

# 直線振動運動する模擬動物を用いた 遺伝的アルゴリズムによる図形の特徴抽出

河内 義広\*・三池 秀敏\*\*・古賀 和利\*\*\*・横山 悦郎\*\*

## Feature Extraction from Simple Patterns by Utilizing a Genetic Algorithm of Artificial Animal (AAA-2) Having One-dimensional Oscillatory Motion

Yoshihiro KAWAUCHI, Hidetoshi MIIKE, Kazutoshi KOGA, Etsuro YOKOYAMA

### Abstract

This paper presents a new approach for feature extraction of a simple pattern utilizing a genetic algorithm. In the algorithm, we assume artificial animals(AA-2) having one-dimensional oscillatory motion. The animals are moving around in an artificial world where the foods of the animals are distributed in a shape of a spatial pattern. Each animal has motion parameters of direction of motion(DM) and amplitude of oscillation(AO) as their own genes. When they meet together in a certain condition new generations are produced by mutation and intersection of genes. Darwin's rules of selection and adaptation bring an evolution of the artificial animals. After adaptation in, the genes of survived animals represent features of the spatial pattern. Features such as directions and characteristic size of the pattern can be extracted by analyzing the type of survived genes.

### 1. まえがき

近年、最適化問題の手法の一つである遺伝的アルゴリズム<sup>(1)</sup>(Genetic Algorithm, 以下GAと略す)が様々な分野で応用されている。例えば、メカトロニクス<sup>(2)</sup>、工業設計<sup>(3)</sup>、画像のパターン認識<sup>(4),(5)</sup>等に应用されている。また、他の研究との統合も試みられており、例えば、ニューラルネットワークの構造学習<sup>(6)</sup>、遺伝的要素を用いたアニーリング法<sup>(7),(8)</sup>などがある。こうしたGAの基本原理は、ダーウィンのようなシステムの進化、すなわち淘汰、交叉、突然変異による集団の環境に対する適応度の向上であり、局所解からの脱出の1手法とし

て位置付けられている。

これまで、画像の直線抽出<sup>(4)</sup>や図形のパターンマッチング<sup>(5)</sup>に用いられてきたGAにおいては、解集団として作成された模擬生物は探索領域を移動することなく、その生物の周りの環境と解の適応度に対して淘汰、増殖が行われている。我々はこうしたアプローチとは異なり、探索領域内を移動する模擬動物(Artificial Animal;AA)を想定し、その模擬動物の活動を通して解を探索する手法を提案する。このアプローチに類似したものとして、A.K.Dewdneyのシミュレーション<sup>(9)</sup>を発展させたBUGS<sup>(10)</sup>がある。BUGSは模擬世界を運動する虫の運動形態が、環境に応じて適応、変化していくことを示す生態シミュレーションともいえる。本論文では実際に、模擬世界中を運動する模擬動物を想定したアルゴリズムを、画像の特徴抽出に応用することを試みる。これまでに我々は、直線運動や円運動をする模擬動物(AA-1)を用いて、模擬世界中での淘汰と適

\*大学院電気電子工学専攻

\*\*電気電子工学科

\*\*\*知能情報システム工学科

応が餌環境によって変化すること<sup>(11)</sup>や、簡単な図形の特徴抽出のシミュレーションを行ってきた。本論文では、直線的に周期振動する模擬動物が餌のある領域を探索し、そのことを通して餌の分布として与えられた図形の特徴抽出を実現する遺伝的アルゴリズム(Algorithm of Artificial Animal 2;AAA-2)を提案する。いくつかの典型的な図形を用いたシミュレーションを通してアルゴリズムの有効性を示す。

## 2. シミュレーションの概要

我々は、コンピュータ内に2次元の模擬世界を想定し、その中で活動する模擬動物と、図形として与えた特殊な餌分布の表現を用いる。模擬動物にその運動に関する遺伝情報を持たせることによって模擬世界内に描かれた図形(餌の分布パターン)の特徴抽出を試みる。ここで、シミュレーションにおける離散的な時間の単位として[turn]を用いる。1[turn]で全ての模擬動物はその生命値(Value of Life;VL)を消費しながら一步移動し、移動後の条件によって、餌を食べたり(VLの増加)、生殖等の活動を行う。以下にシミュレーションの概要を述べる。

### 2.1 模擬世界の設定

模擬世界は128 [pixel]×128 [pixel]の2次元画像とし、角度を極座標形式で図1のように定義した。この模擬世界内に模擬動物の活動源となる餌(植物)を×や□や○といった簡単な図形上に蒔き、特殊な餌分布の環境を設定した。餌は1[turn]毎にn個ずつ、図形上の任意の位置(乱数で決定)に蒔くものとした。今回のシミュレーションではn=15と設定した。なお、餌を図形上にびっしりと一様にまかなかつた理由は、今回のシミュレーションの設定上模擬動物を仮定しており、図形上で生き残る動物のその直線運動の振幅と方向により図形の特徴を抽出することが目的であったことによる。すなわち、図形上にびっしりと餌がまかれた場合、この環境で生き残ることが可能な模擬動物の遺伝情報の分布が広がりすぎることやコンピュータのメモリの制限で模擬動物の数が多くなりすぎることを防ぐためである。

