

システムとは：

いくつかの要素が相互に密接に影響を及ぼしあい有機的につながって、あるまとまりや仕組みを形作って機能を発揮する集合体。これをシステムと言い、系、体系、制度、方式、機構、組織と表現されることもある。それ自身がシステムでありながら、同時に他のシステムの一部でもあるようなものをサブシステムという。

システムの種類

- ・ 開かれた（オープンな）システム：システム外部からの入力を受け付けたり、システム外部への出力を行うシステム。（例:地球系、ATM）
- ・ 閉じた（クローズドな）システム：システム内の構成要素の間でのみで入出力を行い、外部との入出力がないシステム。（例:外部からの干渉が無いと仮定したとき、太陽系）

システムの例

- ・ 環境 大気循環、エネルギー循環、生態系
- ・ 生命現象 生体システム、免疫システム、シグナル伝達系、アポトーシス、神経系、心血管系、消化器官系
- ・ 工学 工業プラント、航空機
- ・ 社会 金融、経済、税制、法制度
- ・ スポーツ サッカーにおける攻撃・守備の布陣。フォーメーションと同義。

システムを分析するとは、システムを構成する要素を特定し、要素間の関わり（関係式）と時間変化を調べることである。

システム工学とは：

工学を用いて、システムを分析し、最適なシステムに計画、開発、運用するための技術、方法論を扱う学問。工学優先で人が忘れ去られることがある。

出典：フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』

システム工学とは、システムの設計、制御、および効率などを工学的に研究する学問である。ここでいうシステムは、工業プラントやロボットから、コンピュータを用いたシミュレーションゲームや人工補助脳（ロボットスーツに搭載されるもの）、会社組織や行政機関に至るまで、きわめて広範囲に及ぶものを指す。

システム工学の学問的方法として、モデリングとシミュレーションがある。モデリングとは模型（モデル）を作ることであり、シミュレーションはモデルを用いた仮想実験のことである。例えば、航空機の開発では、想定される能力・機能を数式的に表現した数学モデルをあらかじめ作り、計算機等を用いてシミュレーションすることで、どのように飛行するか、どのような操縦性を持つか、必要な飛行性能を実現するか等のデータを得る。

20 世紀までのシステムは、比較的単純なものが多かったが、21 世紀に入った今日では、生命が持つ、自己組織化する機能に着目した、より有機的な生きたシステムの構築が求められるようになってきつつある。自律的秩序形成機能や、多元的な要素をフィードバックできる情報処理機構を有し、散逸構造形成による、時間的・空間的構造の自己構築が可能な代謝サイクルを持つ、エンジニアやオペレーターが意識せずとも有機的に絡み合う多くの要素がひとりでに全体として自然調和するシステムの実現へと、方向性が変わって行きつつある。

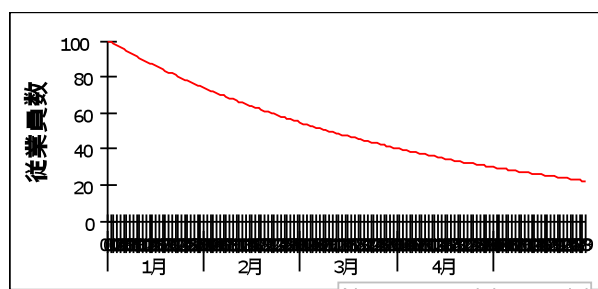
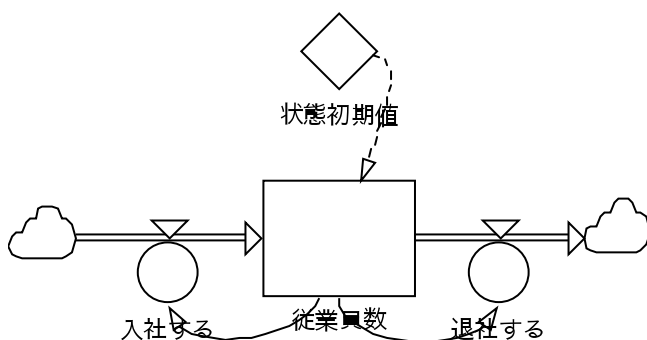
システム思考とは：

