

## 生長シミュレーションを用いたツタのCGモデル生成手法

### A Model Generation Method for Climbing Plants Using Growth Simulation for Computer Graphics

進藤 亜梨<sup>†</sup> 坂本 雄児<sup>†</sup>  
Ari Shindo Yuji Sakamoto

#### 1. まえがき

近年、ツタ属の植物(以下、ツタ)が壁面緑化の手段のひとつとして注目されている。緑化活動においては効果の予測だけではなく、CG(Computer Graphics)を用いて緑化後の都市景観の評価を前もって行うこともまた重要である。植物の形状は複雑でありCGモデルを手作業で生成するのは困難なため、生長シミュレーションを用いてコンピュータで自動生成する研究が盛んである。これまでに提案されてきた生長シミュレーション手法は自立して生長する樹木や草花に関する研究が多い[1, 2]。一方、ツタのような、補助物体の形状に依存して生長する植物の生成手法は少なく、環境および生成するツタのモデルをボクセルスペースで扱うために処理が複雑であるという問題がある[3]。そこで、本稿ではポリゴンモデルを用い、L-systemによるツタの生長シミュレーション手法を提案し、処理を簡略化する。また、本手法を用いたシミュレーション実験を行い、結果の報告および考察を行う。

#### 2. 植物モデル生成のための生長シミュレーション

##### 2.1 生長シミュレーションにおける植物の構造化

植物の構造を図1に示す。植物は枝(branch)の基本単位である節(internode)と、節の先端および接続点にあたる芽(bud)などの組み合わせとして扱うことができる。芽は枝の先端に位置する頂芽(apical bud)と枝の中間に位置して分岐を生じる可能性のある休眠芽(dormant bud)、これ以上分岐を生じない終了芽(ending bud)に分類できる。節や葉は芽からのみ生じる。また、ツタは芽から生じる分岐の数が二本という性質がある。そこで、本手法では大西らによって提案されたL-systemの構造化[2]を用い、図2のように芽の接続関係を二分木に保存し、芽の位置や状態を表すパラメタを保持する。

##### 2.2 植物およびツタ独自の性質

生長シミュレーションにおいて考慮すべき要素は、植物全般の性質とツタ独自の性質の二種類に分けられる。

植物全般の性質については、本手法では植物の形状形成に関わる性質を3つ選択した。一つ目は頂芽優勢で、休眠芽から生じる分岐枝よりも、頂芽から生じる親枝の方が伸びやすいという性質である。二つ目は休眠打破で、休眠芽に養分が十分に蓄えられた場合や頂芽が障害により生長不可能な場合に、休眠芽が発芽する性質である。三つ目は屈地性で、重力に逆らって枝が伸びる性質である。

ツタ独自の性質として、枝は自重を支える強度を持たないため、葉の反対側に生じる器官「吸盤(sucker)」を用いて補助物体への付着を行う点がある。物体に吸盤が届かない枝は生長を抑制されるため、ツタは物体近傍でのみ生長を行うという性質を表現する。また、吸盤で固定された枝の長さは変わらないので、吸盤から吸盤までの長さを枝の基本単位である節とみなす。

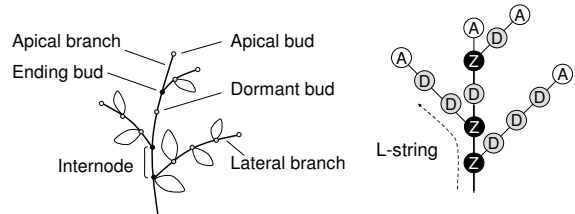


図1 植物の部位の名称

図2 データ構造

表1 本手法で用いるシンボルと対応する描画命令

Symbol	Order
A	Translate to this coordinate. Show this point is an apical bud.
D	Translate to this coordinate. Show this point is a dormant bud.
Z	Translate to this coordinate. Show this point is an ending bud.
I	Draw a tube.
[	Save state, start a new branch.
]	Restore state, end a branch.
$R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$	Rotate by $\theta_x$ , $\theta_y$ , and $\theta_z$ degrees.