### 2.2 模擬動物(AA)の設定

模擬世界内で運動する模擬動物はそれぞれ生命値VLを持っており、自分の座標に餌があるとその餌を食べることができる。餌を一つ食べることで模擬動物はその生命値VLを $\alpha$  [energy]増加することができる。

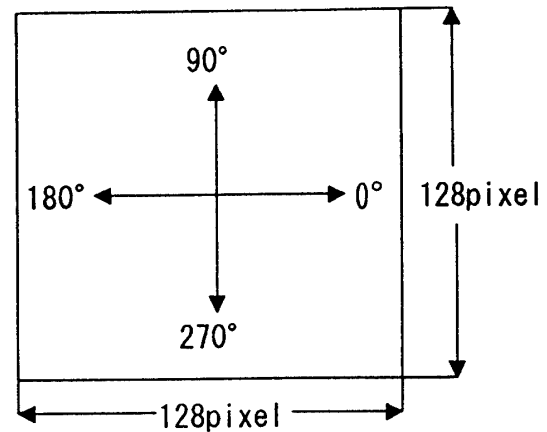


Fig.1 Definition of the angle in the artificial world

また、模擬動物は一步動く毎に生命値を $\beta$  [energy]消費していき一つ年(Age)をとる。今回のシミュレーションでは $\alpha=100$ ,  $\beta=3$ とした。生命値が0、あるいは寿命(Length of Life;LL)が尽きた模擬動物(Age=LLの場合)は死んでしまう。寿命はその模擬動物が誕生したときにある値の範囲で決定されるものとする。

模擬動物の運動は直線振動運動するものとして、その運動に必要な情報は遺伝子で決定される。動きを決定する遺伝子には、模擬世界に対する模擬動物の運動方向(Direction of Motion;DM)と振動振幅(Amplitude of Oscillation;AO)が記述されており、運動初期点より遺伝子情報に従って運動する。

模擬動物は誕生してから、あるいは一度生殖活動を行った後、ある一定turn数(Recovery Turn;RT)活動した後、生命値があるしきい値(Threshold Value;TV)を越えている場合に生殖が可能となる。生殖条件を満たす2匹の模擬動物が同じ座標上に来ると生殖が行われる。この際、2匹の親となる模擬動物が2匹の子供を生み(個体数は倍増する)、子供の遺伝子は親の遺伝子間の交叉と突然変異によって決定される。この際、全生命値VLは保存されるものとしている。なお、模擬動物は死ぬまで、同じ場所で振動運動を行うのではなく、一振動周期毎にその周期での餌の取得率を計算し、取得率が $\gamma$ 以下のときは、任意のターン数の間、2次元ブラウン運動的な運動をあわせて行わせるものとした。今回のシミュレーションでは $\gamma=10\%$ とした。表1に用いた遺伝子及び各種調整パラメータとその記号をまとめている。

Table-1 Length of Genes and Parameters

Gene of direction of motion	: DM	8 [bit]
Gene of amplitude of oscillation	: AO	7 [bit]
Initial number of AA	: $N_0$	700
Initial value of life	: $VL_0$	1000 [energy]
Recovery turn	: RT	300~1800 [turn]
TV for reproduction	: TV	1200~5700 [energy]
Length of life	: LL	3000~7500 [turn]

