく電子のまっただなかで維持され続けるし、分子構造はそれを通り抜けていく原子のまっただなかで維持され続けるのである。同様に、炎や川は、本質的にはきわめて単純な種類の開いたシステムなのである。しかしながら、生命をもつシステムに向かって組織体の複雑化の階段を登っていくにつれて、素材が通り抜けるまっただなかで自己を維持するという構造の特性が、支配的な重要性を持つようになってくる。原子や分子は、通過物なしにもおそらく存続していけるだろう。だが最も簡単な生きた有機体においてすら、その存続は、食物の摂取や排泄や代謝なしには考えられないのである。自己維持の特性と密接に結びついた特性は、自己再生産の特性である。実際、ひょっとすると、自己再生産は、開いたシステムに比べて、より原始的あるいは「低い水準」にあるシステムの、特性かもしれない。たとえば遺伝子やビールスは、開いたシステムではないのに自己を再生産できるかもしれないのである。増加していく複雑性の段階のどの点で「生命」が始まるかという問題は、おそらく重要な問題ではないかもしれない。とはいえ、明らかなことは、物質やエネルギーの通過物のまっただなかで自己の再生産と自己の維持とをともに行なうようなシステムに到達したときには、「生命」という名称を与えることを拒みがないような何ものかに、われわれは出会っているのだということである。
- (v) 第五のレベルは、遺伝・社会的レベルと呼ぶことができよう。その典型は植物であって、植物学者の経験世界はこれによって支配されている。これらのシステムの著しい特徴は、第一に、細胞間の分業によって、分化し相互に依存しあう諸部分(根、葉、種子、等々)を持つ細胞社会ができあがっている点に、第二に、エキゾフ

ァイナルな成長,あるいは「青写真」による成長,の現象と結びついた,遺伝子型(genotype)と表現型(phenotype)との間の鮮明な差別が存在することに,ある。このレベルでは,高度に特殊化した感覚器官は存在せず,情報受容装置は拡散して,大量の情報の通過物を受け入れる力がない。たとえば,樹木は,光を闇から,長い昼間を短い昼間から,寒さを暑さから,区別する以上のことがたいしてできるかどうかは,疑わしいのである。

(vi) 植物界から動物の国に登っていくにつれて,われわれは徐々に新しいレベル,すなわち「動物」レベル,に入ってくる。このレベルは移動性,目的を持った行動,および自覚などの増加によって特徴づけられている。ここでは,特化した情報受容装置(眼,耳,等々)の発達が見られ,取り入れる情報量の著しい増大をもたらしている。取り入れた情報を知識の構造もしくは「イメージ」に組織する機構としての神経系の非常な発達——究極的には頭脳に到る——もまた見られる。動物の生命の梯子を登っていくにつれて,行動は,特殊な刺激にではなく「イメージ」あるいは知識の構造,あるいは全体としての環境についての見解,に対する反応となる度合がますます強くなって来る。もちろんこのイメージは,究極的には有機体が受け取る情報によって決定されている。とはいえ,情報の受容とイメージの形成との間の関係は,極度に複雑なものである。それは,受けとられた情報のたんなる堆積もしくは蓄積ではなくて——もっとも,そうである場合もしばしばあるが——情報それ自体とは本質的に異なったものへの情報の構造化なのである。イメージの構造が十分に確定されたあとでは,受け取られるほとんどの情報は,イメージにはごく僅かの変化しかもたらさない。つまり,情報はいわば緩やかな構造物の間を,構造物に突き当たることなしに通過していくのである。それはあたかも,素粒子が原子の間をなにものにも突き当たることなしに通過していくのと,よく似ている。しかしながら,ときには情報は,イメージによって「捕捉」され,それに追加される。またときには情報は,イメージのある種の「核」に突き当たり,再編成が行なわれる。その場合には,一見したところきわめて小さな刺激のように見えるものに対する反応として,行動の広範で根本的な変化が生ずるのである。このようなシステムの行動の予測の難しさは,主として,刺激と反応との間にイメージが介在しているために,生じるのである。

(vii) 次のレベルは,「人間」レベル,すなわちシステムとして考えられた個々の人間のレベルである。人間は動物システムのすべての,あるいはほとんどすべての,特徴に加えて,自己意識を持っている。それはたんに何かに気づいているということとは,若干異なったものである。人間のイメージは,高級な動物のイメージに比べて

