

〈総合報告〉

システムについて†

松田正一*

1. システムの基本問題

システム論やシステム工学の対象は、自然から社会に至るまで広汎多岐であるが、それらをシステムという場合には、共通して次のような問題が問いかけられている。

合成問題 synthesis

分析問題 analysis

1.1 合成問題

ある特性をもつ部分を、ある特定の様式で結合するとき、全体はいかなる特性を示すか。

1.2 分析問題

ある特性を示す全体は、いかなる特性をもついかなる部分の、いかなる結合様式から成るものであるか。

2. 全体と部分

全体と部分は切り離して考えられる概念ではない。全体の中の部分であることによって、部分は存在意義を持つ。その意義は何か？ なぜ全体を部分に分けるのか？

全体を一つのものとして見るよりも、二つに分けて見るほうが、全体についてよく知ることができる。さらにそれぞれの部分を二つに分け、全体を四つの部分に分ければ、より深く全体を知ることができるようになる。

すなわち、部分は全体を知るための認識の単位、あるいは単位情報である。

全体を部分の集まりとして分割することは、全体の示す特性がなぜ出てくるかを知るための認識の仕方、あるいは全体を知るための情報を得ることである。

2.1 部分分割

全体をいくつの部分に分けるかは

- 1) 「何について知りたいか」—情報の質
- 2) 「どの程度、詳しく知りたいか」—情報の量

† 1973年4月24日受理。

* 早稲田大学。

による。

部分分割は全体を知るための情報を得るためである。したがって、部分の提供する情報を組み立てることによって全体の示す性質や動きを解析できるように分割されなければならない。

〔例〕 自動車

分割 P_1		分割 P_2		分割 P_3	
部 分	情 報	部 分	情 報	部 分	情 報
エンジン	動力発生	エンジン+シャフト+車輪	自力走行	エンジン+ハンドル	×
シャフト	動力伝達			シャフト+シャシー	×
車輪	走行	シ	荷重支持	車	走行
シャシー	荷重支持	ハ	走行方向変化	ン	
ハンドル	走行方向変化	ド		ル	

P_1 分割によれば、自動車という人や物を運ぶ特性を示す全体は、動力を自ら発生しそれを利用して走らせ、荷のある方向に運ぶものであるという認識ができる。 P_2 分割は、自力走行によって、荷のある方向に運ぶという認識で自動車を知ることができる。しかし P_1 よりも自力走行についての情報が少ない。 P_3 分割による二つの部分は意味を与える情報を提供しない。

3. ケオスとシステム

システム (system) はケオス (chaos) の反対語である。ケオスは無秩序なものの集まりで、集団全体として意味も特性も示さない集まりである。

ゆえに、システムは秩序が形成されたものの集まりで、全体として存在の意味を持ち、特定の特性を示す集まりをさす。集まっているものが同じであっても、それらの間の秩序が異なれば意味や特性は異なる。それは、システムとして見る際には異なるシステムである。

したがって、ケオスといいシステムというとき、われわれが問題にすることは「何が集まっているか」ではなく、「いかに集まっているか」である。すなわち、集団の実体ではなく、集団の秩序を見る。それゆえに、システムとは集団の実体ではなく、秩序という概念による集団の抽象像 (image) である。

3.1 秩 序

秩序 (order) はもののつながりや順序の様式を表わす概念で、関係 (relation) と機能 (function) によって規定される。関係は秩序の様式を指示し、機能は関係づけられたものの存在意味を示す。

3.2 関 係

A の存在または行動が、 R の仕方、 B の存在を規定あるいは B の行動を変化させるとき、 A より B への関係 R があるという。

記号： $ARB, A \overset{R}{\rightarrow} B$ 。

集団を構成する要素の間の関係は、それぞれの要素の集団における位置を規定する。それによ

り、秩序の形式構造が定まる。

3.3 機能

あるものの他との関係によって発生する存在の仕方や行動の意味が機能である。

機能とは「相互に関連する諸部分からなる全体の中の、それぞれの因子（部分）に固有な役目、役割、はたらき、作用」である（広辞苑より）。

役目、役割は、他者 P の必要を充足するために A に期待される行動で、関係 $P \xrightarrow{R} A$ によって発生する A の意味である。

はたらき、作用は、 A の他者 D に与える影響によって発生する A の存在または行動の意味で、関係 $A \xrightarrow{R} D$ によって発生する。機能を次の複合概念で定義する。

機能 \Rightarrow (役割, 意味作用)

役割 $\Rightarrow P \xrightarrow{R} A$ によって発生する A の存在, 行動の意味

意味作用 $\Rightarrow A \xrightarrow{R} D$ によって発生する A の存在, 行動の意味

機能は他者との関係によって規定される関係概念で、関係をもつ他者が存在しなければ意味の現われない概念である。

E. カッシーラは“機能とは事象をその関係において類別し、配置するための枠組”といっている。

集団を構成する要素それぞれの機能は、全体として一つの機能合成図式を形成する。その図式は秩序の内容構造である。

4. 情報としての部分の意味

システムの問題における対象は、部分の結合による全体 (1.1), ケオスの対照としてのシステムにおける対象は、構成要素の関係による集団 (3.2) であることを示したが、この両者には次のような対応 (one to one) がつく。

全 体 \longleftrightarrow 集 団
 部 分 \longleftrightarrow 構 成 要 素
 部分の結合 \longleftrightarrow 要素間の関係

全体に対する部分の意味は、全体を知るための単位情報であり (2.1), 秩序集団における構成要素の意味が機能 (3.3) である。上記の対応から、部分の示す情報とは機能であることが必然的に導かれる。すなわち、部分は機能的客体として存在することによって、全体を構成する部分となる。

〔例〕 自動車 (全) のエンジン (部) の機能：
 自動車を走らせるための動力を発生し (役割),
 車輪を回転させる (意味作用)。

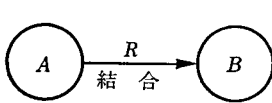
4.1 部分の結合と機能の合成

部分の結合は部分間の関係づけである。

〔例〕 自動車のエンジン A と車輪 B はシャフトによって結合され、この結合によってエンジンの回転（行動）が車輪の回転走行（行動）を規制し、次の関係 $A \overset{R}{\rightarrow} B$ が形成される。

〔例〕 人間 A が人間 B に話しかけると、両者はコミュニケーションによって結合され、 B は A によって気持や行動を変え、関係 $A \overset{R}{\rightarrow} B$ が成立する。

