

# マイクロコード化 Tierra に関する研究

## A Study of a Microcoded Tierra

中道義之\*1

Yoshiyuki NAKAMICHI

松崎周一\*2

Shuichi MATSUZAKI

\*1 沼津工業高等専門学校

Numazu National College of Technology

\*2 長岡技術科学大学

Nagaoka University of Technology

“Self-replication” is one of important in artificial life study. Tierra has been highlighted in this study field. Tierra is computer software which behaves such as biological evolution. But original Tierra has weaknesses that evolution is not complex because of fixed instruction-set. We propose new Tierra that implemented by microcode, and conduct simulation using it.

### 1. はじめに

初期の人工生命研究において、もっとも注目された研究の 1 つが Tierra [Ray 91] である。

Tierra はプログラムを生物にみたく、生物が突然変異することで自己複製プロセスが進化するという、複雑な生命挙動を示す最小の人工システムといえる。今日においても、自己複製に関する研究は人工生命における主要なテーマの 1 つであり、盛んに研究がなされている。

例えば、Multi-celler Tierra [Thearling 94] は、1 つの生物内でマルチスレッドを実現する。これは生物の多細胞化に相当する。Network Tierra [Ray 95] は Tierra 環境をネットワーク化することによって、同一のメモリ内だけでなく、異なった環境への生物の移動を可能とし、これにより移動能力の進化や種の多様性の増加を期待している。Avida [Lenski 03, Chow 04] は明示的な報酬の設定や個体の 2 次元平面上への配置（相互作用を限定）することによって複雑性を高めようとしている。

このように、Tierra ライクなシステムが多数提案されているが、それぞれ目的に違いがあるものの「如何にして複雑性を高めるか」という点が焦点となっているといえる。本研究では、複雑性を高めることを目的として、Tierra をマイクロコードで実装する。

### 2. Tierra の概要

Tierra は生物の進化を模擬する計算機ソフトウェアである。Tierra を起動すると、「スープ」と呼ばれるメモリを確保する。スープは仮想生物（以下、生物）が暮らすための空間であり、ここに保持される機械語命令は生物の遺伝子にあたる。生物はこの遺伝子と、これに基づいて動作するレジスタと命令ポインタを保持する仮想マシンとして定義される（図 1）。

メモリに格納された生物は、一定の割合でビットが反転したり、仮想マシンがある確率で命令の実行を失敗するという「突然変異」が起こる。先祖として自己複製（メモリ上にまったく同じパターンを作り出すこと）が可能な生物をメモリに配置し、実行すると、メモリ内に同じ生物が次々と作られるが、次第に、突然変異によって部分的に変更されたコードを持つ生物が誕生する。この中には注目すべき生物が生まれてくる。例えば「寄生」を行う生物は、コピーの機能を持たず、他の生物

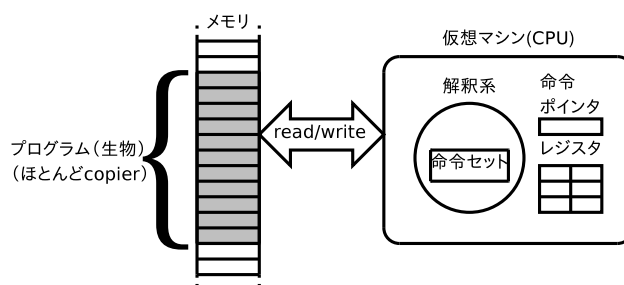


図 1: 標準的な Tierra の概念

のそれを利用する。寄生生物はプログラムの長さが短いため、コピーに要する時間（命令を実行する回数）が少なくすみ、効率よく増殖することができる。つまり、自己複製を効率よく行う方が有利となる暗黙の選択圧がかかっているといえる。寄生生物以外にも、寄生されないような「免疫」を持つ生物や、寄生生物に対して寄生する「重寄生」を行う生物、お互いにプログラムを利用しあう「共生」を行う生物も出現する場合がある。

### 3. マイクロコード化 Tierra

Tierra では、命令セットが固定であるが、命令セットを変えることによって個体の進化可能性に違いがあることが確かめられている [Ray 94]。例えば、ある命令セットにおいては進化論における「断続平衡進化」に相当する現象や、「ループ展開」と呼ばれる最適化テクニックが現れている。

マイクロコード化 Tierra は、仮想マシンがマイクロプログラム制御方式で動作するものとし、命令セットをマイクロコード [Mano 79] で表現する。マイクロプログラム制御方式とは CPU の実装手法の一つで、1 つの命令をマイクロコード（マイクロ命令）という小さな命令に分けて実行する方式である。マイクロコードを個体プログラムに含めることで、命令セットも進化することができ、これにより複雑性を高めようとするものである [Matsuzaki 04, 中道 09]。

