

生物の性の分化・進化のシミュレーション

1M-10

粟谷 英規 清水 謙多郎
東京大学 農学生命科学研究科

1 はじめに

生物の性は、それぞれの個体の形質、生殖細胞の大きさ、性の個数など、種や環境によって多くの異なった様相を見せる。有性生殖を、生殖による遺伝情報の交換とするならば、「異性に属する集団のみとの接合」というルールを有性生殖に持ち込むことにより、性差・性の分化が発生する。更に、自己限定性を備えた生殖集団・繁殖共同体が生まれると、それが種分化に相当する。

また、多くの生物で配偶子に大きさの大小の差異が進化している。これは、小さな配偶子を多数そろえて接合する相手配偶子の資源を利用する傾向と、接合した子孫が生存するために必要なエネルギーを受け継ぐ可能性という両者の兼ね合いから発生したと理解されている [1]。

こうした性分化・種分化が成立するまでの進化のプロセスは、今となってはその筋道を辿ることは不可能であり、数理モデルによる解析が広く行われている [1] が、本稿では、他者認識、子に分けるエネルギーの割合という要素を導入したモデルを遺伝的アルゴリズム（以下 GA）に適用することにより、性分化、種分化をシミュレートする方法を考案したので報告する。

2 有性生殖のモデル化

2.1 性分化・種分化のモデル

有性生殖の進化過程における性分化と種分化は、それらに順序があったとするならば、次のような過程が考えられる [2]。

まず、接合相手を自分の属する集団外に求める外婚制、すなわち性差が成立したとすると、生物は接合のネットワークを形成し始め、それが閉じるていくことが種分化となる。逆に、接合相手を自分の属する集団内に限定する内婚制が成立すると、その集団が性差なしの有

性生殖を行う種として分化し、その後性差が生まれたということになる（あるいは性差がないままの場合もある）。

どちらの場合も、分化は他者を認識する能力によって引き起こされる。本稿のモデルでは GA の各個体に他者認識として機能する部位を導入している。

2.2 配偶子の大きさの分化のモデル

限られた資源を元に配偶子を生み出す場合、有性生殖ならば、接合相手配偶子の資源を有効活用することで自己の配偶子は小型のまま接合の機会を増やそうとする。その一方で、小型の配偶子同士が接合しても、成育に十分な資源を有していないので生存できない。本稿では、配偶子の大きさの概念を導入し、出会った2つの配偶子が子として成育する率として、双方の配偶子の大きさの関数を用いるモデルとなっている。

2.3 モデルの実現

GA での遺伝子表現には1次元ビット列を用いる。ビット列は、環境への適応度を表現した部位、子孫に分けるエネルギー割合を表現した部位、他者を認識する部位から成る（図1）。

各個体は、環境への適応度に応じて体力を与えられ、それを子に分けるエネルギー割合に応じて分割し、配偶子を生み出す。配偶子の個数が多い程、接合を試みる機会が増加する。本稿では、環境としてナップザック問題を用いている。各遺伝子座のビットが、ナップザック問題におけるアイテムの取捨選択を表現する。すなわち、ナップザック問題のアイテムは価値と重さを持ち、重量制限内でアイテムを集めて最大の価値を得ると適応度が最大になる。

接合を試みる際には、遺伝子表現における照合を行う。照合とは、自己の遺伝子表現における認識部位 (c) と、他者の遺伝子表現における子孫に分けるエネルギー割合を表現した部位 (a)、環境への適応を表現した部位 (b) とを比較することであり、その一致の度合の高い相手とのみ接合できる。照合は「自己から相手」、「相手から自己」の双方向に対して行い、両方向ともに接合可能な照合結果が出なければ接合はできない。本稿では、

Simulation Study of Sexual Differentiation, Spaciation and Evolution

Hidenori AWAYA, Kentaro SHIMIZU

Department of Biotechnology,

The University of Tokyo

1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113 Japan

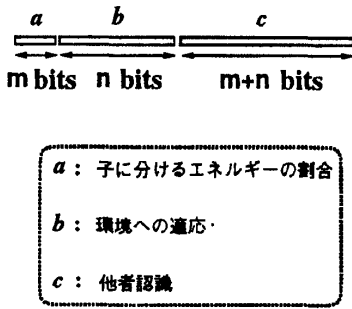


図 1: 遺伝子表現

照合の際は比較する部位間のハミング距離を測り、それが閾値以下であることをもって一致の度が高いと判定する。また、接合相手に対する選り好みの強弱を持たせるために、認識部位の各遺伝子座には、'0'、'1'に加えて、照合の際に対応する遺伝子座が何であっても距離が増えない '*' も導入する。例えば '011' と '0*0' の距離は 1 である。したがって、'*' が多いものは接合相手を選ばない傾向が強くなる。

