

樹群形成のビジュアルシミュレーション

山下彰一 高井昌彰 佐藤義治

北海道大学 工学部

札幌市北区北13条西8

あらし

自然景観や都市景観のCG表現において樹木の画像生成は重要である。樹木の形状形成は、遺伝的要素、生理的プロセス、外的環境などの多くの要因によって影響を受けるが、これらの要因は相互に関連し合い、複雑に作用している。そのため、自然な樹木の表現を行なう上で、樹木の成長時の環境全体の影響を考慮することが不可欠である。本稿では、樹木の生成パターンを遺伝子レベルで簡潔に符号化し、周囲の環境の影響を受けながら成長するモデルを提案する。さらに本モデルを用いたシミュレーションを行ない、樹群の形成過程の可視化を試みる。

和文キーワード 自然景観、樹木、成長モデル、相互作用

Visual Simulation of a Formative Process of Forest

Shoichi Yamashita Yoshiaki Takai Yoshiharu Sato

Faculty of Engineering, Hokkaido University

North13 West8 Kita-ku, Sapporo, 060 JAPAN

Abstract

It is important to generate a picture of botanical trees in computer graphics of natural views. The formation of a botanical tree is influenced by many factors such as genetical elements, physiological processes and surrounding environments, but these factors are in reference to one another complicatedly. Therefore, it is significant to take environmental effects into account when we render the shapes of botanical trees. We present a growth model of botanical trees. We encode the shapes of a tree into genotypic strings, and make trees grow taking account of the environments including other trees. In this paper, we will try to generate images of forest by this model.

英文 key words natural scene, botanical tree, a growth model, interaction

1 はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) は建設計画や都市計画、景観シミュレーションなど、様々な分野で広く利用されている。自然物を対象としたCG表現についても炎の揺らぎや水の流れなどの数多くの研究がなされており、その中でも樹木の画像生成は自然景観や都市景観のシミュレーションにおいて重要な位置を占めている [1~4]。特に公園や街路樹並木などの植樹計画や熱帯雨林の伐採計画、ヘリコプターなどの低速低空飛行機用フライトシミュレータの景観シミュレーションにおいては、樹木の成長過程を考慮し、より自然な樹木の空間配置を可視化する事が重要である。

これまで樹木単体に注目した成長シミュレーションは数多く見られるが、樹木の集団 (樹群) に注目した成長シミュレーションはほとんど見られなかった。そこで我々は樹群の成長過程に注目し、その可視化の研究を行ってきた [5,6]。自然における樹木の形状形成は遺伝的要素、生理的プロセス、外的環境など、内的・外的な多くの要因によって影響を受けるが、これらの要因は相互に関連しあい複雑に作用している [7]。ある一つの要因が樹木形成に影響を与える場合、一つの生理的プロセスだけでなく、非常に多くのプロセスに対して影響を与えるし、また他の要因に対しても影響を与える。そのため、自然な樹木の表現を得る上で樹木成長時の環境全体の影響を考慮することが不可欠である。

本論文では、基本的な樹形の生成パターンを遺伝子レベルで、できるだけ簡潔に符号化し、周囲の環境の影響を受けながら成長する樹群形成モデルについて述べる。本モデルの特徴としては、以下が挙げられる。

1. 樹木間の相互作用を考慮
2. 様々な環境条件に対応

まず 1. については、各樹木のエネルギー獲得への干渉や成長の抑圧などが考えられ、2. については土地の状態、日光の遮閉、風の影響などにより樹

群の形成がどのような影響を受けるかを見ることが出来る。

以下 2 節では樹群形成モデルの全体像について説明し、3 節では本モデルにより作成したデータのレンダリング手法、4 節においてビジュアルシミュレーションの条件と結果を示す。最後に本論文のまとめを行ない、あわせて今後の展望を述べる。