結合による関係づけによって、それぞれの部分は意味情報としての機能を発現する (3.2)。それぞれの機能は結合によって一つの機能に合成される。

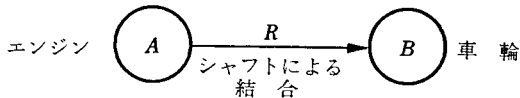


機能： $f_A f_B$

機能合成： $f_A \cdot f_B \Rightarrow f$

$f = A$ と B を一つの部分として分割したときの (A, B 以外の他に対する) 機能。

〔例〕 自動車のエンジンと車輪



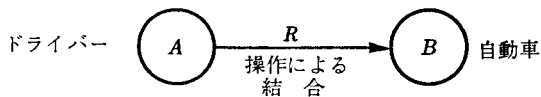
エンジンの機能： $f_A =$ 動力を発生して車輪を回転

車輪の機能： $f_B =$ 回転して走行

機能合成： $f_A \cdot f_B \Rightarrow f$

合成機能： $f =$ 自力走行

〔例〕 ドライバーと自動車



ドライバーの機能： $f_A =$ 操縦

自動車の機能： $f_B =$ 荷重走行 (A の荷重走行能力の増幅)

機能合成： $f_A \cdot f_B \Rightarrow f$

合成機能： $f =$ 荷の輸送

すべての部分の結合による関係は全体の秩序の形式構造を表現し (3.2)、それによる部分の機能の合成図式が秩序の内容構造を発現する (3.3)。この二つの構造が全体を秩序づけ、システムを形成する。

5. システム的思考

秩序の形式と内容によって、複数の部分の集まりとして全体を考察することがシステム的な考え方である。

機能概念の性質からわかるように、部分は実体としてアプリオリに在るものとして考えず、つ

ねに他との関係によってのみ認識できる存在である。このように考えることによって、部分の結合関係としての全体を思考することができるのである。秩序の形式と全容はそのための思考の枠組、すなわちシステム概念である。

システムの基本問題のなかの合成問題 (1.1) は、部分となるところのいくつかのものを結合してできた関係、すなわち秩序の形式が与えられたとき、いかなる秩序の内容が構造化し、それによる機能合成がいかに行なわれるか——そのような思考によってとかれる問題である。

分析問題 (1.2) は、全体の特性がいかなる秩序の内容構造による機能の合成によるものであるか。そして、内容構造を現出する部分とそれらの関係を示す形式構造はいかになるか——このような考え方でとかれる問題である。

6. システム理論

上述の概念とそれによる思考の論理の表現がシステム理論である。システムの基本問題 (1.1, 1.2) は、この理論による演えきによって解答が与えられる。

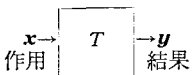
6.1 システム要素

全体に対する部分 (2章)、秩序集団の構成要素 (3.1~3.3) の論理的 (数学的) 表現をシステム要素 (system element) と呼ぶ。

部分あるいは構成要素というとき、それは実体を意味するものではなく、他者との関係によって存在の規定されるものである。それは他者よりの影響や作用を受けることによって、存在の仕方や行動の結果を表にあらわす存在であると考えられる。このような存在者は、ブラックボックス (black box) によって表現される。

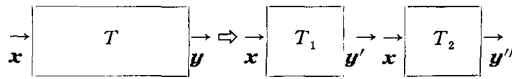
ブラックボックスとは内部構造に関与せず (実体を見ないこと)、外からの入力 (作用) により、いかなる出力 (結果) を出すかについての規則性 (regularity) を知ることのできるものをいう。

入力 (input) を x 、出力 (output) を y の変数 (variable) で表わすとき、ブラックボックスは入力出力の変換 (transform)

$$T(x)=y$$


で表示される。変換 T がブラックボックスの規則性を示す。部分、構成要素のブラックボックスによる表現がシステム要素である。

ブラックボックスの性質1：一つのブラックボックスを分割した部分もまたブラックボックスである。なぜならば、ブラックボックスとは、外から与える作用によって外に表われる結果のみについて認知できるものである。したがって、二つに分けた部分がそれぞれ外からの作用によって結果を知ることができるならば、それらもブラックボックスである。



ブラックボックスの性質2：二つのブラックボックスを包括したのも一つのブラックボックスである。

性質1,2は部分分割(2.1)をシステム要素についていったものである。すなわち、システム要素は(2.1)に述べた性質を持つことを示す。

ブラックボックスの性質3：二つのブラックボックスに同じ入力を加えた場合、同じ出力を示すならば、二つのブラックボックスは実体が異なっても等価である。

中味が機械であっても、動物であっても、同じ作用に対して同じ結果を示すならば、作用と結果のみで認知する限り、見分けがつかない。

性質3は、たとえ人間であっても、機械と同じに動くものならば、その人間は機械と見なされるということを示す。

システム要素を $A = \{(x, y) | T(x) = y\}$ で定義する。入出力の組 (x, y) をシステム要素の行動(behavior)という。システム要素 A とは可能なすべての行動の集合である。

6.2 行動空間とシステム要素の行動

任意のブラックボックスの入力として指定できる x の集合を X 、出力として指定できる y の集合を Y とするとき、 X と Y の直積 $X \times Y$ の元 (x, y) をその中の点で表わす空間を行動空間という。

システム要素は行動空間のなかに特定の部分領域を作る。システム要素の行動様式が多様であれば、それぞれの様式に含まれる行動は上記の行動領域のなかで、それぞれさらに部分領域を作る。

〔例〕自動車の行動空間

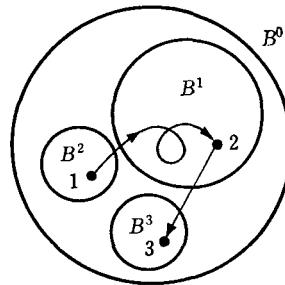
自動車の示すすべての行動には走行、停止、故障などの行動様式の行動がある。

B^1 ：走行行動領域

B^2 ：停止行動領域

B^3 ：故障行動領域

B^0 ：自由行動領域



行動空間における行動領域の構造はその要素の体質特性を示す。

上例で、 B^1 の大きい自動車はいろいろな走行の仕方ができ、速度範囲の広い自動車である。

B^1 と B^3 の双方に含まれる行動点がないこと ($B^1 \cap B^3 = \phi$) は、この車は故障すればまったく動かなくなってしまう車であることを示す。

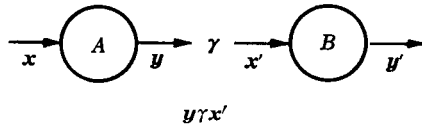
作用入力の変化に伴って、システム要素の行動は $T(x) = y$ によって変わり、それは行動領域のなかに軌跡を描く。上例図の軌跡は $x =$ 始動、操縦、外乱作用の入力系列による車の動きを示

