報 文

植物モデリングによる緑化景観予測システムの応用について

森本幸裕*

Application of a Visual Simulation System for Revegetation by Plant Modeling

MORIMOTO, Yukihiro*

1. はじめに

近年、緑化の目的の多様化や緑化技術の発展にともない、施工前に緑化景観を予測することの必要性が増してきている。特に景観保全や生活環境保全を目的とする場合には、良好な緑化景観の形成が重要な目的であるから、緑化の計画や設計段階において、緑化景観を予測し、検討することが必須である。しかし多くの場合、どんな緑化景観が創出されるか、という問題は計画・設計者の経験に頼っているのが実情である。また、景観そのものが特に問題とならないような場合でも、クライアントや第3者との合意形成のために評価用の品質の高い予想図が出力できれば大変有用であろう。

このような目的のための手段は、従来は手書きのパスが主流であったが、近年コンピュータ・グラフィックスの利用も見られるようになってきた。本稿では現在、植物の3次元形状をモデリングした、最も進んだ景観表示ソフトウェアと思われる AMAP を紹介し、緑化景観予測への利用について論じたい。

2. CG と緑化景観予測

コンピュータグラフィックスで緑化景観をシミュレーションするといっても、それにはさまざまな方法が考えられる。また、現在まで、さまざまな方法が試みられてきたが、パソコンレベルでテレビ画像程度のカラー情報が取り扱えるようになってから、急速に実用的な利用上の進歩が見られるようになってきたといえる。かつては

プロッタを用いて線画の出力も行われたが、現在ではふつう、なんらかのカラー画像が成果品とされるようになった。

緑化景観のシミュレーションの課題はいろいろあるが、CG 一般に共通の課題以外の、独自の課題としてはつぎの3点が重要だろう。

まず、第1点は植物の形態の植物学的なリアリティに関する情報をどのように持つかということである。ふつう、2次元の画像データの場合と3次元のデータの場合がある。2次元画像の場合は写真やビデオによる実写画像によるか、ペイントまたはドローによってCGで作成される。前者の場合は比較的簡単にリアリティの高い画像が得られるが、視点を自由に移動させることはできない。一方、3次元データの場合はふつうポリゴンとしてモデリングされるが、植物の形態が複雑なためデータ量が膨大となりやすく、モデリングおよびレンダリングの方法によっては時間がかかる。

第2点は、計画・設計やシミュレーション目的にいかに関実的なツール類が準備できるか、という点である。緑化に関する画像データの収集、加工、切り貼り、重ね合わせ、アニメーション、画像出力、データベース化、CADとの連動など、実用化にむけて課題は多い。

第3点は、植物の成長と枯死によって変化していく植物景観をいかにシミュレーションするか、ということである。これは一見、計画・設計段階のCADとは関係ないとも言えるが、緑化工が生きた植物をとり扱っている以上、生態学的にありえない景観をリアルに表現しても意味が少ないからである。理想的には生態学的な諸条件に対応した将来予測ができて、はじめて植物景観のシミュレーションが完成したというべきだろう。緑化工事終了

* 京都造形芸術大学環境デザイン研究室
Kyoto Univ. of Art & Design

時点は真の緑化景観の完成時点とは言い難いのである。

これらをすべて一定程度満足させるシステムは今のところまだない。しかし、限定された目的のためには研究および実用化が進んできた。たとえば切り貼りによる2次元画像処理でも、パソコンレベルでもいわゆるフルカラー（2²⁴色）で大画面が普通に扱えるようになり、優秀なペイント・レタッチ用プログラム（Photoshop, Super Tableau など）で、かなり実用的な画像を出力できる。手前のものを取り除いた景観のシミュレーションも、2次元のシステムでは厳密には不可能だが、奥に位置する物が見える視点からの画像を変形させて合成するなど、スキルによってある程度欠点をカバーできる。ただし、そのリアルさはオペレータの熟練にかかっている。その点はちょうど手書きパースの表現のリアルさが描き手の技巧にかかっているのと同様である。

一方、従来の3次元のデータを取り扱うCADシステムでは、正確なパースペクティブは簡単に描けるものの、複雑な植物の形状をそのまま取り扱うことが困難であり、簡略化の度合いが大きいために、リアルさに欠けることが多かった。リアルさはデータの量そのものやレンダリング手法による、いわばCGの一般的技術に負う部分と、植物らしい形態とその成長の数理的表現、つまりモデリング技術による部分がある。両者の進歩によって初めて実用的なシステムが成立する。通常の物質のCG表現と異なって、特に植物の形態は成長によって変化することが特殊な点であるが、成長エンジンを備えたモデリングが行われるに至った。これによって、植物の成長にともなう景観の変化などのシミュレーションがスマートに行えるようになったといえる。

3. 植物モデリング

植物をパース表示プログラムで扱うにはなんらかの3次元構造をモデリングしなくてはならない。単に植物が添景として用いられる建築物主体のプログラムでは、何となく植物らしければよいということで、円柱の幹に回転楕円体をつけたり、あるいは円柱や円錐の幹に数枚の透明な板を地面に垂直に立て、葉らしい模様をマッピングするようなことも行われてきた。

