

生長シミュレーションによるツタのCGモデル生成

進藤亜梨^{†1} 坂本雄児^{†1}

ツタ属の植物は壁面緑化に適している点で注目されている。特にCGモデル生成手法は緑化後の景観の予測や評価に有効である。そこで、本稿ではL-systemを用いた生長シミュレーションによるツタのCGモデル生成手法を提案する。提案手法では、初めにツタの性質を表したL-systemのルールを設定する。次に、ルールに従って生長シミュレーションを行い、芽の生長と分岐を制御する。3次元空間上での芽の位置については、吸盤の動きや枝先の受光量を考慮した位置を探索する。本稿の最後で、本手法を用いたシミュレーション結果の報告及び考察を行う。

Model Generation for Climbing Plants Using Growth Simulation

ARI SHINDO^{†1} and YUJI SAKAMOTO^{†1}

Climbing plants attract attention because they are suited for making green spaces along the wall of buildings. Particularly, model generation methods for climbing plants are useful for prediction and estimation of scenery after greening. Then, this paper presents a model generation method using growth simulation with L-system. First, the proposed method sets rules of L-system. Second, the proposed method simulates the growth using the rules, and controls growth and branching. The positions of buds in three dimensional space are searched considering the behavior of sucker and light requirement at the top branches. At the end of this paper, we show the results of the growth simulation using the proposed method, and consider the results.



図1 ツタの写真
Fig. 1 Picture of climbing plant.

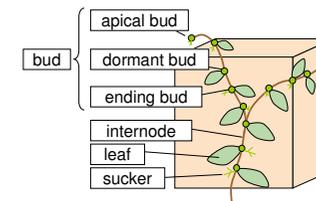


図2 部位の名称
Fig. 2 Climbing plant's organs.

1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象の対策の一つとして、建物の屋上や壁面を植物で覆う緑化活動が推奨されている¹⁾。特に壁面緑化では、つる性植物の一種、ツタが注目されている(図1)。ツタは「吸盤」と呼ばれる特有の器官を利用して、建物の壁などの補助物体に付着して枝を支えるため、壁面緑化において壁面に固定する手間がいらす導入しやすい利点がある。このため、ツタを利用した緑化の実験が行われ、その効果が報告されている^{2),3)}。

都市の緑化活動では、効果予測に加えて、緑化後の景観を予め評価することも重要である。景観の予測、評価をするには、CG(Computer Graphics)を用いて植物と建物を構築するのが有効である。

今日では、生長シミュレーションを用いて、植物のCGモデルをコンピュータで自動生成する方法が盛んである。これまでに提案されてきた手法は、自立して生長する樹木の生長シミュレーションに関する研究が多い^{4),5)}。特に、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L-systemを応用した手法が多く、自立して生長する樹木や地中の根など、多様な植物の生長シミュレーションが提案されている^{6),7)}。一方、補助物体の形状に依存して生長するつる性植物のCGモデルについては、Particle systemを用いて生成する手法が提案されている⁸⁾。しかし、つる性植物とツタの生長の仕方は異なるため、従来法ではツタ特有の生長を表現できない。そこで、本稿ではツタの吸盤の性質と枝先の受光量を考慮して、L-systemによるツタの生長シミュレーション手法を提案する。

最後に、本手法を用いたシミュレーション実験を行い、出力結果の考察を行う。

2. 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

本章では、植物全般およびツタの性質と構造について述べ、植物の生長シミュレーション

^{†1} 北海道大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

表 1 芽が保持するパラメタ
Table 1 Parameters of bud.

Group	Parameter	
Show the condition of bud.	A_0, A_1, A_2, D, Z	Condition of bud
	N	Nourishment
	F	Sucker fixed to object or not
	L	Position of leaf
Show the position of bud.	$\mathbf{P}(x, y, z)$	Coordinates of bud
	$\mathbf{V}(v_x, v_y, v_z)$	Growth direction
	n	The nearest surface number
	$step_c$	Step when the bud was created
	$step_d$	Step when the bud was dead

表 2 本手法で使用するシンボルと対応する命令
Table 2 Symbols and their order using this method.

Symbol	Order
A_0, A_1, A_2	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 an internode and a leaf.
$[,]$	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 θ_z degrees.

