

知っているようで 知らない システムの勘所

今日の複雑化する社会では、あらゆる分野で専門の細分化が進んでいる。細部の分析が高度化する一方で、全体を掌握できなくなっていることが、さまざまな分野で生じている混沌の要因ではないか。全体を捉えるためのシステムについて考察する。



混沌を解くカギⅡ

はじめに

システムは役に立つものの見方である。要素に細分化する還元主義と部分最適化がもたらす今日の混沌を解くカギとなる（＊1）。本誌106、107号掲載の拙稿「機械と生命のパラダイム——混沌を解くカギ」で述べた生命論パラダイムの方法論のひとつでもある。しかし、システムについてよく理解せず、適当に使われていることが

少なくない。例えば、情報システムは回線でつながったコンピュータのことだ、などとよく勘違いされている。そこで、今回は、システムの基本から最先端の理論まで勘所についてみていくことにする。

構造としてのシステム—— 一般システム理論

「一般システム理論」の最初の提唱者

関係によって全体を認識する、ものの見方なのである。

例えば、家族は、夫婦、親子、兄弟といった関係からなるシステムである。単なる要素の寄せ集めではなく、関係・相互作用によって統合されていなくてはならない。孤立した個人が集まっただけでは烏合の衆であって、家族というシステムにはならない。要素の実体が同じでも関係が違えば、異なるシステムになる。例えば、家業で商売をしている場合、成員が同じでも、生活では家族システム、商売では経営システムとなる。要素は異なるシステムに属することができ、システムは重なり合うこともできるわけである。一方、要素の実体が変わっても、関係が

変わらなければ、同一のシステムといえる。新陳代謝で細胞が新しく入れ替わっても、生物個体である人システムとしては同じままなのである。

システムには階層がある。どの階層で捉えるかによって、違ったシステムとなる。例えば、生物・社会では、細胞、器官、系統、個体、集団、組織、社会、国家、超国家など、階層ごとのシステムが見られる。上位の階層のシステムは下位の階層のシステム（サブシステム）をその要素として包含し、ロシアのマトリョーシカ人形のような入れ子構造をなす。システムは、常により大きなシステムの一部として位置付けられる相対的な概念なのである。教育映画の『Powers of Ten』（1968年）で、ミ

クロの原子からマクロの宇宙まで、10のべき乗（powers）単位の尺度で、ズームアウト、ズームインして見せてくれるのが、まさにシステムの階層のイメージである（＊3）。

このように、システムは、かたちやしくみというシステム内部の構造の観点から捉えることができる（Chart 1）。

機能としてのシステム—— サイバネティクス

システムは、うごきやたらきというシステムそのものの機能の観点からも捉えることができる（Chart 2）。生物と機械における制御と通信に関する

Chart 1

構造としてのシステム

システムには階層があり、入れ子構造をなしている

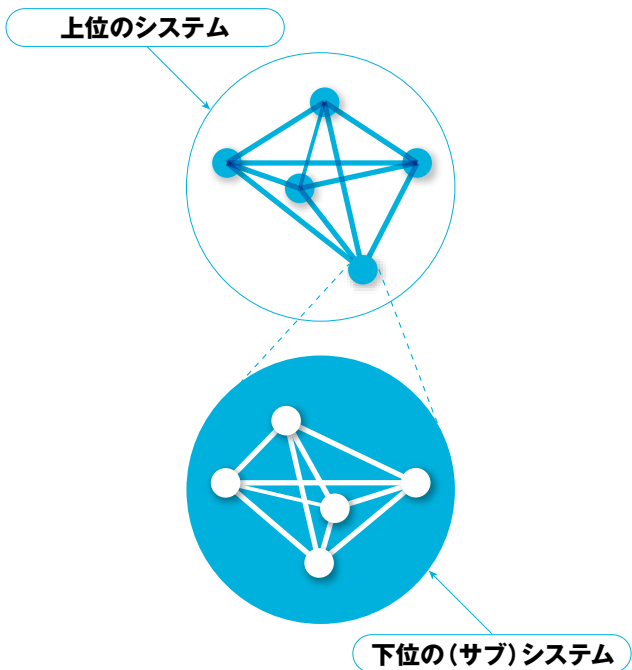
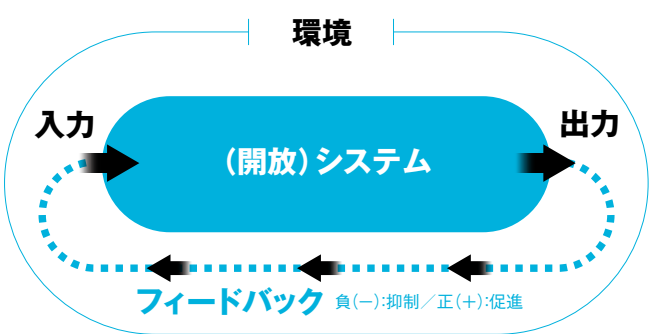


