

環境への適応により 3次元構造を獲得する植物自動モデリングに関する研究 A Study about an Automatic Generation of Plant's 3D-structure by Adapting to Environment

上原 和樹[†]
Kazuki Uehara

赤嶺 有平[‡]
Yuhei Akamine

遠藤 聡志[‡]
Satoshi Endo

1. はじめに

近年 CG の分野において、植物形状の自動生成に関して多くの研究がなされており、精細なモデルを表現できる手法として L-system がよく知られている。この手法により生成される形状は自然界の植物とよく一致するが、植物内部の機能等は考慮しないため環境の変化に対する形状変化の表現が難しい。このことから、環境間における対話や光・空間などの獲得を形状生成に取り入れ、より植物らしい形状を生成する研究が多く行われている。千葉らは架空の植物ホルモンとその働きを定義し、分枝モデルによる形状生成にホルモンの要素を加えることで植物が持つ特性の表現を実現した [1]。また、Lam らは生物学的にもっともらしい植物モデルを生成するために内部の器官をブロック単位でわけ、ブロック毎に環境から影響を受けるモデルを提案した [2]。しかし、これらの研究においてベースとなる植物形状の生成、及び成長ルールは予め設定されたものであるため、構造の異なった植物形状を生成するためには生成規則を再設定する必要がある。

本稿では、環境に対する適応や進化を表現するために進化計算を利用して植物形状を獲得する手法を提案する。これまで提案されてきた植物モデルにおいて、GA などを用いて形状生成規則を自動的に生成することは、解空間が広いため困難である。そこで、植物ホルモンを成長制御の尺度として導入し、植物ホルモンの合成量に応じて形状を変化させる植物モデルを定義する。植物ホルモンの合成する量や作用の度合いを GA によって探索して成長規則を決定し、モデルを環境に投射して成長をシミュレートすることで植物形状を自動的に生成する。また、二次元空間と三次元空間における形状を示す。

2. 植物ホルモンモデル

植物生理学において、植物形状のほとんど全ては合成される植物ホルモンに依存しているとされている。これに基づき、本研究における植物モデルを以下に述べる。

- 植物モデルは細胞群をモデル化したモジュールを最小単位とし、伸長方向と側枝方向に新たな子モジュールを作ることとモジュール自体が大きさや形、伸長向きを変えることで成長を表現する。ここで、伸長方向はモジュールの原点から終端への向き、側枝方向は伸長方向と垂直の向きを表す。
- モジュールにおける成長の度合いは、ホルモンの量を調整することにより決定される。

- モジュールは茎、葉、根などといった状態を持たず、モジュール自体がその全てになりうる。

2.1. 植物ホルモンに基づいたモデルの成長

本稿において、植物モデルは分枝と変形の繰り返しで成長を行う。一つのモジュールは太さ、長さ、角度、養分量、葉緑体量を持ち、これらの値や外部から受ける刺激に応じてモジュール毎にホルモンを合成する。ホルモンの作用に応じて伸長や分枝を繰り返すことで植物の骨格形状を生成する。また、モジュールが生成された直後は葉緑体を多く含み柔軟であるとし、成長と分枝が起こりやすく、ホルモンの作用により木化が進行すると葉緑体を減らし、強度が増すことで成長と分枝が起こりにくい構造となっている。

2.2. モジュールの更新

モジュールは外周に光を感知可能な壁を N 個持ち、その壁は光の感知量からモジュール内で合成されるホルモン量を決定する (図 1 左) モジュールの長さの更新は、外壁において合成されたホルモンにより外壁における伸長の度合いを決定し、各外壁の伸長度合いの平均値をそのモジュールの長さに加えることで行われる (図 1 右)

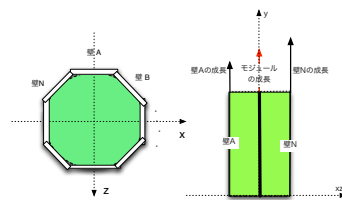


図 1: モジュールの断面と成長

モジュールの外側に配置された壁はそれぞれが移動可能であり、肥大は各壁とモジュール中心点との距離を変えることで実現する (図 2 左) モジュールの伸長方向はモジュールの姿勢行列 R を更新することで伸長方向を変更する。壁 i の代表点を W_i 、モジュールの原点を O 、モジュールの終端を P とし、三点 OPW_i が作る三角形の法線を軸とした回転行列 r_i を求める。 r_i を各壁より算出し、全ての積をとることで姿勢行列 R を決定する。

モジュールにおける即枝の生える向き B は以下の式により求める。

$$B = \sum_i^N \vec{v}_i \cdot H_i \quad (1)$$

[†]琉球大学 大学院理工学研究科

[‡]琉球大学 工学部

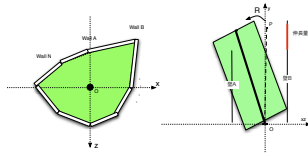


図 2: 肥大, 角度変化イメージ

N は外壁の総数, \vec{v}_i はモジュール中心点から壁への向き, H_i は壁において合成されたホルモン量とする.