もはるかにヨリ複雑であるということの他に、自己反省的な性質をも持っている。すなわち、人間は、たんに知っているだけではなくて、自分が知っていることを知っているのである。この特性は、おそらく言語および記号使用 (symbolism) という現象と結びついている。人間を彼のヨリ卑しい兄弟たちからもっとも明確に区別するものは、話をする能力——動物の警告の叫び声のようなたんなる信号 (signs) とは反対の、記号 (symbols) を作り出し吸収し解釈する能力——なのである。人間は、時間および関係に関してはるかにヨリ精巧なイメージを持っているということによっても、動物とは区別される。おそらく人間は、自分が死ぬことを知っており、一生涯にわたる自分の行動や一生涯よりも長い範囲の自分の行動などについて思いをめぐらせる唯一の有機体であろう。人間は時間と空間の中に生きているばかりではなく、歴史の中にも生きているのである。そして人間の行動は、彼がその中に置かれている時間の過程に対する彼の考え方によって、深く影響されているのである。

(細) 記号によるイメージやそれに基づく行動が個々の人間にとって持つ死活の重要性のゆえに、個人という有機体レベルを、その次の社会組織のレベルから明確に分離することは、容易ではない。動物に育てられた野生の子供の話は時々聞くとはいえ、仲間から隔離された人間というものは、ほとんど知られていない。人間の行動においては、記号化されたイメージがきわめて本質的なものであるために、まったく隔離された人間は、潜在的には人間でありうるにしても、普通に受け入れられている意味での「人間」ではありえないのではないかと思われる。それにもかかわらず、目的によっては、システムとしての個々の人間を、それを取り巻く社会的なシステムから区別しておくことが便利である。この意味では、社会組織は、組織のいまひとつ上のレベルを形作るものといってよいであろう。このようなシステムの単位は、多分人物——個々の人間それ自体——ではなくて、「役割」——問題となっている組織あるいは状況にかかわっている人物の部分——であろう。だとすれば、社会的な組織体を、あるいはほとんどあらゆる社会的なシステムをも、コミュニケーションの経路によって結びあわされた役割の集合として定義したくなるのである。とはいえ役割と人物との間の相互関係をまったく無視してしまうわけには、決していかない。すなわち、四角ばった人間が円満な役割を果たすときには、彼自身は少しばかりヨリ円満になるかもしれないが、彼は、役割の方をもヨリ四角ばったものにしてしまうのである。こうして、一つの役割の知覚は、以前にその役割を果たしていた人々の人格によって、影響を受けるのである。このレベルにおいては、われわれは、メッセージの内容や意味、価値システムの性質や範囲、イメージの歴

史的な記録への転写，美術や音楽や詩に見られる精妙な記号化や人間感情の複雑な全範囲，などを問題にせざるを得なくなるのである。ここでの経験世界は，そのあらゆる複雑さと豊かさの相のもとで見た，人間生活と社会なのである。

- (ix) システムの構造についての議論を完結させるためには，雲にまで達するバベルの塔を建てたという非難をここで受けるかもしれないにしても，超越的なシステムのための最終的な塔をつけ加えてやらなければならない。なんといっても，究極的で絶対的で避けがたい不可知的なものが存在するのだし，しかも，それらもまたシステム的な構造と関係を示しているのである。答のない問を問うことが誰にも許されないような日が来るとすれば，それは人間にとって悲しむべき日となるであろう。

ボールディングは，システムの複雑性の視点から，上のような配列を試みた。その中で，これから考察しようとするサイバネティック・システムは，(iii)のレベルにおいて，負のフィードバックのシステムとして，すなわち，クローズド・システムとして考察されている。この点については，後に触れることにして，サイバネティックスの検討に移ることにする。

## 2. サイバネティックスの背景と理論構造

サイバネティックスは，1947年，ウィーナー（N. Wiener, 1894～1964）によって提唱された，動物と機械<sup>(6)</sup>に関する通信と制御の科学である。それは，「通信と制御と統計力学を中心とする一連の問題が，それが機械であろうと，生体組織内のことであろうと本質的に統一されるもの<sup>(7)</sup>」という観点から，制御と通信理論の全領域を，機械と動物と人間社会とにおける共通性を研究する学問である。