Chart 2

機能としてのシステム

環境とのやりとりを情報が抑制・促進する



(※1)『還元主義を超えて』(アーサー・ケストラー編著、池田善昭監訳、1984年[原著1969年]、工作舎)、『ターニング・ポイント』(フリッツォフ・カブラ著、吉福伸逸他訳、1984年[原著1982年]、工作舎)

(※2)『一般システム理論』(ルートヴィヒ・フォン・ベルタランフィ著、長野敬、太田邦昌訳、1973年[原著1968年]、みすず書房)、『システム理論序説』(松田正一著、1971年、オーム社)、『システムへの誘い』(松田正一著、1985年、泉文堂)

(※3)『パワーズ オブ テン』(フィリップ・モリソン他著、1983年[原著1983年]、村上陽一郎、村上公子訳、日本経済新聞出版社)、『EAMES FILMS』(チャールズ&レイ・イームズ、2001年、パイオニアLDC)

(※4)『サイバネティクス』(ウィーナー著、池原止戈夫、彌永昌吉、室賀三郎、戸田巖訳、2011年[原著1961年]、岩波文庫)、『人間機械論』(ノーバート・ウィーナー著、池原止戈夫他訳、2014年[原著1954年]、みすず書房)

(※5)『システム思考の源流と発展』(北川敏男、伊藤重行編、1987年[1963年]、九州大学出版会、丸山孫郎の論文「セカンド・サイバネティクス」)

(※6)『インダストリアル・ダイナミクス』(ジェイ・W・フォレスター著、石田晴久、小林秀雄訳、1971年[原著1961年]、紀伊國屋書店)、『システム思考』(ジョン・D・スターマン著、枝廣淳子、小田理一郎訳、2009年[原著2000年]、東洋経済新報社)、『世界はシステムで動く』(ドネラ・H・メドウズ著、枝廣淳子訳、2015年[原著2008年]、英治出版)

(※7)『成長の限界』(ドネラ・H・メドウズ、デニス・L・メドウズ、ジョーゲン・ラーンダス、ウィリアム・W・ベアランズ三世著、大末佐武郎監訳、1972年[原著1972年]、ダイヤモンド社)

(※8)『散逸構造』(グレゴイレ・ニコリス、イリヤ・プリゴジンス著、小島陽之助、相沢洋二訳、1980年[原著1977年]、岩波書店)、『自己組織性』(今田高俊著、1986年、創文社)、『自己組織化とは何か』(都甲潔、江崎秀、林健司、上田哲男、西澤松彦著、2009年、講談社)、『自己組織化の経済学』(ポール・クルーグマン著、北村行伸、妹尾美起訳、2009年[原著1995年]、ちくま学芸文庫)、『自己組織化』(ジョン・A・ベレスコ著、鈴木宏明訳、2015年[原著2007年]、森北出版)

(※9)『自己組織化と進化の論理』(スチュアート・カウフマン著、米沢富美子監訳、森弘之、五味壮平、藤原進訳、2008年[原著1995年]、ちくま学芸文庫)

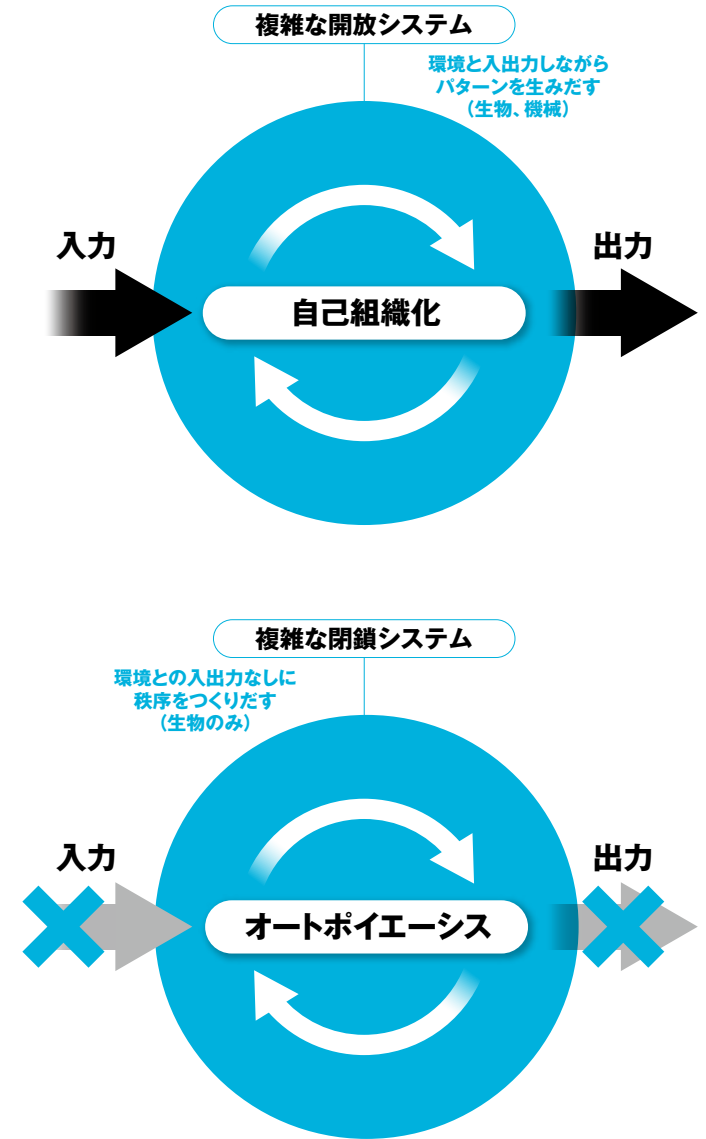
(※10)『オートポイエーシス』(ウンベルト・マトゥラーナ、フランシスコ・ヴァレラ著、河本英夫訳、1991年[原著1980年]、国文社)、『知恵の樹』(ウンベルト・マトゥラーナ、フランシスコ・バレラ著、菅啓次郎訳、1997年[原著1984年]、ちくま学芸文庫)、『オートポイエーシス』(河本英夫著、1995年、青土社)