に用いる L-system について説明する。

2.1 植物全般及びツタの性質

ツタの構造と部位の名称を図 2 に示す。植物は枝の基本単位である節 (internode) の連なりによって形成され、節の先端および接続点を芽 (bud) と呼ぶ。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休眠芽 (dormant bud)、分岐を一切生じない終了芽 (ending bud) の 3 種類に分類できる。また、ツタは吸盤 (sucker) を補助物体に付着させて枝を固定する性質を持つ。

節や葉、吸盤は芽からのみ生じるため、芽の位置や発芽可能かどうかの情報を制御することが生長シミュレーションにおいて重要である。ツタは一つの芽から生じる節が二本である。そこで、大西らによって提案された L-system の構造化⁵⁾ を用いて二分木のノードに芽の情報と接続関係を保存する。ノードが保持する芽のパラメタを表 1 に示す。設定した各パラメタの役割を以下に述べる。

芽の種類は、ノードに保存されている芽が、頂芽、休眠芽、終了芽のどれであるかを示し、各々 A_0, A_1, A_2, D, Z と表す。頂芽 A の記号を 3 種類設定したのは、連続する芽のうち 2 個置きに吸盤のない芽が生じ、吸盤のない芽が休眠芽となる性質を表すためである。

養分値 N とは、芽の蓄えている養分や水分など植物の生長に関わる物質の量を、本手法において擬似的に表したものである。養分値を導入することによって、植物の一般的な性質である頂芽優勢と休眠打破の表現を行うことができる。ここで、頂芽優勢とは、頂芽が休眠芽よりも発芽しやすい性質である。休眠打破とは、休眠芽が発芽することを指す。

吸盤の付着状態 F は、芽が補助物体に固定されているかどうかを示す。葉の生じる方向 L は、葉が枝の左右に交互に葉を生じる性質 (互生) を表すために用いるパラメタである。

$step_c, step_d$ は各々、芽が生成された時刻と芽がなくなる時刻を表す。ツタの生長アニメーションを描画する際に、 $step_c$ に応じて葉の大きさと節の太さを拡大して生長の様子を表す。 $step_d$ は描画した節を消す時刻として用いる。

2.2 L-system

L-system では植物のパーツとなる節、芽、葉や、パーツの接続関係をシンボル化して扱い、シンボル列 (L-string) で記述する。本手法で用いるシンボルとその役割を表 2 に示す。シンボルは、植物のパーツを表す形状シンボル A_0, A_1, A_2, D, Z, I と、接続関係と変形を表す変形シンボル $[,], R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ に分類される。 A_0, A_1, A_2 は頂芽、 D は休眠芽、 Z は終了芽を表し、各々は表 1 に示すパラメタを保持する。 I は節と葉を表し、節の太さと葉の大きさは直前の芽のシンボルのパラメタ $step_c$ を参照して決定する。

L-system において、植物の生長はシンボルの書き換えルール (production:p) で表す。書き換えルールは以下のように記述する。

(p) predecessor : condition \rightarrow successor

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 上の全てのシンボルにルールを一回適用するごとに単位時間が進んだとみなし、この時刻を $step$ とする。芽のシンボルが持つパラメタ $step_c$ は、ルールによってシンボルが生成された時刻 $step$ を保存する。

3. 提案手法

本章では、提案手法の流れを述べ、生長シミュレーションの処理について説明する。

3.1 提案手法の流れ

初期設定として、ツタの生長環境となる物体のポリゴンモデルを入力する。また、ツタの生長開始位置を設定する。

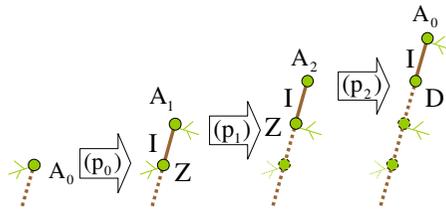


図3 頂芽の生長ルールに対応する形状の変化
Fig.3 Change in shape corresponding to growth rules of apical bud.

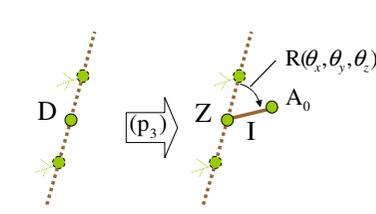


図4 休眠芽の生長ルールに対応する形状の変化
Fig.4 Change in shape corresponding to growth rule of dormant bud.