ウィーナーは，サイバネティックスを次のように一般的に定義している。すなわち，「われわれの状況に関する二つの変量があるものとして，その一方はわれわれには制御できないもの，他の一方はわれわれに調節できるものとしよう。そのとき，制御できない変量の過去から現在にいたるまでの値にもとづいて，調節できる変量の値を適当に定め，われわれに最もつごうのよい状況をもたらせたいという望みをもたれる。それを達成する方法がサイバネティックスにほかならない。<sup>(8)</sup>」すなわち，サイバネティックスは，必ずしもすべてが知ら



れていない、または必ずしもすべて制御可能でない外部環境の中において、それに対処する場合、環境の不確定な諸現象を統計的に把握し、確率論的な接近(stochastic approach)により、情報を得て、効果的な制御を行なうことにより目的を達せんとする。

それでは、サイバネティックスはいかなる背景のもとに誕生したのか。ウィーナーの言う如く、サイバネティックスの歴史的根源は、ライプニッツ(Leibniz, 1646~1716)・バベージ(C. Babbage, 1791~1871)・マクスウェル(J. C. Maxwell, 1831~1879)・ギブス(J. W. Gibbs, 1839~1903)である。すなわち、ライプニッツの記号論理学、ギブスの統計力学、バベージの自動機械、マクスウェルの気体運動論はサイバネティックスの根本思考や、体系化に貢献した。

数学者ウィーナーは、数学の最高の使命は無秩序の中に秩序を発見することであるという認識のもとに、数学を自然記述の道具として、自然そのものの中で自己の数学的研究の言葉と問題を探すという態度を大切にした。そして、学問の境界領域にこそ実り豊かな果実があると考え、電気工学、神経生理学、物理学、生物学の領域の研究をとおして、総合の科学としてのサイバネティックスを確立した。

このような背景をもったサイバネティックスについて、その理論構造を検討する前に、次の三つの基本概念について検討することにする。すなわち基本概念とは、情報の符号的側面に関する通報の概念、情報の技術的意味に関連をもつ情報量の概念、それに加えて、動物や機械における行動の一般的特性であるフィードバックの概念である<sup>(9)</sup>。

通報や情報量の概念は、コミュニケーションの研究である情報理論を基礎づけている。このばあい、それらの概念は、情報の意味的側面を前提としてはいるが、直接にはそれを対象とせず、もっぱら符号的側面を取り扱う。

フィードバック概念は、コントロールにとって重要である。フィードバックとは、「われわれが、与えられた一つの型通りに或るものに運動を行なわせようとするとき、その運動の原型と、実際に行なわれた運動との差を、新たな入

力として使い、このような制御によってその運動を原型に近づける<sup>(10)</sup>」ことと定義することができる。

フィードバックには、正と負の二つのフィードバックの形態がある。すなわち正のフィードバックとは、目標を探そうとする過程として、積極的に新規の運動を起こす動作である。これに対して、負のフィードバックは、一定の目標に運動を近づけようとする安定のための動作である。フィードバックは、行動の一般的特性であり、行動を正または負のフィードバックの組み合わせさせた過程と考えることができる。学習の機能も、行動のパターンを左右する最も複雑なフィードバックの形態とみられている。

フィードバック過程は、通報や情報量の概念が適用されるコミュニケーション網を通して作用するのであり、実際の運動に対して自己修正的であり、更に複雑化すると、学習的となる。

サイバネティックスは、このような概念的用具を用いて、コミュニケーションとコントロールについて研究する科学である。「コミュニケーションとコントロールとは、組織における決定的プロセスである。前者は組織に緊密結合性を与え、後者は組織のビヘイビアを規制する。もし情報が組織内の各部分に伝達され、かつそれが外界との関連における組織ビヘイビアに応用される経路が明らかになるならば、組織研究は一步進むであろう<sup>(11)</sup>。」

さて、次にサイバネティックスを基礎づけている情報理論、予測理論、自動制御理論の検討にはいろいろ。それで、これらの理論との関連で、サイバネティックスの性格を明らかにしたい。

