

生物の転写制御機構をモデル化したGAの構築

7Q-4

矢島 恵子 渡辺 崇  
名古屋大学大学院人間情報学研究科

1. はじめに

本研究では、細胞生物本来が環境に適切に対応する遺伝発現制御機構に基き、最適化を目指す新しいアルゴリズムを提唱し、従来のGAと異なった人工生命体の構築を試みた。

遺伝子は大半の生物ではDNAからできており、生体分子として重要な機能を果たすタンパク質を環境に応じて適切に合成している。タンパク質の合成、つまり必要に応じた遺伝子の発現過程で、もっとも重要な機構はDNA塩基配列がmRNAに転写される段階でさまざまな調節タンパクの組合せによって制御される転写制御機構であると考えられている<sup>[1]</sup>。

本アルゴリズムは特にこの転写制御機構に基づいてモデル化を行なう。さらにこのアルゴリズムを適用し簡単な問題で生命体の動向を観察し、その有用性について考察する。

2. 遺伝発現メカニズム<sup>[1]</sup>

転写はRNAポリメラーゼが、DNA鎖上の特定の遺伝子を発現するためのプロモータ部位を探し出し、結合により開始される。この過程には転写を促進するアクチベータータンパク、抑制するリプレッサータンパクを主とした調節タンパクが関与しており、これらのタンパクが相互に組み合わされることによりRNAポリメラーゼとプロモータの結合、つまり転写のオン・オフが決定されることがわかっている。

3. 新しい遺伝発現制御モデルの考案

3.1. 環境タンパクとプロモータの結合モデル

生体はレセプターを介して外部環境と情報交換する。外部情報を表す生体内のビット配列を「環境タンパク」と定義する。環境タンパクの生存量は時間に関し指数的に減少する。Fig.2中のプロモータもビット配列であり、RNAポリメラーゼは環境タンパクと類似性の高いプロモータ部位を検索し、そこに結合する。

3.2. 調節タンパクによる複合転写制御モデル

モデルでは調節タンパクは遺伝子の転写を抑制する

リプレッサータンパクと促進するアクチベータータンパクに定め、プロモータとともに特定のタンパク発現を制御する。アクチベーター、リプレッサーの効果はいずれも生物の経歴を反映させた数値で表し、Fig.2のようにプロモータに付随している。アクチベーター値がリプレッサー値よりも大きい場合は「正の調節」（転写促進）が働き、逆の場合は「負の調節」（転写抑制）として両タンパクの効果の組合せにより転写開始のオン・オフを行う。転写がオンとなり翻訳された発現タンパクはレセプターを通して外部作用する。本モデルでは環境タンパクと発現タンパクは同等なものとして扱う。

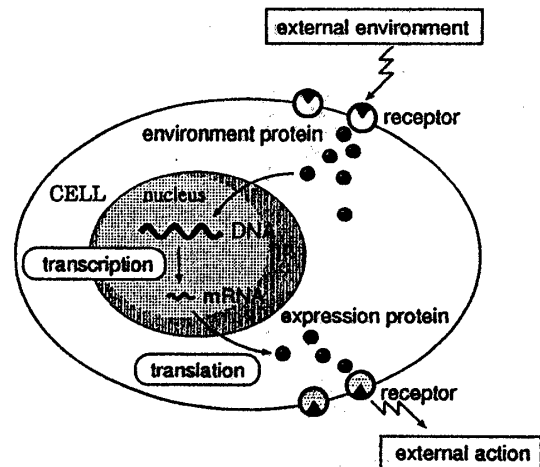


Fig.1. タンパク合成モデル

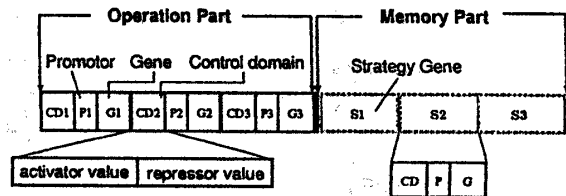


Fig.2. DNA塩基配列構造モデル

3.3. 記憶部と遺伝子操作部の設置

発現された遺伝子が環境に適応できるものであれば、次世代において必要になったときに遺伝発現の円滑・効率化をはかるため重複や遺伝子自身が移動するという転移の機構が知られている<sup>[1]</sup>。

本モデルではこの原理を導入する。DNA鎖は遺伝子操作部と記憶部からなっており、両部位区別なく遺伝子の発現を行なう。遺伝子操作部は初期設定したDNA

\* Genetic Algorithm Based on the Transcriptional Control System of Life  
Keiko YAJIMA Takashi WATANABE  
Graduate school of Human Informatics,  
Nagoya University, Nagoya 464-01, Japan