#### 2.3 L-system

L-systemとは植物学者Lindenmayerによって提案された生物細胞の分裂機構の数理モデルで、近年は植物の生長シミュレーションにおいても応用されている。

L-systemでは節と芽をシンボル化して扱い、書き換えルールを用いてシンボル列(L-string)を生成する。また、シンボルに対応した描画命令を実行することでCGモデルを得ることができる。本手法で用いるシンボルと対応する描画命令を表1に示す。

“A”、“D”、“Z”はそれぞれ頂芽、休眠芽、終了芽を示し、パラメタとして3次元空間上での位置、付随する節の生長方向、養分値を保持する。“I”は直前の芽のシンボルに指定された方向に節を生成する。“[”、“]”は親枝からの分岐の始まりと終わりを示し、“ $R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ ”は直前のシンボルに対して直後のシンボルを指定した相対角度だけ回転することを示す。

書き換えルールの構成は次のようである。

pred : cond  $\rightarrow$  succ

これは、祖先(predecessor)が条件(condition)を満たす場合に子孫(successor)に書き換えることを示す。L-string上の全シンボルにルールを1回適用するごとに単位時間が進んだとみなし、これをstepと呼ぶ。

#### 3. 提案手法

本手法ではまず初期設定として、生長環境となる物体のポリゴンモデルとツタの生長始点、最終step数を与える。

次に、生長シミュレーションの処理として、1stepごとにL-systemでL-stringを書き換え、新たな形状シンボルが生成された場合は3次元空間上での実際の位置を探索する。L-

<sup>†</sup> 北海道大学大学院情報科学研究科

system では植物全般の性質を考慮して生長・分岐を決定し、3次元空間上での位置探索ではツタ独自の性質に沿って最適な位置を選択する。

### 3.1 L-system で用いるルールと養分値

本手法では植物の性質を表す書き換えルールを、 $p_0 \sim p_3$  まで以下のように設定した。ここで、cond における値  $N$  は pred が保持する養分値を示す。養分値とは、本手法において植物の生長に影響する養分や水分などの栄養分を簡略化した値である。ルール適用時に新たな芽のシンボルが生じた場合は pred の養分値を succ に分配し、芽のシンボルを生成できない場合は養分値の蓄積を行い、頂芽優勢と休眠打破を表現する。

$t_1, t_2$  は各々ルールを適用するために必要な養分値の閾値を示す。なお、 $t_1 < t_2$  とすることで、生長ルール  $p_0$  の適用頻度を休眠打破ルール  $p_1$  より高くして頂芽優勢を表現する。

- 生長ルール  $p_0$       $A : (N \geq t_1) \rightarrow DIA$   
頂芽を休眠芽に置き換えて節を 1 本生じる。succ の A に D よりも多く養分値を与え、以降の A の生長ルール適用頻度を上げる。
- 休眠打破ルール  $p_1$       $D : (N \geq t_2) \rightarrow Z[R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)IA]$   
休眠芽を終了芽に置き換えて節を 1 本生じる。生成された節は分岐枝なので、生長方向を親枝に対して一定角度回転させる。養分値は Z に割り振らず、全て A に分配する。
- 蓄積ルール  $p_2$       $A : (N < t_1) \rightarrow A$   
                               $D : (N < t_2) \rightarrow D$   
pred の養分値がルール  $p_0, p_1$  の cond を満たさなかった場合、pred の書き換えは行わずに養分値を増加させる。
- 終了ルール  $p_3$       $A \rightarrow Z, \quad D \rightarrow Z$   
 $p_0, p_1$  のいずれかを既に選択していた場合でも、位置探索が失敗したとき、このルールを適用して処理をやめる。

### 3.2 生長位置の探索と適正判定

L-system で生成されたシンボルの 3 次元空間上での位置は、Benes らの指向性ランダムウォーク (Directed Random Walk)[3] を用いて探索する。この方法では、生長位置の候補点を複数配置し、各点の適正判定を行い適切な点を選択する。