次に、生長シミュレーションを行いツタの形状を生成する。シミュレーションにはこの処理には大きく分けて3つの処理がある。初めに、L-systemを用いる。L-string上の全てのノードに対して、ルールを適用して次のstepの状態を決定する。次に、生成した芽の3次元空間上での位置を決定する。最後に、枝が物体に付着していない場合は、重力の影響を考慮して枝の位置の修正を行う。

以上の処理から、生成したL-stringを元に描画を行い、ツタのCGモデルを得る。

次節より、生長シミュレーションの処理について説明する。

3.2 L-systemで使用するルール

L-systemでは、芽のパラメタに応じて節を生じるかどうかを決定する。この処理で扱うパラメタは、芽の状態Bud、芽が生成された時刻step、芽の3次元空間上での座標P、芽から生える節の生長方向V、芽の保持する養分値N、この芽から生じる葉の方向Lである。書き換えルール上では、芽の保持するパラメタも含めて次のように芽のシンボルを記述する。

$Bud(step, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L)$

初めに、頂芽の生長ルール(p0)~(p2)を示す。また、ルールに対応するツタの形状の変化を図3に示す。

$(p_0)A_0(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : (H_0 \leq t_0, N \geq t_1) \rightarrow Z(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, 0, L)IA_1(step, \mathbf{P}', \mathbf{V}', N, L')$

$(p_1)A_1(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : (H_0 \leq t_0, N \geq t_1) \rightarrow Z(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, 0, L)IA_2(step, \mathbf{P}', \mathbf{V}', N, L')$

$(p_2)A_2(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : (H_0 \leq t_0, N \geq t_1)$

$\rightarrow D(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, (1 - \alpha)N, L)IA_0(step, \mathbf{P}', \mathbf{V}', \alpha N, L')$

ここで、conditionの t_0 は受光量に関する閾値である。芽の周囲にある葉の影の量が t_0 以下であれば、発芽するのに十分な光を受けていると判断する。 H_0 は芽の周囲にどれだけ葉の影があるかを表す。stepごとに枝の位置や葉の大きさは変化するため、逐一計算する。

H_0 の計算方法については3.3節で述べる。

t_1 は頂芽が節を生じるのに必要な養分値の閾値である。

α は頂芽優勢度で、 $0.5 \leq \alpha \leq 1.0$ の値をとる。ルール(p2)において、元のシンボルが保持している養分値を、新たに生成した頂芽と休眠芽に分配する割合を制御する。successorにおけるP'とV'の決定方法については3.4節で述べる。

次に、休眠芽の生長ルール(p3)を示す。また、ルールに対応するツタの生長を図4に示す。

$(p_3)D(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : (H_1 \leq t_0, N \geq t_2)$

$\rightarrow Z(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, 0, L)[R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)IA_0(step, \mathbf{P}', \mathbf{V}', N, L')]$

conditionの H_1 は H_0 と同様であるが、predecessor以前の芽の受光量も含める。 t_2 は、休眠芽が発芽するのに必要な養分値の閾値である。 $t_2 > t_1$ となるよう閾値を設定することで、休眠芽が頂芽に比べて発芽しにくくなるため、頂芽優勢の性質を表現できる。

(p0)~(p3)のルール内においてパラメタLのとり値を1, 0とし、枝に対して左右どちらに葉が生じるかを表す。この値を交互に1, 0に切り替えて互生を表現する。なお、休眠芽の発芽する方向も同様に互生を示すので、Lの値に従って分岐の生じる方向を決定する。

養分値の蓄積ルール(p4), (p5)を以下のように設定する。

$(p_4)A_{0,1,2}(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : N < t_1 \rightarrow A_{0,1,2}(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N + \beta, L)$

$(p_5)D(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : N < t_2 \rightarrow D(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N + \beta, L)$

このルールは、新しく節を生じるだけの養分値がない場合に養分を蓄える性質を表す。養分値の蓄積量を β とし、注目している芽の養分値に加算する。

ツタには、枝が物体に付着しないまま長く伸びると、やがてその枝の生長を止める性質がある。この生長終了を示すルール(p6)を以下のように設定する。

$(p_6)Bud(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, N, L) : (num \times l > B_{max}) \rightarrow Z(step_c, \mathbf{P}, \mathbf{V}, 0, L)$