鎖であり、記憶部は発現された遺伝子が転移をし格納されるものである。さらに、遺伝的操作である点変異や交差は遺伝子操作部でなされ、記憶部では一切影響しないとする。発現された遺伝子を組み込む過程を生物の学習・記憶ということにした。

#### 4. モデルのアルゴリズム

上述のモデルを用い、次のようなアルゴリズムを考案した。

- 1) 記憶部を持たない遺伝子操作部のみの DNA 塩基配列をランダムなビット列で作る。
  - 2) 環境タンパクと類似性の高いプロモータ部位を結合候補として検索する。候補が複数ある場合は一様性ランダムによって選ぶ。
  - 3) 検出されたプロモータのアクチベーター値を環境タンパクの生存量に応じて増やし、一方リプレッサーの数値を減らす。その他のプロモータ部位はリプレッサー値を増やし、アクチベーター値を減らす。
  - 4) アクチベーター値がリプレッサー値よりも高ければ転写を開始し、発現タンパクを合成する。リプレッサー値が高ければ遺伝子は転写されず、3) につづる。
  - 5) 発現タンパクの外部作用の成績が良ければ、初期化したアクチベーター値、リプレッサー値および現在の環境因子をプロモータとした配列とともに遺伝子を記憶部に追加する。
  - 6) 2) につづる。
- 2)~6)の流れを1ステップとする。交差、点変異などの従来のGA [2] の遺伝的操作を数ステップごとに6)の前に導入する。

#### 5. 実験

##### 5.1. 概要

本モデルに従い仮想生物を構成し、ターゲットに向かえという指令を40ステップ間与え続けた後に、ターゲットから遠ざかれという指令を40ステップ与える操作を1世代として、数世代繰り返して学習を行なう。

本アルゴリズムを用いるにあたり、DNA 塩基は  $\langle 1, 0, * \rangle$  で表し、環境タンパクは相手の方向を3ビット、指令の種類を1ビット、計4ビットの配列で、また発現タンパクを移動方向に相当する3ビットの配列で構成している。

##### 5.2. 動向結果と考察

動向結果の一例と学習進化結果を Fig.3、Fig.4 に示す。Fig.4 は過去10ステップあたり外部作用の良かった回数をステップごとにプロットしたものである。Fig.3 で、1世代目では遠ざかれという指令を与えているにもかかわらず、ターゲットに向かっているが、6世代目では指令の変化に即応し、学習効果が見られる。

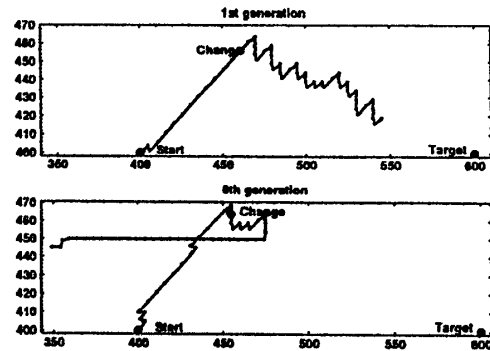


Fig.3. 動向結果

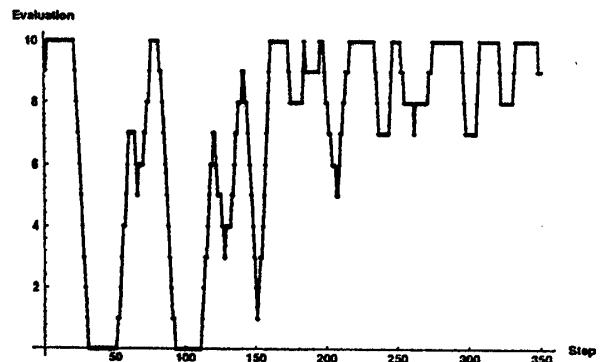


Fig.4. 学習進化結果

また、世代が進むにつれて記憶部で学習した遺伝子が効率良く発現されたり、指令への対応も早くなるとともに適切な外部作用をする傾向が Fig.4 より確認された。

#### 6. おわりに

本稿では実生物の転写制御機構のモデリングをすることで、自然界生物の環境に適應する機能を有する人工生命に適した遺伝発現アルゴリズムの提案をおこなった。簡単なシミュレーションにおいて、この仮想生物が実生物のように、環境に応じて適應できうることが観察された。

生物の遺伝の発現は転写制御だけでなく、さまざまな段階で制御されている。これらの段階をくみこむことによりさらに新しい人工生命体を作り出すとともに、自然界の生物現象・進化のシミュレーションを論じたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] Bruce Alvertz 他著, 中村桂子他監修: "細胞の分子生物学 第2版", 教育社, 1992
- [2] John R. Koza: Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, The MIT Press, 1993