2 モデリング

まず樹群形成のためのモデリングについて説明する。モデリングサブシステムでは樹木の形状、枝や幹などに関するデータを作成する。

2.1 樹木単体の成長

樹木の形態の基本パターンは遺伝子レベルで決定されていると考え、種子にその特徴の符号化を行なう。

種子に含まれる情報としては表 1 の因子を考える。これらを一次元の列 $abcdefg$ と符号化することで、1 本の樹木の種子を構成する。各樹木の基本的な成長は種子の情報を基にして行なわれていく。

表 1: 種子の因子

| 「成長」に関する因子 | |
|------------|----------------------|
| a | 成長力 (高さ、太さ) |
| b | 分枝数 |
| c | 角度 (成長方向との角度と子枝間の角度) |
| d | 主軸と側枝の割合 |
| e | 成長方向変化の許容値 |
| 「増殖」に関する因子 | |
| f | 種蒔きを行なう条件 |
| g | 種子の数 |

樹木の各枝の成長の流れを以下に説明する。

1. まず成長点 (枝先) における受光量を求める。
2. 各枝の成長方向を決定する (2.2.2 参照)。

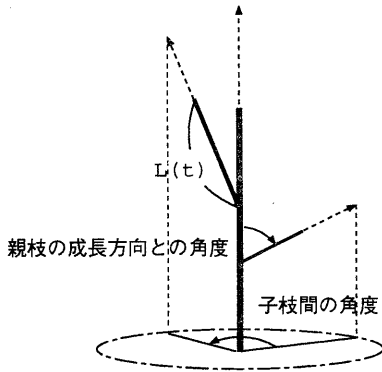


図 1: 分枝

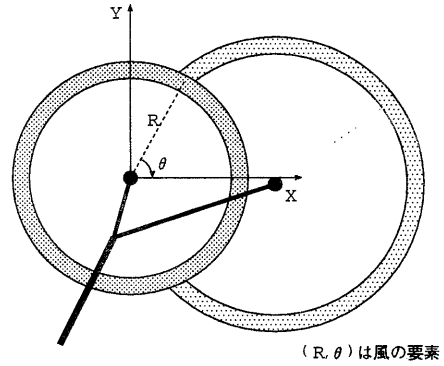


図 2: 種蒔きの分布

3. 時刻 t の枝の長さ $L(t)$ は、因子 a, d 、受光量及び土地からのエネルギー E を用いて次式で決定する。

$$L(t) = F(L(t-1), a, d, E)$$

ここで F は各引数に対する単調増加関数である。

4. 条件 $E > \alpha$ (分枝閾値) が成立すると分枝を発生する。子枝は b 本に分かれ、その初期方向は角度 c で決定する (図 1 参照)。また、樹木の分枝には単軸分枝と仮軸分枝がある。単軸分枝では主軸が常に側枝よりも勢い良く成長し、仮軸分枝では逆である。そこで、因子 d により主軸と側枝の成長の違いを表現する。
5. 以上の手順 1.~4. を繰り返すことにより樹木は成長し、樹木が十分大きくなると増殖が起こる。条件 β (樹木の分枝回数) $> f$ が成立すると種蒔きが行なわれ、 $(\beta + 1) \times g$ 個の種子が蒔かれる。その際、種蒔き時の風力・風向を考慮し種子の広がり分布を決定する (図 2 参照)。

以上 1.~5. を繰り返し樹群を形成していくのだが、それだけでは自然な樹群の形成を期待することはできない。

2.2 樹群における相互作用

自然な樹群の形成を表現するため、本成長モデルは以下の点を考慮している。

- 環境に見あった成長と枯死
- 光探索性

以下ではそれぞれについて説明する。

2.2.1 環境に見あった成長と枯死

受光量は空間をメッシュ状に細分化した各セルにおいて計算され、成長に反映させる。ただし、各セル上の受光量計算の際、セルへの日光をさえぎる他の樹木の枝や葉が存在する場合は、それに応じて受光量を減少させる。以上により受光量を計算し、土地からの養分と合わせてエネルギー値 E を決定する。