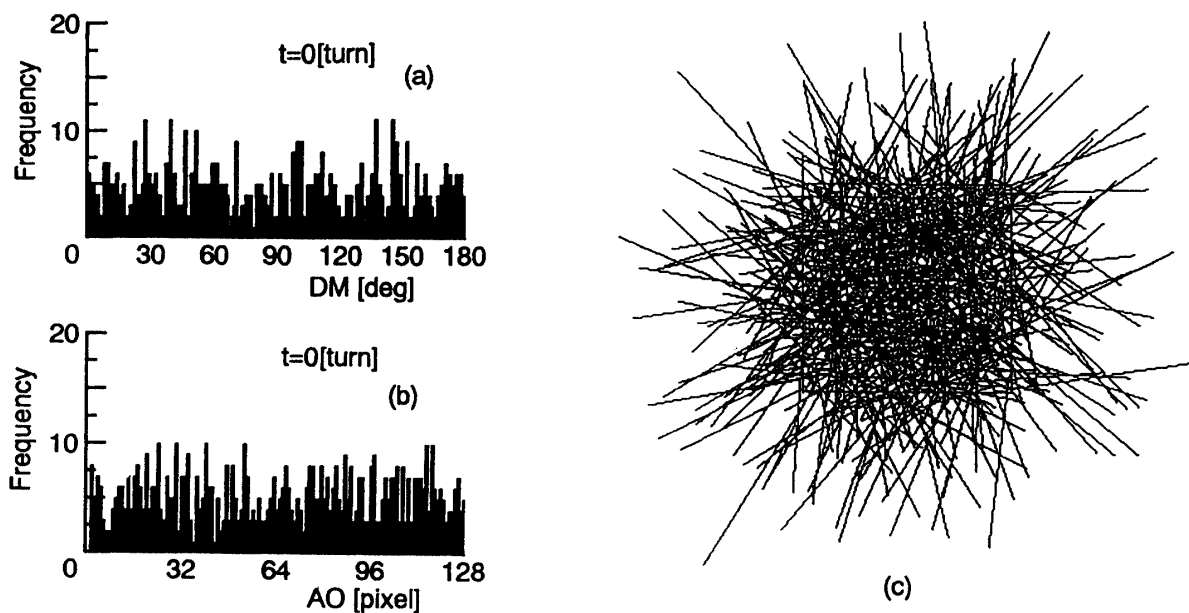


Fig.2 Initial distribution of gene data.

- (a) Frequency distribution of gene representing direction of motion (DM)  
 (b) Frequency distribution of gene representing amplitude of oscillation (AO)  
 (c) Motion loci of the artificial animals (respective line represents a locus of one oscillation)

### 3. シミュレーション結果

模擬動物の運動方向 (DM) 遺伝子と振動振幅 (AO) 遺伝子の初期分布を図2に示すように与え (ほぼ一様に分布), 凶形上に各餌 (植物) の分布する環境において, 淘汰と適応のシミュレーションを各々 100,000 [turns] 行った. 運動方向の遺伝子の分布図は, 模擬動物の運動を直線振動に制限しているので, 位相が  $180^\circ$  違ってても運動方向は等しいと見なせることから,  $180^\circ \sim 360^\circ$  までを  $0^\circ \sim 180^\circ$  に加えて,  $0^\circ \sim 180^\circ$

までで表現している. 今回, 凶形として与えた各餌分布環境は  $\times$ ,  $\square$ ,  $\circ$  の形で, 各凶形に対して大小 2 種類の計 6 種類 (表2参照) のパターンについてシミュレーションを行った.

結果の一例を図3に示す. これは餌を  $\times$  (最大長 180 [pixel]) の形に蒔いたときの模擬動物の個体数の時間 (turn 数) 変化と, シミュレーション終了時における模擬動物の遺伝情報より求めた, 模擬動物の運動方向 DM と振動振幅 AO の頻度分布を表したものである. 表1に示すように個体数の初期値  $N_0$  は 700 とした. シミュレーション開始時 (図2参照) は, 模擬動物の

Table-2 Mean length of AO after 100,000 [turn] and Characteristic length of the patterns

Patterns	Detected mean length of AO (pixel)	Characteristic length of the patterns (pixel)
× (large)	52.47	180 (maximum length)
× (small)	30.06	124 (maximum length)
□ (large)	36.00	108 (length of the side)
□ (small)	24.24	48 (length of the side)
○ (large)	24.71	55 (radius)
○ (small)	17.13	25 (radius)

