

中立説に基づく遺伝的アルゴリズムの提案

3P-10

高橋 和博 武田 正之
東京理科大学 理工学研究科

1 はじめに

生物の示す挙動を人工物によって合成しようとする試みである人工生命研究[1](以下 Alife)では、仮想生物系モデルによるシミュレーションがおこなわれている。生物の適応・進化は、世代を通じて伝えられる生物の特徴の情報、遺伝情報の変化として理解され、遺伝的アルゴリズム(以下 GA)の枠組みがシミュレーションにもちいられている。

しかし、GA は表現型(生物個体の持つ各種の形質)の適応過程に重点が置かれており、遺伝情報の変化という生物進化・分子進化を模擬するためには力不足であると考えられる。

本研究では「中立説[2]」に基づいて DNA レベルの遺伝情報変化をモデリングすることにより、分子進化と適応進化を同時に合成可能とする進化アルゴリズムの提案をおこない、提案に基づく方法でのシミュレーションの結果、適応進化を合成するとともに、実生命の進化に近い遺伝情報の進化が合成できたことを報告する。

2 生物進化

交配可能な個体に表れる形質の変化は、メンデル性の遺伝法則[3]によって説明され、形質を表わす粒子状の遺伝子の組み替えとして理解される。自然淘汰による個体の選択過程と組み合わせられ、ダーウィン論として進化が論じられている。

情報媒体である DNA の変化においては、DNA 列における定率・無方向性の突然変異の蓄積と、集団に対する遺伝子型(遺伝情報)頻度の偶然的な拡散が観察され、表現型の進化とは異なる様式の進化が存在している。これらの事実を説明する理論として、分子進化の中立説がダーウィン論を補完するものとして存在する。

生物進化と呼ばれる変化は、表現型で環境に適応する現象として現れるが、これは遺伝情報の質的な変異と頻度の変動を原因とするものであり、生物進化は遺伝情報の変化と理解しなければならない。

よって、Alife として生命進化をシミュレートし分析するためには遺伝情報の挙動をもとに、適応現象を合成することが求められる。しかし GA はダーウィン論に基づいた表現型の適応を模擬したもので、実生命の遺伝子型の変異まで合成するには力不足であると考えられる。

3 提案

Alife での進化アルゴリズムとして、「遺伝子型の変異と表現型の変異が対応しているとは限らない。自然淘汰に関係しない遺伝情報が存在する。遺伝子頻度の変化には淘汰によらない偶然的な要因がある。」という分子生物学における事実を取り入れた、DNA レベルの遺伝情報の変化をモデリングするものを提案する。

遺伝子型では分子進化を、表現型で適応を合成する事を目的とし、遺伝子型の組成と操作を中立説に基づくものとする。

遺伝子型は次項目の条件を満たす可変長の記号列とする。1a) 形質と直接対応せず、形質を作り上げる規則を複数含んだ記号列からなる、1b) 長さは可変で、交配によって変化する、1c) 規則は生成にすべて使われるとは限らない(中立部の存在)、1d) 規則間の相互作用は定められていない(創発的な表現型の生成)、1e) 規則自身も変異によって伸縮する。

そして適応度関数は複数の進化の方向を示し、淘汰による選択を弱めるものとする。2) 表現型を異なる基準で異なる方向性をもって適応度を与える(複数の適応形態)。

遺伝的な操作として次項目を加える。3a) 淘汰は稔性の変化による(弱い淘汰)、3b) 世代時間経過毎に長さ当たり一定率の変異を記号列におこす(無方向性の変異)、3c) 交配による交叉は遺伝子型内

Suggestion of Neutral Theory based Genetic Algorithm for Artificial Life.

