

人工生命の三つの魅力

Three Reasons Why I am into Artificial Life

有田隆也

1. 人工生命とは

お行儀よく、人工生命研究を定義してみると、次のようなものになるであろうか。

「生命の振舞いや機能に関する原理を抽出し、コンピュータなどの人工メディアによってその現象を再現することにより、生命に関する普遍的な知見を得ようとする研究アプローチ」。

このように定義すると、人工生命は、従来の生物学を補完する新しいタイプの生物学であるという意味合いが感じられると思われる。どういう点で従来の生物学を補完するのかといえば、まず、その研究対象が挙げられる。この地球上に存在する生物たちは、気の遠くなるような長い時間スケールにわたる進化のシナリオの一つの結果として得られた、たった一つのサンプルにすぎない。一サンプルだけが我々に対象とし得るすべてなのであるから、我々の知っている生物たちのどこが生命として本質的な部分で、どこが偶然の結果にすぎない非本質的な部分か、非常に分かりにくいということである。そこで、想定しようとするならば想定できるような「存在し得る」生物というものも含めて幅広く生命をとらえた上で、そこにおいて生命現象を比較検討しながら、生命の本質を明らかにしていこうとする。「普遍生物学 (Universal Biology)」とでもいうべきであろう。

ところが、現状を見ると、人工生命はそのような普遍生物学の領域をはるかに超えるものとなっている。人工生命にかかわる研究者が行っている代表的な研究の10分野を表1にまとめる。この表からも、人工生命という名の下に、とても広範囲(あるいは一見でんでばらばら)

な研究がなされていることがよく分かることであろう。もう数年もすると20年という歴史を持つことになる人工生命であるが、その全体像がいかなるものか、三つの観点から述べようと思う。そして、それらは人工生命に私がのめり込んでいる理由でもある。

2. 魅力その1：普遍的な方法論

普遍生物学としての人工生命の方法論を考えてみよう。我々が知っている実在の生物以外の生物も含めて、緩やかに広く生命をとらえ直すには、どうしたらよいであろうか？ 火星における生命の存在の可能性が話題になっているが、むしろ、その程度のデータでは、全く不十分である。他の惑星に出かけて行って生命を発見することも非常に困難といえる。

となると、残された有力な方法は、自分たちで生命(らしきもの)を創り上げるということになる。一言でいえば、「創って理解する」という方法であり、生命の設計図を描き、それに基づいて動かし、その結果を検討するという手順を繰り返す。このような方法は「構成的手法」と呼ばれ、何かを理解するための重要な方法論の一つである。具体的には、コンピュータ内に仮想的な生命システムを構成し、それを観察、分析する。なお、コンピュータ内ではなく、ロボットなどの人工物を実際に作る場合もある。

人工生命にかかわる構成的手法において重要なことは、予想されない特性、振舞い、機能、構造などの出現、つまり、「創発」に焦点が絞られるということである。例えば、コンピュータのプログラムを一生懸命作って、何らかの生命現象を忠実に再現したとしても、人工生命的には必ずしも価値があるとはみなされない。シミュレーションが、その生命現象がなぜ、どのようにして起っているかという質問に対する何らかの(プログラムでそう作り込んだからというものではない)回答を提供することが必要不可欠だからである。生命現象がコンピュー

有田隆也 正員 名古屋大学大学院情報科学研究科
E-mail arita@is.nagoya-u.ac.jp
Takaya ARITA, Member (Graduate School of Information Science, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-8601 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.87 No.10 pp.897-900 2004年10月

