

重層性に着目した創発システムに向けて

Multilayered structure for emergent systems

中山 功一^{*1}
Koichi Nakayama

^{*1} 佐賀大学大学院 工学系研究科 知能情報システム学専攻
Graduate School of Science and Engineering, Saga University

1. はじめに

片井らは、生/死、善/悪といった二分法に基づいた論理は世界を単純化し過ぎているとして、その対極としての重層性思考を探求している[澤泉 07, p.161]. 特に、人工の世界を、自然の世界との対比として捉えており、人工/自然や生/死は、二分法ではなく相補的な関係であると述べている。筆者は、人工生命と自然生命の対比を通じて、“全”と“個”および“内部(身体)”と“外部(環境)”について、二分法ではない重層性に着目して議論したい。

人工生命の研究の多くは、それぞれの人工生命を“個”として捉え、他の“個”と比較することで評価する。“個”の評価(または適応度や利得)の高い人工生命に“生”を与え、評価の低い人工生命に“死”を与える。筆者は、それぞれの人工生命を“個”として捉える従来の考え方とは異なり、人工生命の集団を“全”として捉え、“全”として評価するための手法に取り組んできた。動的離隔型遺伝的アルゴリズム(Dynamically Separating Genetic Algorithm, 以下, DS-GA)は、その手法の一つである[中山 02]. DS-GA をマルチエージェントシステム(以下, MAS)に適用することで、集団を“全”として捉えた場合に適切な行動を学習できた。しかし、“全”として適切な行動だけでは、自然生命に匹敵するような多様で創発的な関係は創出していない。

本稿では、重層性に着目した創発システムに向けて、人工生命の研究に取り組む筆者の立場を明らかにするとともに、今後の人工生命研究について議論する材料とすることを旨とする。

2. 人工生命と自然生命の比較

本章では、自然生命のような多種多様な生命体や生態系を人工生命で生み出すため、二種類の重層性に着目して、自然生命と人工生命を比較する。また、生命を“個”でありつつ“全”でもあると重層的に捉える意義について、著者の考えを述べる。

2.1 評価の重層性

一般的な人工生命の進化シミュレーションでは、人工生命を個として評価し、他の個と比較することで次の世代の生と死が決定される。一方、自然生命の場合、個としての優劣で生と死が決定される場合と、全(集団または種)としての優劣で生と死が決定される場合が混在している。

例えば、群れを作る自然生命とその捕食者との関係を考える場合、他の個体より逃げ足の速い個体が生を得やすい場合と、多少の自己犠牲を伴っても全体で捕食者をかく乱させる群れが生を得やすい場合とが考えられる。自然生命のような生命を人工生命で実現するためには、個としての評価と全としての評価

が重層的に存在する環境が重要である可能性がある。

また、重層的に評価するためには、生命間の関係も重層的にとらえる必要がある。例えば、自然生命と自然生命の関係は、捕食と被捕食だけではない。同種間の肉食動物同士による縄張り争いや、メスをめぐるオス同士の争い、異種間の草食動物同士の捕食者を知らせる関係など、様々である。

従来、より複雑な環境を用意するものは研究されている。例えば、Tierra[Ray 91]では、ネットワークで接続された複数の計算機を用いる Network Tierra[Ray 95]や、人工生命が二次元平面環境に配置される Avida[Lenski 03] [Chow 04]などが存在する。しかし、人工生命の評価に関しては、個の評価と全の評価とを重層的に行う試みは少ない。筆者は、個としての評価と全としての評価の重層的な存在が重要であると考えている、また、そのためには個と全の重層的な関係も重要であると考えている。

2.2 身体の重層性

自然生命では、生命の中に別の生命が存在したり、生命の集団が一つの生命のように振る舞ったりする。例えば、自然生命の1個体である人間の腸内には100種類以上、100兆個以上の細菌が息し生態系を形成しているといわれている。また、腸を含め、人間を構成する個々の細胞の中には、人間とは別のDNAを持った(本来は他の細菌だったとされる)ミトコンドリアが存在する。すなわち、“人間の身体”の中には、ミトコンドリアの身体や細菌の身体などが重層的に存在している。