ここで、conditionにおいて、付着していない枝に含まれる芽の数num、節の長さl、付着しない枝の最大長 B_{max} とおく。節の長さは常に一定とする。

3.3 受光量と受光ベクトルの計算

一般的に植物は屈光性を持ち、効率よく光を取り入れられる方向に枝を伸ばすため、互いに避け合うような伸び方をする。これは枝のごく先端部分で、光に応答する物質によって屈性が引き起こされるためと考えられている⁹⁾。ツタの場合も、補助物体の面上に限定されているが、枝同士が互いにできるだけ重なり合わない距離を保ち、補助物体を満遍なく覆うように枝を伸ばしている。この性質を表現するため、本手法では芽における受光量と受光ベクトルを求める。ここでは、図5(a)のように、光は補助物体の表面に一律な強度で当たって

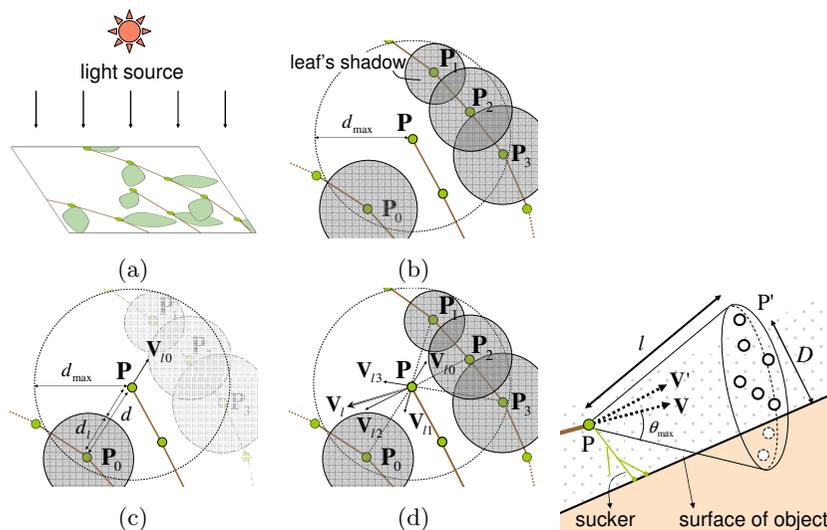


図5 枝の受光モデル

Fig.5 Receiving light model with branch.

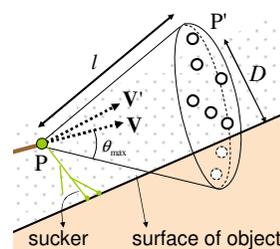


図6 候補点の配置

Fig.6 Putting the slate points.

いと仮定し、ツタの枝葉が作る影のみを考慮する。

葉は *step* を重ねるにつれて大きくなり、最大になるときの直径を d_{max} とする。注目している芽 \mathbf{P} から距離 d_{max} 以内に存在する芽は、そこから生える葉の影が \mathbf{P} の葉に届く可能性がある。例として、図 5(b) のように、 $\mathbf{P}_0 \sim \mathbf{P}_3$ の 4 点が当てはまったとする。

まず、 \mathbf{P}_0 に注目する。図 5(c) のように、 \mathbf{P}_0 の葉の影が存在する領域を、中心 \mathbf{P}_0 、直径 d_l の円とする。このとき、 \mathbf{P}_0 の葉の影から遠ざかる方向は $\mathbf{P}_0\mathbf{P}/|\mathbf{P}_0\mathbf{P}|$ であり、 \mathbf{P}_0 に限定して言えば、この方向がより光を取り入れられる方向とみなすことができる。 \mathbf{P}_0 の受光ベクトルを $\mathbf{V}_{l0} = \mathbf{P}_0\mathbf{P}/|\mathbf{P}_0\mathbf{P}|$ とする。また、 \mathbf{P}_0 の影に近いほど影の影響を受けるとし、 \mathbf{P}_0 の影の影響力を h_0 とする。影の中に含まれるときを最大値 1 したとき、影からの距離 $d - d_l$ を用いて、影の影響力 h_0 と受光ベクトル \mathbf{V}_{l0} を以下のように定める。

$$h_0 = \begin{cases} 1 - (d - d_l)/d_{max} & (d - d_l \geq 0) \\ 1 & (d - d_l < 0) \end{cases}$$

$$\mathbf{V}_{l0} = h_0\mathbf{P}_0\mathbf{P}/|\mathbf{P}_0\mathbf{P}|$$

他の芽についても同様に処理し、 $\mathbf{V}_{l1} \sim \mathbf{V}_{l3}$ を得る。最後に、受光ベクトル \mathbf{V}_l を $\mathbf{V}_{l0} \sim \mathbf{V}_{l3}$ の和から、影の影響力 H_0 を $h_0 \sim h_3$ の和から求める。