「システム思考」とは、問題となっている対象をいくつかの要素（機能）が有機的に繋がって全体を形作っているシステムとして捉え、全体を複眼的な視点で見ることによって、一面的な見方を避け、根本的な問題解決方法を導き出す思考方法。事物をそのつながり・結びつき・関係から考える方法である。

システムダイナミクス (System Dynamics) とは

システムの動的な過程を、要素間の因果関係を図式で表したモデルによって、システムの時間経過による変化や振る舞いを数値シミュレーションにより解析し、将来予測や考察対象の特徴把握を行う。因果関係モデル図から数値シミュレーションが容易に可能である特徴から、実験や広域的な俯瞰が困難である社会システム（ビジネス・政策など）のシミュレーションモデルを作ることに適している。

システムをシステムダイナミクスで表す



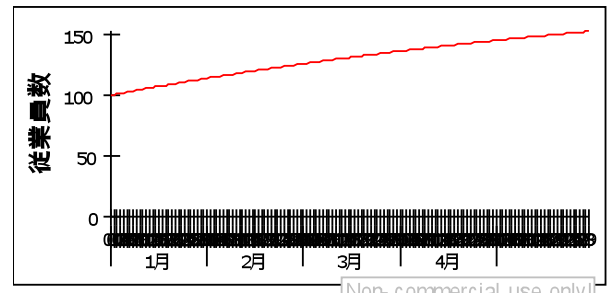
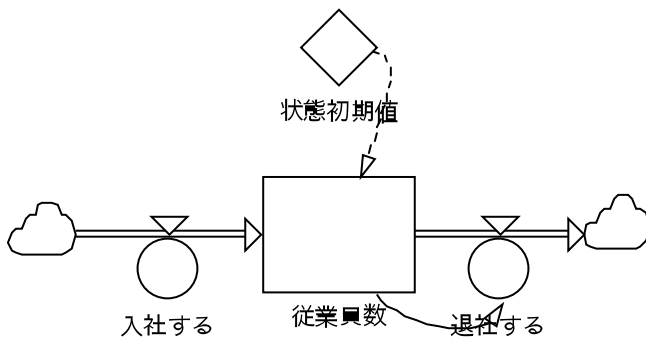
左図はある会社の従業員数の変化をシステムダイナミクスで表したものである。従業員数は入社する人の数と退社する人の数で決まる。

従業員数のように、ある状態の値を表すものを「ストック」あるいは「レベル」と呼び、システム内でどのように「存在」しているかを表す。

一方、入社する、退社する、ようにシステム内でどのように「動いているか」を表すものを「フロー」あるいは「レート」と呼ぶ。

初期値として 100 人、退社する人が従業員数の 2%/日、入社する人が

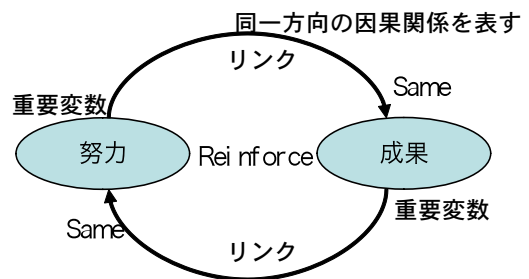
従業員数の1%/日、として時間経過をみたのが先ページの従業員数の変化である。なお、SD図でストック（従業員数）からフロー（入社する、あるいは、退社する）への→は入社や退社が従業員数に関係をもつことを示す。数値シミュレーションでは時間経過とともに従業員数は減少することになる。一方、毎日1人入社し、一方、退社率が0.5%だとすると、下図のようになり、従業員数は増える。



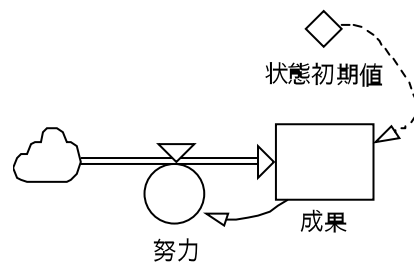
システムの基本的なループ

拡張（増幅）ループ（正フィードバック、強化フィードバック）

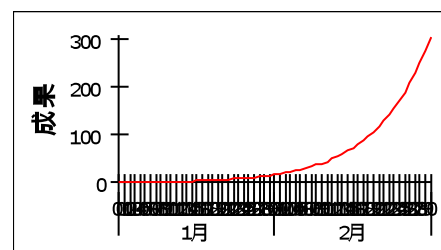
努力すればするほど成果を上げることができる。成果が上がれば上がるほど、また努力をする。このように要素Aが増加（減少）するとそれによって別の要素Bが増加（減少）し、それによって要素Aがまた増加（減少）する。このようなシステムを正のフィードバックループと呼ぶ。右の図でsameは努力（成果）を増すと、成果（努力）も増えることを意味する。このようなループは、努力と成果の相乗効果を表す。



