

ミジンコをモデルとした人工生命の自己増殖機能の解析 — その安定性について —

佐野文彦 櫻井幸一

E-mail: {sano,sakurai}@csce.kyushu-u.ac.jp

九州大学 工学部 情報工学科

〒 812 福岡市東区箱崎 6-20-1

1 はじめに

計算機工学の分野においては、自己増殖プログラムの問題は、ノイマンのセルオートマトン [1] や、その一例であるコンウェイのライフゲーム [2] が特に有名であり、これまでも多くの研究がなされてきた。この他にも自己増殖機能を持ったものとして、ネットワークを介して計算機に感染し増殖するコンピュータワームや、ファイルに次々と寄生して増殖するウイルスなども考えられる [3]。一般にこれらのプログラムは環境の情報などを採り入れ、能動的な行動とともに増殖する。

一方、自然界で考えてみると自己増殖機能を持つ多くの生物は無限に増殖はせず、多くは平衡状態となり安定している。そこで、比較的単純な構造でありながら、移動などの能動的な動作も行なう自己増殖モデルを考える。そのようなものの一例としてミジンコのモデルを考えた。ミジンコはかなり原始的な生命体で増殖数を調節できるほど高等な生物ではないが、過剰な繁殖が起きると環境の悪化に強い卵で子孫を残すなどの特長を持っている。

このモデルにしたがってプログラムを作成し、増殖を行なわせ集団のサイズの安定性について解析を行なった。

2 ロジスティック方程式

自然界において、生物集団の個体数は時間の関数で表され、出生と死亡のバランスで変化する。個体数は環境の制約により増加が抑えられ、やがて定常状態となる。

個体数 $x(t)$ は、増加率 r と環境収容力 K を用いて、ロジスティック方程式 (*logistic equation*) $dx/dt = rx(1 - x/K)$ で表されること知られている [4]。

この式を解くと、 $x(t) = K/(1 + Ce^{-rt})$ となる。ここで、積分定数 C は個体数の初期値から求め、 $C = K/x(0) - 1$ である。

3 ミジンコプログラム

ミジンコの状態を活動状態と、卵の状態の二つにモデル化する。以下、活動状態のものを成体と呼ぶ。これは生まれたばかりの個体も含む。また、卵の状態のものは卵と呼ぶ。ミジンコの生存環境は二次元空間で考え、この閉じた空間内でミジンコの各個体は移動や繁殖を行なう。

3.1 ルール

計算機上での実験では、以下の基本的なルールを導入しプログラムを作成した。

3.1.1 ターン

時間の最小単位をターンと呼ぶ。ミジンコの個体は毎ターン、ルールにしたがって移動などの一連の行動を行なう。また、ミジンコの年齢は経過したターン数で数える。

3.1.2 生存環境

ミジンコの生存環境は閉じた二次元空間で考える。生存空間は各座標に対応するセルから構成され、セル単位で管理される。各セルにはミジンコの個体が複数個存在することを許す。

3.1.3 状態

ミジンコの状態は、(i) 成体、あるいは(ii) 卵、のどちらかである。それぞれの状態は次の特長を持っている。

[特長]

- (i) 成体： 移動を行なう。繁殖に有利。
- (ii) 卵： 移動、繁殖が出来ないかわりに寿命が長い。

同じミジンコが状態を成体から卵に変化させることはない。一方、卵は環境の好転により孵化する。

3.1.4 移動

(i) 成体の場合：

二次元座標上を常に移動する。同一セルに留まることはない。移動は直進のみで毎ターン一歩ずつ進み、方向は他の成体との衝突により変化する。

(ii) 卵の場合：

卵は孵化しない限り移動はできない。したがって卵は孵化するまでは生まれたセルに留まる。

3.1.5 寿命

ミジンコは寿命により死ぬ。死亡時に子孫を残すかはその時の状態によって区別される。

(i) 成体の場合：

寿命が来るとルールにしたがって子孫を残して死ぬ。これによりミジンコの集団は増殖する。

(ii) 卵の場合：

孵化することなく寿命を迎えた卵は、子孫を残すことなく死滅する。これはミジンコの集団が個体数を減少させる唯一の手段である。

また、寿命は成体よりも卵の方が長い。

3.1.6 環境の判断

ミジンコは全体の環境や他の個体の個別情報を知ることは出来ない。知ることができるのは、同セル内の成体数の情報のみである。この情報は実際に衝突された回数に相当する。このように、全体の環境を取得することはできないので、各個体は行動の前に同セル内の成体数の情報から環境の判断を行なう。すなわち、卵の数は環境の判断に寄与しない。環境はこの値の累積に閾値を設け、(i) 良好な環境 (ii) 過密な環境の二つに分けられる。