休眠芽の受光量 H_1 については、同様の手順を \mathbf{P} と、その前の数点にさかのぼって計算し、各点における H_0 の合計を H_1 として扱う。これは、枝の密集したところでの発芽を抑え、頂芽よりも休眠芽の方が発芽しにくい性質を与えるためである。

3.4 3次元空間上での位置決定

L-system で生成された芽の 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)⁸⁾ を用いて決定する。

第一に、図 6 のように生長位置の候補点をランダムに配置する。

predecessor の芽を点 \mathbf{P} 、座標を \mathbf{P} 、生長方向を \mathbf{V} と表す。successor で生成される芽の候補点を点 \mathbf{P}' 、座標を \mathbf{P}' 、節の長さ l 、ツタの生長方向が変化する最大角度を θ_{max} とする。 \mathbf{P}' の生長方向 \mathbf{V}' は \mathbf{V} を x, y, z 軸まわりに各々 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ だけ回転させたものとし、この回転角は θ_{max} 以下で乱数を用いて決定する。このとき、 \mathbf{P}' は以下のように求める。

$$\mathbf{P}' = \mathbf{P} + lR(\theta_x, \theta_y, \theta_z)\mathbf{V}$$

第二に、配置した各候補点からツタの性質を最も満足する点を選択する。補助物体と衝突しない候補点に対して、ツタの性質を表す項目を以下の 5 点とし、各項目を満たす度合いを適正值として計算する。

- 距離

補助物体の面との距離が吸盤の届く範囲ならば、付着して枝を固定できる。枝は固定された方が効率よく伸びるので、物体からの距離が近い位置が好ましい。 \mathbf{P}' と面との距離を d 、吸盤の長さを D として、距離の適正值 f_d を、

$$f_d = 1 - d/D \quad (0 \leq f_d \leq 1)$$

と定める。 $0 \leq f_d \leq 1$ のときは付着でき、 $f_d < 0$ のときは付着できないと判定する。

但し、吸盤がないときと、補助物体に付着できないときは、距離は生長方向に関係しないため $f_d = 0$ とする。

- 生長方向の変化

枝が急角度で曲がることはないため、生長方向の変化量の少ないものを選択する。生長方向の変化量に関する適正值 f_v は以下の式から求める。

$$f_v = (\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}' + 1)/2 \quad (0 \leq f_v \leq 1)$$

- 屈地性

植物は一般的に、重力に逆らって生長する性質を持っている。この性質を屈地性とい

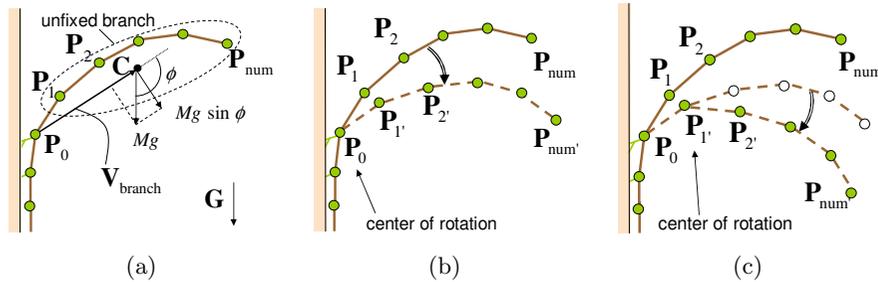


図7 枝の位置修正の流れ
Fig. 7 Flow of correcting the position of branches.

う。枝が補助物体に付着せず垂れ下がっている場合は、重力の影響を大きく受けるが、先端の生長方向は完全に下向きにはならない。重力の働く方向を \mathbf{G} として、屈地性に関する適正值 $f_{geotropism}$ を、以下の式から求める。

$$f_{geotropism} = ((-\mathbf{G}) \cdot \mathbf{V}') / 2 \quad (0 \leq f_{geotropism} \leq 1)$$

● 重力

補助物体に付着していない枝が長い場合、枝は自重を支えられないため、重力の影響を大きく受けて下向きに生長する。重力に関する適正值 $f_{gravity}$ は、以下の式から求める。

$$f_{gravity} = (\mathbf{G} \cdot \mathbf{V}') / 2 \quad (0 \leq f_{gravity} \leq 1)$$