す。

要素の行動特性は行動空間の上では、行動軌跡の変化の仕方によって指示される。上例図で、安定な走行特性をもつ車は軌跡、 $2 \rightarrow 3$ が容易に生じない。

6.3 システム要素の結合

システム要素 $A = \{(x, y) | T_A(x) = y\}$ の出力 y とシステム要素 $B = \{(x', y') | T_B(x') = y'\}$ の入力 x' の間に関係 γ が成立するとき、 A から B への結合 γ があるという。



システム要素間の関係は要素の結合によって形成される。

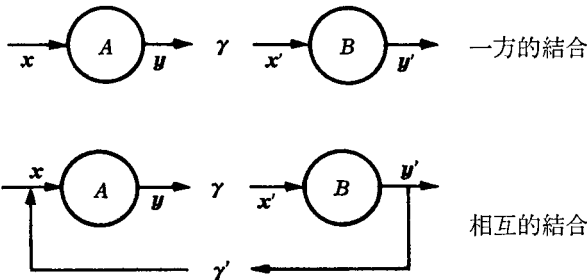
結合 $A \xrightarrow{\gamma} B$ により A の行動 (存在) の結果 (y) は γ を介して B に作用する (x')。その作用を受けて B の行動は $T_B(x') = y'$ によって (x', y') に変化する。すなわち、 A の行動 (x, y) が B の行動を (x', y') に規制することになり、関係の定義 (3.2) によって、 A より B への関係 $A \xrightarrow{\gamma} B$ が形成される。

一方的結合：

$A = \{(x, y) | T_A(x) = y\}$, $B = \{(x', y') | T_B(x') = y'\}$, $y \gamma x'$ の結合を一方的結合、 $A \xrightarrow{\gamma} B$ と呼ぶ (直列結合)。

相互的結合：

A から B への結合 $y \gamma x'$ 、および B から A への結合 $y' \gamma' x$ が同時に形成される場合の結合を相互的結合 $A \xrightleftharpoons[\gamma']{\gamma} B$ と呼ぶ (フィードバック結合)。



6.4 システム要素の結合と機能

秩序的集団における構成要素はそれぞれ機能を持っており、集団の秩序はそれらの機能の合成によって形成される。機能とは他者との関係において発生する要素の存在意味で、それは集団中の他者との関係によってそれぞれの要素のとり特定の行動によって発生する (3.3, 4.1)。他者との関係を行動の連関によって規定するのが要素の結合である (6.3)。

要素の結合は、それぞれの要素の行動を特定の行動に規制する。規制された要素の行動の他に
 対する意味を問うとき、そこに要素の機能が発生する。要素の結合は、規制された行動のつながり
 や順序を規定する。それを機能で見るとき機能の合成を示す。

要素の結合は集団の秩序の形式 (form) を示し、機能の合成は集団の秩序の内容 (context) を
 示す。(4.1) に示した部分の結合とそれによる機能の合成は、システム要素の結合による合成変
 換により次のように表示される。

$$\text{システム要素 } A : T_A(\mathbf{x}) = \mathbf{y} \quad (1)$$

$$\text{システム要素 } B : T_B(\mathbf{x}') = \mathbf{y}' \quad (2)$$

$$A, B \text{ の結合 } A \downarrow B, \mathbf{y} \uparrow \mathbf{x}' \quad (3)$$

結合による A の機能 f_A , B の機能 f_B .

結合(3)は γ の定義域において \mathbf{y}, \mathbf{x}' の関数

$$\mathbf{x}' = g(\mathbf{y}) \quad (4)$$

で表わすことができる。

$$(4) \text{ と } (2) \text{ より, } T_B\{g(\mathbf{y})\} = \mathbf{y}'$$

$$(1) \text{ より, } T_B\{g(T_A(\mathbf{x}))\} = \mathbf{y}'$$

左辺は \mathbf{x} の関数で、これを T で表わすと

$$T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}', \quad T = T_B g T_A \quad (5)$$

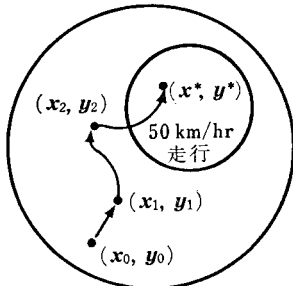
(5) は一つのブラックボックスである。 A と B がシステム要素であれば(5)も一つのシステム要素
 であり、その行動 $(\mathbf{x}, \mathbf{y}')$ は機能 f をもつ
 f は f_A, f_B の合成機能 $f_A \cdot f_B \Rightarrow f$ を示す。

6.5 行動のコントロール

任意の行動 (\mathbf{x}, \mathbf{y}) からある特定の行動 $(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$ に、要素の行動を移行し、ある時間の間
 それを保持する操作を行動のコントロールという。

一般に、要素のある行動に着目するとき、その行動をとるために必要とされる入力成分 \mathbf{x}_r と
 それ以外の入力成分 \mathbf{x}_τ の2種類の入力成分が考えられる。 \mathbf{x}_τ の中にはその行動を擾乱し、他の
 行動に偏倚させる成分が含まれる場合がある。

このような擾乱成分がある場合には、行動移行中も行動保持の間でも、 \mathbf{x}_τ による行動の阻止、
 妨害が加わる。行動コントロールの問題はこのような \mathbf{x}_τ の時間的变化に対し、 (\mathbf{x}, \mathbf{y}) から $(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$
 への行動移行、そのあとの $(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$ の保持を可能にするための \mathbf{x}_r の時系列の選択である。



〔例〕 自動車のコントロール

$(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)$ = 停止, $(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$ = 時速 50 km の走行. \mathbf{x}_τ = 道路の凹凸による作用, 通行人, 車, シグナルなど.