3.1.7 子孫

成体は寿命を迎えると子孫を残して死ぬ。子孫の種類は環境により決まる。(i) 良好な環境では、成体を生み、(ii) 過密な環境では、卵を生む。どちらの場合でも生む子孫の数はある定数 c または 0 で、中間の値は取らない。つまり、子孫を生む場合には、子孫の数を調節できないが、子孫の形態を環境に適合するように変更することはできる。

3.1.8 孵化

卵はある一定期間ミジンコの成体に衝突されなかった場合、環境が生存に適していると判断して孵化する。卵から孵化したものは、卵の状態の間に手に入れた情報は一切廃棄して、新しく生まれた成体と同じ状態となる。

3.2 プログラムの方針

プログラムは先に導入したルールを踏まえ、次の方針で行なった。

1. ミジンコの情報
各ミジンコは ID を持ち、個体の情報は構造体を用いて各々が個別に管理する。従って、ミジンコは他のミジンコの情報や全体の環境を直接知ることは出来ない。(図.1)
2. 生存環境
生存環境は2次元座標上の閉じた界で考える。プログラム中では座標の管理情報として各座標ごとに存在するミジンコの ID を保持する。ミジンコはこの管理情報から、同一座標上の個体数のみを知ることが出来る。
3. 行動の手順
ミジンコの行動は ID の順に個別に行なう。行動は座標の管理情報によって同セルないの個体数を調べた後ルールに従って自立的に決定される。移動を行なったミジンコは関係する座標の管理情報を修正する。
4. 子孫の数と増加数
ルールにより、子孫の数はある数 c または 0 である。従って実際の増加数 r は子孫を c 残すものの比率を a とすると、 $ac = r$ の関係が成り立つように比率 a を決定する。

例

子孫の数： $c = 2$
 比率： $a = 0.6 (= 60\%)$
 増加数： $r = a \times c = 2 \times 0.6 = 1.2$

