

人工胚発生モデルによるロバストな形態形成

Evolutionary Formation of Robust Structures Using Artificial Embryogeny

吉川高志¹ 小松秀徳² 橋本康弘¹ 陳 昱¹ 大橋弘忠¹

T. Yoshikawa¹, H. Komatsu², Y. Hashimoto¹, Y. Chen¹, H. Ohashi¹

¹ 東京大学システム創成学専攻

¹ Department of Systems Innovation, University of Tokyo

² 電力中央研究所

² Central Research Institute of Electric Power Industry

Abstract: We develop a novel algorithm to evolutionarily form truss structures based on artificial embryogeny. We discuss structural features which stand for uncertainties of external forces and material conditions.

1. はじめに

Artificial Embryogeny (AE) は、発生過程を考慮する新しい進化アルゴリズムである。これを用いたモデルにより 2 次元トラス構造の形態形成を研究した。まず AE に基づき形態を発生できるアルゴリズムを開発した。これにより生成したトラス構造の応力解析を行い、最大応力を低く抑えるような構造が外力条件によりどのような形態となるかを調べた。これにより外部条件の不確かさに対応できる構造の形態的特徴について検討した。

橋やビルのような強度を第一義とする構造物の設計では、ほとんどの場合、規則性や対称性の高い類似構造の繰り返しとなる。一方で自然の造形を見ると、動物の骨や木の枝のように、必ずしも単純な規則構造とはなっていない。人工構造物では、使用される条件を含めた外的、内的条件を規定し、これに対する健全性の確保を目標とするのに対して、生物の構造は進化の過程で自然に獲得されたものであり、明示的に条件を規定するのではなく、さまざまな不確かさに対応してきた結果であると考えられる。

このようなことから、本研究では、人工構造物の設計に対して生物進化のアルゴリズムを考慮することにより、現在の設計の適応性の狭さを改善しながら、よりロバストな構造を探索し、条件の不確かさに対するリスクを軽減していく方策を探ることを目標としている。

2. 進化的アルゴリズム

2.1 Artificial Embryogeny

遺伝的アルゴリズム(GA)は、問題の解を遺伝子と

して表現型と一対一に対応させるため、問題のスケールが大きくなるに従ってその解を記述するための遺伝子も長くなる。このため現実の問題に対しては進化がうまく進まなくなるというスケラビリティの低さが重要な課題となっている。¹⁾

AE は、GA に生物の胚発生のメカニズムを取り入れたものである。生物が遺伝子に書かれたルールに従って胚から成長していくように、遺伝子はあくまでルールであり、出来上がる形そのものを記述しているわけではない。AE では、遺伝子型(ルール)と表現型(解)は 1 対 1 で対応していない。問題の解の大きさがそのまま遺伝子の長さにはならないのでスケラビリティが高いと考えられる。

AE では、遺伝子型はルールの集合であり、そのルールには Precondition (条件) と Action (行動) がセットで記述される。たとえば、2 次元グリッド上の各セルに対して 0 か 1 かを割り当てる問題では、遺伝子型に書かれるルールには、条件部分として、注目するセルの上下左右の隣接セルそれぞれの生死について、生、死、ワイルドカードのどれかが記述され、また、グリッド全体を 4 × 4 のエリアに等分し、x 及び y について 4 つのエリアのどれかまたはワイルドカードを記述する。行動部分としては、上下左右どちらかへの成長、またはそのセルの死滅のどれかを数字によって表す。

計算は胚の状態に当たる seed と呼ばれるセルの初期状態から始める。時間ステップごとに、生きているセルに対してすべての遺伝子に書かれたルールを適用する。条件の合っているルールがあればそのルールにしたがう。これを繰り返すことで解が得られる。このようにして得られた解を個体の表現型とし、決められた評価基準によってその解を評価する。