(※11)『社会システム理論 上・下』(ニクラス・ルーマン著、佐藤勉監訳、1993、1995年[原著1984年]、恒星社厚生閣)

Chart 3

秩序を生成するシステム

複雑なシステムでは、自律的に秩序が生まれる



最後に、「木を見て森を見ず」との格言を用いて、細分化する分析と統合するシステムのアプローチの違いをあらためて確認しておこう。

おわりに

分析だけでは、「木を見て森を見ず」となる。もっぱら個々の木の実体のみを見て、全体としての森を見ない。例えば、森には、杉が700本、檜が300本植えられている、と捉える。一方、システムでは、「森を見るために木を見る」となる。全体としての森を見る

ために、森に対する個々の木の関係、機能を見る。例えば、森は、風を防ぐあるいは水源を涵養^{かんよう}するために、杉と檜が植えられている、と捉える。分析だけでなくシステムでもアプローチすることで、「木も見て森も見ること

ができるようになるのである」。

フィードバックには、負(－)と正(＋)の2種類がある。次の結果を抑制するようにはたらくのが、負のフィードバックである(ファースト・サイバネティクス)。逸脱が解消され、システムの平衡が動的に保たれ安定化する(自己制御性)。特に生物の場合は、ホメオスタシス(恒常性)とよばれ、恒温動物の体温調整が該当する。ほかにも、空調のサーモスタットや予算実績管理などがある。逆に、次の結果を促進するようにはたらくのが、正のフィードバックである(セカンド・サイバネティクス)(※5)。逸脱が増幅され、シ

ステムの平衡が動的に崩され不安定化する。継続し続けるとシステムそのものが限界を超えて変わってしまうので、通常はあまり長続きしない。生物の進化、軍拡競争、悪循環といわれる過程がそうした例である。

促進する正と抑制する負のフィードバックの円環(ループ)の組み合わせで、動態(ダイナミクス)をモデル化し、コンピュータを使ってシミュレーションすることも行われている(※6)。ローマクラブが人類の危機を警告した報告書『成長の限界』(※7)で利用され、広く知られるようになったものである。

以上がシステムの基本であるが、最先端の理論についてもみておくことにする。生命や社会といった複雑なシステムに特有な、自律的な秩序の生成、発展についての理論である(Chart 3)。

複雑な開放システムにおいて、環境と入出力しながら、自律的に秩序(パターン)をつくりだすことを、「自己組織化」という(※8)。正と負のフィードバックが動的に均衡するゆらぎを通じて、自己組織化が行われる。生物体の受精卵から成体になる過程、都市の形成、好況と不況の景気循環がその例である。生物の発生と進化は、秩序と無秩序の間にある「カオスの縁」

秩序を生成するシステム——自己組織化、オートポイエーシス

とよばれる領域で起こる自己組織化による秩序の形成が根本にあり、そのうえで自然淘汰がはたらくものである、との主張もなされている(※9)。金融市場の自動取引、インターネットの検索エンジン、自動運転車などを支える人工知能でも、自己組織化による学習のしくみを取り入れられるようになって

複雑な閉鎖システムにおいて、環境との入出力なしにシステム自身に基づいて、自律的に秩序をつくりだすことを、「オートポイエーシス(自己創出)」という(※10)。自己組織化とは異なり、機械にはなく生物だけに固有の理論とされている。システムは要素をつくりだし、要素はシステムをつくりだし、両者は循環的に規定される。ここでは全体と部分の構造はなく、純粹に機能だけからなるシステムということになる。例えば、神経系(ニューロン・ネットワーク)は、オートポイエーシス・システムである。色彩を知覚するとき、外部刺激である光の波長はきつかけとなるだけで、網膜の視覚神経細胞の活動はこれまで積み重ねてきた色彩体験によって決まる。それゆえ、目を閉じていても、色を思い浮かべることができるのである。社会学者のニクラス・ルーマンが提示した社会システムは、システムを構成するコミュニケーションがコミュニケーションを誘発し循環し続け再生産されていくオートポイエーシス・システムである(※11)。