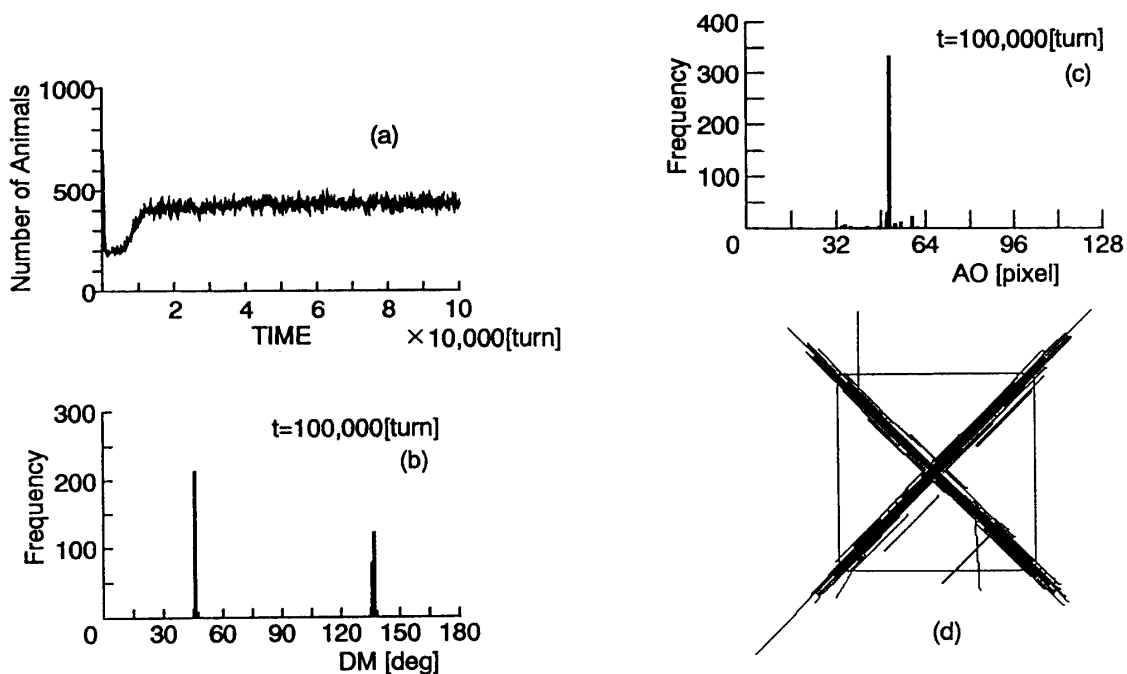


Fig.3 Results of simulation after 100,000 [turn] in a food environment of cross pattern ×  
 (a) Temporal trace of the number of artificial animals  
 (b) Frequency distribution of DM  
 (c) Frequency distribution of AO  
 (d) Motion loci of the artificial animals (respective line represents a locus of one oscillation)

遺伝情報を乱数で決定しているため、運動方向、振動振幅ともほぼ一様に分布している。シミュレーション終了後(100,000 [turns] 後)、運動方向 DM は模擬世界内に描かれた図形の特徴を良く再現し、45°と135°方向に分布が集中している。振動振幅 AO については、図形を構成している直線の特徴的長さ(最大長180 [pixel])の約1/4~1/2の範囲の特定の長さに収束する傾向が強い。すなわち、特定の振幅に収束して

るのが特徴である。

また、模擬動物の遺伝子情報のうち、横軸に運動方向(DM)遺伝子、縦軸に振動振幅(AO)遺伝子により、遺伝子の2次元分布の時間変化の様子を図4に示す。これより、運動方向DMについては10,000[turns]付近で、振動振幅AOについても30,000[turns]付近でほぼ収束していると判定できる。

この状況は餌を蒔く形を□(一辺108 [pixel]の正方

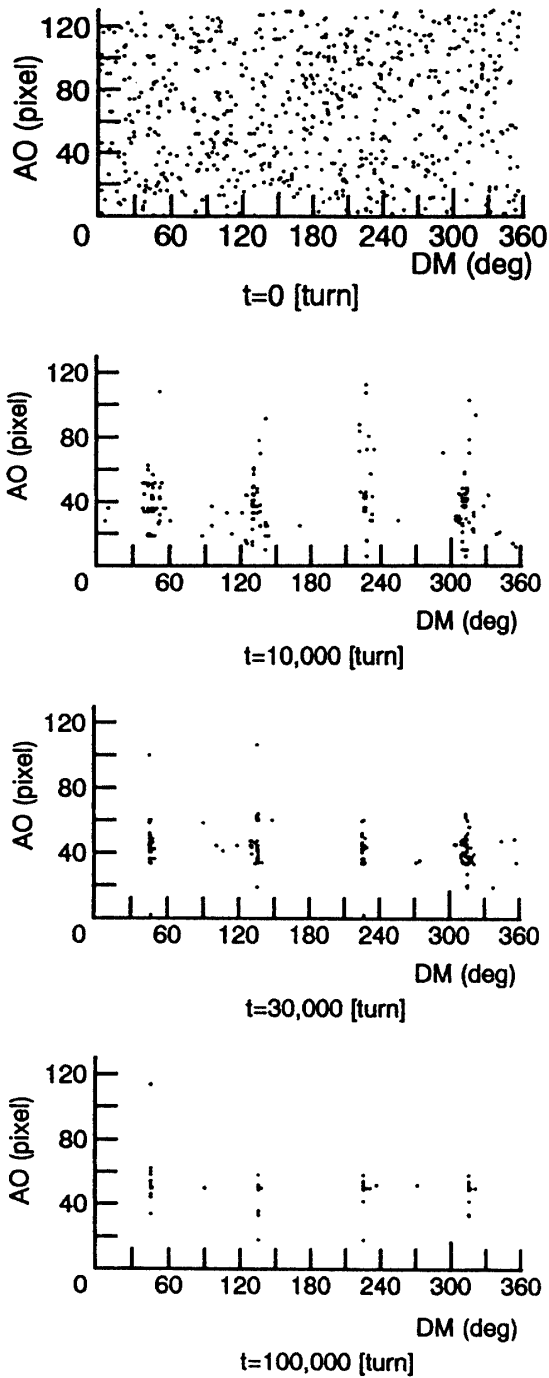


Fig.4 Temporal development of a correlation map between AO and DM in the food environment of cross pattern ×