接合に成功すると、2つの親の遺伝子に対して突然変異と交差がある確率で施された遺伝子を持つ子が生まれ、次世代における親となる。

3 実験

個体 i の適応度を 1 から 100 までに正規化したものを \hat{s}_i 、子へ分けるエネルギー割合 (8 ビットで表現: $m = 8$) を r_i 、接合の機会を与えられる率を $p_i = \hat{s}_i / r_i$ とし、各世代の個体数 500、ナップザック問題のアイテム数 50 ($n = 50$)、アイテムの価値・重さは共に 20 から 100 として実験を行った。GA の遺伝子操作は、突然変異率 0.01、交差率 0.5 で施す。各個体は、接合の機会を p_i に応じてランダムに与えられ、子の総数が次世代の個体数に達するまで接合を試みることができる。接合後に子として成育するのに必要なエネルギーの閾値は 50 である。アイテムの価値と重さ、個体の遺伝子表現の初期値はランダムに与えるが、世代交代を通してアイテムの種類には変化が起こらない、変動のない環境である。

子に分けるエネルギーの割合の遷移を見ると、認識部ありの場合 (図 2) は接合相手の子に分けるエネルギー割合に機敏に反応して分化していくが、認識部なしの場合 (図 3) では、配偶子を小さくする個体群が出てくるものの、その個体群に応じて配偶子の大きさを变化させた個体群がなかなか現われてこない様子が見られる。また、この実験は環境変動のない一種の最適化であるために種分化がなかったと考えられる。

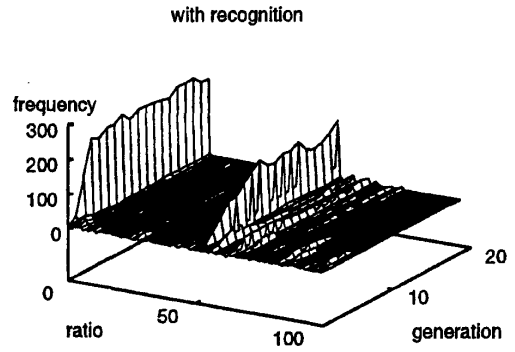


図 2: 子に分けるエネルギー割合の変化 (認識あり)

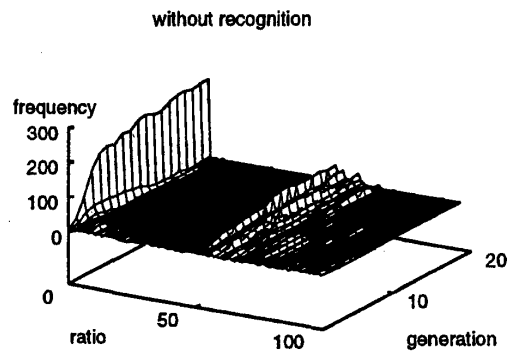


図 3: 子に分けるエネルギー割合の変化 (認識なし)

4 おわりに

今後、環境に変動を加えた場合や、同じアイテムに選択が集中した時のデメリットを導入した場合のシミュレーション実験の解析を進めるとともに、各個体の遺伝子の相関を詳細に分析する作業を継続していく。

参考文献

- [1] 巖佐 庸. 数理生物学入門. 1990.
- [2] 佐々木 顕. 性と組換えの進化的意義. 数理科学 No.280, pp.63-70, 1986.
- [3] G. F. Miller, P. M. Todd. "The Role of Mate Choice in Biocomputation: Sexual Selection as a Process of Search, Optimization, and Diversification". *Evolution and Biocomputation*, Springer, pp.169-204, 1995.
- [4] P. M. Todd, G. F. Miller. "Biodiversity through Sexual Selection". *Proc. of ALIFE V*, pp.250-260, 1996.