

植物生理学的要因と外的要因を考慮した落葉のビジュアルシミュレーション

阿部 健志[†] 伊藤 弘樹[‡] 菊池 司[‡]

拓殖大学大学院[†]

拓殖大学[‡]

1. はじめに

秋の風物詩である紅葉から落葉に至る景観シーンは、景観コンピュータグラフィックス (CG) において自然な季節感を表現するために欠くことができない現象である。自然で趣のある紅葉発色・落葉は、空間および時間において複雑性を持ち、数多くの植物生理学的不確定要因と環境要因が関係しているため、適切に再現された研究は見られない。

本研究では、葉の一枚一枚をパーティクルと考え、第3章で述べる植物生理学的特徴であるホルモンによる離層の形成と、風や日射量などの外的要因をユーザが自由に生成できるようにし、パーティクル (葉) が植物生理学的要因とユーザ制御による外的要因に影響を受けて運動する (舞い落ちる) 落葉のビジュアルシミュレーション法を提案し、クリエイターの作業負担を軽減することを目的とする。

2. 関連研究

本研究の関連研究として、紅葉発色の複雑性を、フラクタル頂上関数で再現した望月らの「紅葉のフラクタルシェーディングに関する研究」[1]や、「生物的モデリングおよびフラクタルモデリングに基づいた人工紅葉システム」[3]、「自然な紅葉のフラクタルモデリング」[4]、累積日射量を導入した早乙女らの「Biologically-Based Modelingに基づく紅葉の再現- 樹木個体のレベルにおける色変化-」[5]、仮定の植物ホルモン値と受光量を用いた大志田らの「樹木景観のビジュアルシミュレーションに関する研究」[6]、および自然樹木を生成する「The Algorithmic Beauty of Plants, Springer-Verlag」[7]などがあるが、落葉まで考慮した研究は見られない。

本研究では、紅葉を日射量から算出する方法を採用する。さらに、落葉の原因である離層の形成を仮定のホルモン値で再現し、ユーザ制御可能な風で落葉させる植物生理学的要因と外的要因を統合したアルゴリズムを提案する。なお、本論文で提案する手法は、落葉の定性的な性質の表現を実現するためのものであり、厳密な物理的性質の解析やシミュレーションを行うためのものではないことを断っておく。

3. 植物生理学的な紅葉・落葉のメカニズム

本章では、植物生理学的な落葉と紅葉のメカニズムについて述べる。

3.1 落葉のメカニズム

葉は太陽エネルギーを使って、水と二酸化炭素から有機物をつくり、この光合成でつくられた有機物によって樹木は自分を維持している。夏の間盛んに光合成した葉は、夏から秋にかけて日照時間が短くなり、気温が下がってくると、葉裏の気孔から蒸散する。そのままでは樹木全体が枯死してしまうため、その対策として葉と枝の間にコルク状の「離層」と呼ばれる組織を形成し、葉を切り捨てる (図1 参照)。

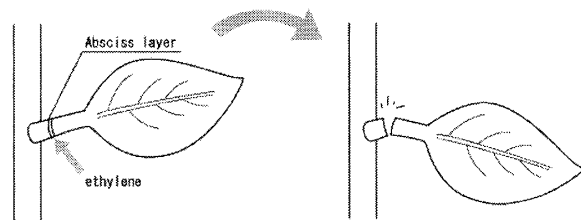


図1. 離層の形成

3.2.1 葉を赤く変化させる紅葉のメカニズム

上記の理由から形成された「離層 (Absciss layer)」によって、葉中でつくられた物質の転流が妨げられる。すると、葉中に蓄積されたタンパク質 (Protein) が分解されアミノ酸 (Amino acid) となり、糖 (Sugar) との科学反応で赤の色素である「アントシアニン (Anthocyanin)」が生合成され、赤く紅葉して見える [8]。

3.2.2 葉を黄色く変化させる黄葉のメカニズム

葉にはもともと「クロロフィル (Chlorophyll)」という緑の色素と「カロチノイド (Carotenoid)」という黄色の色素が含まれている。しかし、「クロロフィル」に比べ「カロチノイド」の数は 1/8 程度しかなく、そのため葉は緑色が優位に見える。秋になり、気温が下がると葉中の「クロロフィル」が分解されはじめる。「カロチノイド」も同じく分解されるが、「クロロフィル」のほうが分解される速度が速いため、葉に「カロチノイド」が残留し黄色が優位になって見える [8]。

4. 落葉のシミュレーション

本章では、本研究が提案する落葉システムについて述べる。

Visual Simulation of Falling Leaves which Incorporates Plant Physiological Elements and External Elements

Kenji ABE[†], Kouki ITOH[‡] and Tsukasa KIKUCHI[‡]

[†]Graduate School of Industrial Design, Takushoku University

[‡]Takushoku University

4.1 離層の形成

離層の形成には、植物ホルモンの一種であるエチレンが作用している [9]。本研究では、樹木モデルの太い幹ほどエチレンがあると考え、幹の太さに応じた仮想のホルモン値 H を以下の手順で定義する。