集団を扱う成長モデルにおいて重要なのが個体間の競争である。日光、水分やその他の養分に対する競争が炭水化物やホルモンの合成に影響するため、競争に負けた場合、養分などの不足は樹木の成長を妨げ、さらに養分の吸収が阻害され、競争力を弱めるという悪循環に落ちいる。競争に敗れた樹木は養分吸収の減少のため枝の枯死が生じる。そこで枝の枯死閾値を設定し、条件 $E < \gamma$ (枯死閾値) が成立すると枝の枯死が起きるものとする。

2.2.2 光探索性

広葉樹などでは、より多くの葉が効率良く光を受けるために、受光量の少ない枝はより光を受けやすい方向に成長する性質(光探索性)が強い。実際の樹木を観察すると、このような成長により形成されたと思われる枝振りが数多く見られる。

そこで、樹木の自然な枝振りを表現するため、成長点からみて明るい方向を探索し、次期の成長方向として採用することで、光探索性を表現した。ただし、枝先方向変化はある程度制限され、種子情報の中の因子 e がその最大値である。

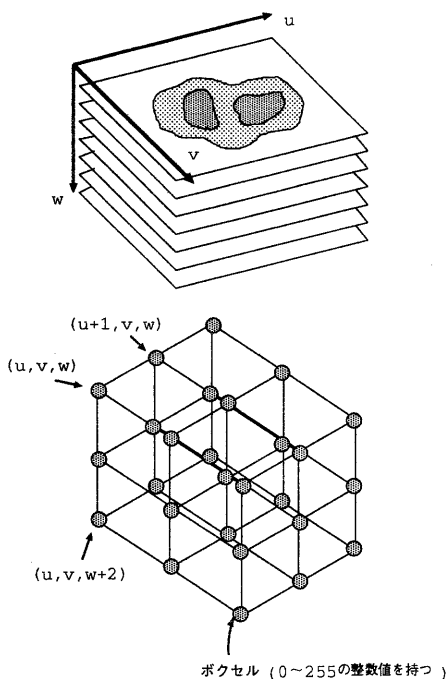


図 3: Sun Voxel のボクセル空間

3 レンダリング

本モデルによって生成された樹群のデータを描画する手法について説明する。モデリングサブシステムによって生成された樹群のデータは、

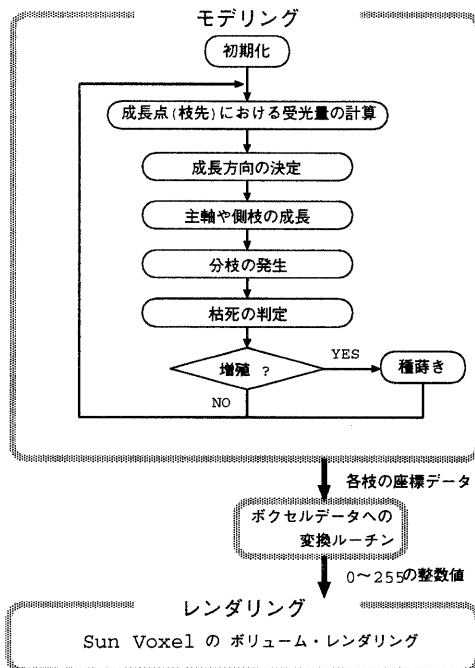


図 4: フローチャート

*SunVision*TMのボリューム・レンダリングツール *SunVoxel*TMによって可視化される。樹群形成のビジュアルシミュレーションは樹木1本ではなく樹群全体とその内部構造に注目していることから、3次元空間に存在する立体の表面だけでなく、内部を含む一塊を直接レンダリングすることのできるボリューム・レンダリングが好ましいと考えたからである。