形)にしたときも同様で、最終状態での運動方向 DM の分布は図形の特徴的角(0°, 90°, 180°)とほぼ一致しており、各シミュレーションでの収束する振動振幅 AO は、やはり図形の特徴的長さ(最大長100 [pixel])の約1/4~1/2の範囲となった。

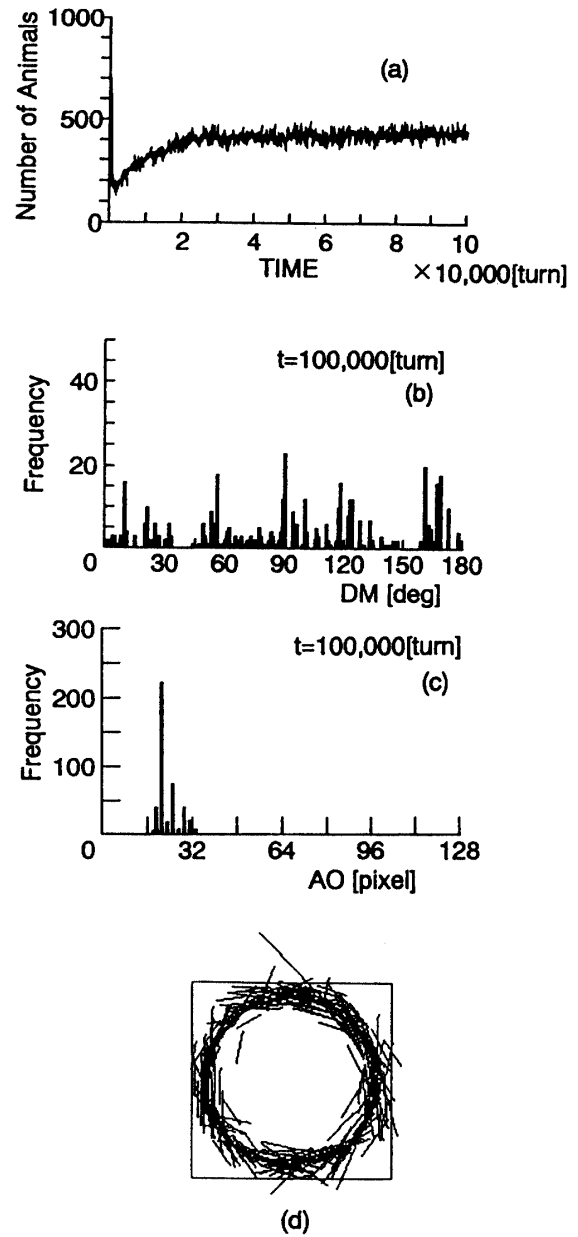


Fig.5 Results of simulation after 100,000 [turn] in a food environment of circular pattern ○

- (a) Temporal trace of the number of artificial animals
- (b) Frequency distribution of DM
- (c) Frequency distribution of AO
- (d) Motion loci of the artificial animals (respective line represents a locus of one oscillation)

