

# GA,NNによる生物の造形行動の 進化シミュレーション\*

1 T-2

川守田 和男†  
アステック

平賀 譲†  
図書館情報大学

## 1 はじめに

クモの巣やハチの巣に見られるように、生物は様々な複雑な構造物を構築する。これらの生物は高度な知能を持っているわけではないので、造形行動は生得的な、単純な規則に基づいて行われていること、またその能力は進化によって獲得されたもので、現在の精巧な形態に完成されるまでには自然淘汰により徐々に改良・洗練されてきたことが考えられる。

本研究では、生物による造形行動のシミュレーションを行う。題材としては、クモの巣（円網：普通に見られる円形の巣）を取り上げる。個体による巣作りの行動はニューラルネットワークによって制御され、そのニューラルネットワークは遺伝的アルゴリズムによって進化させる [1][4]。

このようなニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを融合した枠組みによって、実際のものに近いクモの巣を実現するとともに、それに必要な知覚・行動能力とその獲得過程の解明をめざす。

## 2 研究の概要

シミュレーションでは現実のクモの世界をかなり単純化したものを扱う。

クモの行動する世界は、デジタルに離散化された平面のうち、周囲に「枠」がある範囲に限定される。クモは平面のマスの上を移動し、枠またはすでに張った糸上の点（基点）に達すると、前の基点との間に直線状に糸が張られる。

クモの行動は3層のニューラルネットワークで制御される。ネットワークへの入力局所的な知覚（視覚）情報であり、出力は移動の方向と大きさである（図1）。

ニューラルネットワークの結合荷重は遺伝的アルゴリズムの遺伝子として扱われる。クモの集団は初期的にはランダムに生成し、選択・交差によって進化させる。この進化により、知覚パターンと移動のマッピングが変化していく。個体の評価には作成される巣の「有効性」を用いる。これは現在のところ、作成された巣にどれだけ虫がかかるかで評価する。したがって目標となる巣が具体的に与えられるわけではない。

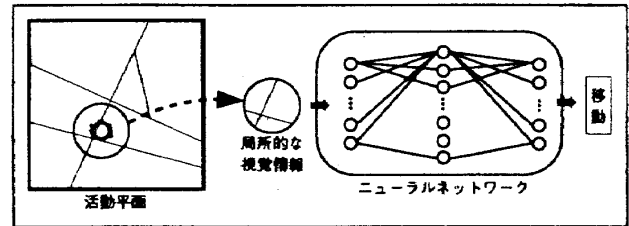


図1 移動先の決定

## 3 実験

知覚方法のパターンを4種類設定し実験を行った。それぞれで、クモは知覚された情報をもとに、前後左右のどの方向へ移動するかを決定する。実験1,2ではクモの向きは直前の移動方向、実験3,4では常に平面の中心を向いている。したがって、実験3,4ではクモが横に動く円周上の軌道を描くことになる。また、実験3,4ではY字型の縦糸（放射状の糸）があらかじめ与えられている。平面の大きさは99×99である。各実験の知覚情報は以下のとおり。

1. **実験1:** 自分を中心とした3×3のマスの状態。状態は糸の有無、枠外の3値である。
2. **実験2:** 9×9マスの状態を3×3単位に圧縮コーディングしたもの。
3. **実験3:** 半径10の位置にスクリーンをおき、それを8等分したそれぞれに写った状態。
4. **実験4:** マス目情報ではなく、近傍の糸の本数・向きをコーディングしたもの。

各個体はその有効性によって評価し、世代ごとに交差、変異、選択を行った。実験1,2,3は個体数20、進化世代数50、実験4は個体数40、進化世代数1000で、100回ずつ（実験4は20回）の試行を行った。

## 4 実験結果

各実験結果の例を図2に示す。作成される巣には、それぞれの実験で異なる傾向が見られた。実験1はストライプ状のものなど、単純な構造の巣が多く見られた。2ではより複雑さが増した巣が見られた。しかしこれらでは円状の巣を作るには至っていない。3ではY字型の縦糸を軸に、横移動によって張られた横糸（円環状の糸）が見られたが、縦糸は張られていない。4では縦糸、横糸を組み合わせた巣が見られた。

\* Simulation of evolutionary acquisition of structure generation by animals using GA and NN

† Kazuo Kawamorita (ASTEC, Inc.)

† Yuzuru Hiraga (Univ. of Library and Information Science)