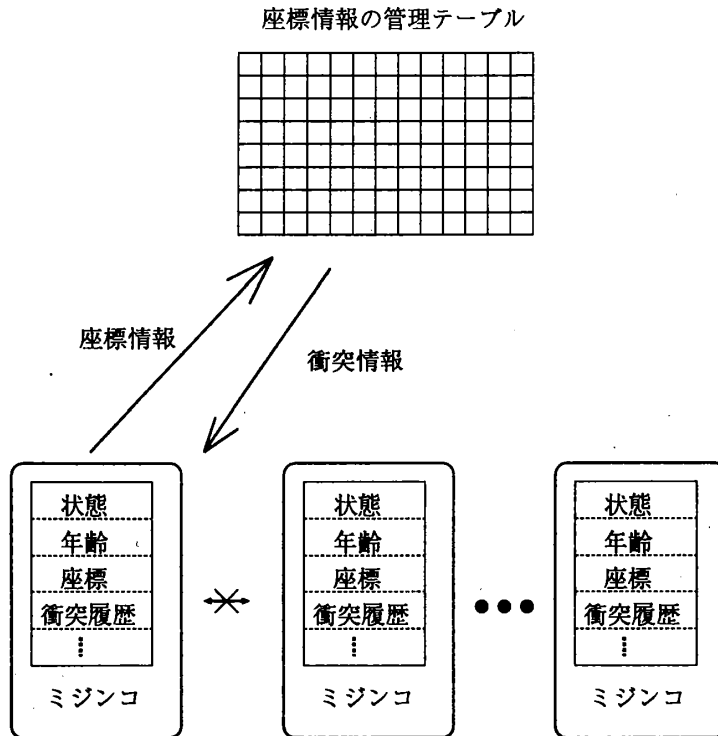


図.1 プログラムの構成

4 実験結果

実験はパラメータを変えて、色々な状況を仮定して行なった。

実験結果の一例として、増加率と平衡状態の関係を図.2に示す。実験は成体と卵の数の合計が10万を越えた場合は打ち切った。

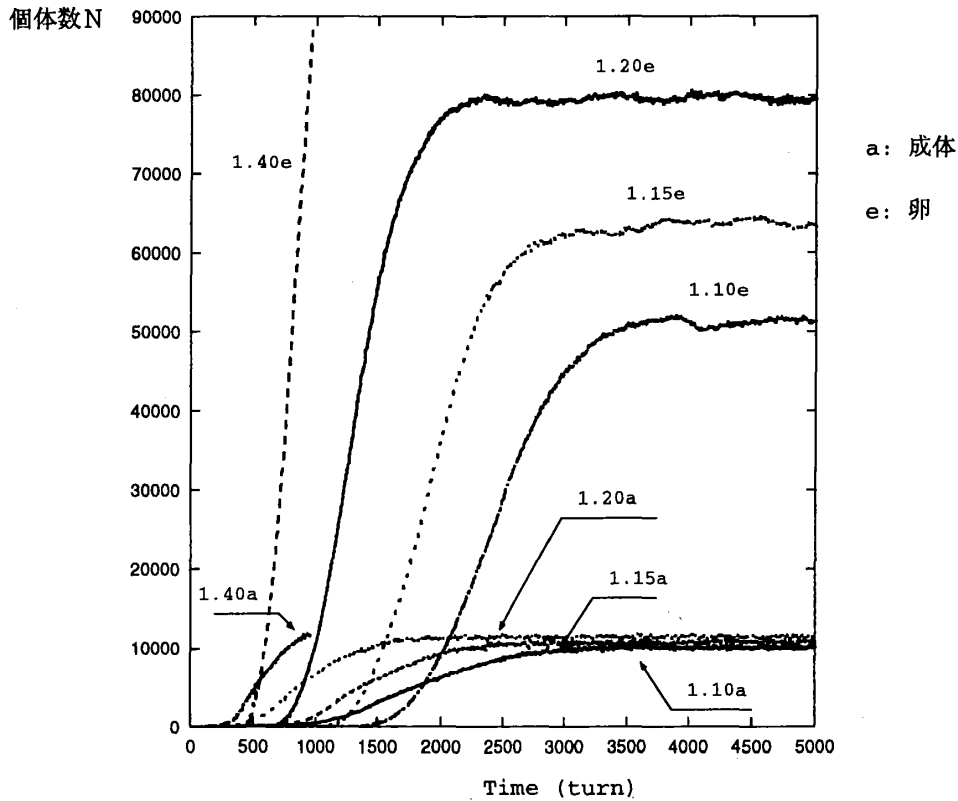


図.2 ミジンコの成体数と卵の数

初期数： 10
 成体の寿命： 25
 卵の寿命： 250
 生む子孫の数： 2 (= c)
 子孫を残す比率： a (%)
 増加率： $r = c \times a / 100$
 孵化の条件： 過去5ターン衝突なし

	増加数	比率 a	環境収容力
1.10a	1.10	55.0%	10,000
1.15a	1.15	57.5%	11,000
1.20a	1.20	60.0%	12,000
1.40a	1.40	70.0%	—

増加率1.40の場合、ミジンコの数急速に増加し合計が10万を越えてしまい平衡状態となることはできなかった。増加率を小さくしていくと、成体の数と卵の数はともにある一定の数で平衡状態となった。成体の数が平衡状態になるのは、個体数が環境の収容能力の限界に近付くと、環境の悪化から子孫の多くが卵の状態で生まれるようになるためである。一方、卵の数は生まれてくる数と孵化および寿命による減少数のバランスにより平衡状態となる。