ボリューム・レンダリングは中身のつまった立体の可視化を目的とし、3次元座標上に規則正しく格子状に立方体を配置し、それらに属性値を持たせる。この立方体をボクセルという。図3において上図は描画すべき立体のスライスデータを表しており、下図はボクセルの集合である。ここでは分かりやすいように各ボクセル間を離してあるが、実際にはすきまなく接している。また使用した *SunVoxel*TMではボクセルが持つ属性値は0~255の整数値であり、それが対象とする物質の色

や密度を表している。

モデリングサブシステムで生成されたデータと SunVoxel™との対応づけに当たり、可視化する対象を枝(幹)、葉、土地の3種類に分けた。生成された枝の座標データから、枝の存在している空間に対応しているボクセルに枝の属性値を与える。さらに、先端の枝にはその周囲に一樣に葉が分布していると仮定し、枝の周囲に存在するボクセルに一定確率で葉の属性値を与えた。

以上の一連の流れをフローチャートにまとめたのが図4である。モデリング部において各枝(幹)の座標データや葉の分布が決定され、それを変換ルーチンにより SunVoxel™で利用可能なボクセルデータに変換している。

4 ビジュアルシミュレーション

本樹群形成モデルによって生成されたデータを基に、樹群が形成されていく過程を描画した結果を示す。今回の全てのシミュレーションは土地の中央に1つの種子を蒔くことから開始している。また図4におけるモデリング部の1ループを1ステップとしてシミュレーションを行なっている。土地に関しては分かり易くするために2色に色分けを行なった。

なおシミュレーションは Sun SPARCstation 2GSで行なっており、ボクセル空間の大きさは100×100×100である。

4.1 シミュレーション1

シミュレーション1として、相互作用を考慮しつつ樹群を形成していく過程を描画したものを図5に示す。シミュレーション条件は表2のとおりである。

図5は上から、8ステップ、30ステップ、50ステップ、100ステップと移り変わっていく様子を示している。含まれている樹木の本数はそれぞれ1本、17本、66本、200本である。

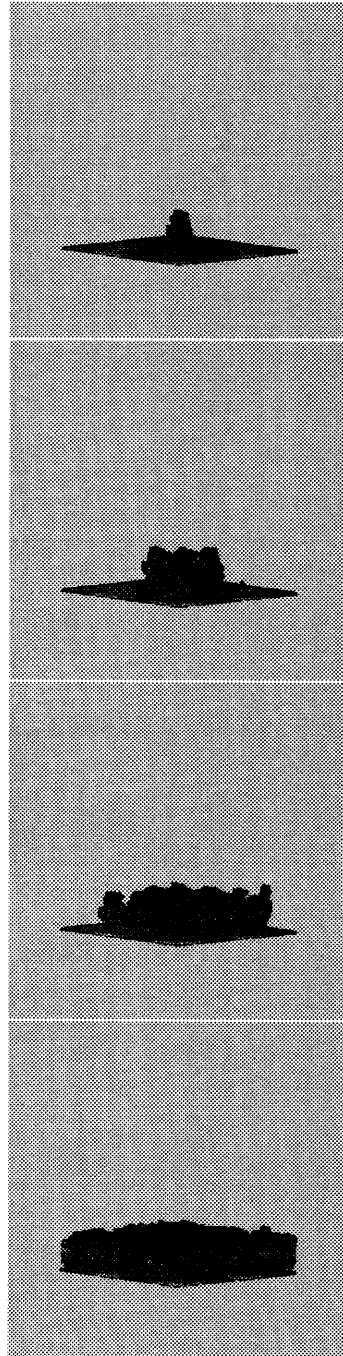


図5: 樹群の形成過程

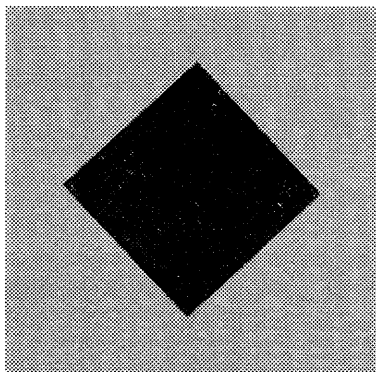


図 6: 上空図

図 5 から分かるように、しだいに樹木が群生していき、自然に大きく樹群が形成されていく様子が表されている。また、100 ステップの時の上空からの様子を描写した図 6 を見ると、土地にほぼ均一に樹木が広がっている様子がわかる。