また、クローン個体のように同じ遺伝子でも別の身体を持つ場合もあり、キメラ個体のように同じ身体の中に別の遺伝子を持つ場合もある。すなわち、遺伝情報にとつての個と、生命の身体とは必ずしも一致しない。さらに、アリやハチなどの社会性昆虫では、個としては生殖能力のない個体が多数を占め、群れ全体が一つの生物個体のように振る舞う。

身体の内層性は、そのまま身体を取り巻く環境の内層性を意味する。すなわち、腸内細菌にとって腸は環境であるが、人間にとって腸は身体の一部である。重層的な身体の内層性に着目するかどうかによって、何を内部(身体)と捉え、何を外部(環境)と捉えるかが変化する。

筆者は、生命の身体は重層的に存在すると捉え、人工生命の身体を“個”として定義するのではなく、個(身体)と全(環境)の内層的な存在が重要であると考えている。

3. 重層性を内包するアルゴリズム

本章では、筆者らのこれまでの研究成果を踏まえて、“個”と“全”を重層的に評価するアルゴリズムと、“内部(身体)”と“外部(環境)”を重層的に存在させるアルゴリズムについて述べる。

3.1 個と全の重層的な評価手法

これまで、環境を適切に操作することで、個の進化の方向性を制御できる可能性については議論されてきた。古くは、

Axelrod らが、囚人のジレンマゲームを利用した実験により、対戦の繰り返し保障された環境では、協調的な戦略が優位であることを示した[Axelrod 84] [Axelrod 97]。筆者らは、人工生命をコロニーと呼ばれる集団に動的に隔離することで、協調的な戦略が優位であることを示した[中山 02] [中山 04]。MAS に前述の DS-GA を適用する場合、個としては評価が低い、集団(全)としては評価の高いエージェント(個)が動的隔離により繁栄した。すなわち、個としての優劣を競った場合は利己的な生命が優位であるが、全としての優劣を競うことで利他的(全体最適)な生命の生存確率が高かった。

動的隔離を用いる場合、集団(全)として評価の高い生命の進化が期待される。しかし、全と個の重層的な評価とは言い難い。そこで筆者は、階層化 DS-GA[中山 04]と多要素 DS-GA[中山 03]を個の評価と組み合わせることで、動歴隔離を重層化した環境を用いる予定である。このとき、動的隔離による全の評価と、一般的な手法による個の評価を混在させる。この結果、個にとつての高い評価を得る遺伝子や全にとつての高い評価を得る遺伝子、さらにその間の集団(サブ集団)にとつて高い評価を獲得する遺伝子などの共存が期待できる。

3.2 身体の重層的な表現手法

人工生命の身体の定義は様々である。例えば Tierra[Ray 91]では、仮想生命の身体が、「スープ」と呼ばれるメモリ上にソースコードとして存在する。人工生命は、スープ(メモリ)に記述されたソースコードにしたがって行動し、CPU の計算機資源を奪い合う。他の人工生命と同様に、自己複製能力の高い個が優れた個として増殖する。Tierra では、身体構造を明示的には定義されておらず、重層的な身体を獲得が否定されているわけではない。しかし、マイクロコード化 Tierra[中道 09]や Java Tierra[岩本 09]などの取り組みに関わらず、重層的な身体を獲得するまでには至っていない。

筆者は、2.2 節で述べたように、遺伝情報にとつての個と、生命の身体とは必ずしも一致する必要はないと考えている。遺伝情報を格納する個を人工生命と呼ぶのではなく、その遺伝情報が格納された個の集合が一つの生命として振る舞うことを許す系が必要であると考え。そのために、(1)集団構造を決定する遺伝子の導入、(2)共通の遺伝子型から異なる表現型を生み出す遺伝子の導入、を考えている。

(1)で述べた遺伝子は、階層化 DS-GA[中山 04]において、集団の大きさや集団の結びつきの強さを示すパラメータとして導入している。自然生命でも、単細胞生物でありながら、細胞と細胞の物質的な結びつきにより多細胞生物のように振る舞う細胞群体という形態がある。細胞群体では、細胞分裂の後に細胞が離れないため、結果として集団を構成する。特に、細胞群体を構成する緑藻の一種であるボルボックスでは、生殖細胞と体細胞が分かれており、群体が一つの生命であるかのように振る舞う。集団の大きさや結びつきの強さを決定する遺伝子を導入することで、身体を定義されない人工生命が創発する可能性があると考えている。

