

Herbert A. Simon ‘The Architecture of Complexity’

in Proceedings of the American Philosophical Society, Vol.106, No.6, Dec. 1962

(ハーバート・A・サイモン著(稲葉元吉・吉原英樹訳)『システムの科学 第三版』

パーソナルメディア、1999年、第8章「複雑性の構造 階層的システム」所収)

文責：秋野晶二

468

* 「複雑なシステム」(complex system) :

多様に関連しあう多数の部分から成り立つシステム。全体は部分の合計以上のもの。

* 本稿の中心テーマ

複雑性はしばしば階層的な形態をとる

階層システムは、それぞれのシステムの個別的内容から独立した共通の特性を持つ

階層は複雑性の構築(architect)に使用される中心的な構造的仕組みのひとつである。

1 . 階層的システム

・「階層的システム(hierarchic system)」「階層(hierarchy)」

相互に関連するいくつかの下位システムから成り立っており、その下位システムがまた順次、そのもっと低いレベルの基本的な下位システムにいたるまで、それぞれの階層的構造を持って連なっているシステム

・「公式的な階層組織(formal hierarchy organization)」

下位システムの一つ一つが、その上位システムに、権限関係によって従属している複雑なシステム。

469

社会システム

家族 村落・部族 より大きな集団

生物的システム

核・細胞膜・ミクロゾーム・ミトコンドリア 細胞 組織 器官

物理的システム

ミクロレベル：素粒子 原子 分子 巨大分子、マクロレベル：衛星系 惑星系 銀河系

・「平坦な」な階層(flat hierarchy)：第一次の下位システムの数が極めて多い階層(例:結晶、分子ガス)

・「システムの幅(span of system)」：システムが分解される下位システムの数

階層と相互作用

・社会システム：人の相互作用 物理的・生物的システム：空間的近接性

470

記号システムの階層

例:句・単語 文 段落 節 章

2. 複雑なシステムの進化

時計職人 Hora と Tempus の逸話 (Hora は繁盛し、Tempus は店を失う)

1000 個の部品からなる時計 電話で作業が中断すると組立途中のものはばらばらになる

Hora : 10 個の部品でサブアッセンブリーを作る さらにそれで 10 個のより大きなサブアッセンブリーを作る = 111 個のサブアッセンブリー組立

電話に出てもわずかな仕事を無駄にするだけ

Tempus が時計を完成できる確率 : $(1 - p)^{1000}$

Hora が時計を完成できる確率 : $(1 - p)^{10}$

(p : ひとつの部品を加えるときに中断する確率。)

$p=0.01$ の場合、Tempus が時計を組立てる時間は Hora の 2000 倍

471

生物的進化

・単純な要素から複雑な形態が進化するのに必要な時間は、安定した潜在的中間形態の数と分布に依存している。

* 各階層におけるシステムの幅が s の場合 :

1 個のサブアッセンブリが完成する時間は $1/(1 - p)^s$ に比例する

n 個の要素からなるシステムの組み立てに要する時間は $\log_s n$ に比例する

472

自然淘汰としての問題解決 (problem solving as natural selection)

・問題解決の過程 : 多くの試行錯誤 (trial and error) を含み、それは選択的 (selective) である。

・前進を示すしるし = 生物的進化過程における安定的中間形態、時計組立のサブアッセンブリー

・人間の問題解決は、すべて試行錯誤と選択性のさまざまな組み合わせである。選択性は、はじめに試みるべきことや進路の有望性を示唆するさまざまな経験的方法や発見的方法に基づいている。

473

選択性 (selectivity) の源泉

選択性 : 環境からの情報のある種のフィードバック

・二つの選択性の源泉

1) さまざまな進路が試みられ、その結果が記録され、その情報が次の探索に指針になる

2) 以前の経験

結論 : 階層の進化論的説明

安定的な中間形態がある場合には、単純なシステムから複雑なシステムへの発展がずっと迅速に行われ、生まれてくる複雑な形態は階層的になる。

474

3. 準分解可能システム (nearly decomposable system)

