

要旨

パルミターの虫はコンピュータレクリエーションゲームとして知られている。パルミターの虫は与えられた環境下で自分自身で進化し、その単純な進化のメカニズムは人工生態系を形成する。本研究は2種類の虫の行動がVolterraの共生モデルで共生できる可能性があることを数値実験によるシミュレーションで調べ、パルミターの虫の行動がVolterraの共生モデルに適応できることを示す。

1. はじめに

近年、人工生命 (Artificial Life) が注目されつつある。人工生命のよく知られた技術としては、遺伝的アルゴリズムや確率的学習オートマトン<sup>(1)</sup>等がある。これらは、ある種の最適化問題等、一般的に解析解を得ることができない問題に対する近似解を求める方法としての側面と、「ありえる生命 (Life-as-it-could-be)」をシミュレートし、生命の本質を探索する側面との二面的な技術分野である。

本研究は、レクリエーション・ゲームとしてパルミター (Michael Palmiter) が考案した「パルミターの虫」<sup>(2)</sup>の性質を調べ、2種類の虫が進化するにつれて、共生しながら捕食の行動を起こすようになることを数値実験を通して報告する。この結果として、ある特定の条件の下で、両者の虫が共に生存できることを示す。

これらの結果から、単純な虫の進化プログラムから安定した餌の供給される環境において、ボルテラの共生モデルに従う閉じた人工の世界の生態を作成できることを示すことができる。

2. パルミターの虫のオートマトンによる記述

虫1匹を1個のオートマトン $A_i$ とみなすと、虫全体の集合は集団オートマトンとして

$$A = \{A_i : i=1, 2, \dots, N_{all}\} \quad (1)$$

と書ける。個々のオートマトンは、

$$A_i = \{I_i, O_i, S_i, f_i, g_i\} \quad (2)$$

と5項組で記述できる。ここで、

$I_i$  : 入力  $O_i$  : 出力

$S_i$  : パルミターの虫の状態  $f_i$  : 遷移関数

$g_i$  : 出力関数

である。これらは以下のように記述される。

2. 1 入力

パルミターの虫が海底に死滅したバクテリアに出会い、それを採取したがどうかの可否を入力とし、1/0で表す。すなわち、

$$I_i = \{1, 0\} \quad (3)$$

2. 2 出力

出力は、パルミターの虫の行動とする。この行動を $O_{i,j}$ とすると

$$O_i = \{O_{i,j} : j=1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

2. 3 状態

パルミターの虫の状態を

$$S_i = \{S_{i,k} : k=1, 2, \dots, K\} \quad (5)$$

で表す。各状態 $S_{i,k}$ は、行動パターン $a_{i,k,u}$ で表され、

$$S_{i,k} = \{a_{i,k,u} : u=1, 2, \dots, U\} \quad (6)$$

と置く。行動パターンには、虫がこれまでに持つエネルギー量とバクテリアの捕食から得たエネルギー量との和 $E_i$ によって発現するものと、しないものがあるとする。

2. 4 状態の遷移

状態 $S_{i,k}$ から $S_{i,j}$ への遷移関数は、

$$f_i : S_{i,k} \times I_i \times E_i \rightarrow S_{i,j} \quad f_{i,u} : a_{i,k,u} \times I_i \times E_i \rightarrow a_{i,j,u} \quad (7)$$

と定義し、

$$f = \{f_i : i=1, 2, \dots, N_{all}\} \quad f_{i,u} = \{f_{i,u} : u=1, 2, \dots, U\} \quad (8)$$

とする。

2. 5 出力関数

出力は、状態 $S_{i,k}$ によって決まる。これは、

$$g_i : S_{i,k} \rightarrow O_{i,j} \quad g = \{g_i : i=1, 2, \dots, N_{all}\} \quad (9)$$

と書ける。パルミターの虫では

$$g_i = \{g_{i,u} : u=1, 2, \dots, U\} \quad (10)$$

$$g_{i,u} = 1 : a_{i,k,u} = 1, = 0 : a_{i,k,u} = 0 \quad (11)$$

を使用する。

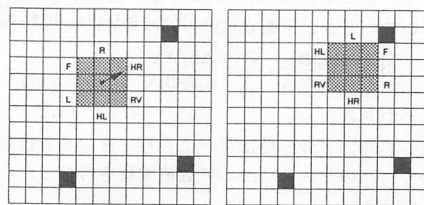


Fig. 1 Palmiter's bugs and those feed.