$(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1)$ = 始動 = $(\mathbf{x}_{r1}, \mathbf{y}_1)$

$(\mathbf{x}_2, \mathbf{y}_2)$ = 10 km/hr 走行

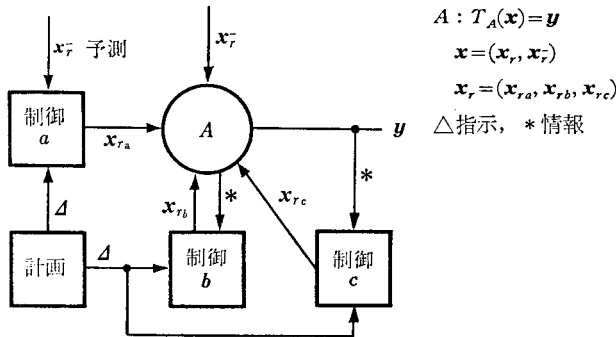
$\mathbf{x}_2 = (\mathbf{x}_{r2}, \mathbf{x}_{\tau 2})$

$(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*) = (\mathbf{x}_{r3}, \mathbf{x}_{\tau 3})$

コントロール : 操作入れ = $(\mathbf{x}_{r1}, \mathbf{x}_{r2}, \mathbf{x}_{r3})$

コントロールのための活動 (activity)

- 1) 計画 (planning) 特定行動の決定
- 2) 制御 (regulation) 行動移行と保持
 - a) 事前制御 (feed forward reg.) x_r の阻止
 - b) 同時制御 x_r に対する行動の維持
 - c) 事後制御 (feed back reg.) x_r により偏倚した行動の復元
- 3) 通信 (communication) 計画された行動の指示, 制御の操作



6.6 要素結合による機能の発生

要素の結合によって、要素の行動が相対的に決まり、それらの行動が各要素の機能を規定する(6.4)。

機能的行動は集団秩序の形成のために期待される特定の行動であり、その行動は集団内の他の要素によって相互的に規定される行動である。

論理的素子を要素とするシステムを除き、一般のシステム、とくに人間とか機械を要素とするシステムでは、システム要素は多様な行動体であり、種々の入力を受容して行動を変える。結合を通して他の要素から受ける作用のなかにも、機能的行動を規定する入力成分のほかに、それを擾乱する成分が含まれ、さらに環境(集団を取巻く外部)から同様の擾乱入力成分を受ける。それらの機能行動を乱す入力成分に抗して機能行動をとり、さらに存続させること、それは機能行動を期待する要素行動のコントロールである。

コントロール主体はシステム要素であり、それによってコントロールされる被コントロール体もシステム要素である。すなわち、システム要素の結合はシステム要素によるシステム要素の相互コントロールである。それぞれの要素の機能行動が擾乱入力成分によって偏倚されれば、機能の発現はなく、したがって集団の秩序は形成されない。機能とその合成はシステム要素の相互コントロールが十分に可能であるときに実現する。

〔例〕 役割行動——役割期待者と役割行為者の相互コントロール行動、自動車のドライバーと自動車、管理者と作業員、支配者と大衆など。

役割期待者は目標を達成するためにある入力成分を必要とする。それを得るために役割行為者を結合を通して操作する。擾乱入力成分に対して役割行為者をコントロールできるとき、役割行為者の役割は達成される。

6.7 システム

上述の考え方を要約.

(1) システムの問題対象は部分の組合せによる全体で, 部分は全体を知るための単位情報である. これらの情報を結合の仕方によって構成することにより全体がいかなるかを知る.

(2) ケオスの反対としてのシステムという言葉は集団の実体ではなく, 集団がいかなる秩序によるものであるかの見方によるイメージである. 換言すれば, 実体概念ではなく関係概念による抽象である.

(3) 関係概念で見る集団とは, 集団を構成する要素のそれぞれが, 他との関係において存在意味を発生するものと考え, そのような要素の集まりとして見た全体である. 要素の存在意味を機能という. 機能は要素を他との関係において区別し, 連関づける概念.

(4) 部分の示す情報内容は機能である.

(5) 部分あるいは集団の要素をシステム要素と名づけ, ブラックボックスとして表現する. ブラックボックスは対象の実体を示す概念ではなく, 他からの作用によっていかなる行動を示すかの規則的特性を表示する概念である.

(6) システム要素の結合は要素同志の行動のコントロールである. それによって各要素の行動が相対的に決まり, 行動の全体における意味, すなわち機能が確立する.

(7) システム要素の結合の図式は関係の形式, いいかえれば秩序の形式. その形式による要素の行動によって発現する機能は関係の内容, あるいは秩序の内容を指示する.

(8) システム要素の結合によって集団の秩序が表現される. 結合されたシステム要素全体の連関行動が集団の行動特性を示す.

以上の要約により, 秩序集団の関係概念による認識がシステム要素とそれらの結合という概念によって可能であることがわかる.

定義 1

1) ブラックボックスで表わした n 個の対象 (object) をシステム要素と呼ぶ.

$$A_i = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \mid T_i(\mathbf{x}) = \mathbf{y}\}, \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$\mathbf{x} \in X, \quad X = \text{入力集合}$$

$$\mathbf{y} \in Y, \quad Y = \text{出力集合}$$

2) 二つのシステム要素

$$A_i = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \mid T_i(\mathbf{x}) = \mathbf{y}\}$$

$$A_j = \{(\mathbf{x}', \mathbf{y}') \mid T_j(\mathbf{x}') = \mathbf{y}'\}$$

$$\mathbf{x} \in X, \quad \mathbf{x}' \in X \text{ and } Y, \quad \mathbf{y} \in X \text{ and } Y, \quad \mathbf{y}' \in Y$$

について関係 $\mathbf{y} \mathbf{r} \mathbf{x}'$ の成立するとき, A_i は \mathbf{r} において A_j と結合するという (または \mathbf{r} において A_i より A_j への結合があるという).

3) \mathbf{A} をシステム要素の集合, $\mathbf{\Gamma}$ を結合 \mathbf{r} の集合とするとき, 集合 $S^M = (\mathbf{A}, \mathbf{\Gamma})$ をシステム模型という.

結合によって形成される関係の形式，およびそれによる機能合成の関係の内容を次のように定義する。

定義 2

システム模型 $S^M=(A, \Gamma)$ のグラフ (有向グラフ) $G_s=(P, L)$ をシステム S の結合構造という。

システム要素 A_i を変換としてではなく，一つの点 P_i と見なし，結合を点の間を結ぶただの線 l と見なしてできた図形がグラフ G_s 。 P は点 P_i の集合， L は線 l の集合， G_i は線に方向があるので有向グラフ (directed graph, digraph) という。

定義 3

システム模型 $S^M=(A, P)$ の機能合成図式を機能構造 $F_s=f_1 * f_2 * \dots * f_k$ という。

定義 4

結合構造と機能構造をシステム構造という。

定義 5

システム構造による要素の連関行動をシステム行動という。結合構造はシステムの形式を示し，機能構造はシステムの内容を示す。結合構造に従ってシステム要素が相互的コントロールによるシステム行動を示すことによって，機能構造が現われる。逆に機能構造を表にあらわすには，結合構造による要素の相互的行動によらなければならない。