表1 人工生命の代表的な10個のサブ領域

サブ領域	概要
人工化学 抽象化学	分子に相当するユニット、及び、反応(ユニット間相互作用)を定義し、情報処理や最適化の観点から機能や構造の創発などに焦点を合わせて、生命の起源や進化の一般的メカニズムや条件を追究する。
デジタル生命	自然選択や突然変異のメカニズムを埋め込んだ仮想計算機のアーキテクチャを定義し、そこでのプログラム実行により、本質的な生命現象を生成することにより、「あり得る生命」に基づいて生命の本質に迫る。自己複製プログラムの出現や自己複製プログラム間の相互作用による複雑性増加などが焦点となる。
進化ダイナミックス	生物進化のメカニズムを定式的定量的に理解するアプローチ。進化の本質、更に、進化メカニズム自体の進化に迫る。進化にとどまらずに、個体の発生や可塑性などを含めた生物の適応全体での理解が重要である。
人工生態系	仮想的生物が息する人工世界を計算機内に構築し、その生態を観察、分析する。ニューラルネットワークで構成された個体群による学習や進化による適応や、単純な個体で構成される群れ行動の再現など、テーマは様々である。
人工社会 人工市場	人間とは、獲得情報、情報処理能力、行動に関して限界や個性を持つ存在であるという前提で、そのような人間が構成するネットワークにおいて創発し変化し続ける現象として社会市場をモデル化し、構成的手法に基づいて理解しようと試みる。
進化的計算	生物進化に着想を得た適応のための手法。遺伝的アルゴリズムや遺伝的プログラミングが代表である。実用化が進み、最適化、スケジューリング、信号処理など工学的問題に応用されるようになってきた。また、様々な複雑系を対象とする科学的なモデルにおいて、適応アルゴリズムとして用いられる。
進化ロボティクス	自律ロボットの制御方法や構造を生物進化のメカニズムを利用して設計する手法を追究する。与えられたタスクや環境におけるロボット行動に関して適応度を与えて選択圧をかけ、また突然変異を加えることにより、次第に適応度の高いロボットが自動的に生成されることを期待する。
進化言語学	言語やコミュニケーションの起源や進化を追究する。特定の自然言語の文法や、共有されている意味の存在を仮定せずに、どのように文法が形成されて言語が共有されるかに至り、また、どのように変動し続けていくかを問う。
人工生命 指向アート	生物進化、形態発生などの生命現象に着想を得たアルゴリズムを利用してグラフィックスや音楽などのアート作品を創作する試み。人間がインタラクティブに進化にかかわり、進化する方向性の決定に参加する「対話型進化的計算」に基づくシステムが典型的である。
人工生命に 基づく哲学	人工生命研究は、生命とは何かという問題、あるいは、本稿で紹介したような様々な根源的な問題に対する何らかの回答のほずである。哲学における思考実験を補強するために人工生命における構成的手法を利用する哲学者も出現してきた。

タ内で創発することが重要なことであり、例えば、生き物が画面上で実に素晴らしいグラフィックスによって再現されたとしても、それが膨大なプログラムによって紙芝居的に忠実に書き下されているのならば、(アートという観点からは話は別だが)生命性の解明という観点からは余り評価できないということである。

人工生命における構成的手法の特徴は、生命と非生命の境界を余り厳密には考えず、いったん生命の概念に関する我々の常識をゼロにリセットしてから生命性の本質を考えようというところにある。様々な生命現象の持つ意味や必然性の度合いを知ることができ、それによって我々の持つ生命の定義を作り修正していくのである。

更に、我々の知っている生命をそれだけで単独に考えるより、より大きな範ちゅうに属する様々な複雑なシステムの中に位置づけて理解した方が本質に関する見通しが良くなるという考え方は自然であろう。つまり、創発性、適応性、自律性、自己組織性、階層性、多様性などの特性を持つ、様々な階層における複雑なシステムを統一的、一体的に理解し、その中で生命を理解しようということである。これは、いわゆる「複雑系科学」と呼ばれる領域の考え方である。

例えば、投げたボールが一定時間後に大体どこに存在するかということは、式を解けばいきなり求めることができるであろう。このような問題は単純系と呼べる。あるいは、このような問題を線形に重ね合わせた場合、込み入った(complicatedな)問題にはなっても、それは複雑な(complexな)問題にはならないであろう。しかし、(例えば、ボールの位置に関する)方程式をいきなり立てて解いたり、あるいは何らかの演えきのな方法で解いたりするより、マイクロなレベルで(例えば、ボールと他のものとの)相互作用を刻々とシミュレートし軌道を作っていく方が解に至る時間が小さい、あるいは、そうしなければ解が得られない場合、それを創発的な現象と呼ぶことができる。人間の意志等が絡む社会的な現象を挙げずとも、この世に無数に存在する解決すべき多くの問題は、このような意味で創発的な性質を持っている可能性があると考えられる。構成的手法はそのような問題に対して威力を発揮する。