また、増加率1.10の場合での個体数の平衡状態とロジスティック方程式の関係は図.3に示す。

5 おわりに

今回の実験では、原始生命体の活動を模倣し、各個体が独立に行動している状態で集団全体の数がロジスティック方程式に従って平衡になることが確かめられた。

今後の課題として、このように単純な仕組みの生命体の振る舞いにも、カオスがあらわれる可能性があるので、そのようなパラメータがないか研究を行なう。また、今回のモデルでは、周囲の限られた情報から行動を決定するセルオートマトンのようなモデルを用いてシミュレーションを行なったが、実際のコンピュータワームなどのように各個体がマシン上の一つのプロセスとして動作するモデルも考えている。このモデルでは、各個体はプロセス間通信により、他の多くのプロセスと種々の情報を交換して環境の判断に用いる。プロセス間通信を用いるモデルについては現在プログラムを製作中 [5] [6] であり、このモデルを用いて、単一マシン上あるいは複数マシンを用いて実験と解析を行なう予定である。

参考文献

- [1] J.von Neumann. Theory of automata: Construction, reproduction, homogeneity. *The Theory of Self-Reproducing Automata*,1966,University of Illinois Press
- [2] E.R.Berlekamp,J.H.Conway,and R.K.Guy. *Winning Ways*,vol.2,1982,Academic
- [3] 中村 八束, 不破 泰. コンピュータウイルス,1991, 昭晃堂
- [4] 巖佐 庸. 数理生物学入門,pp.1-pp.12,1990, HBJ 出版
- [5] 佐野 文彦, 櫻井 幸一. 自己増殖機能を持つ原始生命体の計算機上での模倣. 電機関係学会九州支部連合大会,1994
- [6] 佐野 文彦, 櫻井 幸一. ネットワークウイルス Berkeley-Nov.-'88 の自己増殖機能の解析 (執筆中)

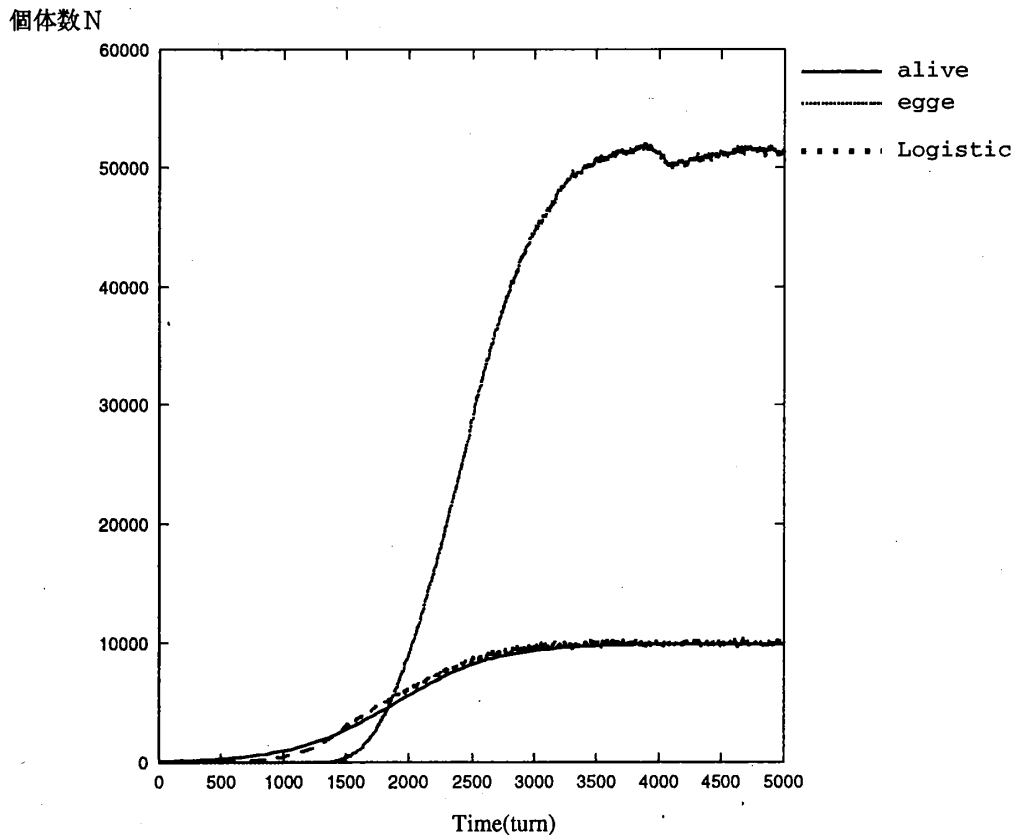


図.3 ミジシコの個体数とロジスティック方程式