評価値が得られたら、GA の流れに沿って、優秀な個体を選択し、交叉と突然変異によって新しい世

代に残す子を生み出す。

2.2 AE for Network Generation

AE を 2 次元ネットワーク構造に適用する。ネットワークは、ノードとそれらをつなぐリンクとで構成される。ノードは 2 次元平面上に設置されるので (x,y)座標を持ち、ノードどうしの距離を計算できる。任意の 2 つのノードの間にはリンクをつなぐことができ、リンクの有無を 0 と 1 で記述する。ネットワーク構造においては、2 次元グリッドにおける上下左右の隣接セルのような概念はないが、かわりに距離が近いノードを近傍と呼ぶ。

2 次元グリッドでは要素はセルのみだったが、2 次元ネットワークにはノードとリンクの 2 つの要素があるので、それをうまく置き換える方法を考える。

ここではルールの適用対象はリンクとした。生きているリンクが成長または死滅するという行動を規定する。リンクの両端のノードからそれぞれの近傍へつなぐリンクを近傍リンクとした。対象とするリンクの近傍のリンクの生死条件と、リンク中心点の (x,y)座標のエリア条件から、近傍リンクへの成長または自身のリンクの死滅を行動とした。

3 . AE による構造設計

3.1 構造のモデル化

平面トラス構造を対象とした。トラスは単純なモデルであるが複雑に構成でき、さまざまな構造を扱う際に近似モデルとして使用できる。

トラス構造は、joint と beam と ground の 3 つで構成される。beam は joint どうし、または joint と ground とをつなぐ。そこに外力 P を加えると、ground から P とは反対方向に反作用の力 R を受け、その間の個々の beam は応力を受ける。

トラス構造に外力を加えたとき、まずその構造の安定・不安定をチェックし、次に各 beam に加わる応力と構造の変形を求める。

これを 2 項で述べた進化計算に乗せ、良いトラス構造を作り出す遺伝子を探す。良いトラス構造とは、最大応力、平均応力、合計長さの 3 つを最小化したものとした。最大応力は、構造の外力に対する耐久限界にそのまま影響する。最大応力以外の部分もできるだけ均等に力が分散するように、平均応力として応力の 2 乗の平均を取る。また、beam を無駄にたくさん使って頑丈な構造を作っても実用的ではないので、beam の長さの合計を小さくするようにした。

3.2 解析

計算例として、図 1 に適応度の高かった個体の表現型のいくつかを示す。

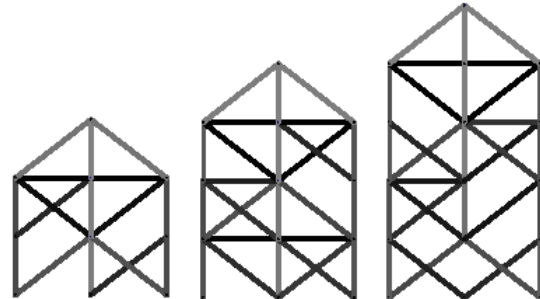


図 1 適応度の高い個体の表現型の例

最上部が屋根のような錐形をしたものが適応度の高い形としてよく現れた。これは外力を加えた joint と ground の間にある beam にしか応力が働かないので、外力を加えるノードの左右のノードは構造を安定させる上で不要なため、進化の中で自然と消えていくからであると考えられる。

世代を経過させていくうちにだんだんと適応度の高い構造を作り出す遺伝子ができていく様子が見られた。特に、1 世代の中の個体数を増やして、1 世代中の個体群に多様性を持たせるほど良い解へ到達しやすくなった。

4 . まとめ

進化によって条件を満たす構造が成長していく様子を模擬した。得られた構造は、規則的な繰り返しをもつような単純な構造ではなく、非対称を含む複雑な構造を示した。これが規則的な構造と同等の適応度をもつのか、それとも、外部条件の不確かさにより適応できるのかは今後の課題であるが、AE を用いることにより、複雑構造を含むより広い範囲を対象としてロバストな構造の探索が可能であるといえる。

参考文献

- 1) 小松秀徳 (2007). 胚発生を考慮した進化アルゴリズムの進化的特性の検証と適用範囲の拡大, 修士論文, 東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