

代謝の概念を取り入れた人工生命モデル

梶田友貴[†]若林紗代[‡]鈴木輝彦[†]延澤志保[‡]太原育夫[‡]東京理科大学大学院理工学研究科情報科学専攻[†]東京理科大学理学部情報科学科[‡]

1. はじめに

自己複製プログラムの進化を実現した人工生命システム Tierra では、寄生関係などの生物界のさまざまな現象の再現に成功している。Tierra の淘汰システムはその制御構造上、進化が停止する可能性があり、この点が自然界の生命システムと異なる。この問題は Tierra に自然なエネルギーの概念を取り入れることで解決できる。そこで、本研究では代謝によりエネルギーを取得することで生存していく人工生命モデルを提案する。本モデルにより代謝による相互作用が実現でき、この相互作用によってデジタル生命の種の多様性の増加が期待できる。

2. 人工生命システム Tierra

Tierra[1][2][3][4] とはコンピュータ内部で自己複製を実現した仮想コンピュータシステムである。機械語でできた自己複製プログラムである個体はメモリ空間上に存在し、自分自身のプログラムを実行することにより自己複製を行う。初めに存在する祖先種が自己複製を行うことで個体数は増加し、突然変異により新しいプログラムが現れ、不利な個体は淘汰されていく。

Tierra では個体の淘汰はメモリ占有率が上がらないかぎり行なわれない。そのため、全個体が複製を行なわなくなるとメモリ占有率が上がらなくなり、淘汰がなくなる。その結果、個体は動き続けているにもかかわらず淘汰圧がなくなり、進化が停止してしまう。淘汰圧がなくなることは現実には起こりえないため、生命システムとして問題である。

3. 代謝の概念を取り入れた人工生命モデル

2章で述べた問題点はエネルギーの自然な概念の導入により解決できる。エネルギーの導入によって、淘汰はエネルギーが空になることで実現できる。また、エネルギー取得という生存に必要な不可欠なタスクが増えることで、個体間、個体と環境との間の相互作用が増え、システムが複雑化し、個体の多様性も増加すると考えられる。そこで、本研究では代謝によりエネルギーを取得することで生存していく人工生命モデルを提案する。このモデルではメモリ上の値を物質として考え、代謝を行う操作を個体に導入することで、エネルギー量に依存した自然な淘汰が行われる。本モデルにより代謝による相互作用が実現でき、この相互作用によってデジタル生命の種の多様性の増加が期待できる。

3.1 代謝

代謝とは生物の体内で起こる化学反応のことであり、同化と異化のことである。同化とは、外界から取り入れた物質を別の物質に合成する働きであり、外部からエネルギーを与える必要がある。異化とは、同化した物質をより簡単な物質に分解する働きであり、物質の分子内に蓄えられていたエネルギーが放出される。

3.2 システム概要

本システムはメモリ空間上に個体が存在し、自己複製を行なうことでメモリを占有していく(図1)。個体は自己複製するためには同化などを使い、複製する物質を用意しなければならない。また、命令を実行するときにエネルギーを消費する。個体は異化を実行し物質を分解することでエネルギーを取得する。個体のエネルギーが0になると個体は死んだものとする。また、突然変異を起こす太陽を導入する。太陽から降り注ぐ太陽光エネルギーが物質に作用し、物質の合成、物質の変化などを起こす。個体はエネルギーを取得しながら自己複製を行ない、突然変異と淘汰の結果、進化を引き起こしていく。

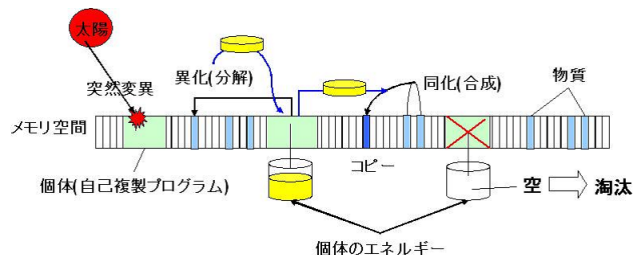


図1: システム概要

3.3 物質と命令

本システムで扱う物質は機械語の命令のことであり、01 記号列で表される。全ての命令は 01 記号列で表され、記号 0,1 も単独で命令を表す。0,1 の記号列の長い物質ほど高エネルギーの物質と定義し、高エネルギーの物質を異化する場合はいくつかのエネルギーを取得でき、同化により合成する場合は多くのエネルギーを必要とする。

個体は物質の列（命令列）で表されたプログラムであり、メモリ空間上に存在する。個体が命令を実行するとき、必ずエネルギーを一定量消費する。個体のエネルギーが空になると個体は淘汰される。

3.4 自己複製の方法

本システムではまず初めにメモリ空間に1つの個体（祖先種）を配置する。次に、別のメモリ空間上にランダムに物質を配置する。個体はこの限られた資源の中、周りの資源を集めて自己複製を行っていく。

An Artificial Life Model with the Concept of Metabolism

[†]Yuuki Kajita, Teruhiko Suzuki,
Department of Information Sciences, Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science.[‡]Sayo Wakabayashi, Shiho Nobesawa, Ikuo Tahara,
Department of Information Sciences, Tokyo University of Science.