一方、餌を○(半径55 [pixel])の形に蒔いたときの結果を図5に示す。○の形の際は、模擬動物の運動が

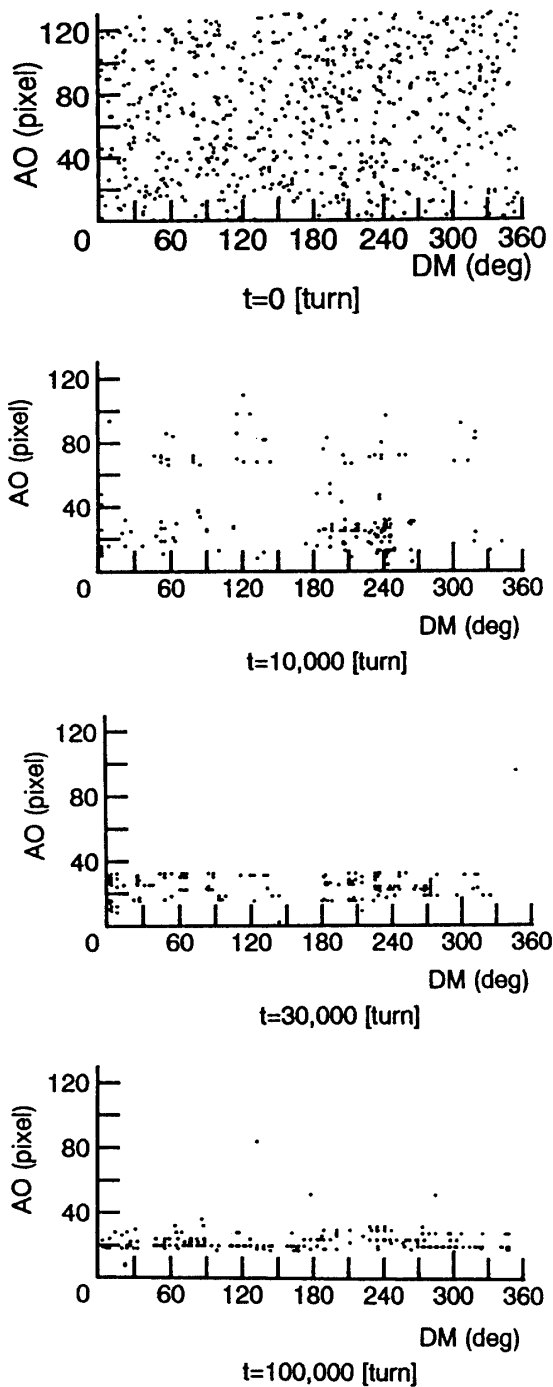
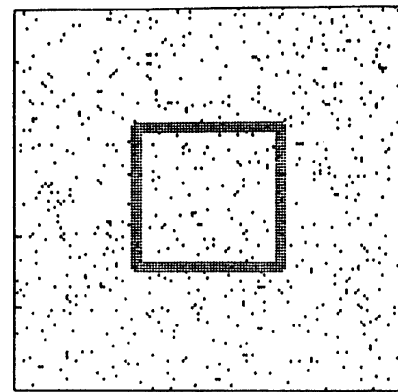
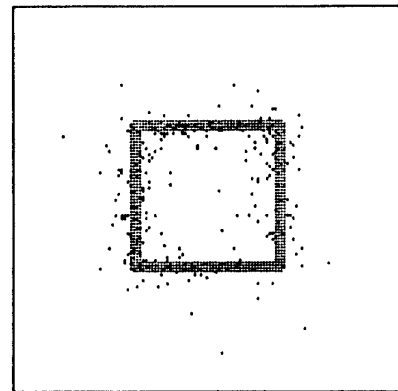


fig.6 Temporal development of a correlation map between AO and DM in the food environment of circular pattern ○

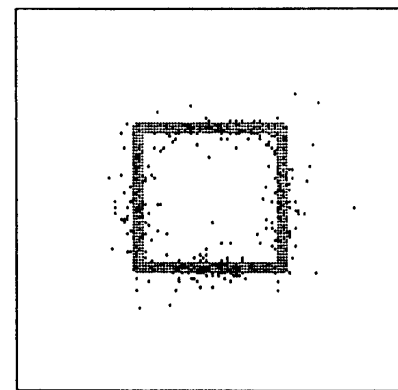
直線振動のみに規制されていることから、運動方向DMはある特定の角度に収束することなく、ほぼ一様に分布する妥当な結果を与えている。各模擬動物の振動振幅AOがあまり大きいと餌の取得率が悪くなり、あまり小さいとその周囲での餌がすぐ無くなり死滅してし



t=0 [turn]



t=10,000 [turn]



t=99,000 [turn]

Fig.7 Distribution of artificial animals(•) in the artificial food environment of square pattern □