#### (a) 情報理論（あるいは通信理論）

「情報理論は、通報あるいは表現要素に統計数学を適用することによって、情報量の明確な定義を下し、与えられた周波数帯域幅および信号対雑音比のもとにおける通信路の正味の情報伝送割合の上限を示し、しかも、その上限に近づけるための符号化方法を研究する学問である<sup>(12)</sup>。」情報理論は、ウィーナーやシャノン(K. E. Shannon)、コルモゴロフ(Kolmogoroff)によって研究され、シャノンによって数学的に体系化された(1948年)。第2・1図はシャノンの示し

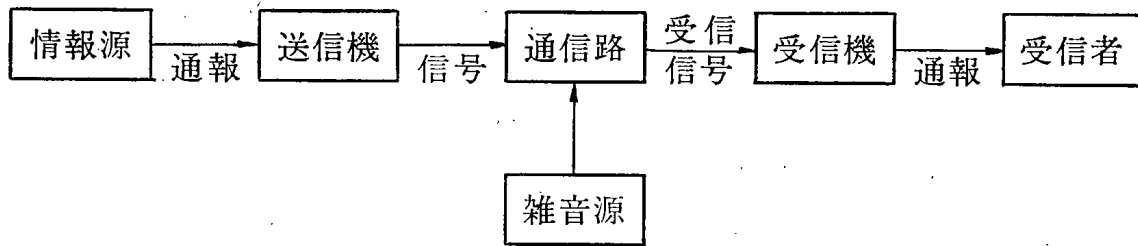


図 2・1 通信系のシャノン・モデル

た通信系のモデルである。

ここで情報とは、行動や動作を制御するための司令源として、記憶部に寄与を与える原因である。情報を伝送するための通報は表現要素の系列を言う。信号は通報をさらに具体化した物理現象であり、符号とは、ある一定の法則にしたがって、表現要素をその通信系に適した別の表現要素に変換する操作である<sup>(13)</sup>。

情報理論は、サイバネティック・システムの中でコミュニケーションの部分の研究するのであり、サイバネティック・システムにおいて、要素間のコミュニケーション関係を規定する。

#### (b) 予測理論

予測理論とは、過去及び現在の知識から、未来の状態を決定するための理論である。すなわち、目的を達成する手段としてのサイバネティクスの適用において、そのシステムは、目標をめざして自己の行動を規制する。ここで目標とは、システムが達成しようとする状態を数量で表現したものとすると、それは、目的を情報化したものといえる。

システムの目標は、変化する環境において、時間の経過と共にダイナミックに変動する。ここにおいて、システムのタイム・ラグを考慮するとき、システムは、過去および現在の状態から、一定時間後の目標を予測しなければならない。また、自己修正的な、さらに学習的なオープン・システムにおいては、正のフィードバックによって環境に積極的に作用し、追求すべき目標を設定しようとする。

予測に関するウィーナーの研究には、ホップ = ウィーナー方程式がある。

「これは、過去に関する知識を未来を決定するために利用する予測理論の若干の部面に対してまさしくうってつけの道具である。この外にも、同じ技術を時間的に適用することによって、解くことのできる一般的な応用問題が数多くある。その一つは濾波器の問題で、これは同時に生じた雑音によって乱された通信を受け取って、それから本来の通信をでき得るかぎりよく再構成する問題である<sup>(4)</sup>。」

「予測のための武器は、コルモゴロフとウィーナーによって樹立された線型予測の一般理論と、いくつかの特殊な非線型予測器の数学的分析からなる<sup>(4)</sup>。」

このように予測理論は、雑音によって乱された通報を再構成する問題や、飛来する飛行機などのように、目標の位置が変化する場合の、ある時間後の位置の予測についての研究を端緒とする。予測理論は、サイバネティック・システムの目標を予測し、設定する重要な理論である。

### (c) 自動制御理論

自動制御理論は、自動機械系システムを、エネルギーと通報の両面からとらえ、それを数学的に解明することにより自動制御の原理を確立し、それを応用する理論である。

ウィーナーは、生物体の恒常作用を、自動制御作用という視点から研究し、サーボ機構や複雑な自動機械における自動制御との相似性を発見して、その原理を生物体にまで広げた。特に生物体の中枢神経系の研究によって、そのアナロジーとしての電子計算機の開発は、複雑な自動機械の制御において、その中枢神経系の役割りを果たすものとして大きな意義がある。