## 2. 6 増殖及び死滅

パルミターの虫では、これまでに述べた単体オートマトンの定義に加えて、集団オートマトンに対してオートマトンの行動も規定している。すなわち、

$$A = \{E, A, F\} \quad (12)$$

で記述される。ここで、Eは入力としエネルギーを表す。また、Fは生物に見られる増殖分裂および死滅を行なう遷移関数である。

増殖および死滅に関しては、

$$F: A_i \times E_i \rightarrow A_j \quad (13)$$

と書かれる。具体的には、

$$F(A_i, E_i) = \begin{cases} \text{NULL} & E_i \leq 0 \\ A_j & 0 < E_i \leq E_{\max} \\ \text{NULL} & E_i > E_{\text{Threshold}} \end{cases}$$

$$A_j = F(A_i, E) \quad (14)$$

ここで、NULLはオートマトン $A_i$ が消滅することを意味し、 $A_j$ は新しいオートマトンが誕生することを意味する。

## 3. ボルテラの共生モデル上でのパルミターの虫

ボルテラの共生モデルは、閉じた環境における餌食-補食生物群の生態系を示す。今、補食生物の個体数をそれぞれ $N_1$ 、 $N_2$ で表し、ボルテラの共生モデルでこれらの関係を表すと、

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = \{e_1 - r_1(aN_1 + bN_2)\} N_1, \quad \frac{\partial N_2}{\partial t} = \{e_2 - r_2(aN_1 + bN_2)\} N_2 \quad (15)$$

となる。ここで、 $e_1, e_2$ は第1、第2の虫の成長係数とする。ここで、食料が制限されていれば食物消費率は個体数が増加するにつれて減少するので、第一近似として第1種及び第2種の虫に対する比例乗数を $a, b$ とする。 $r_1, r_2$ は係数である。このモデルでは $r_2/e_2 > r_1/e_1$ の条件で第2種の生物は絶滅する。但し、2つの種の食物成分構成が異なる場合、式(15)の右辺の係数 $a, b$ は両者で等しくはならず、

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = \{e_1 - A_1 N_1 - B_1 N_2\} N_1, \quad \frac{\partial N_2}{\partial t} = \{e_2 - A_2 N_1 - B_2 N_2\} N_2$$

$$A_1 = r_1 a, B_1 = r_1 b, A_2 = r_2 a, B_2 = r_2 b \quad (16)$$

となる。ここで、 $A_1 A_2, B_1 B_2$ が等しい比例乗数で比例していないとき、平衡点は $(0, 0), (0, e_2/B_2), (e_1/A_1, 0), (\tilde{N}_1, \tilde{N}_2)$

$$\tilde{N}_1 = \frac{B_2 e_1 - B_1 e_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2}, \quad \tilde{N}_2 = \frac{A_1 e_1 - A_2 e_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} \quad (17)$$

の4つである。

最後の場合、2つの種は互いに共存できる可能性があるので、このケースについて数値実験を行なった。

## 4. 数値実験

パルミターの虫を2種類作成した。その性能の差として以下のようにした。すなわち、2種類目の虫の餌

食の捕食のチャンスをも種類目の虫の3倍にし、2種類目の虫のエネルギーの利用効率を1種類目の虫の1/3とした。

Fig.2に示す実験結果を、式(16)の最小二乗法を用いて、係数を求めた。係数はそれぞれ

$$e_1 = 0.000150, A_1 = 0.000772, B_1 = 2.03e-6,$$

$$e_2 = 0.000273, A_2 = 0.000367, B_2 = 4.22e-6$$

である。

## 5. おわりに

ボルテラの共生モデル方程式を持つ平衡点を、パルミターの虫を実験的に生成することにより、求められた。

## 参考文献

- (1) K.S.Narendra他；Learning Automata an Introduction, Prentice Hall(1989)
- (2) レクリエショナルゲーム；A.K.デュードニー；コンピュータレクレーション、サイエンス(1989, 7)

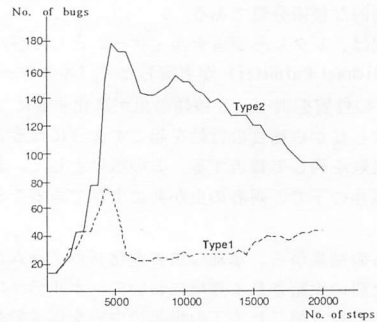


Fig.2 Transition of numbers of bugs.

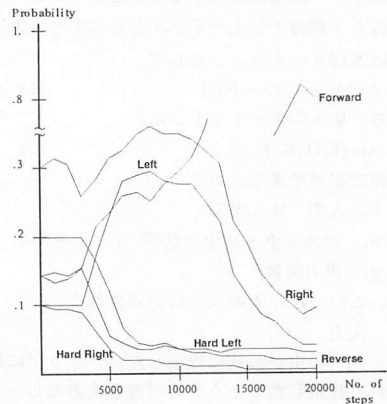


Fig.3 Convergence of action probabilities.