本手法では適正判定の項目として、ポリゴンモデルの面の情報を利用し、節と面との衝突がなく、候補点と面との距離が吸盤の長さ以下であることを、必ず満たすべき条件として設定する。また、節の生長方向が屈地性に反さないことも条件とする。条件を満たさない点は候補点から除外する。

条件を満たす候補点が複数ある場合は、面との距離が近い点、直前の節の生長方向とのなす角が小さい点、屈地性に従う点を次の生長位置として選択する。候補点が全て除外された場合は、満たさなかった条件に応じて生長方向を修正して再試行を行う。

### 4. 実験結果

本手法を用いて実際にツタの生長シミュレーションを行った。設定したパラメータとルールの閾値を表 2 に示す。

最終 step 数は 50 に設定し、生長環境は凹凸を併せ持つ物体として立方体を 4 個組み合わせさせた図形を用いた。各立方体の一辺は 400pixel である。step ごとの推移および最終 step で葉を描画した結果を図 3 に示す。

ツタの枝は凹凸に関わらず常に物体の近傍でのみ生長を行い、生長方向は屈地性に従うことを確認した。step=20 で生じている親枝から step=30 で分岐枝が生じており、分岐枝の伸

表 2 設定したパラメータ及び各ルールの閾値

Length of internode $L$	50 pixel
Length of sucker $d$	20 pixel
Threshold for growth $t_1$	0.2
Threshold for dormancy breaking $t_2$	0.8

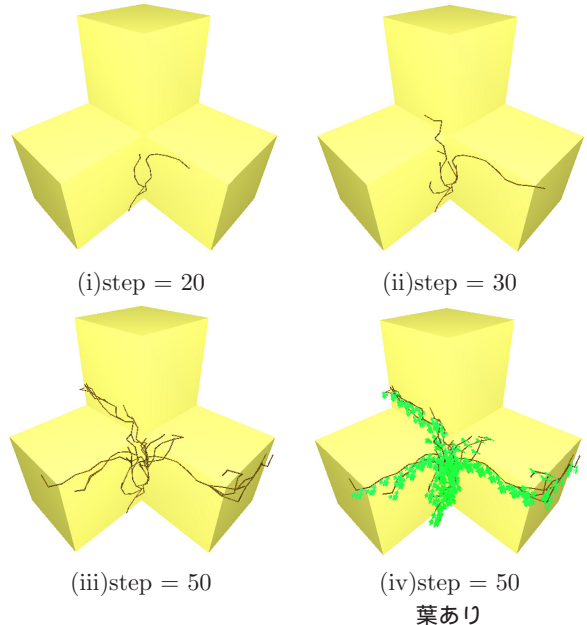


図 3 シミュレーション結果

び率は親枝より小さい。したがって、本手法で設定したルールおよび養分値によって頂芽優勢や休眠打破が実現できた。

問題点として、極端な角度で曲がる枝が見られるが、これは生長位置の探索を再試行した折に、候補点の配置範囲の修正によって大きく角度が変わったからと考えられる。また、枝が重なり合う部分があるので、既に生成された枝を避けて生長するような規則を取り入れる必要がある。

### 5. まとめ

生長シミュレーションを用いたツタの CG モデルが、養分値の導入と適正判定項目の設定によって、ツタ独自の性質や植物が一般的に持つ性質を伴って表現できたことを確認した。

今後はよりツタらしい生長を表現するために、新たなルールやパラメータについて模索する。また、生成したツタの CG モデルの評価を検討する必要がある。

### 参考文献

- [1] 金山知俊, 阪田省二郎, 増山繁, “さまざまな樹種に対応可能な樹木の生長モデル”, 信学技報, PRU 94-87, pp.15-22, 1994
- [2] 大西克彦, 蓮池祥一, 北村喜文, 岸野文郎, “インタラクティブな生長シミュレーションによる仮想樹木モデルの生成”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.1, pp. 143-151, Mar. 2006
- [3] B. Benes, E. U. Millan, “Virtual Climbing Plants Competing for Space”, Proc. of Computer Animation, pp.33-42, 2002