表 2: シミュレーション 1 条件

| 「環境」に関する条件 | |
|------------|----------------------|
| 土地 | 平坦 |
| 日光 | 半球上方から照射 |
| 風 | 全方向にランダム |
| 「種子」に関する条件 | |
| 成長力 | 1.2×10^{-2} |
| 分枝数 | 2 |
| 成長方向との角度 | 80° |
| 子枝間の角度 | 120° |
| 主軸と側枝の割合 | 40 % |
| 成長方向変化の許容値 | 10° |
| 種蒔きの条件 | 分枝回数 150 回 |
| 種子の数 | 1 |

4.2 シミュレーション 2

次に表 2 の種子因子はそのままに、環境条件を変えてシミュレーションを行なった結果を示す。

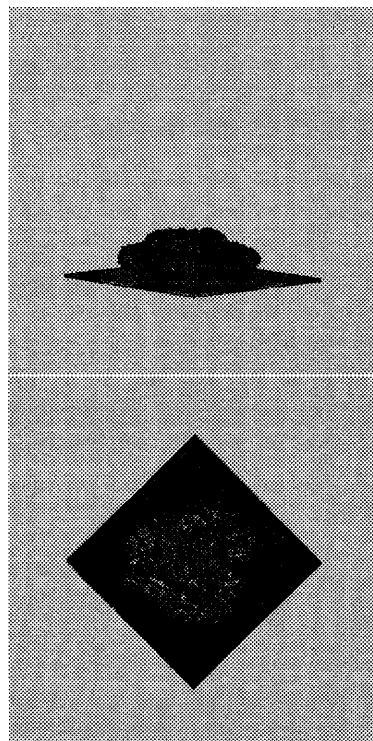


図 7: 相互作用を考慮しない場合

まず図 7 であるが、これは樹木間の相互作用を全く考慮しなかった場合をシミュレートしたものである。30 ステップ、本数 384 本の時の側面図と上空図を表している。先のシミュレーション 1 の結果と比べ、30 ステップの時の樹木の本数は大きく異なり、極めて狭い空間に過度に樹木が密集していることがわかる。これは相互作用を考慮しないために、エネルギー獲得の干渉や成長の抑圧などがなされず、大きく成長した樹木の真下からもまた樹木が大きく成長するという不自然な現象が起こっているためと考えられる。

次に土地に道路が存在した場合をシミュレートした結果を図 8 に示す。100 ステップ、本数 101 本の時の側面図と上空図である。生成された樹群に不自然さが見られることはないが、シミュレーション 1 における 100 ステップの樹群と比べると、樹