サイバネティックスは、このような構造の相似性を追求することにより、生物体を含む種々の対象を作用のシステムとしてとらえ、それを電子計算機を中心とするメカニズムに置きかえるための理論的基盤を与えた。

自動制御理論は、対象とするシステムを、そのアナロジーとしてのメカニカルなサイバネティック・システムに置きかえるための理論と、メカニズムを与える。

これまでの考察から明らかなように、情報理論においては要素間の通信関係

を規定し、予測理論においては環境と共に変化する目標を予測し、自動制御理論においては、通報とエネルギーの両面を内包する物理系システムとしての、具体的なメカニズムを提供する。さらに、コミュニケーション・システムにおける記憶の機能が、具体的なメカニズムとしての記憶装置に裏づけられ、これらの理論が記憶をとおして緊密に関連しあうとき、サイバネティック・システムは自己修正的、さらに学習的なシステムとしての方法と、理論的可能性を帯びてくる。

### 3. システム論とサイバネティクスの関係

システム論においては、システム・モデルの適用により対象の関係づけを行なう。それは、情報の機能をとおして、目的志向的な作用のシステムを構築する。また、サイバネティクスにおいても、対象を作用のシステムとしてとらえ、構造のアナロジーを問題にすることにより、対象をメカニカルなシステムとして把握する。両者において、作用のシステムとして対象をとらえる共通点があるが、システム論とサイバネティクスの関連性についての考察をすすめよう。まず、システムとサイバネティクスに共通に関連のある情報理論の発達経過から、両者の関係を明らかにしたい。

サイバネティクスの理論を構成する通信理論は、その基礎原理の多くを、ウィーナーの研究に負っている。ウィーナーは、情報理論を生物学的に応用し、中枢神経系現象についての問題を扱った。これに対して、ウィーナーを師とするシャノンは、その通信への応用を試み、通信の数学的理論を完成した。

ウィーナーは、シャノンについて、「彼(シャノン——引用者)の関心の中には、情報の計量、迷路の中を歩いていくことを習得しうる電気ネズミ、自動的にチェスを指す機械、通信を符号化したり符号を解読したりする問題、すなわち事実上近代情報理論の全領域が包含されるようになった」と評し、「シャノンは電子計算機やオートメーション工場の時代の背後にある重要人物の1人である<sup>(4)</sup>」とその功績をたたえている。ウィーナーと密接に関係のあったシャノ

ンは、「彼(ウィーナー——引用者)は、定常的な確率集合の濾波や予測の問題を華麗なまでに見事に解きあかした。この彼の研究成果によって、著者のこの分野における思考に深い示唆を与えられた<sup>4)</sup>。」と述べ、サイバネティックス理論から深い影響を受けたことを明らかにしている。

シャノンは、情報理論の通信への応用について、シャノン・モデルを開発した。これは、符号化された情報すなわち通報を、チャンネル(通信経路)をとおして、送り手から受け手に伝達するさいに、雑音による妨害を考慮したもので、情報の符号化・伝達とその効果を取り扱った。

通信の領域に用いられたシャノン・モデルは、さらに工学の分野に応用されるようになり、サイバネティックス研究の成果であるコンピューターを中心とする情報処理機械の登場と相まって、情報そのものを問題とするシステム・モデルへと発展してきたのである。

これまで、シャノン・モデルとシステム・モデルについての関連を考察したが、両者の思考方法はどうかであろうか。

ウィーナーは、一切の事が必然である決定論的思考に疑問をいただき、「世界を一つの孤立した(隔離された)現象とみるのではなく、あらゆる可能な現象にわたる確率分布をもった統計集団のなかの多くの可能な現象の一つとして考え」、「因果関係というものを、有るか無いか(因果の有無)という形で存在するものというよりは、むしろ多いか少ないか(因果の多少)という形で存在するあるもの<sup>5)</sup>」として把握する確率論的思考をとった。そして、その思考は、構成部分の間に相互依存の関係があり、しかも、相互依存には程度の差があるような系を認識することである。

