

# 人工生命における統合的アプローチ Synthesis Approach for Artificial Life

荒関 仁志

ARASEKI Hitoshi

This paper explains artificial life. Artificial life is the study of man-made systems that exhibit behaviors characteristic of natural living systems. It complements the traditional biological science concerned with the analysis of living organisms by attempting to synthesize life-like behaviors within computers and other artificial media. Artificial life can contribute to theoretical biology by locating “life as we know it” within the larger picture of “life as it could be”.

## 1. はじめに

最近、人工生命と呼ばれる研究が、様々な分野の研究者を巻き込んで進められている。ここでは、人工生命の研究とはどのようなものであるかを解説し、人工生命の研究にも統合（融合）という研究アプローチが重要な要素になっていることを説明する。

人工生命の研究では、統合的研究（Synthesis）アプローチをとることによって、従来の分析的研究（Analysis）では生み出し得ないような現象（創発: Emergence）を発見できると考えられている。

この創発現象の発見の期待は、最近の科学分野での分析的なアプローチの袋小路的問題<sup>[1]</sup>の1つの解決方法となると期待されている。

## 2. 人工生命について

「人工生命の研究」という科学を正式に提唱したのは、Christopher G. Langton（米国

サンタフェ研究所)である。彼は、1987年の”Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems.”の会議で、人工生命に関する研究の重要性を示した。C. Langtonによれば、生命の概念は、“Life as we know it”から、“Life as it could be”へ拡張するべきであり、それにより生命科学の本質がより正確に理解できるのだと説明している<sup>[2]</sup>。

従来の生命科学に関する研究方法には、「機械論」と「生氣論」という対立的な2つの立場が存在しているが、C. Langtonはこのいずれでもない「創発論」を新たに提唱している。すなわち、全体は部分の組み合わせであるという「機械論」でも、全体が部分を決定論的に支配するとする「生氣論」でもなく、「部分間の局所的な相互作用が全体に作用し、その全体への作用が部分への環境となり、部分と全体との相互作用により新たな秩序が生み出される現象」であるとする「創発 (Emergence) 論」を提案している。そして、この創発現象こそが、生物における「発生」、「行動」、「進化」、「適応」など、個体から社会、生態系に至る様々な現象を説明できる本質的現象だと説明している。

この第1回人工生命会議には、各分野の創始者が多く参加している。例えば、コンピュータで生命現象の表現を研究しているLシステム研究者のLindenmayer、コンピュータシステムに生物の遺伝子情報を探り入れた遺伝的アルゴリズム研究者のHolland、生物学者で利己的遺伝子の著者であるDawkins、物理学者でカオス(複雑系物理)の研究者であるFarmer、ナノマシン研究者のDrexler、Intelligent Robotの研究者でSubsumption Architectureの提唱者であるBrooksらが参加している。この第1回人工生命会議以来、毎年行われているこの会議には、生物学、物理学、情報科学、工学、経済学、芸術、哲学などの様々な研究者が参加し、Software Synthesis, Hardware Synthesis, Wetware Synthesisの3領域にPhilosophyを加えて意欲的な研究・議論が行われている。

このように「人工生命の研究」は、「生物のような行動を人工的に作り出して研究する」ことを目的としており、従来の自然科学研究の本質であった分析的 (Analytic) な方法に代わって、合成的 (Synthetic) な方法を用いるまったく新しい研究アプローチを採っている。

### 3. 生命を特徴付ける特徴

人工生命を研究するためには、生命現象を定義する必要がある。生命 (現象) を定義す

ることは非常に難しいが、人工生命で一般的に使われている定義をリストアップすると以下のようなになる<sup>[3]</sup>。

- (1) 生命とは、特殊な物質的な実体というよりは、むしろ時空間にわたる1つのパターンであるとみなす。
- (2) 自己複製できること。生体自身ではなくとも、少なくともそれに属する器官の自己複製も含む。
- (3) 自己表現のための情報を蓄積できること。例えば、自然生物は自らを記述する情報(蛋白質または、RNA 機械で解釈される)をDNA分子の中に保持している。
- (4) 代謝すること。環境から物質とエネルギーを取り込み、器官のパターン生成と活動に変換する。ウィルスのようなある種の生物は、それ自身では代謝機構を持たないが、他生物(宿主)の代謝が利用できる。
- (5) 環境と機械的に相互作用すること。生物は環境の変化に反応し、変化を予見し、自ら局所的な環境を創造し制御できる。
- (6) 部分構造の相互依存性を持つこと。生物個体の特徴を保持するべく、生物のコンポーネントは相互に依存(相互の関係)している。
- (7) 変動に対する安定性や小さな変化に対する不感応性(Robust 性)を持つこと。これは、生体の変動の多い環境においても、その形状や機能を保持し活動しつづけることを可能にする。
- (8) 進化能力を持つこと。生物単体での振舞いではなく、その世代交代による時系列的な進化を扱うことができる。