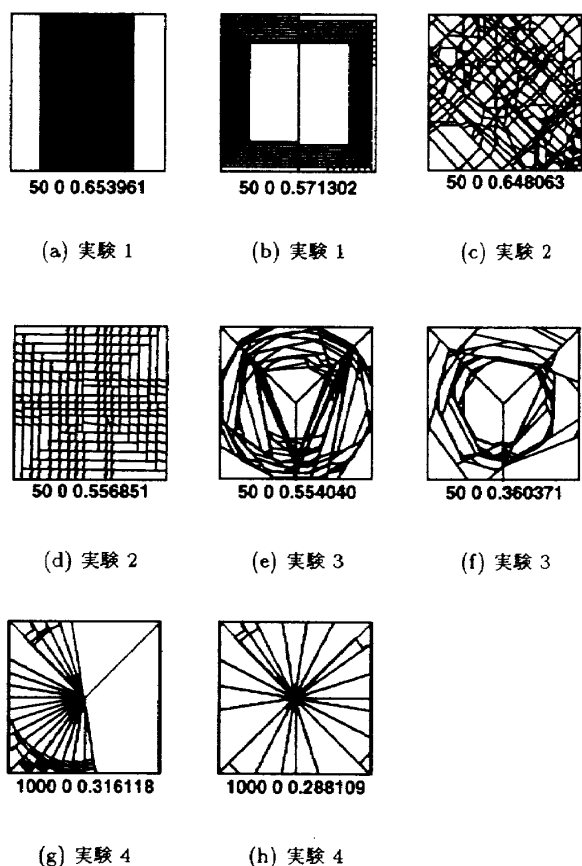


図 2: 実験結果の例。各図の下の数字は左から世代番号、集団内の番号 (0 が最優良個体)、評価値である。

## 5 考察

クモの行動能力自体はいずれも簡単なものであるにも関わらず、複雑な形状の巣が出現した。進化というプロセスによって、簡単な規則でもかなり複雑な造形を行うことが可能であるといえる。

実験の結果から、作成される巣にはクモの知覚・行動能力が影響を与えていることが分かる。実験 1 はクモに与えられた能力は特に単純なものであるが、事前に予想されなかった規則の獲得によって構造を持った巣を作成している。実験 2 は能力の質や情報量は実験 1 と同じであるが、視界が広がっている。この実験では、より複雑な巣が出現し、情報の圧縮が有効に働いていることがわかる。

実験 1,2 では直交座標ベースの移動になるため、円状の巣の作成には至らなかった。そこで実験 3,4 では極座標的な知覚・行動形態を取り入れた。なお、最初の Y 字型の縦糸は、実際のクモの巣作りでも見られるものである。実験 3 では巣の形状に大きな変化が見られ、円環状の巣が出現した。しかしここには縦糸は顕著に現れていない。これは糸の密度が高い中心部では、離散的な知覚情報では状態の区別が出来ないためと考えられる。実験 4 ではクモのまわりの巣の状況 (例えば正面に糸があるかなど) を直接情報として与えており、その結果として縦糸と、横糸が一部見ら

れる巣が出現した。しかし全体的には良い結果もあるものの、十分な円網作りの規則の獲得には至らなかった。

自然界のクモの巣の作成過程と比べ決定的に異なっているのは、自然界のクモは段階的な作成をしている点である [3]。縦糸、横糸は機能的に役目も異なり、作成過程も完全に分離されている。クモの行動もそれぞれの段階で異なった規則が働いているように見える。本研究では単一のネットワークですべての作成を制御しているため、段階的な行動は困難である。実験 3 は横糸、実験 4 は縦糸の作成に向けており、段階個別の行動規則として捉えることができる。問題はそれを組み合わせるためにどのような枠組を用いればいいかである。

またできあがった巣の評価をどう行うかも問題である。現在は、巣のある枠内の領域を一定の大きさの物体が通るとき、巣に引っかかる確率で評価している。そのため、円状の巣は周辺部が疎になって不利という直接的問題の他に (これ自体は評価対象を中心部に絞ることで回避できる)、他の考慮すべき要素、例えば巣の強度が取り入れられていないという問題もある。実際の進化の場では、当然それらの要因による評価と淘汰が働いている。また巣作り自体、実際には 3 次元空間で行われ、重力の影響を受けている点も今後考慮すべき要因である。

## 6 まとめと今後の課題

本研究ではクモの巣作りを題材に、簡単なメカニズムをベースにして、進化によってその構築能力の獲得を行う方法を検討した。その結果、いくつか興味ある知見が得られたが、十分に満足のいく巣作りにはまだ距離がある段階である。

巣の形状は、実験それぞれで異なった傾向を持っており、クモの能力の質に影響を受けている。したがってクモの能力自体を適切に進化の枠組みに取り入れることが出来れば、より有意義なシミュレーションが実現できる。

段階的な作成過程を実現する方法として、クモに自分の状態を記憶できる内部状態を持たせること、それらを使い起動される行動規則を切り替えることが可能なメカニズムを持たせることなどが考えられる。

また評価の方法についても、上述のような様々な要因を考慮することで、より自然界に近い形状の巣が出現すると考えられる。

## 参考文献

- [1] 菊地英一 ほか. 競争原理を用いた自律的学習及び自己組織化の研究. 第 5 1 回 (平成 7 年後期) 全国大会講演論文集. 情報処理学会. 1995, pp.2.39-2.40.
- [2] 川守田和男. ニューラルネットワーク・遺伝的アルゴリズムによる生物の造形活動のシミュレーション. 図書館情報大学修士論文. 1998.
- [3] Theodore H. Savory. *The Spider's Web*. London, Frederick Warve and Co., 1952, 145p.
- [4] Hiroaki Kitano. Designing Neural Network Using Genetic Algorithms with Graph Generation System. *Complex Systems*. Vol.4, No.4, 1990. pp.461-476.