ウィーナーにおいては、システムの思考を意識はしなかったのであるが、サイバネティックスのとらえる対象は、より高度の作用としてのシステムであることを思い浮べれば、そこにシステムの思考より高いレベルのサイバネティックス的思考の存在が見い出される。その意味で、ウィーナーのサイバネティックスの思想は、シャノン・モデルをとおしてその構造的側面をシステムの思考に反映させているといえる。

サイバネティックスが、通信理論を中枢として、対象とするサイバネティック・システムの機能的側面と共に、構造的側面を問題にするのに対して、システム・アプローチには構造的側面を明らかにすることが容易でない。すなわち、システム論における情報はいわゆる意味論的概念であるのに対して、サイバネティックスで扱う情報は技術的概念とともにそれによって再構成された意味をもつ概念、すなわち通報のレベルを扱う。通報の概念は、意味のパターン化された情報を前提として、技術的意味をもった情報を伝達するためのより抽象化され、等質化されたコミュニケーション・システムを問題にする。従って、そこではサイバネティックスにおいて把握された対象の構造を、アナロジーとしてのメカニカルなサイバネティック・システムに変換することによって情報理論を有効に適用し、全体への総合が純粋な形で可能となり、そこに構造的把握が可能になる。これに対して、システム論における情報は、技術的意味による同質化が困難であるために全体としての系統的な総合をすることが困難となり、システムの構造的側面を問題にするまでに至らない。<sup>(9)</sup> その意味では、システム論の目指す高度なシステムは、すでにサイバネティック・システムの中に見出すことができる。むしろ、サイバネティックスの概念がシステム論の基礎をなすものである。

また、サイバネティックスは、アナロジーとしてのメカニズムにおいて、自己修正機能あるいは更に学習機能を持ったオープン・システムとして性格づけることができるが、システム論でとらえるシステムにおいては、その構造的側面を明確に把握することができず、システム自体は、発展することのないクロード・システムとならざるをえない。

しかしながら、システム論とサイバネティックスの関係において明らかにしたように、システム論の母体はサイバネティックスであり、ウィーナーの考え方の中にすでにシステム概念は存在していた。そして、実践面で適用されているシステム・アプローチは、明らかにサイバネティックスの適用をめざしている。すなわち、対象を作用のシステムとしてとらえ、要素間の結合関係を定式化し、コンピューターを中心とする情報処理機械でアナロジーすることによ

り、処理の自動化、管理の自動化を目指している。

システム・アプローチの基礎にサイバネティックス概念をすえることにより、システム論の対象と方法が明確になり、理論の枠組を明らかにする。これまでの考察から、システム論の中心は、サイバネティックス理論であると言うことができる。

#### 4. サイバネティックスの適用と情報化の問題

すでに見たように、サイバネティックスは、対象の機能と構造を解明し、その定式化と制御を可能にする科学である。それは対象を高度に発達したシステムとして把握し、通信に基づくシステムの制御を問題にする科学である。

ウィーナーは人間を「通信（意思疎通）の欲望或はむしろ通信の必要がその全生活の主動的動機となっている動物<sup>20</sup>」と考え、「社会というものはそれがもつ通信文と通信機関の研究を通じてはじめて理解できるものであること、およびこれらの通信文や通信機関が将来発達するにつれて、人から機械へ、機械から人へ、および機械と機械との間での通信文がますます大きな役割を演ずる運命にあることである<sup>21</sup>」として、通信文の研究、特に制御用の通信文にはどんなものが効果的であるかの研究がサイバネティックスの内容であることを強調し、社会へのサイバネティックスの適用の可能性を示唆している。

また、社会科学の分野へのサイバネティックスの適用については、限界を示しつつ、可能性を与えている。ウィーナーによれば、社会科学においては、「全般的に言って、数学の持っている精密さの代りになるような言語がないこと、また、社会科学の用語のかなり大きな部分は、数学的な言葉で表現する方法がまだわかっていないものごとを言うのに専ら使われており、しかもそうならざるをえない<sup>22</sup>」ことのために、定量的概念の確立が容易でない。しかも、データの把握については、「経済学や社会学のデータで長期にわたり全部が一様な意義をもっているようなものはずっと困難である<sup>23</sup>」という理由で、その適用の限界を与えている。