(a) 準分解可能システムでは構成要素である各下位システムの短期的な行動はほかの構成要素の短期的な行動からはほぼ独立している。

(b) 長期的には、いかなる構成要素の行動も、ほかの構成要素の行動にただ集合的に依存するに過ぎない。

476

階層の幅に関する考察

- ・ 社会システム：多数の下位システムが同時に相互作用を行うことには限界がある。
 - 下位システム：頻度の高いダイナミクス 上位システム：頻度の低いダイナミクス
- 管理者の参与する計画の時間範囲は、その組織階層において占める地位が高いほど、長期的である。
- 管理者間の相互作用の平均接続時間と、相互作用の平均間隔はともに、低い組織レベルよりも高い組織レベルにおいて大きくなっている。

477

要約：準分解可能性(nearly decomposability)

- ・ 構成要素内の結合は構成要素間の結合よりも強い
- 構成要素の内部構造に見られる階層の高頻度のダイナミクスを、構成要素間の相互作用に見られる低頻度のダイナミクスから区別する

4．複雑性の記述

対象についての情報は記憶の中で階層的に整理されている

準分解可能性と理解可能性

- ・ システムを階層として表現しても比較的わずかな情報しか失われない。
 - ・ 多くの複雑なシステムが、準分解可能で階層的な構造を持っている
- それらのシステム・その部分について我々の理解や記述を可能にし、目に見えるようにさえしている主因である。

478

複雑なシステムの単純な記述

- ・ 重複 (redundancy) を含んでいない複雑な構造 それ自身をもっとも簡潔な記号であり、それよりも簡単な構造で記述できない。
- ・ 階層的構造は重複度が高く、簡約な表現でそれを記述できることが多い
- ・ 科学の任務は世界の重複性を利用して世界をわかりやすく記述することで去る。

479

状態記述(state description)と過程記述(process description)

- ・ 状態記述：知覚の対照としての世界の特性の記述。対象そのもののモデルを作ることによって事物を明らかにする基準を定める。
- ・ 過程記述：行動の対象としての世界の特性の記述。望ましい特徴を備えた事物を作ったり、生み出したりする方法を提供する。
- ・ 有機体の適応(adaptive organism)：目的 - 手段分析(means-end analysis)
知覚された世界における目標と過程の世界における行動との間に相関関係を作り出し、この二つの状態の差異を見出し、次にその差異を解消する相関的過程を発見する。
- ・ 人間の問題解決：望ましい目標に至る経路の過程記述の発見を目指す目的 - 手段分析のひとつの型である。

自己増殖システム(self-reproducing system)における複雑性の記述

- ・ 複雑なシステムがいかにして自己を再生産できるのか

ある事物について十分明確かつ完全な記述があれば、その記述に基づいてその事物を再生産することができる。最も簡単なことは、複雑なシステムがそれ自身の記述として、つまりコピーができる鋳型として働くことがある。

480

個体発生(ontogeny)は系統発生(phylogeny)を繰り返す

- ・ 複雑な問題を解決するひとつの方法 その問題を以前に解決した問題に変形する。
- ・ より単純なものからより複雑なものに変更する新しい過程の付加 遺伝プログラム変更
- ・ 段階的な成体の生成プロセス 各段階はそのひとつ前の段階に対する作用素の効果となっている。
- ・ 記述それ自身が段階的な構造、あるいは準分解可能な構造を持つかもしれない。

下位のレベルが個々の細胞の速い「高頻度の」ダイナミクスを支配し、上位レベルの相互作用が発生しつつある多細胞生物のゆっくりとした「低頻度の」ダイナミクスを支配している。

481

要約：複雑性の記述

- ・ 構造が複雑であるとか単純であるということは、記述の仕方によって決まってくる。複雑な構造のほとんどは非常に重複的であり、我々はこの重複性を利用して、その記述を単純化できる。しかし、それを利用して記述の単純化を実現するには、適切な表現を見出さなければならない。
- ・ 自然の状態記述を過程記述で言い換えるという考え方は、近代科学の発展に中心的役割を果たしてきた。
- ・ 状態記述と過程記述の相関関係は、あらゆる適応的有機体の機能の、つまり、環境に対して合目的的にはたらきかける能力の基礎となっている。

482

5 . 結論

複雑なシステムについての理論を打ち立てるひとつの道は、階層の理論によるものである。

複雑性が単純性から発展していく世界においては、複雑なシステムは階層的であると考えられる。階層はその行動を非常に単純化する特性、すなわち準分解可能性の特性を持っている。その準分解可能性はまた、複雑なシステムの記述を単純化し、そのシステムの発達や再生産に必要な情報がいかにして適度に蓄えられるのかということの理解を容易にする。