人工生命を研究するには、以上に述べた特質を少なくともいくつかは所有する必要がある。上記リストは、どのようなシステムが生きている(生物である)か、という定義を提供してくれるものでもある。

#### 4. 創発現象について

前章に示した生命現象の定義を満足する様々な研究において、最初に「創発現象」を示したシステムが、Tom Ray の Tierra<sup>[4]</sup>といわれている。

Tierra の原理は非常に単純である。Tierra における個体は、以下のような 3 つの単純な処理と命令コード（プログラム）を個体内（生物の遺伝子に対応）や環境に持つ小さなプログラムで構成されている。

- (1) 自己複製を行う命令コード：Tierra では、自己複製を行う 1 個のプログラム（遺伝子に対応した命令コード）を「仮想生物」と見なし、その生物には生存のエネルギーとして計算機の計算時間を割り当てる。また、仮想生物が存在するための空間は計算機のメモリ空間とする。
- (2) 死を与える仕組み：計算機内のメモリ空間が仮想生物でいっぱいになった場合には、それ以上仮想生物が子孫を残すことができなくなるため、メモリ空間が仮想生物に 80%以上使われた時点で、仮想生物の古いものから死を与えられる（メモリ空間からの削除）。
- (3) 突然変異を起こす仕組み：仮想生物が子孫を生み出す場合、ある確率でその子供の遺伝子（命令コード）の値を変化させる（0 か 1 への変換）。これによって、仮想生物の進化の可能性が出てくる。

このような単純なプログラムを作成し長時間実験（計算）を行った結果、メモリ空間上に生み出された仮想生物には、以下のような多種多様な生物が創発されたと報告されている。

- パラサイト種（寄生種）：このパラサイト種には、自分自身を複製する（子供を作る）能力が欠如している。子供を作る場合には、宿主（この場合は、進化の初期に T. Ray が作った種）の自己複製プログラムを利用することで、自分自身を複製し増えていく。また、このパラサイト種は、宿主に比べプログラムサイズが小さいため、宿主よりもその数を増やす結果となる。しかし、宿主の数が相対的に減ることによって、パラサイト種は、自分自身の複製を作ることができず数を減らす。この宿主とパラサイト種との関係は、自然界における捕食者と獲物の個体数の周期変動とよく一致している。
- ハイパー・パラサイト種（寄生種への寄生）：パラサイト種がパラサイト種自身を複製するために、宿主の複製プログラムを利用しようとした場合、パラサイト種を騙して自分（ハイパー・パラサイ種）と同じ種を複製する仮想生物が生み出

された。パラサイト種が持っているエネルギーを横取りするという意味でハイパー・パラサイト種と呼ぶ。

- 社会的パラサイト：社会的パラサイトは、集団（メモリ上で近隣）になることにより、お互いの複製が増えることを助けあう種である。
- チータ（騙し屋）：社会的パラサイトを利用し、ハイパー・パラサイト種と同じ方法で自分自身を複製させ、社会的パラサイトのエネルギーを横取りする。

計算（計算機実験）を進めることで、上記のような4種類の種が、最初に与えた仮想生物（T. Ray が作った生物）から進化したことが確かめられた。ここで重要なことは、Tierra が実在の生物を分析し、シミュレートしたものではなく、単純な命令である「自己複製」と「死」、「突然変異」によって、自動的（自然）に、様々な種が創発されたという点にある。このような結果を作り出す（創発する）ことは、従来の研究の枠組みでは難しいと考えられている。

## 5. おわりに

ここでは、人工生命の研究を説明し、研究に関する新しいパラダイムを生み出すためには、様々な知識の統合（融合）を行うことにより、従来の研究方法では生み出すことができないようなアイデアを創発する可能性があることを、人工生命研究の実験的結果（Tierra 実験）によって示した。

このような研究アプローチは、自然科学だけではなく、様々な研究分野へ波及されることが期待される。その意味では、本学会「融合文化学会」の取り組みは、この新しい研究アプローチを提案することであり、人工生命の研究スタイルと一致している。研究分野の垣根を取り払い、より深い知識（文化）の理解を研究する上でも、「融合文化学会」が果たす役割は益々大きくなることが期待される。

## 6. 参考文献

- [1] John Horgan 著，竹内 薫 翻訳，『科学の終焉』，徳間書店，1997年
- [2] Christopher G. Langton, "The proceedings of an interdisciplinary workshop on the

synthesis and simulation of living systems”, *Artificial Life*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1987

[3] (財)日本情報処理開発協会監修, 上田完次, 下原勝憲, 伊庭斉志編集, 『人工生命の方法』, 工業調査会, 1995年

[4] Tom Ray, “An Approach to the Synthesis of Life”, *Artificial Life II*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1990

---

<sup>i</sup> 物質のふるまいは、方程式によって厳密に規定されており、初期値を与えることによって、未来までを正確に決定することが可能であるとする考え方