本システムでは、プログラムをコピーするには同化を用いてコピーする物質（命令）を別の場所から用意しなければならないことにする。

3.5 代謝の表現方法

本システムにおいて、代謝は化学反応と似た形式にする（図2）。つまり、 $0 + 1 \rightarrow 01$ のように、二つの物質のペアを反応させることで、物質を結合させる。この反応は同化に対応する。また同様に、異化についても $01 \rightarrow 0 + 1$ のように実現する。

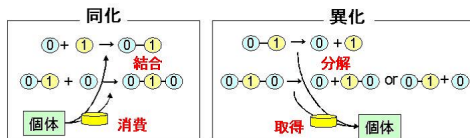


図 2: 代謝の表現方法

3.6 突然変異

本システムにおいて突然変異は二種類存在する。まず一つ目は、太陽光エネルギーが物質に作用し物質変化（同化，異化，組み換え）を起す突然変異である。ただし、突然変異により 0 が 1 に変わるような、記号が別の記号に変化するという事はない。二つ目は命令を間違えて実行するという突然変異である。太陽光エネルギーによる同化はシステム全体へのエネルギー供給の役割も担っている。

3.7 祖先種

祖先種の命令列について説明する。図3は祖先種における命令の流れをまとめたものである。本システム

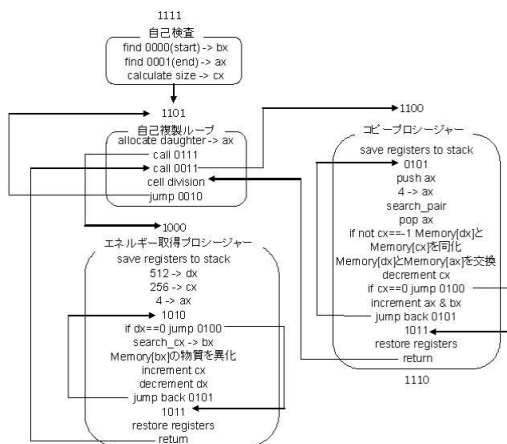


図 3: 祖先種における命令の流れ

の祖先種と Tierra の祖先種との大きな違いは、エネルギー取得プロシージャである。これはコピープロシージャと同様に、自己複製ループから呼び出される処理である。エネルギー取得プロシージャは一定回数異化を繰り返すループである。コピープロシージャは基本的には Tierra のコピープロシージャと同じで

ある。ただ、一命令をコピーするためには、同化を行い命令を合成し、メモリ割り当てをしていたメモリ上に移動させなければならない。

4. 実験と考察

メモリ空間の大きさは 20 万命令分とし、個体はメモリ空間全体をアクセス可能として実験を行った。

システムを実行すると、始めに個体数が急増し、祖先種によってメモリが占有された（1200 万命令、メモリ占有率 93%）。その後、異化に使える物質が枯渇したため、エネルギーを十分に取得できず個体数は減少した。次に、死んだ個体の構成要素が利用可能な資源となるため、再び個体数は増えた。その後は個体数の上下を繰り返していく。ただ、突然変異によって徐々に自己複製のできる個体がいなくなり、個体数は減少していく。200 億命令をすぎると自己複製種がいなくなり全滅した。

4.1 進化した種

実験の結果、祖先種のプログラムの効率を上げた種が多く現れた。Tierra と同様、素早く自己複製を行なえる効率的なプログラムを持った種が繁栄しやすい傾向にある。例えば、コピープロシージャ内で複製ループに戻るための命令列のない種が現れた。この種は複製ループに戻るために、異化プロシージャ内にある複製ループに戻るための命令列を使用している。そのため、後半のソースコードが 10 命令ほど削減され、効率的に自己複製を行っている。

また、祖先種では異化する物質を指定するテンプレートをループするごとに変化させていたが、異化用テンプレートが変化しない種も多く見られた。これは様々なテンプレートを使用する種が現れたため、物質が常に変化しているため、テンプレートを固定させても十分なエネルギーを取得することができるからと考えられる。その証拠に、祖先種を固定テンプレートにしてシステムを開始すると、テンプレートにマッチする物質がすぐになくなり、自己複製を行えなくなっている。つまり、個体同士が異化させる物質を通じた相互作用が実現されている。

5. おわりに

本研究では代謝によりエネルギーを取得することで生存していく人工生命モデルを提案した。本モデルにより代謝による相互作用を実現し、この相互作用によるデジタル生命の種への影響について考察した。そして、異化させる物質を通じた個体間の相互作用が確認された。

参考文献

- [1] 有田隆也, 人工生命, 医学出版, 2002.
- [2] ATR 進化システム研究室, 人工生命と進化システム, 東京電機大学出版局, 1998.
- [3] 服部桂, 人工生命の世界, オーム社, 1994
- [4] Ray, T. S, " Evolution, ecology and optimization of digital organisms," Santa Fe Institute working paper 92-08-042, 1992