Kazuhiro Takahashi, Masayuki Takeda
Science University of Tokyo
2641 Yamazaki, Noda, Chiba, Japan

部の規則の交換とする。

以上を GA と同様な表現型への自然淘汰操作の下でおこなう枠組みを提案する。

4 実験

4.1 概要

表現型として二次元的な形をもち、遺伝子型として形の書き換え規則の鑄型をもつ仮想生物系を想定しシミュレーションをおこなった。鑄型を基にして規則が生成され、規則が作用して形が成長するとし、規則の構成記号と、記号列の解釈方法、そして規則の形への適用法を用意した。仮想生物は半数体からなり、一つの遺伝子プールを形成する。適応度関数は、大きな面積を囲んだ形であること、絶対的な大きさが大きいこと、正方形に近い概形を取ること、これらを適応の方向として数値を算出するものとした。

淘汰はエリート戦略をおこない、適応度の高い個体の遺伝子型の複製を次世代へ残し（突然変異がすべての個体に起こるため、完全に同一とはならない）、そのうえ交配による複製を多く残すものとした。

4.2 結果

シミュレーションでの適応度の変化を、横軸に世代、縦軸に適応度として、適応度の最大値とプール内の適応度の高い上位 10% の個体群の平均値をあらわした図を次に示す。

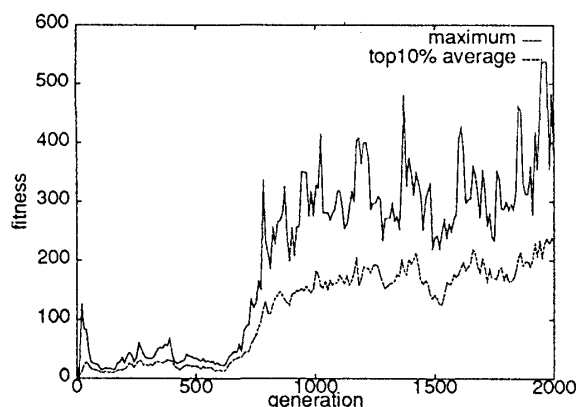


図1 適応度変化

図1より、適応度は上下動があるが傾向として低迷が続いた後急激に上昇、その後ゆっくりとした上昇を示している。

表現型の世代にそった観察では、少数の規則による小さな形が現れた後、相互作用で大きな形をつくる適応度の高い個体が集団を占める。適応度が底上げされたのちは概形の変化は少なくなり、細かな部分の変化によって適応度を押し上げていることが見られた。

遺伝子型では、常に一定率で変異が起きていることが観察され、分子進化の挙動が得られている。さらにこの挙動は、中立領域が獲得された結果であることが確かめられるとともに、中立領域が機能した結果として適応度が断続的に変化することが観察され、中立説で説明される適応過程が合成されていることも確かめられた。

形の生成に目を向けると、規則間の相互作用が世代時間の経過とともに獲得されてくることが観察され、遺伝子型・表現型以外の観察対象において、創発的に進化的挙動が得られる事を発見した。

以上より、連続的に変異する遺伝子型の進化と、表現型の断続的な適応進化を合成できたと考えられ、提案したアルゴリズムが分子進化を伴う進化シミュレーションをおこなう方法として有効であると結論される。さらに、観察対象を変えたところでも進化的挙動が創発されうる兆候を得られたと考えられる。

5 まとめ

本稿では実生物の遺伝様式を DNA レベルからモデリングすることで、生命進化をよりの確に合成し得る、Alife に適した進化アルゴリズムの提案をおこなった。実際のシミュレーションでは、遺伝情報の進化と表現型の適応進化を同時に合成し得ることを確かめ、さらに観察対象を変えても進化的挙動が観察される事を発見した。

これからの研究の方向として、異なる仮想生物系によるシミュレーションによる本アルゴリズムの検証と、それに基づく Alife としての生物進化を論じたいと考えている。

参考文献

- [1] Langton, G.C.: "Artificial Life", ARTIFICIAL LIFE, Addison-Wesley, 1988, pp1-47
- [2] 木村資生: "分子進化の中立説", 紀伊国屋書店, 1986
- [3] J.F. クロー: "クロー 遺伝学概説 [原書第 8 版]", 培風館, 1992, pp1-13 など