定義 6

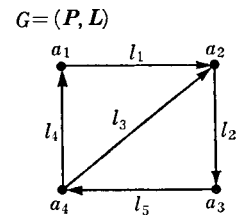
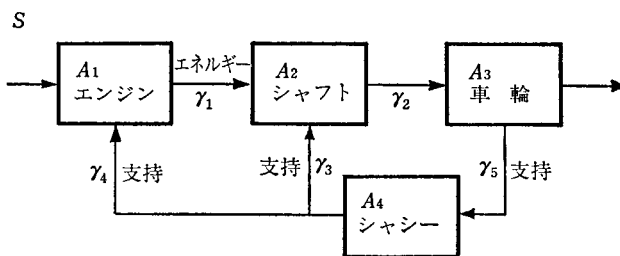
G_s と F_s を有するシステム模型 $S=(A, \Gamma | G_s, F_s)$ をシステムという。

6.8 結合構造

結合構造はシステム要素の行動特性や結合による関係の属性を捨象したシステムの構造の形式である。すなわち，要素間に関係があるかないかを示す関係の道筋とそれらの交錯を示す図式で，多くの地点の結びつきを示す道路マップのようなものである。地点はシステム要素，道路は結合に対応する。

結合構造は要素を点，結合を線で表わしたグラフ (graph) で示される。

〔例〕 自動車システム $S=(A_1, A_2, \dots, A_4, \Gamma)$



$$\begin{aligned}
 P &= (a_1, a_2, a_3, a_4) & A_i &\leftrightarrow a_i \\
 L &= (l_1, l_2, \dots, l_5) & \gamma_j &\leftrightarrow l_j
 \end{aligned}$$

グラフ G_i がグラフ G の部分であるとき ($G_i \subset G$)， G_i を部分グラフ (subgraph) という。

〔例〕 上例



部分グラフはグラフの一部であるから、逆にいえばあるグラフ G はいくつかの部分グラフ G_1, G_2, \dots, G_k から構成される ($G = G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_k = \bigcup_i G_i$)、この性質は一つのシステムの構造がどのような構造部分で構成されているかを知るのに有効である。たとえば前の例：自動車システムの結合構造 G は上の例で見ると二つの部分結合構造 G_1, G_2 で構成されている。 G_1 における線 (l_1, l_2) は自動車システム S におけるエネルギー結合 r_1, r_2 に対応し、 G_2 の線 (l_3, l_4, l_5) は S の支持結合 (r_3, r_4, r_5) に対応している。したがって、 G_1 は自動車 S のエネルギー伝達の構造形式、 G_2 は支持システムの構造形式を示している。 S の形式である G は G_1, G_2 で構成されるから、自動車 S は G_1, G_2 の構造形式で作られていることがわかる。

〔例〕 企業システムにおける組織制度のフォーマル構造 G_1 と対人関係結合にもとづくインフォーマル構造 G_2 。

〔例〕 社会システムの結合構造は支配-服従関係にもとづく階層構造、親族関係による同族構造、情報や物資、人の交換関係による交換構造、学閥などにもとづく閥構造、友好関係による心理構造などの部分構造の重畳である。

システムの行動は、それぞれの要素が結合構造に制せられて行動するときに現われる。あるシステム要素が二つ以上の部分結合構造に属するとき、すなわち $(a_i \in G_p) \wedge (a_i \in G_q)$ 、あるいは一つの部分構造に他の部分構造が重畳する場合、すなわち $G_i \cap G_j \neq \emptyset$ であるときには、複数の部分構造は、共通に含まれるシステム要素の行動を通して干渉を生ずる。ある場合には二つの部分構造を相互に助成して、それらの構造を互いに維持し、逆の場合には一つの構造が他の構造を抑圧、消失させるようなことが起こる。

〔例〕 企業システムにおいて組織制度による階層構造と学閥あるいは親族関係による閥構造が相反することなく重畳すると、制度的組織にもとづく企業行動を促進する。他方、学閥などの構造は安定なので、制度の変更による組織構造を固定化することもある。

結合構造に関するシステムの課題の例：

- Q1. システムにおいて他要素と関係の多い要素はどれか。
 - Q2. システムの形成に対してその要素が存在しないとシステムの形成が困難になる要素は何か。
 - Q3. システムの形成に対して有効な要素はどれか。それほど有効でない要素はどれか。
 - Q4. ある要素が消失するとシステム構造はいかに変わるか。
 - Q5. ある結合がなくなるとシステム構造はいかになるか。
- etc.

部分構造の分割や上記の課題の解析はグラフ理論を応用して行なうことができる。

6.9 機能構造

機能はシステムの部分の有する意味を記述する部分情報であり、機能合成の図式として定義さ

れた機能構造は、それらの部分情報を組み立てて、システム全体の示す意味を記述するための組立ての枠組である。すなわち、機能構造の示す枠組に従って部分情報を組み立てていけば、システムの全体的意味が導出される。

機能は役割と意味作用の複合概念として定義した。

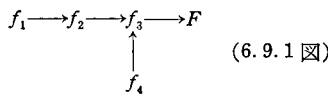
役割はシステムの形成のために必要とされる働きであり、意味作用はシステムの形成によって現われた働きである。

システム全体の意味としての働きは、いくつかの部分的工作がある特定の順序で結びつけられ、それによる協働によって生成する。そのような部分的工作とその順序の構造が機能構造である。

〔例〕 自動車の機能構造

機能 f_1 = 動力の発生, f_2 = 動力の伝達, f_3 = 全体支持走行, f_4 = 荷重支持 (人, 荷物).

自動車全体の特性 (働き) F = 自力走行による輸送は上の機能の次のような構造によって生成される。

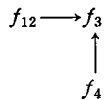


(矢線は機能の合成順序を示す)

機能合成のプロセスを上例によって示す。

f_1 と f_2 の合成機能は f_{12} = 回転力供給。

f_{12} と f_3, f_4 は次の機能構造を作る。



f_{12} と f_3 の合成により機能: f_{123} = 車体を支持して自力走行が発生。機能構造は次のようになる。



f_{123} と f_4 の合成により自動車の働き F = 自力走行により輸送が現われる。 $f_{1234} \rightarrow F$ 。

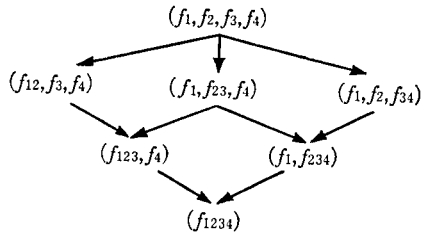
このプロセスをまとめて次のように表わす。

a) $(f_1, f_2, f_3, f_4) \rightarrow (f_{12}, f_3, f_4) \rightarrow (f_{123}, f_4) \rightarrow (f_{1234})$ 。