それでは、いかなる条件で適用可能となるのか。ウィーナーは、計量経済学



を例として、次の二段階をサイバネティックスの有効な適用条件としている。

(1) 需要とか在庫高などの、計量経済学が扱う量の測定は、それらの量の関係を扱う力学と同程度の精度と厳密さをもつ基準に従わなければならない。

(2) われわれの扱う量は、本来統計的な性格のもので、完全に精密な量ではないことを最初から認識し、確率論的に扱わねばならぬ。

そして、この二つの条件は、数学的方法を使うさいの指導原理に属するものであることを、ウィーナーは指摘している<sup>24</sup>。

このような制約はあるにしても、社会科学の領域においてもサイバネティックスは、補助理論として種々の分野に適用されつつある。

サイバネティックスの経済学への適用を試みたオスカー・ランゲ (Oskar Lange) は、サイバネティックスによって発見された作用のシステムが従う一般原理と構造の相似性を、理論的にも実際的にも高く評価している。

すなわち、ランゲはつぎのようにのべている。「この発見の理論的な意味は特に異なった分野、工学、生物学、経済学、等に生じる過程の構造についての相似性の存在を示したことである<sup>25</sup>。」また、その実際的な意味について、「サイバネティックスによって発見された相似性の実際的な意味とは何であろうか。この相似性によって、ある分野で具体的に作用している過程に類似した過程を他の分野で構成することができるということがわかる。例えば、経済—社会的過程に類似した作用を行なう機構を構成することができる。このような装置は、相似機械 (装置) とか、模型機械とかよばれている。例えば、水力装置によって、国民経済における部門間の流過程を表現し、ある拡大再生産の問題をとくことができる。この種の装置では、生産物のストックがつくり出される過程を貯水槽への貯水によって示すことができる。貯水槽からの流出はストックの消費を示すのである。水力装置の代わりに、電気回路を用いることもできる。今度は水の流れの代わりに電流が用いられ、回路の個々の点で電流の強さ (あるいは電力) が測定される。同様にひとつの物理現象 (例えば水力学の分野の) は、物理学の他の分野に生じる現象 (例えば電気工学の現象) によって表現される (模型がつくられる)。水力装置は電気回路の代わりにするが、両方とも、

経済過程の模型として使うことができることは容易にわかる。……このように、さまざまな分野における作用系の機能についての共通原理を発見したことから、種々の型のアナログ計算機の製作と指定が行なわれるようになった。さまざまな種類の数学的模型機械が、工学、経済学および工業の管理に、ますます広範に適用されるようになった。経済の実際に、作用型の機能についての共通原理を用いることをシミュレーションと呼ぶ。この方法は、大規模なコンツェルンのような工業管理の分野でますます大きな意味を持ちつつある。シミュレーションは、また、生物体で行なわれる複雑な過程を種々のタイプの機構によって表現することを可能にしている。サイバネティックスは、また大量の数字資料を整理し、ある論理的操作を行なったりする電子計算機の構成を可能にした。しかし、電子計算機の作用の原理はアナログ計算機の作用とは異っている。その原理は表現すべき過程に対して、直接的な構造の相似性にもとづいているのではなく、論理と演算の法則にもとづいているのである。電子計算機は、物理的・生物学的あるいは社会・経済的な過程を直接に表現するのではなく、その論理的な作用、演算の作用をシミュレートする。しかし、論理と演算の法則は、確かに、人間の頭脳の作用を反映しているのであるから、計算機の作用と頭脳の作用との間接的な相似性は存在する。神経の中核組織の特別な作用についてはまだほとんど知られていないので、この相似性は、今までのところあまり認識されていない<sup>20</sup>。」

ランゲは、サイバネティックスの管理過程への適用に、非常な有効性を見出している。

さらに、サイバネティックスの予測理論と正のフィードバックの特質から導き出される環境への積極的な働きかけ、目標の予測機能は、その社会への適用を検討するとき、重要性を帯びてくる。

先に見たように、ボールディングは、サイバネティック・システムを、クローズド・システムとして理解した。それに対して、これまでの考察から、それは自己修正的さらに学習的なオープン・システムとしての理解が重要であり、またそのように理解することによって、サイバネティックスの社会への適用