但し、物体に付着しているときは自重を支えられるので、 $f_{gravity} = 0$ とする。

● 屈光性

枝は光がより多く取り入れられる方向へ生長する。3.3 節で求めた受光ベクトル \mathbf{V}_l を正規化したベクトルを \mathbf{V}'_l として、屈光性に関する適正值 $f_{heliotropism}$ を以下の式から求める。

$$f_{heliotropism} = (\mathbf{V}'_l \cdot \mathbf{V}') / 2 \quad (0 \leq f_{heliotropism} \leq 1)$$

以上の計算から、候補点 P' の総合的な適正值 f を、

$$f = f_d + f_v + f_{geotropism} + f_{gravity} + f_{heliotropism}$$

と求め、 f が最大となるものを次の生長位置として保存する。

3.5 枝の垂れ下りの表現方法

ツタの枝は自重を支えられないため、吸盤で付着していない場合、伸びるにつれて重みで垂れ下がっていく。この様子を表現するために、枝の位置の修正を行う。

3.4 節の処理によって、次の生長位置 P' が決定された後、 P' の吸盤が付着していない場

表3 シミュレーションで使ったパラメータ
Table 3 Parameters of growth simulations.

Internode length l	30 [pixels]	Threshold value t_1	0.2
Sucker length D	30 [pixels]	Threshold value t_2	2.0
Leaf's maximum size d_{max}	60 [pixels]	Degree of apical dominance α	0.8
Object size	3000 x 3000 [pixels]	Amount of nourishment addition β	0.05
Acceleration of gravity g	9.8 [m/s ²]		

合は、枝の位置の修正を行うかどうかの判定を行う。付着していない枝のモデルを図7(a)に示す。最後に付着していた芽を P_0 とし、 P_0 から枝の先端に向けて順次 P_1, P_2, \dots, P_{num} とする。 $P_1 \sim P_{num}$ のパラメータを参照し、枝の重心 \mathbf{C} 、枝全体の重さ M を求める。枝全体の見かけの生長方向を、

$$\mathbf{V}_{branch} = (\mathbf{C} - \mathbf{P}_0) / |\mathbf{C} - \mathbf{P}_0|$$

とする。ここで、 \mathbf{V}_{branch} と重力 \mathbf{G} のなす角を ϕ 、重力加速度を g とすると、枝にはたらくモーメント F_{moment} は、以下の式で表すことができる。

$$F_{moment} = |\mathbf{C} - \mathbf{P}_0| M g \sin \phi$$

ここで、 P_0 が支えられる力を閾値として定め、 F_{moment} が閾値を上回った場合、重力の影響で枝が垂れ下がると判定し、 $P_1 \sim P_{num}$ の座標の修正を行う。

図7(b)に示すように、付着していない枝 $P_1 \sim P_{num}$ に対して、垂れ下がり後の位置を $P_{1'} \sim P_{num'}$ とする。 $P_1 \sim P_{num}$ の各座標は、回転の中心 P_0 として下向きに回転させる。次に、図7(c)に示すように、回転の中心を $P_{1'}$ に切り替える。以降は同様にして、回転の中心を先端側にずらしながら、 F_{moment} の値が閾値以下になるまで位置の修正を続ける。回転後の枝が補助物体と衝突する場合は、補助物体の表面に沿うように改めて座標を修正する。

4. 実 験

本手法を用いて実際に生長シミュレーションを行い、設定した L-system のルールや位置決定方法、受光量に関する処理の効果を確認した。実験で用いたパラメータを表3に示す。節や吸盤の長さ、葉の大きさは季節や天気などの環境によって変動するが、ここでは一定値として定めている。各種閾値は、実際に屋外に生えているツタの 1m² あたりの枝の分岐点、交差点の数の平均を取り、その値に近くなるよう手動で設定した。なお、描画に関するパラメータは、1pixel あたり 1mm を想定している。

閾値 t_0 を変化させ、step=450 までシミュレーションを行い周囲の葉の影に応じた枝の伸

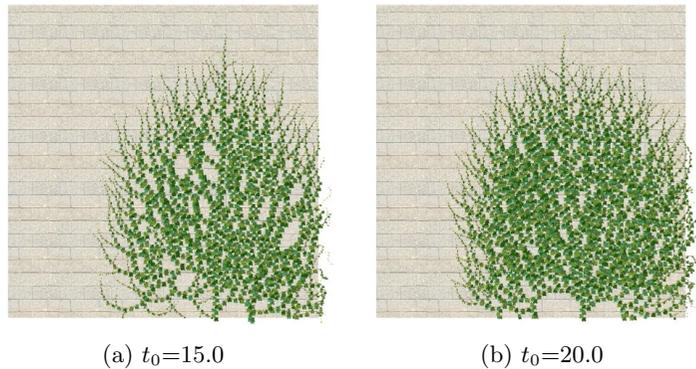


図8 シミュレーション結果
Fig. 8 Results of the growth simulation.