合成の順序を変えると、次の合成プロセスも可能である。

b) $(f_1, f_2, f_3, f_4) \rightarrow (f_1, f_2, f_{34}) \rightarrow (f_1, f_{234}) \rightarrow (f_{1234})$

上例の機能構造についてすべての合成プロセスをまとめると



(6.9.2図)

6.9.2図のようなダイアグラム——細分化された機能の集合 (f_1, f_2, f_3, f_4) より、矢線につぎつぎに合成され、いずれのプロセスを通ってもかならず一つの機能 f_{1234} に到達するようなダイアグラムによって表示される。

最下端の (f_{1234}) は全体を一つのものとして見た場合の意味情報である。下より2段目に並ぶ (f_{123}, f_4) などは全体を二分した場合の情報で、 f_{1234} よりも全体を見るための情報は多い。図において下端より上方に進むにつれて情報は増加する。したがってこのダイアグラムは部分分割によって、いかに全体を知ることができるかの認識過程を示す図である。

6.9.2図のダイアグラムの性質をもつものの集合は束 (lattice) を作る。したがって、機能合成の可能条件は機能分割が束を作ることである。

6.10 システム行動

結合構造にもとづくシステム要素の相互コントロールによる連関行動がシステム行動で、相互コントロールが完全、あるいは完全に近い状態で行なわれるときに、機能構造が現われる。システム要素が論理素子のような単一機能の静的行動体であるときには、機能構造は一意に現われる。

システム要素が機械、人間のような多様な行動を示す動的行動体であるときには、要素それぞれの動的行動特性が干渉、共鳴し、システム全体の行動に過渡特性、動的安定性、環境に対する適応性などいろいろの特性が現われる。

とくに人間の要素の場合には、人間の意思や感情にもとづく自律的特性によって、要素間の結合が変化し、状況のいかんによっては結合構造の破壊、あるいは変容を惹起する。その結果、機能構造が変化する場合も生ずる。

システム行動は $S^M = (A, \Gamma)$ の模型によって解析される。

[例] $S = (A, \Gamma)$, $A = (A_1, A_2, A_3)$, $\Gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$

$$A_1 = \{(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) | T_1(\mathbf{x}_1) = \mathbf{y}_1\}, \mathbf{y}_1 = (\mathbf{y}_1', \mathbf{y}_1'')$$

$$A_2 = \{(\mathbf{x}_2, \mathbf{y}_2) | T_2(\mathbf{x}_2) = \mathbf{y}_2\}$$

$$A_3 = \{(\mathbf{x}_3, \mathbf{y}_3) | T_3(\mathbf{x}_3) = \mathbf{y}_3\}, \mathbf{x}_3 = (\mathbf{x}_3', \mathbf{x}_3'')$$

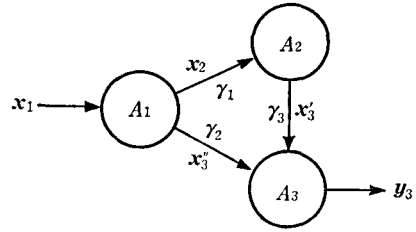
$$A_1 \xrightarrow{\gamma_1} A_2 : \gamma_1 \rightarrow (\mathbf{y}_1' = \mathbf{x}_2)$$

$$A_1 \xrightarrow{\gamma_2} A_3 : \gamma_2 \rightarrow (\mathbf{y}_1'' = \mathbf{x}_3'')$$

$$A_2 \xrightarrow{\gamma_3} A_3 : \gamma_3 \rightarrow (\mathbf{y}_2 = \mathbf{x}_3')$$

x_1 などの入力は (x_r, x_f) , すなわち A_1 などの機能行動をコントロールする成分とその他の成分からなる。

A_1 への入力 x_1 はシステムを囲む環境よりの作用, y_3 は環境へ出されるシステムの行動結果である。したがって, システム S は x_1 を y_3 に変える一つの変換 (transform) である。



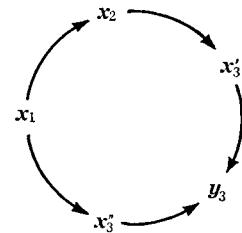
$$T_s(x_1) = y_3$$

変換 T_s がシステム S の特性を表示する。

環境よりの作用 x_1 は A_1 に加えられ, A_1 によって y_1 に変えられ, その一部は A_2 への入力 x_2 となって A_2 の変換によって A_3 への入力 x_3' となる。また A_1 の出力の一部は A_3 への入力 x_3'' となる。 A_3 は A_1 と A_2 との出力を受けて, それを y_3 に変換してシステム外へ出す。上記の変換プロセスを入, 出力について表わすと次のダイアグラムで示される。

このダイアグラムは各システム要素の行動 (x, y) の因果の波及を示す図で, 因果連鎖ダイアグラムと名づける。

環境よりの作用 x_1 がいかなる入, 出力因子の因果連鎖によってシステムの出力 x_3 に変えられていくか, システム内のある要素に生じた行動変化の結果がいかにシステム内に波及していくか, システム全体の行動はいかなる性質を示すか, のようなシステムの問題を概観するのに便利なダイアグラムである。システム行動は, 一般に, 各要素の変換 T_i を数学的関数で表現し, 結合による合成関数を導出し, 入出力変数の変化を解析することによって調べることができる。



7. システム要素の模型

構成システム, ロジスティックシステム, 人間システムのシステム要素の表現について付記する。

システム要素 A の変換 $T(x) = y$ の表現が模型である。すなわち, 入力 x の集合, 出力 y の集合, および入力と出力の対応の規則を示す変換 T の決定が模型作成に必要である。

システム要素には, 入力-出力の変換が時間に無関係な静態的要素と, 入力が出力に変換されるまでに時間の遅れのある動態的要素がある。

静態的: $T(x) = y$

動態的: $T(x_t) = y_{t'}$, $t \leq t'$, $t, t' \dots$ 時点

数学的作用素, 論理的素子, 幾何学的要素などは静態的要素, 機械, 人間などは動態的要素である。

システム要素の行動には, 組合せ行動 (combinatorial behavior) と順序行動 (sequential be-

havior) がある.

組合せ行動：出力 \mathbf{y} が単一入力 $\mathbf{x} = x$ のみで決定する場合の行動.