は、その意義と有用性を持ってくるのである。システムの複雑性のレベルが高くなるにつれて不確定要素は増し、オープン・システムとしてのサイバネティックスを無視しては、システム論は考えられないからである。サイバネティックス理論は、その社会への単一的な適用には問題があるにしても、現代科学理論の中心的位置を占める理由が、そこにある。

実践面で試みられているシステム・アプローチの内実は、サイバネティック・モデルの適用であることから明らかなように、サイバネティックスは、システム論の中心である。

サイバネティックスであつからシステムは高度に情報化されている。それに、システムとしての認識は観念的なものであり、そのばあい主観になる可能性がある。さらに、インヴィジブル（不可視的）なものを見落す危険性があり、目的に奉仕しない要素は捨象されるのであるが、その中に重要な要素がありはしないか。

サイバネティックスの適用について、このような一連の問題を意識するのであるが、これらの検討は、次号以下で試みることにしたい。

—1970.7. 未完—

- (1) Stafford Beer, *Decision and Control*, 1966, p. 241.
- (2) S. Beer, *ibid.*, p. 242.
- (3) S. Beer, *ibid.*, p. 242.
- (4) 片方善治著、「システム工学概論」, オーム社昭, 44, p. 6.
- (5) K. E. Boulding, *Beyond Economics*, 1968, 公文俊平訳, 「経済学を超えて」, 竹内書店, 1970, p. 91~95.
- (6) ウィーナーにおける機械とは、はいってくる通報を出て行く通報に変換するものとして理解される。なお、サイバネティックスにおける機械は、動物の神経系に類似した通信系を持ち、それには動物の持っているような機能がある程度備わっていることが前提とされる。
- (7) Wiener, *Cybernetics*, 1948, 池原止戈夫・弥永昌吉・室賀三郎・戸田巖共訳, サイバネティックス, 岩波書店, 1965, p. 14.
- (8) ウィーナー著, 「サイバネティックス」, p. ii.
- (9) 拙稿, 「N. ウィーナーの“サイバネティックス”について」, 城西経済学会誌第

4 巻第 2 号参照。

- (10) ウィーナー著, 「サイバネティックス」, p. 8.
- (11) 片方善治著, 前掲書, p. 58.
- (12) 関秀男著, 「情報理論」, オーム社, 昭44, p. 2.
- (13) 関秀男著, 前掲書, p. 1~3 参照。
- (14) Wiener, I AM A MATHEMATICIAN, 1956, 鎮目恭夫訳, 「サイバネティックスはいかにして生まれたか」, みすず書房, 昭42, p. 93.
- (15) John R. Pierce, Symbols, Signals and Noise, 1961, 鎮目恭夫訳, 「サイバネティックスへの認識」, 白楊社, p. 3.
- (16) Wiener, HUMAN USE OF HUMAN BEINGS, 1950, 池原止戈夫訳, 「人間機械論」, 1969, みすず書房, p. 119.
- (17) C. E. Shannon & W. Weaver, The Mathematical Theory of Communication, 1967, 長谷川淳, 井上光洋訳, 「コミュニケーションの数学理論」, 1969, 明治図書, p. 150.
- (18) ウィーナー著, 「サイバネティックスはいかにして生まれたか」, p. 229.
- (19) この点については, 坂本賢三「情報概念形成の科学思想史的背景」, 『思想』No. 551, 岩波書店, 1970年5月に明瞭に展開されている。
- (20) ウィーナー著, 「人間機械論」, p. 11.
- (21) ウィーナー著, 「人間機械論」, p. 17.
- (22) ウィーナー著, 「サイバネティックスはいかにして生まれたか」, p. 200.
- (23) Wiener, GOD AND GOLEM, INC., 1964, 鎮目恭夫訳, 「科学と神」, 昭43, みすず書房, p. 96.
- (24) ウィーナー著, 「サイバネティックスはいかにして生まれたか」, p. 180.
- (25) Oskar Lange, Wstęp do Cybernetyki Ekonomiczej, 1965, 佐伯道子訳, 「経済サイバネティックス入門」, 合同出版, 1969, p. 12.
- (26) ランゲ著, 前掲書, p. 13~15.