システムダイナミクスで表し、その動的な性質を考えよう。右図は上の拡張ループをシステムダイナミクスで表したものである。

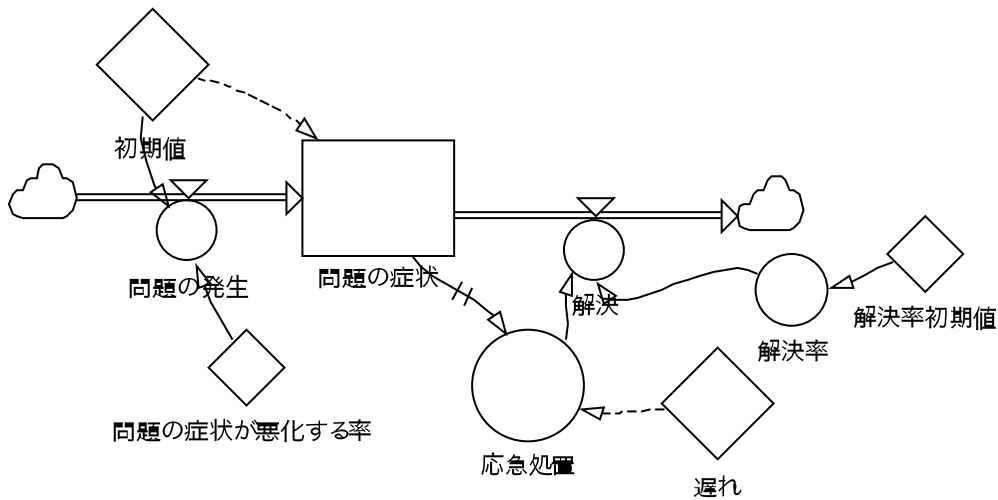
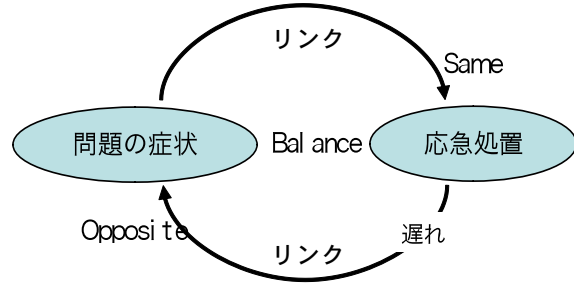


時間的な特性は右図のようになる。指数関数的に成果が増加する。（しかし、現実には努力には限界があるし、成果にも限界がある。我々はこのことを忘れることが多い。後に、基本パターン「成長の限界」でこのことを議論する。）