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}), T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}, \mathbf{x} = x$$

順序行動：出力 \mathbf{y} が単一入力の順序系列 $\mathbf{x} = x_1 x_2 \cdots x_k, x_i = i$ 番目の順序の単一入力 で決定する場合の行動.

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}), T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}, \mathbf{x} = x_1 x_2 \cdots x_k$$

単一入力の値が同じであっても、順序が異なれば出力の値は異なる.

$$T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}, \mathbf{x} = x_1 x_2$$

$$x_1 = a, x_2 = b : T(ab) = y_1$$

$$x_1 = b, x_2 = a : T(ba) = y_2$$

$$y_1 \neq y_2$$

組合せ行動は、過去の履歴が現在の行動に影響を与えない場合の行動である.

順序行動は、現在までの歴史、経験などが現在の行動に影響を与える場合の行動で、学習や経験による知能の向上、熟練による技能の上達、生活環境による個性の形成など、人間の行動は過去から現在に到る履歴に強く影響される。これらの人間行動は順序行動である。

一般に、機械の行動は組合せ行動と見なすことができる。しかし、機械を動かすまでに手順があり、また今までの使い方によって性能の変化する場合を考えると、機械の行動も順序行動である。システム要素は入力、出力の種類とその値 (value) および変換の形によって決定される。

主要な入力、出力の成分 (入力、出力の種類を規定する属性)

1) 数学的要素, データ処理要素の入出力成分:

入力, 出力ともに数, 記号.

2) ロジスティック要素 (計画管理方式などの情報処理プロセス):

入力成分; 予測情報データ, 制約条件データ, 未処理情報データ.

出力成分; 情報データ.

3) 機械要素:

入力成分; (1) 操作入力成分——機械を動かす操作 (sw, ハンドルなど).

(2) 消費入力成分——機械を動かすために必要な物質. エネルギーなど

注 (消費成分を調節するのが操作であるから, 場合によってはこの成分は操作入力に含めて扱う)

(3) 維持入力成分——機械の行動が可能となるための状態の保持. たとえば加熱, 冷却, さらに保全, 修理など.

(4) 物理的作用入力成分——気圧, 温度, 抵抗, 衝撃など行動の場を設定する条件.

出力成分; (1) エネルギー, 力, 変位, 変形などの物理的結果.

(2) 機械の運動状態についての情報（計器の読みなど）。

4) 人間要素（個人および人間のグループ）：

入力成分；(1) 動機づけ入力成分——行動を起こす原因となる作用，組織体の場合には命令，要求など。

(2) 消費入力成分——行動をとるため必要とされるもの，行動によって状態を変えられるもの。

(3) 思考判断のための情報入力成分——意思決定などに必要とされる情報（頭脳活動のための消費入力）。

(4) 能力を変化させる入力成分——知能，技能を向上して，行動特性を変える作用，学問，知識，技術，言語，経験，人間，機械。

経験は(1)，(2)，(3)入力成分の順序系列入力のくり返し（順序行動）である。

(5) 心理的，生理的，物理的作用入力成分——人間行動の場を規定する成分および賞罰，報酬，誘惑など行動特性を変化させる作用。

出力成分；(1) 行動実績出力成分——行動によって発生するもの。

(2) 操作出力成分——他を操作するための動作。

(3) 行動情報出力成分——行動に伴って現われる状態についての情報。

システム要素の入力 \mathbf{x} は上記成分で構成される。単一入力 $\mathbf{x} = x$ は成分のいずれか一つ，または組合せ（ベクトル入力）。順序系列入力 $\mathbf{x} = x_1 x_2 \cdots x_k$ は上記の単一入力の系列。出力 \mathbf{y} についても同様である。

入出力の変換 T の表現（行動特性を規定する規則性の表現）を次に示す。

変換 $T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}$ の形式の決定であるが，要素の種類に応じて変換のパターンがある。

P_1 ：数学的要素，データ処理要素。ロジスティック要素の変換の型。

入力，出力ともに数および記号で表わされ，論理的操作によって，入力としての数，記号は出力としての数，記号に変換される。したがって入出力の対応は一對一（one-to-one）対応であり，時間には無関係である。一般に組合せ行動である。

$$T(\mathbf{x}) = \mathbf{y} \rightarrow f(x) = y \quad x \rightarrow \boxed{f} \rightarrow y$$

〔例〕 和算要素 $f(2, 3) = 5$ 。（数の演算）；A, B の大小判定要素 $\min(A, B) = A$ 。（論理演算）

ロジスティック要素は数の演算と論理演算の組合せで表示される。

P_2 ：組合せ行動型の機械要素の変換型。

磨耗，損傷がなく，停止から始動に至る操作がすでに終わって，完全に運動状態にある機械の行動は物理学の法則に従う。このような機械要素の行動は組合せ行動で，入力と出力の対応は恒常的である。変換 T は時間を含む P_1 の型の模型で表現できる。

$$T(\mathbf{x}) = \mathbf{y} \rightarrow f(x_t) = y_t, \quad t \leq t'$$

$x_t \cdots t$ 時点の消費入力。

P_3 : 順序行動型機械要素の変換型

順序行動体として機械を考えると、二つの場合がある。

- (a) 操作手順があり、その順序で操作しないと動かない機械、あるいは運動状態を変えることのできない機械。すなわち、行動結果出力が現われるためには操作入力成分の順序系列も加えなければならない機械である。

$$T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}, \quad \mathbf{x} = x_1 x_2 \cdots x_k. \quad (*)$$

$x_i \cdots i$ 番目の単一操作入力。

〔例〕 自動車

はじめに燃料 (x_1) を補給し、次に始動操作 (x_2) を行ない、走行操作 (x_3) を加える順序をとらないと自動車の走行行動は現われない。

$$T(x_1 x_2 x_3) = y, \quad y \cdots \text{ある速度の走行.}$$

$$T(x_2 x_3 x_1) = 0.$$

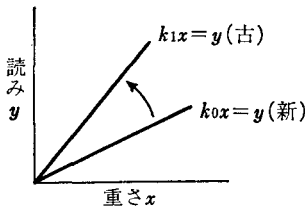
- (b) 磨耗、損傷などによる老朽化を考える場合の機械。現在に到るまでに、いかに使われてきたかの歴史によって性能の変化の差違が現われる。機械の歴史は現在までに加わった操作入力の質量と物理的作用入力の時系列入力である。

$$T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}, \quad \mathbf{x} = x_1 x_2 \cdots x_k. \quad (**)$$

$x_i \cdots i$ 番目の単一操作入力。または単一物理的作用入力。

〔例〕 スプリング秤

秤にかけた重さを入力 x 、目盛の読みを出力 y とすれば、スプリング秤の行動は Hook の法則 $k_0 x = y$ で表わされる。 k_0 はスプリング常数。