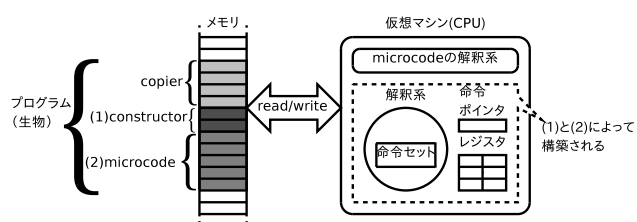


図 2: マイクロコード化 Tierra の概念

図 2 にマイクロコード化 Tierra の概念を示す。生物は Tierra と同様にメモリ上のプログラムとして表現されるが、そのプログラムは次の 3 つの役割に分かれている。

**Copier** 自分自身のプログラムを他のメモリ領域にコピーするプログラム

**Constructor** Microcode を仮想マシンにロードするプログラム

**Microcode** 仮想マシン (命令セットや各種レジスタ) の定義  
つまり、メモリ上の Microcode の部分に突然変異が起こることによって、命令セットも変化する。これにより、プログラムと解釈系の共進化を可能にし、より複雑な進化が現れることを期待している。

### 3.1 実装

仮想マシンの命令制御装置は文献 [所 88] に準じた設計とした。また、Tierra をマイクロコードで実装するにあたり下記の変更を行った。

- 突然変異はマイクロコードレベルの命令実行において起きる。メモリからの読み出し時および ALU の計算結果に、ビット反転もしくは  $\pm 1$  の突然変異が生じる可能性がある。
- divide 命令はマイクロコードを仮想マシンにロードする機能 (Constructor) を持つ。マイクロコード場所はテンプレートで指定する。

初期個体のサイズは 398 となり、そのうち約 80% がマイクロコードである。

### 3.2 実験

これまでの実験の結果、Tierra と同様の進化過程 (寄生種の発生) が確認された。しかしながら、寄生種の発生頻度や先祖種や寄生種が安定して存続する割合は少なかった。また、様々な戦略・機能を持った個体が現れるような複雑性の向上も見られなかった。これは主としてプログラムが突然変異によって壊れやすいためと考えられる。具体的には下記の要因が考えられる。

- 命令デコードマトリックスが固定であり、命令の進化が生じにくい。
- 個体サイズが大きくなったため、寄生種が生まれるようなテンプレートへの突然変異が生じる割合が相対的に減っている。

今後の課題は、マイクロコード化に特有と思われる複雑な進化を起こさせることであるが、そのための第 1 段階として、上記の問題の解決と、ある程度進化のシナリオを想定して先祖種を設定するということが必要である。

## 4. おわりに

本稿では、複雑な進化をおこさせることを目的として、仮想マシンをマイクロコードで表現する手法を提案した。これまでの実験の結果、Tierra と同様の進化過程が確認された。しかし、様々な戦略・機能を持った個体が現れるような複雑性の向上は見られなかった。進化のシナリオを想定した先祖種の設計が今後の課題である。

## 参考文献

- [Chow 04] Chow, S., Wilke, C., Ofria, C., Lenski, R., and Adami, C.: Adaptive Radiation from Resource Competition in Digital Organisms, *Science*, pp. 84–86 (2004)
- [Lenski 03] Lenski, R., Ofria, C., Pennock, R., and Adami, C.: The Evolutionary Origin of Complex Features, *Nature*, Vol. 423, pp. 139–145 (2003)
- [Mano 79] Mano, M. M.: *Digital Logic and Computer Design*, Prentice-Hall (1979)
- [Matsuzaki 04] Matsuzaki, S., Suzuki, H., and Osano, M.: Universal constructor to build a Tierran machine structure, *Artificial Life and Robotics*, Vol. 8, No. 1, pp. 57–61 (2004)
- [Ray 91] Ray, T. S.: Is it alive, or is it GA?, in Belew, R. K. and Booker, L. B. eds., *Proceedings of the 1991 International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 527–534 (1991)
- [Ray 94] Ray, T. S.: Evolution, complexity, entropy, and artificial reality, *Physica D*, Vol. 75, pp. 239–263 (1994)
- [Ray 95] Ray, T. S.: A proposal to create a network-wide biodiversity reserve for digital organisms, Technical report, ATR (1995)
- [Thearling 94] Thearling, K. and Ray, T. S.: Evolving multi-cellular artificial life, in *Artificial Life IV conference proceedings*, pp. 283–288 (1994)
- [所 88] 所 真理雄: 計算システム入門, 岩波書店 (1988)
- [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) CD-ROM 予稿集, pp. 35–38 (2009)