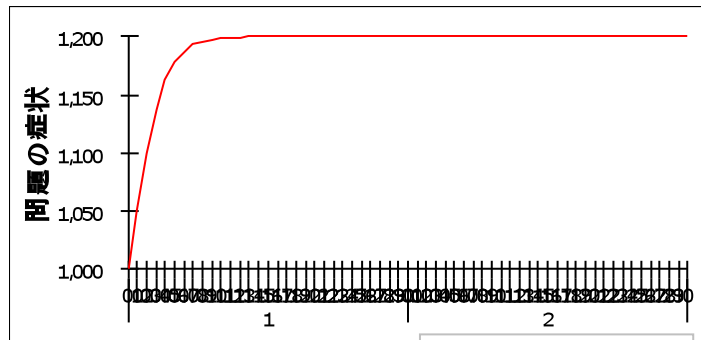


バランスループ（負フィードバックループ）

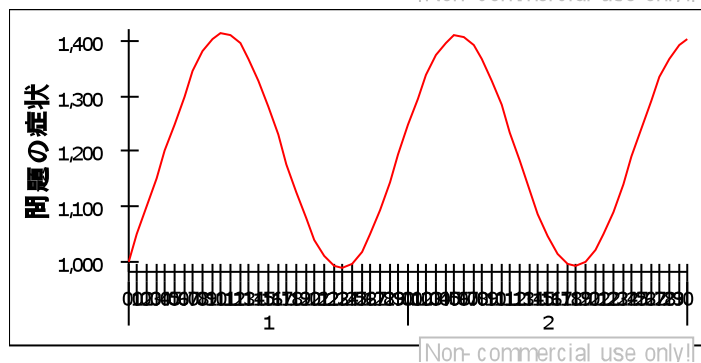
右図のように問題の症状が出ると、その症状に応じて、応急処置を施す。応急処置をすればするほど、問題の症状は緩和する。このように、リンク1は同一方向の因果関係を持つが、リンク2は逆方向の因果関係をもつ。このようなループをバランスループ（負フィードバックループ）と呼ぶ。



これを SD で表すと上図のようになる。また、これを時間経過とともにシミュレーションすると、右図のようになる。問題の症状は時間とともに、増えるが、それに対応して応急処置が施され、問題の症状はある時点でそれ以上増えない。



ところが、応急処置が遅れることがある。応急処置が遅れると、右図のようになり、問題の症状に対して応急処置が遅れて施され、問題の症状は直に対処したときよりもひどい。しかし、応急処置によりその後問題の症状は緩和されるが、緩和したことで応急処置が緩み、問題の症状がまたひどくなり、また、応急処置を



施す、このような問題の症状は応急処置の遅れによってイタチゴッコのように振動する。

マルチエージェント

マルチエージェントシステム (Multi-Agent System、MAS) とは、複数の個 (エージェントと呼ぶ) から構成されるシステムである。システム思考は、神が地上全体を眺めるようなトップダウン的な見方をするのに対して、マルチエージェントは、社会や集団が極めて複雑な挙動をするのを解析する手法の一つで、以下に述べるようにボトムアップアプローチをとり、各個にある簡単なルールを持たせ、その各個がたくさん集合した時に、複雑な挙動をすることをシミュレーションして、複雑な現象を理解しようとするものです。さまざまな個性を持った人間社会など一見予測不可能な事象をできる限り簡単なルールでモデル化し、実際に起こりうる状況を再現しようとするのを目的としています。

複雑ネットワーク (ふくざつネットワーク, complex networks) は、現実世界に存在する巨大で複雑なネットワークの性質について研究する学問である。複雑ネットワークは、1998年に「スモールワールドモデル」という数学モデルが発表されたことを契機に、現実世界の様々な現象を説明する新たなパラダイムとして注目を集めている。多数の因子が相互に影響しあうことでシステム全体の性質が決まる。

現実世界に存在するネットワークは多様であり、巨大で複雑な構造を有しているが、一定の共通する性質を見出すことができる。それらの性質は「スケールフリー性」(次数分布のべき乗則)、「スモールワールド性」、「クラスター性」と呼ばれている。「スケールフリー性」(次数分布のべき乗則)とは、例えば、一部の人は非常にたくさんの知人を持っているが、大多数の人々の知人の数は少ないという性質である。「スモールワールド性」とは、例えば、「世間は狭い」と言われるように、一見赤の他人に見えても、実際は中間に少数の人を介するだけでつながっているという性質である。「クラスター性」とは、例えば、「自分と知人 A さんがいるときに、自分も A さんもどちらも知っている共通の知人 B さんのような人が 1 人もいない」という状況はまずありえないという性質である。従来、こうした社会的ネットワークの性質は主に社会学の研究対象となってきたが、1998年に発表された「スモールワールドモデル」という数学モデルが注目を集めた。スモールワールドモデルは、現実世界のネットワークに近いような性質を持つネットワークモデルを、極めて単純なアルゴリズムで生成するものである。この研究に触発される形で、現実世界のネットワークが持つ性質への関心が高まり、インターネット、食物連鎖、さらには論文の被引用関係や言語の文法構造といったネットワークにおいても共通の性質が発見された。現実世界の様々な現象を説明する新たなパラダイムとして、複雑ネットワークの研究は現在急速に進展しており、他の研究分野との相互影響も活発化している。今後、複雑ネットワークの科学は、ネットワークの問題が関連する多数の分野において、普遍性と重要性を増していくものと予想される。