(2)で述べた共通の遺伝子型から多様な表現型を生み出すアルゴリズムとしては、[Nakayama 03]において Regulator を持つ Genome(Regulatory Genes と Structural Genes からなる遺伝子)として提案している。自然生命でも、共通の遺伝子を持つ細胞から、表現型として多種多様な形質の細胞が発生する。これらの導入により、“個”としての身体と“全”としての身体が重層的に存在する生命の創出を目指している。

4. 創発システムに向けた展開

本稿では、重層性に着目した創発システムに向けて、人工生命の研究に取り組む筆者の立場を述べた。重層的な評価と重層的な身体に着目して、人工生命と自然生命を比較した。また、それらを創出するためのアルゴリズムについて検討した。個としての評価のみに基づいた進化ではなく、個としての評価と全としての評価の重層的な存在について述べ、それを実現するアルゴリズムを議論した。また、個としての身体と全としての身体の重層的な存在について述べ、それを実現するアルゴリズムを議論した。

人工生命という概念が登場してから 20 年以上経つが、生命や創発システムと呼ぶためには課題が山積している。筆者は、これらの課題を解決するカギの一つが「評価と身体の重層性」であると捉え、創発的な人工生命を目指す予定である。

参考文献

- [Axelrod 84] Robert M. Axelrod: The Evolution of Cooperation, Basic Books, 1984.
- [Axelrod 97] Robert M. Axelrod: The Complexity of Cooperation, Princeton University Press, 1997.
- [Chow 04] Stephanie S. Chow, Claus O. Wilke, Charles Ofria, Richard E. Lenski, Christoph Adami: Adaptive Radiation from Resource Competition in Digital Organisms, Science, Vol. 305, no. 5680, pp. 84-86, 2004.
- [岩本 09] 岩本彩, 中道義之:Java 言語による Tierra の実装, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2009 講演論文集, pp. 107-110, 2009.
- [Lenski 03] Richard E. Lenski, Charles Ofria, Robert T. Pennock, Christoph Adami: The Evolutionary Origin of Complex Features, Nature, Vol. 423, pp. 139-144, 2003.
- [中道 09] 中道義之, 松崎周一, 岩本彩 :マイクロコード化 Tierra に関する研究, MYCOM2009(第 10 回 AI 若手の集い)予稿集, pp.35-38, 2009.
- [中山 02] 中山功一, 松井博和, 野村由司彦:動的隔離型 GA(DS-GA)の提案, 情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用(進化的計算特集号), Vol.43, No. SIG 10(TOM7), pp.95-109, 2002.
- [Nakayama 03] Koichi NAKAYAMA, Hideaki SUZUKI, Katsunori SHIMOHARA, Osamu KATAI: Evolution of Cooperation with a Dynamically Separating Mechanism of Individuals, Proceedings of the Eighth International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.176-180, 2003.
- [中山 03]中山功一, 下原勝憲, 片井修:多要素動的隔離型遺伝的アルゴリズム(mDS-GA) の提案, 第2回 情報科学技術フォーラム 2003.
- [中山 04] 中山功一, 松井博和, 下原勝憲, 片井修 :階層化動的隔離型 GA(hDS-GA)による隔離パラメータの最適化, 情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用(進化的計算特集号), Vol.45, No. SIG 2 (TOM10), pp.42-55, 2004.
- [Ray 91] Thomas S. Ray: Is it alive, or is it GA?, Proceedings of the 1991 International Conference on Genetic Algorithms, pp. 527-534, 1991.
- [Ray 95] Thomas S. Ray: A proposal to create a network-wide biodiversity reserve for digital organisms, ATR Technical report, TR-H-133, 1995.
- [澤泉 07] 澤泉重一, 片井修 :セレンディピティの探求—その活用と重層性思考, 角川学芸出版, 2007.