3. 魅力その2: 根源的な問題へのアプローチ

従来、科学は複雑そうに見えるものや事柄の中にシンプルな規則性や秩序を見いだそうと試みるものであり、複雑性はむしろ排除すべきものとして取り扱ってきた。しかし、複雑系科学では、逆に複雑性そのものの解明を目的とする。生命や社会などの複雑なシステムに対して構成的手法によって統一的にアプローチするということ

は、様々な根源的な問題に真正面からチャレンジすることを意味する。そのような問題は簡単には説明できないことばかりであるが、以下に、テーマを五つだけ列挙する。

(1) 生命とは何か？

普通生物学としての人工生命の中心的課題である。生物が構成されている物質そのものにはとらわれずに、機能主義の立場（表2参照）で、パターンや情報の面からアプローチするのが特徴である。

(2) ミクロとマクロ

全体を構成する部分と全体がどのようにかかわるかという問題である。ミクロな部分の相互作用でマクロな現象が創発することが複雑なシステムの基本的な特徴であるが、その際にどのような影響がミクロからマクロへ、逆にマクロからミクロへ生じているのであろうか？

(3) 階層構造の出現

ミクロとマクロの問題に関連するが、特に、生命では、原子、分子、細胞、器官、個体、社会といった、際立った階層構造が存在する。このような階層構造がどのように生まれ、維持、あるいは変化していくのであろうか？

(4) 記号と意味の起源

文法構造を有する「記号」とその解釈のための「意味」

表2 人工生命の基本的な立場

立場	人工生命における意味合い
機能主義	生命や心というものを特定の物質における物理的出来事としてではなく、あるシステム（計算機等でも実現可能）で起る高次のプロセスの状態として把握するという立場。
命の多重表現性	機能主義に基づき生命が他のメディアでも実現可能であるとする命題。
構成主義	モデルや物を自分で定義し、創ることによって、複雑なシステムを理解するという方法論を取る立場。
創発主義	「要素に分解していくことにより理解する」という要素還元論と「全体は要素の和では説明できない」という全体論の対立を、要素と全体の関係を創発として把握することによって超えようとする立場。
ミニマリズム	最小のモデルを作成し、その上で創発する現象をモデル設定との対比に基づいて観察、解析する立場。
セレクショニズム	様々な複雑な現象を自然選択に基づく進化の結果ではないかと第一義的に問う立場。
適応主義	様々な複雑な現象を適応的な進化の結果ではないかと第一義的に問う立場。
関係主義	構成要素自体ではなく要素間の動的な相互作用こそがシステムの本質であるとみなす立場。

に関する起源・進化の問題である。ミクロなレベルでは、遺伝子を対象とする生命の起源や進化というテーマであり、マクロなレベルでは、コミュニケーションや言語の起源や進化というテーマとなる。

(5) 結局、自分とは何か？

人工生命、あるいは複雑系の科学が究極的に目指しているのは、この巧妙極まりなくできて人間である自分を意識している「私」というものが、一体どういう基盤の上にもどのように成り立っているのかということである。構成的手法に基づいて意識を研究すること自体、果たして可能かどうか？

根源的な問題にアプローチするという行為は、必然的に特定の基本的、あるいは思想的な立場にコミットする、あるいはかかわることを意味する。答えに至る筋道がなかなか見えないような難しい問題を探求するためには、それ相応の方針、前提、立場などを想定する必要があるからである。人工生命研究にかかわる基本的な立場を表2にまとめる。ほとんどは2. や3. で述べたことをまとめたものである。