2.3. 環境

計算コスト軽減のために簡易な環境モデルを構築した.

- 光の計算: 光計算のコストを削減するために, シャドウマッピングの手法を応用して光と影の判定を行う. 光は平行光源を想定する.
 1. 視点を光源位置と一致させる
 2. 平行投影として植物モデルを描画する
 3. 全ピクセルのデプス値 $Z(x, y)$ の取得・保存
 4. 各感知壁 W_i の代表点のスクリーン座標 (wx_i, wy_i, wz_i) を求め, $Z(wx_i, wy_i) > wz_i$ であれば感知壁 W_i は影と判定する.
- 重力: 重力はモジュールの接点にかかるトルクを計算して求める. トルクがモジュールの強度以上になった場合, 枝折れと判定して計算を打ち切る.
- 水輸送: 各モジュールにおいて光を受ける量に応じて負圧を発生する. モジュールは子モジュールの負圧を足し合わせ, その値に応じた水の量をモジュールが得られる水の量とする.

3. 遺伝的アルゴリズム (GA)

GA とは, 生物の進化をもとに考案された探索法であり, 遺伝的操作を繰り返しながら解を得る手法である.

本研究では, 遺伝子コードは各ホルモンの合成の条件と形状に変化を与える度合いを実数値による一次元配列で表現し一遺伝子とする. 遺伝的操作を以下に示す.

1. 初期集団生成: ランダムにホルモンの合成値や応答の度合いを決定した N 個の個体を生成する.
2. 評価: 成長環境において, 前世代の遺伝的操作から得られた遺伝子に基づき, 各個体を成長させる.
3. エリート選択: 上位の N 個体を, 次世代に残す.
4. 交叉: 交叉率 P_c に基づき, 個体群からペアを作り, 各要素の中間値を新たな個体とする.
5. 突然変異: 突然変異率 P_m の割合数の, 新たにランダムに再設定した個体を生成する.
6. 次世代: 上記遺伝的操作で得られた新たな個体を P_c, P_m の割合で次世代の個体とする

上記一連の処理を繰り返し, 探索を行う. 評価値は, 植物モデルの全モジュールが持つ養分量の総和とする.

4. 実験

二次元空間と三次元空間での形状の違いを考察するために実験を行った. 実験の諸条件は個体数 10000, 交叉率 0.5, 突然変異率 0.3, エリート保存率 0.05, 使用するホルモンは 10 種類と設定した.

4.1. 実験結果

図 3 は, 二次元空間において進化させた例である. 図左は得られる光の量と水の量が十分な環境で進化した個体, 図中は図左と相対的に得られる水の量が半分の環境で進化した個体, 図右は図左と相対的に得られる光の量が半分の環境で進化した個体である. 図 3 より, 進化環境によって異なる形状を生成できていることがわかる.



図 3: 二次元生成例

4.2. 三次元生成例

図 4 は二次元と同様の環境条件で進化させた例である. 図 3, 4 より, 二次元と比べて三次元は形状に大きな違いが少ない. これは, 三次元空間で進化させることで解空間が広くなり探索が困難になっている可能性が考えられる.

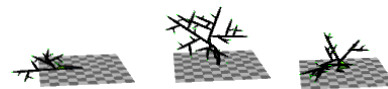


図 4: 3D 構造生成例

5. まとめ

- 進化計算に適した植物モデルを提案した.
- GA による探索でホルモン応答量を調整し, 二次元において多様な形状が生成できることを確認したが, 三次元では確認できなかった.

今後の課題として, 多様で複雑な形状の生成を実現するために, より精巧な環境要因や競争などの取り入れや, GA における計算時間が多大にかかるので進化計算の効率化などが挙げられる.

参考文献

- [1] 千葉 則茂, 大川 俊一, 村岡 一信, 三浦 守: "CG のための樹木の成長モデル-架空の「植物ホルモンによる自然な樹形の生成」" 電子情報通信学会論文誌, Vol. J76-D-II No.8 pp.1722-1734 (1993)
- [2] Zhuming Lam, Scott A. King "Simulating tree growth based on internal and environmental factors" ACM 2005 Article (2005)