び方を確認した。図8(a)は $t_0=15.0$ 、(b)は $t_0=20.0$ としたときの結果である。(b)の方が(a)よりも枝と枝の隙間が少なく、 t_0 が大きいきほど、周囲に影が多くても発芽していることが見て取れる。このことから、受光量に応じた分岐の制御ができたことが分かる。また、(a)の枝の分岐点と交差点の数は 1m^2 あたり約55個、(b)は約86個だった。図1に示した本物のツタについても、葉のない部分の分岐点、交差点数を数えたところ、手作業につき誤差が見込まれるが、 1m^2 あたり約88個であった。従って、枝葉の密度の点では(b)の方が図1のツタに近いとみなすことができる。

次に、図8において、枝の先端を見ると、枝同士が近付いた箇所では、その先で離れるように枝の生長方向が変わっていることが確認できる。このことから、生長位置決定の処理で用いた受光ベクトルによって、枝葉の影の少ない方向への生長が実現できたことが分かる。

以上のことから、周囲の葉の影が多いところでは枝の分岐をせず、明るいところを求めて枝を伸ばす性質が表現されたと考えられる。

また、補助物体のない右端では、付着できないまま長く伸びた枝が重みで傾く点、枝の先端は屈地性に従って上向きになっている点が見て取れる。このことから、枝が付着していない場合の伸び方の変化が現れたと分かる。

問題点として、枝同士が近付いても交差を回避できず、枝葉が重なり合う場合が挙げられる。本物のツタでも枝が交差することは多いが、図1のように、枝同士がほぼ平行に伸びることで交差を避けており、必ずしも上に向かって伸びていない例もある。この実験結果と実

物の違いは、3.4節で説明した適正值の計算で、屈光性以外の性質も同じ重みで考慮しているからであると思われる。そこで、芽の周囲の環境に応じて考慮すべき適正值に重みを持たせ、影が多い場合は屈光性に従いやすくするなどの工夫をする必要がある。また、ツタの枝の伸び方の仕組みは解明されていないが、再現のためにパラメタの値の調整や別の要素の追加を行っていくことも検討する必要がある。

5. まとめ

本稿では、ツタの吸盤の働きに沿ったL-systemのルールと、生長位置の決定方法、枝葉が作る影を考慮した枝の伸び方の処理方法を提案した。実験では、受光量と受光ベクトルの導入によって、芽の周囲の影に応じて発芽を抑え、枝が互いに避け合う様子を表現した。しかし、本物のツタが枝を同じ方向に伸ばして交差を避けるような挙動は再現できなかった。今後は、より本物に近い形が得られるようパラメタの調整や新しいパラメタの追加について検討する。

参考文献

- 1) “壁面緑化ガイドライン”，東京都，平成18年3月発行。
- 2) 沖中健，野島義照，小林達明，瀬戸裕直，“つる性植物の被覆がコンクリート建物の壁面温度に及ぼす影響”，千葉大学園芸学部学術報告，第48号，pp.125-134，1994。
- 3) 梅干野晃，茶谷正洋，八木幸二，“ツタの西日遮へい効果に関する実験研究”，日本建築学会計画系論文報告集，pp.11-17，1985。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) R. Mech, P. Prusinkiewicz, “Visual Models of Plants Interacting with Their Environment”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH 96, ACM, pp.397-410, 1996.
- 7) Z. Lam, S. A. King, “Simulating Tree Growth Based on Internal and Environmental Factors”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH 05, ACM, pp.99-107, 2005.
- 8) B. Benes, E. U. Millan, “Virtual Climbing Plants Competing for Space”, Proc. of Computer Animation, pp.33-42, 2002.
- 9) 甲斐 昌一，森川 弘道，鈴木 泰博，“プラントミメティクス ～植物に学ぶ～”，エヌ・ティー・エス，2006。