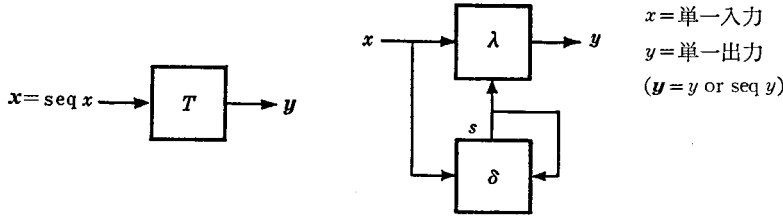
長い間、使用するとスプリングは疲労して伸びやすくなり、その行動は $k_1 x = y$, $k_1 > k_0$ になる。すなわち、同じ重さがかけたとき、新しいときの読みよりも古くなると読みが大きくなる。使用回数がふえるほどその傾向が大きくなる。“長い間使用する”あるいは“使用回数がふえる”とは、重さの順序系列が加わることであり、それによって読みが変わるとは順序系列の重さの入力によって出力が決まることを示す。すなわち順序行動を意味する。

順序行動の変換 (*), (**) は、次に示すような二つの関数の合成で表わすことができる。

$$\left. \begin{array}{l} T(\text{seq } x) = \mathbf{y} : \lambda(x, s) = y \\ x \cdots \text{単一入力 } \delta(x, s) = s \end{array} \right\} \text{OR} \left. \begin{array}{l} \lambda(x_t, s_t) = y_t \\ \delta(x_t, s_t) = s_{t'}, \quad t < t' \end{array} \right\}$$

s は状態 (state) と呼ばれる変数、このような関数で示される代数系をオートマトン (automaton) (上記の場合は決定オートマトン) という。

これは $T(\mathbf{x}) = \mathbf{y}, \quad \mathbf{x} = \text{seq } x$ で表現された一つのブラックボックスを、次図のように、二つのブラックボックスの結合で表わしたことである。



下の箱 δ は入力 $x = x_1 x_2 \dots$ の何番目までの入力がかおよびどんな順序ではいつてきたかを記憶する。その状態の情報 s を受けて、上の箱 λ が次にはいつてくる単一入力を処理して出力 y を出す。したがって出力 y はただ単一入力 x のみで決まらず、それまでどのような入力系列を受けてきたかの歴史によって変わることになる。上の箱は要素の行動 (x, y) を現わし、下の箱は要素の行動の仕方を決める。

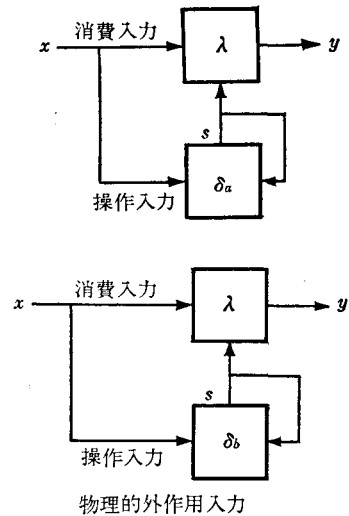
(a) 操作手順のある機械要素の模型

操作入力成分は δ にはいつて操作段階ごとの機械の状態を決定し、消費入力成分は λ に加えられて、そのときの状態での出力を決定する。

(b) 使用するにつれて性能の低下する機械要素の模型

操作入力および物理的外作用入力は δ に加えられ、それらの入力の順序系列は機械の構造変化状態を決定する。消費入力成分は λ に加えられ、そのときの構造の状態での出力を決定する。

一般に、順序行動を示す機械の模型は(a), (b)の組合せである。



$$\left. \begin{aligned} \lambda(x, s) &= y \\ \delta(x, s) &= s \\ s &= (s_a, s_b) \end{aligned} \right\}$$

s_a, s_b はそれぞれ(a), (b)の模型における状態。

P_4 : 人間要素の変換の型

その行動が順序行動であることに人間の特徴を示す人間模型は、順序行動型機械要素の模型と形式的には同型でオートマトン

$$\left. \begin{aligned} \lambda(x, s) &= y \\ \delta(x, s) &= s \end{aligned} \right\}$$

で表現される。

他律的行動体である機械と自律的行動体である人間との本質的な相違は、入力の相違と δ 関数の性質の差異で示される。

人間は動機づけ入力によって自律的に行動を示す。

消費入力とは与えられるものではなく自ら誘引する。

思考判断のための情報入力は行動の仕方に影響を与える。

能力を変化させる入力は行動の質的量的特性を変化させる。

同じ動機づけ入力による同一行動の累積は経験となって行動の特性を変化させる。

心理的作用は感情を変動させ行動の型を支配する。

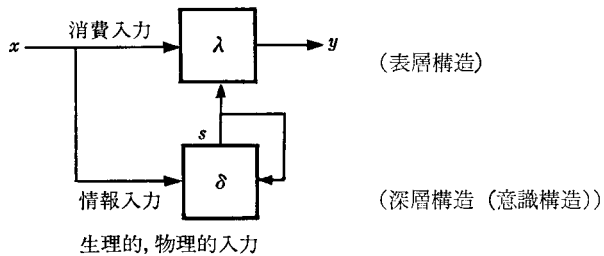
生理的物的作用は行動特性を変化させる。

動機づけ入力、思考判断のための情報入力、能力を変化させる入力、および心理的作用入力は情報入力である。

生理的、物理的作用入力も、多くの場合、心理状態に影響を与える意味で情報を担って作用する。

機械を動かすものがエネルギー的な操作入力であるのに対して、人間を自ら動かすものは情報入力である。これらの情報の入力は人間の知性、感性に作用し、表にあらわす人間行動をコントロールする（自律的コントロール）。

以上の考案によって、人間の行動の仕方を決定するものは情報の入力であることがわかる。すなわち、オートマトン模型について、行動の仕方を決めるものは δ 関数であるから、情報入力は δ に作用する入力である。



外から観察できるのは λ による行動 (x, y) である。 δ は奥底にあって λ による行動をコントロールする。すなわち、 λ は人間の表層構造であり、 δ は深層構造、いわば心の構造あるいは意識構造を示すものと考えられる。状態変数 s は行動能力、価値観、心理的状态、および過去にたどってきた履歴の状態を指し示す。

E. カッシーラーは“人間とはシンボルを操る動物 (animal symbolicum) である”と定義している。シンボルは情報である。上記の考えていえば、情報を操作する δ 関数の存在が人間を他と区別するものである。