まうためと考えられることから、適当な長さに収束するものと思われる。すなわち、円を適当な長さの直線で近似する形となり、その方向はほぼ一様に分布し、

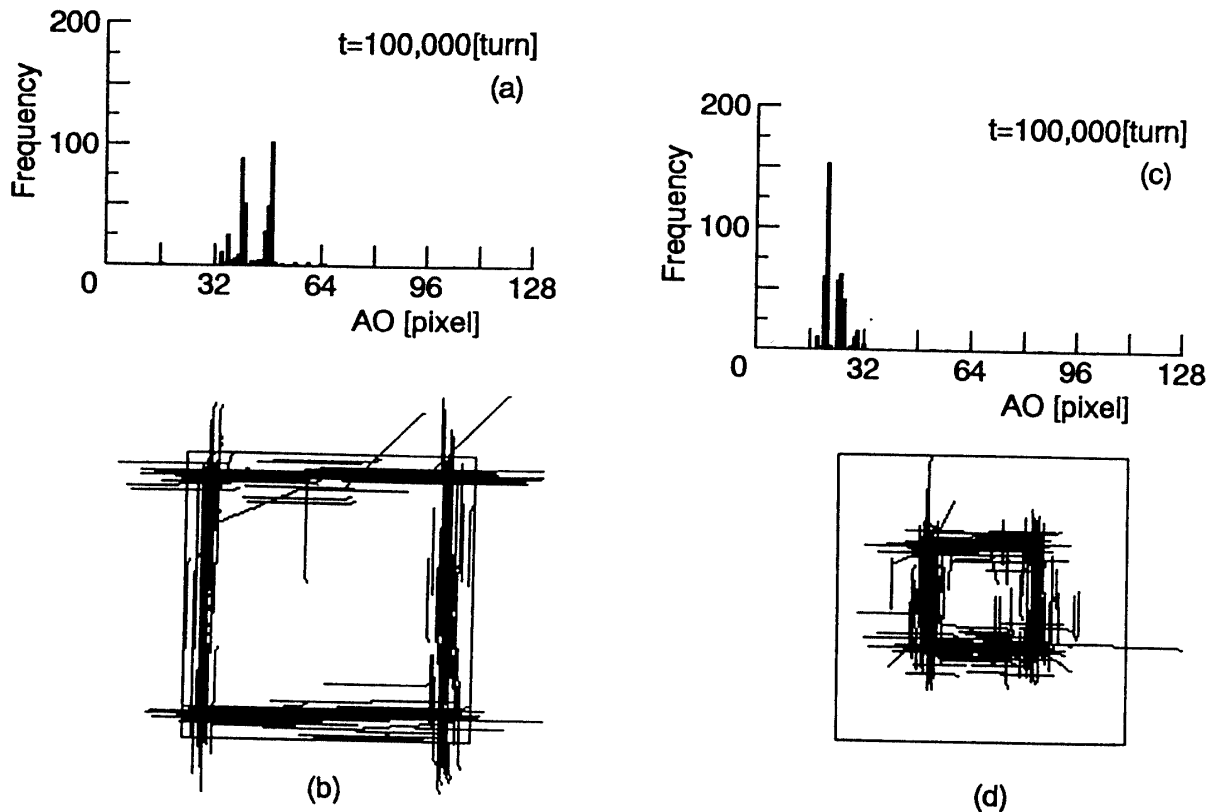


Fig.8 Comparison of frequency distribution of AO between similar square pattern □  
 (a)Frequency distribution of AO in larger patternof □  
 (b)Motion loci of the artificial animals (respective line represents a locus of one oscillation)  
 (a)Frequency distribution of AO in smaller pattern of □  
 (b)Motion loci of the artificial animals (respective line represents a locus of one oscillation)

逆に振幅はある一定の長さ (約20 [pixel]) に集中している。また、図6に餌を○の形に蒔いたときの運動方向 (DM) 遺伝子と振動振幅 (AO) 遺伝子の2次元分布の収束の時間変化を示す。図6より、振動振幅 AO については、餌を×の形に蒔いたときと同様に30,000 [turns] 付近で、ほぼ収束していると判定できる。運動方向 DM については、ある一定値に収束することなく100,000 [turns] まで経過しているのが判る。

次に同じ形の図形を用い、大きさの異なる餌分布を持つ環境でのシミュレーションを行った。図7は一例として、シミュレーション開始時(t=0[turn])、シミュレーション途中(t=10,000[turns])及び、シミュレーション終了直前(t=99,000[turns])のシミュレーション画面を示している。この図から、シミュレーション開始時には、模擬動物は模擬世界内に一様に分布しているが、時間が経つにつれ、図形パターン上に収束していくのが確認できる。

運動方向 DM に関しては、前のシミュレーション同様に、餌を×や□に蒔いたときは与えた図形の角度と良く一致した運動方向 (DM) 遺伝子の分布を得た (t=100,000 [turns] 時)。また、○の時の運動方向 DM はほぼ一様に分布し、先の結果と矛盾しない。

振動振幅 AO は、この場合も図形を構成する直線の特徴的長さ (最大長) の約1/4~1/2の範囲に収束している。シミュレーション結果の一例を、図形□の場合について図8に示す。この場合、与えた図形の特徴的長さ (1辺の長さ) は、各々108及び48 [pixel] である。与えた図形の違いを反映して、シミュレーション終了後の AO の平均値は、それぞれ36.0及び24.7 [pixel] に収束している。

以上より、各図形に対してシミュレーション終了後の運動方向遺伝子 DM の分布と振動振幅遺伝子 AO の分布の平均値を表2にまとめて示す。模擬動物の2つの遺伝子 (DM と AO) の分布により図形の特徴 (線