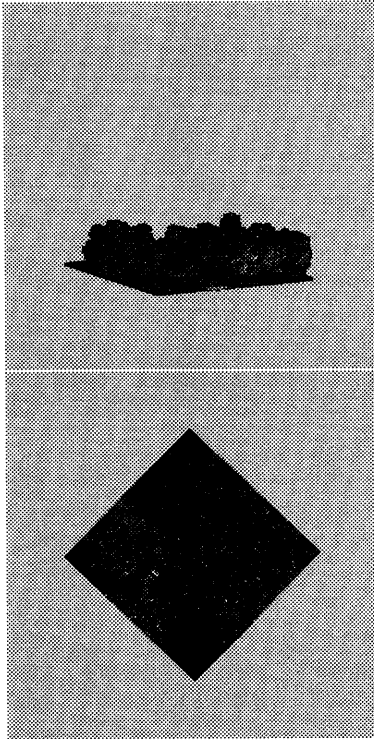


図 8: 道路が存在する場合

群の広がりには偏りが見られることがわかる。これは、道路の存在が樹木の広がりにも影響を及ぼした結果と考えられる。

図 9は各ステップごとに吹く風の方向を一定とした場合をシミュレートした結果である。100 ステップ、本数 38 本の時の側面図と上空図を表している。各ステップごとに風が一定方向にしか吹かないために、樹群の広がりが著しく妨げられている様子が良くわかる。

5 まとめと今後の展望

本論文では自然景観シミュレーションを目的として、樹木の形状形成に影響を与える遺伝的要素や外的環境を考慮し、個体間の競争を取り入れた樹群形成モデルを提案し、これを用いて樹群の形

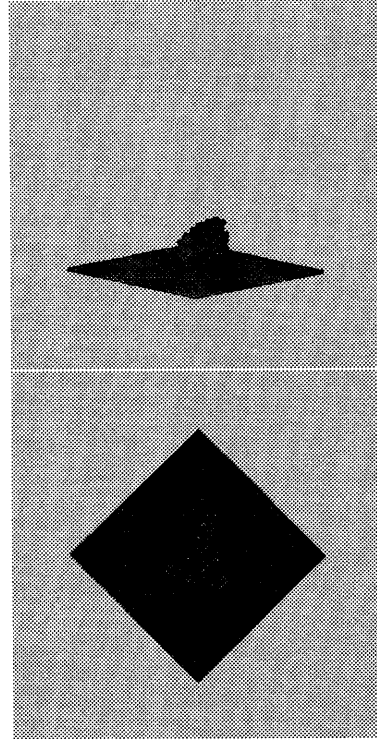


図 9: 風向を一定にした場合

成過程のビジュアルシミュレーションを行なった。

また現在、モデラーとレンダラーのより一般的なインターフェイスとして、汎用の樹群記述言語を考慮中である。この言語は樹木を描くためのデータ構造を有するものであり、樹木形状の座標、幹や葉の色の分布などのデータ型を持つ。これにより、ユーザが対話形式で樹群の配置替えを行なうことや、部分的な樹木の伐採を評価することが容易になると思われる。また、さまざまな可視化ツールへの対応も可能となる。

今後の課題は、樹群記述言語を含む統合的な樹群成長シミュレーションシステムの構築である。

参考文献

- [1] Masaki Aono and Toshiyasu L. Kumii :

- “Botanical Tree Image Generation”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.4, no.5, pp.10-34, 1984.
- [2] Karl Sims : “Artificial Evolution for Computer Graphics”, *Computer Graphics*, vol.25, no.4, pp.319-328, 1991.
- [3] 金丸 直義, 千葉 則茂, 高橋 清明, 齊藤 伸自 : 向日性による樹木の自然な枝振りの CG シミュレーション, *電子情報通信学会論文誌*, vol.J75-D-II, no.1, pp.76-85, 1992.
- [4] 大崎 恵一, 鈴木 悌司 : 光環境を考慮した樹木の成長モデル, *情報処理学会研究報告*, vol.93, no.92, pp.37-44, 1993.
- [5] 山下 彰一, 日高 東潮, 高井 昌彰, 佐藤 義治 : 個体間の相互作用を考慮した樹群の形成シミュレーション, *情報処理学会第 48 回全国大会講演論文集 (2)*, pp.389-390, 1994.
- [6] 山下 彰一, 高井 昌彰, 佐藤 義治 : 相互作用を考慮した樹群のイメージ生成, *情報処理学会第 49 回全国大会講演論文集 (2)*, pp.341-342, 1994.
- [7] 堤 利夫, 佐藤大七郎 : 樹木 - 形態と機能 -, 文永堂, 1978.