4. 魅力その3：創発性の応用

人工生命とは何であるかということに関して述べてきたが、応用に関しては、話が拡散することを恐れて、あえて避けてきた。しかし、表1からも明らかのように、ここまで述べてきたサイエンスとしての人工生命はエンジニアリングとしての人工生命に直結している（例えば、そもそも遺伝的アルゴリズムでさえもJ. Hollandによって40年前に考え出されたときはむしろ進化の定式化というサイエンス面の方が強かった）。なぜならば、人工生命が焦点を合わせている創発性は、工学の領域で今後ますます求められると考えられるからである。

創発性を（広い意味での）もの作りに応用する方法として、二通りが考えられる（図1）。まず、第一の方向性は、創発性を埋め込んだ人工物を実現するというものである。集中制御ではなく分散制御の考え方によって実現されたシステムが、人間を含む環境との相互作用に基づいてダイナミックに適応していく。人工物を可塑化、適応化するというアプローチは人工生命に限らず、近年、盛んになっているが、進化、発生、学習など生命の適応現象を人工生命が解き明かしていくのと同時に、その産物としての適応メカニズムは人工物へ導入されていくものと考えられる。

もう一つの創発の応用の方向性は自動設計である。例を挙げよう。進化的計算の分野で研究が盛んにされてい

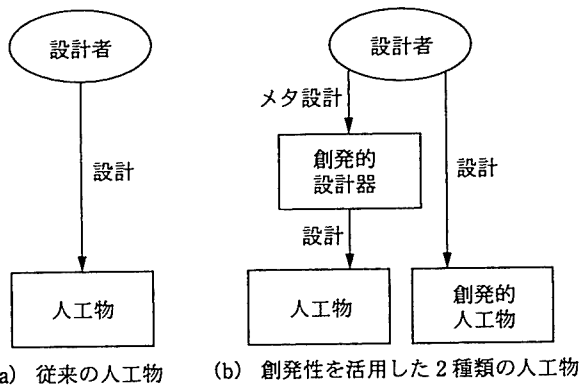


図1 創造性の応用

る遺伝的プログラミングは、コンピュータのプログラム（あるいは様々な構造）を自動的に作成するアプローチであり、例えば、自律ロボット群の協調行動を生み出すような制御プログラムを作り出すことができる。面白いことに、作成されたプログラムを人間が見ても複雑極まりなく理解が非常に困難なのである。もし、創発的なメカニズムに頼らずに、人間があらゆる状況を想定して設計しプログラミングした場合、設計者の考えた行動以上の賢い振舞いを望むのは無理かもしれない。

ここでいいたいことは、要するに、人工生命の中心的テーマである創造性は、人工物の性質としても、あるいは、人工物を生み出す生成器としても、設計者の意図や能力を超えた振舞いを示し得るということである。創造性を有する人工物、及び、創造性を利用した人工物設計という両者が存在する社会では、モノを作り使う存在としてのヒト、ヒトに作られ使われる存在としてのモノという二元論的な構図は成立しなくなる。創造性を有する

モノ同士、あるいは、そのようなモノとヒトの間の関係性やコミュニケーションが本質的となった、新しい社会が構成されると考えられる。

そのような状況では、もの作りは大きく変容することであろう。従来はモノの設計者はヒトとモノの関係をトップダウンに直接的に定義してきたが、そのような社会におけるもの作りでは、人工物を設計するためのはんだ的な設計メカニズム自体を設計すること、つまりメタ設計を行うことが仕事の本質となるからである。

5. むすびに

人工生命研究の広がりや基本的な方法論や思想的立場を踏まえた三つの観点からまとめ、同時に、その魅力を伝えることを試みた。具体的な技術や研究事例を知る一つの方法は、拙著⁽¹⁾や私の研究室のウェブページ⁽²⁾を出発点とすることである。

文 献

- (1) 有田隆也, 人工生命 (改訂2版), 医学出版, 2002.
- (2) 名古屋大学大学院情報科学研究科複雑系科学専攻有田研究室(通称: 人工生命ラボ) ウェブページ (<http://www2.create.human.nagoya-u.ac.jp/>).



有田 隆也 (正員)

1983 東大・工・計数卒。1988 同大学院博士課程了。工博。名工大講師を経て、現在、名大・情報科学研究科教授。人工生命や情報科学の研究に従事。著書「人工生命」など。