仮想ホルモン値の初期値を樹木モデルの頂点毎に式1によって割り当てる。つづいて、仮想ホルモン値 H を式2のロジスティック関数に従って時間の経過とともに減少するものとして算出し、仮想ホルモン値 がしきい値を超えたところから離層形成の順序を決定する。

$$H_0 = nL_{an} \text{rnd}() \quad \dots \text{式1}$$

$$H_T = \frac{H_{T-1}}{1 + \exp(rH_{r-1}t)} \quad \dots \text{式2}$$

ここで、 H は仮想ホルモン値、 H_0 は仮想ホルモンの初期値、 L_{an} は幹断面における頂点 a_n の体格最大値、 n と r は任意係数、 H_r は t 時間毎のホルモン値、および $\text{rnd}()$ は乱数である。

4.2 外的要因

4.2.1 日射量の計算

第3章のメカニズムでも述べたように、離層の形成と葉色の変化には、個葉それぞれが受ける日射量が密接に関係している [10]。

そこで、空間内に仮想太陽の通り道となる天球を配置し、メッシュに分割する。太陽の軌道からの距離に応じてメッシュに重みをつけ、式3 によって葉の受ける日射量を事前に計算する。

$$S = \frac{m}{|\vec{L}|} \quad \dots \text{式3}$$

ここで、 S は日射量、 $|\vec{L}|$ は天球のメッシュから葉オブジェクトまでの法線距離、および m はメッシュ毎の重みである。

4.2.2 ユーザ制御可能な風の生成

ユーザが仮想空間上に引いたスプラインを風の通り道とし、そのスプライン上に風に見立てた三段階の風パーティクルを配置し、落葉のパーティクルと風のパーティクルのコリジョン (衝突) を判定し、葉の散る順番に影響を与えるものとする。

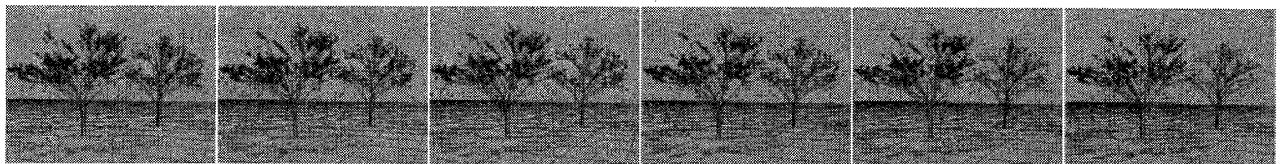
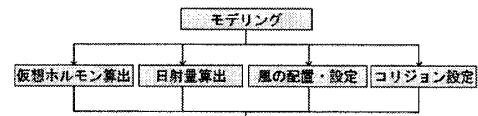


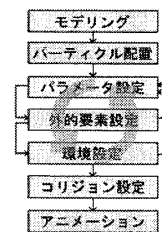
図2. シミュレーションシーケンス

5 シミュレーション映像の生成

第4章で述べた手法によるシミュレーション映像を生成した。また、作業効率を検証するため、同じ条件で手付けによるアニメーションを制作した。樹木モデルを複数本用意し、落葉システムを用いて落葉の順序を検証した。その結果を以下に示す (図2 シーケンス)。総フレーム数: 350フレーム、フレームレート: 30 fps、レンダリング時間: 約16 時間。



(A) 本手法による作業ワークフロー



(B) 手付けによる作業ワークフロー

図3. ワークフローの比較

6 考察

本研究の成果と手付けアニメーションを比較した結果、本研究では3つの要因から葉の落下順を計算することができた。またワークフローを比較すると、作業効率が向上しているため、ユーザの負担を軽減できたと言える (図3 参照)。

今後の課題としては、今回入れることの出来なかった紅葉システムによる葉色の変化と、本研究で扱わなかったその他の要因による葉の減少、さらに、森や山などのシミュレーションへの応用が挙げられる。また、パーティクルや要因計算によってかかってしまう膨大なレンダリング時間の短縮も今後システムやアルゴリズムを見直すことで改善していきたい。

参考文献

- [1] 望月茂徳, 堀江大輔, 蔡東生, "紅葉のフラクタルシェーディングに関する研究", 芸術科学会論文誌 Vol. 6 No. 2, pp. 76 - 87, 2007
- [2] M F. Barnsley, "Superfractals", Cambridge University Press, 2006.
- [3] 早乙女良江, 藤代一成, 池田八洲彦, "Biologically-Based Modelingに基づく紅葉の再現- 樹木個体のレベルにおける色変化", グラフィックスとCAD, 65-7, 1993
- [4] 望月茂徳, 蔡東生, "生物学的モデリングおよびフラクタルモデリングに基づいた人工紅葉システム", グラフィックスとCAD, 104-5, 2001
- [5] 望月茂徳, 蔡東生, "自然な紅葉のフラクタルモデリング", グラフィックスとCAD, 108-18, 2002
- [6] 大志田憲, "樹木景観のビジュアルシミュレーションに関する研究", 岩手大学大学院博士學位論文, 1999
- [7] Przenyślaw Prusinkiewicz, Aristid Lindenmeyer, "The Algorithmic Beauty of Plants", Springer-Verlag, 1990
- [8] 板井亮博, 柴岡弘郎, 芦原坦, 高橋陽介, "植物生理学入門 三訂版", 株式会社培徳館, 2001
- [9] 増田秀雄 監修, 山本良一, 板井直樹, "絵とき 植物生理学入門 (改訂2版)", 株式会社オーム社, 2008
- [10] B. F. Wilson, "The Growing Tree", The University of Massachusetts Press, 1984
- [11] Robert Bridson, Jin Hourihan, Marcus Nordenstan, "Curl-Noise- for Procedural Fluid", Siggraph' 07, (in Proc. DVD), 2007