分の持つ角度や長さの情報)を抽出できていることが判る。

#### 4. 考 察

前章で行ったシミュレーションから、模擬世界内を運動する模擬動物(AA)を用いることによって簡単な凶形の特徴抽出を行い得ることを確認した。

これまで、我々は単純な直線運動と円運動する模擬動物(AA-1)を用いて凶形の特徴抽出を行ってきた<sup>(1)</sup>。従来のシミュレーションにおいては、運動方向は模擬動物の活動に伴って変化するので、遺伝情報として持たせてなかった。そのシミュレーション結果は、最終状態での模擬動物の持つ運動方向のピーク位置が、凶形の特徴的な方向と一致していたが、ピーク位置周辺でのばらつきがかなり大きかった。今回我々の行ったシミュレーションでは、直線振動運動する模擬動物(AA-2)を考え、振動方向を遺伝情報として持たせ、淘汰、適応による進化を行わせた。その結果、凶形の持つ方向性の特徴をより明確に抽出できた。また、AA-1を用いたアルゴリズムにおいては、直線運動あるいは円運動のいずれかしか実現できないことから、凶形の大きさに関する特徴抽出が行えなかった。今回、この点を改善するために、模擬動物(AA-2)の運動を直線振動運動とし、その運動方向 DM 及び振動振幅 AO を遺伝情報として持たせることによって、凶形のサイズに関する情報の抽出が可能となった。シミュレーション結果(表2参照)より、凶形の絶対サイズそのものの特徴抽出は未だ不十分であるが、同じ形状の凶形の相対的な大きさの違いは十分判定できる結果が得られている。この傾向は、振動振幅の平均値は多少ばらつくものの、数回のシミュレーションを繰り返して行っても同様の結果が得られ、その再現性が確認された。

#### 5. むすび

本論文では、遺伝的アルゴリズムを2次元画像内の凶形の特徴抽出に応用するために、振動運動パラメータを遺伝子データとして持つ模擬動物(AA-2)を用いて、模擬世界内での模擬動物の淘汰と適応のシミュレーションを行った。これによって得られたことを以下簡条書きに示す。

- 1) 凶形の持つ特徴的な方向の抽出が、淘汰後の模擬動物の運動方向遺伝子 DM の分布より良好に行えることが確認できた。
- 2) 凶形の絶対サイズの特徴抽出は未だ不十分である

が、凶形の相対的な大きさを振動振幅遺伝子 AO の分布によって評価することができた。

今後の課題として、凶形の絶対サイズの特徴抽出が安定に行えるように、模擬世界の環境の工夫や、各パラメータの調整が必要であると思われる。また、より複雑な凶形の特徴抽出を実現するために、模擬動物の運動を直線振動運動のみに限定することなく円状、楕円状及び多角形状等に周期運動するシミュレーションの開発を目指している。

#### 謝 辞

本研究のスタートにあたり、模擬動物を用いた遺伝的アルゴリズム(AAA-1)の開発に助力頂いた多田伸行氏(現三菱電機)をはじめ、議論に参加頂いた当研究室の諸氏に謝意を表します。

#### 文 献

- 1) John H.Holland: "Genetic Algorithms", SCIENTIFIC AMERICAN, July (1992)
- 2) 市川芳明: "GA のメカトロニクスへの応用", 数理科学, No.353. pp5-7. (1992)
- 3) 杉本博之: "GA の工業設計への応用にむけてトラス構造物の離散的最適設計を例として", 数理科学, No.353. pp45-50. (1992)
- 4) 長尾智晴, 安居院猛, 長橋宏: "遺伝的アルゴリズムを用いた直線抽出", 電子情報通信学会論文誌 D-2, Vol.J75-D-2, pp.832-834. (1992)
- 5) 長尾智晴, 安居院猛, 長橋宏: "遺伝的手法を用いた2値凶形のパターンマッチング", 電子情報通信学会論文誌 D-2, Vol.J76-D-2, pp.557-565. (1993)
- 6) 河内正浩, 稲吉宏明, 星野力: "二倍体遺伝と地理的隔離モデルを用いた遺伝的アルゴリズムによるニューラルネット構造の最適化", 人工知能学会誌, Vol.7, No.3, (1992)
- 7) 小坪成一, 須貝康雄, 平田廣則: "遺伝的状態生成処理を取入れた改良型アニーリング法によるフロアプラン", 電学論 C, 112巻, 7号, (1992)
- 8) 小坪成一, 須貝康雄, 平田廣則: "遺伝的要素を取入れた改良型アニーリング法によるブロック配置手法", 電子情報通信学会誌 A, Vol.J73-A, No.1, pp.87-94. (1990)
- 9) Dewdney, A.K: "Computer recreations, simulated evolution, wherein bugs learn to hunt bacte-



- ria”, Scientific American, pp.104-107 (May 1989).
- 10) 伊庭斉志, 佐藤泰介: ”遺伝アルゴリズムを拡張した虫型探索システム: BUGS”, 人工知能学会志, Vol.8, No.6, (1993)
- 11) 多田伸行, 河内義広, 三池秀敏: ”パターン認識のための遺伝アルゴリズムの検討—模擬生物の淘汰と適応—”, 電気・情報関連学会中国支部第43回連合大会講演論文集, p.343-344. (1992)  
(平成6年10月13日受理)