一方、植物の全体形状の法則性に関する研究はかなり前から行われており、フラクタル的分枝構造であるホートンの法則の樹木への適応性に関する研究をはじめ、分枝構造の数学的モデルや生物学的モデルがいくつか発表されている。この点に関しては本條ら³⁾がこれまでの状況を取りまとめている。これらの研究成果を緑化景観シミュレーションに実用的に使うためには一般的な樹形の

モデリング理論だけでなく、多様な樹種のデータ、それらのリアリティの高いレンダリング技術、使いやすいユーザーインターフェイスなどが必要である。

これらの意味で、いままで開発されたプログラムのなかで、汎用的に利用できそうなものは多くない。植物の3次元構造を生成する実用的なソフトウェアは、おそらく、ひとつは日本で開発されたGDSであり、もうひとつはフランスで開発されたAMAPであろう。

4. AMAP

4.1 ハードウェアとソフトウェア

フランスのCIRAD (Centre de Cooperation Internationale de Recherche Agronomique pour le Developpement) で開発されたAMAP (Atelier de Modelisation pour l'Architecture des Plantes) は実際の植物の形態と成長過程の研究に基づいた、植物景観のCGプログラムに大きな特徴がある。植物の成長にともなう形態の形成に関しては古くからアフリカ象牙海岸の研究所でコーヒーやオイルパームを対象に研究が行われていた実績がある。CIRADの植物モデリング研究室を中心として、多数の植物、農学、コンピュータの専門家の共同研究としてAMAPが開発された。現在、AMAPの植物モデルには3種類ある⁴⁾。現在、市販されているのはアーキテクチャル・モデルであり、これよりもかんたんな初歩的モデルと逆に生物学的意味を追及したバイオロジカル・モデルがある。最初、フランスで用いられる種類しか市販されていなかったが、北米および日本の樹種もライブラリに加えられた。

このソフトウェアはグラフィックワークステーションであるシリコン・グラフィックス社のIRIS4Dシリーズ上で走り、以下のようなソフトウェアのモジュールから成っている。

- ACCESS : CAD/CAM データのフォーマット変換ツールで、一般的に用いられているDXFファイルをAMAP内で用いるARCHITECTなどのファイルに変換する。

- VISU (GLANCE) : 植物の成長エンジンを備えており、パラメータ・ファイルから形状をモデリングして高速にビジュアライズする対話型ツールで、これが最もユニークな部分といえる。これで生成した植物をRGBIMで用いたり、ポリゴンデータとしてexportし、AMAP以外のCGプログラムのデータとして用いることができる。

- RGBIM (LANDMAKER) : 対話的に植物、建築物、地形を組み合わせて景観を構築するツールで、日影や霧の

効果も含めたレンダリング、アニメーションもサポートしている。

- ・CALRGB: RGBIM のバッチ処理ツール。
- ・MAPRGB: 3 次元オブジェクトのマテリアル特性のチェックと修正ツールで, shinness および, 3 原色の特性として, ambient, diffusion, emission, specular を定義する。
- ・GENSURF: 地形モデラで, RGBIM で使用するデータを作成するツールである。制御点の最大数は現在のバージョンでは8000点であるが, 25000点に増やす予定という。もちろん別に作成した地形データも読み込める。標高に応じて MAPRGB で特性を定義し, RGBIM でのレンダリングにおける色と形の補間のレベル, すなわち画像の品質は 4 段階あって選択できる。
- ・SYMB: 植物の各部分の 3 次元形状のモデラであり, ポリゴンとその法線ベクトルを定義できる。

4.2 AMAP の特徴と利用

4.2.1 樹種の選択

乱数を用いて樹形の個体変異のシミュレーションができる。実際にはランダム・シードを適宜与えることによって, その樹種の樹形がどの程度変動するかを検討できる。これは通常の植栽のための図鑑類では困難なことである。

AMAP がデータを持っていない場合, 変種や形態的に類似の種なら, SYMB で修正して用いることができる。

4.2.2 成長の予測

成長エンジンを用いて成長に伴う形態の変化をシミュレーションできる。ただし, これは個別具体的な植栽環境に対応しているわけではなく, 統計的に得られた平均的な形状の変化を示している。レンダリングの品質も精度と速度の必要に応じて変えられる。品質を上げた場合, 数十年生の樹木のようにポリゴン数が多くなると反応が遅くなるが, 一応, リアルタイムに 3 次元シェーディング表示で検討できる。また, 種子番号をランダムシードとして与えることで, 個体変異の程度も検討できる。

4.2.3 景観の構築とシミュレーション

GENSURF は対話的に形状を確認しながらマウス操作で高さの制御点を設定するユニークなモデラーである。また RGBIM は植物だけでなく, 地形や構造物が取り扱えるが, モデリングされた植物や建築物を地形の上にソートする機能を持っている。これは大変実用的な景観構築用ツールである。地形をシェーディングして表示できるが, その際, 明るさと色を指定できる。レンダリングの品質は 4 段階で, 速度を考慮して選択する。滑ら

かな地形のモデリングに優れている。

アニメーションの基本機能では視点と注視点の始点と終点, およびその経路, 移動速度制御を対話的に設定できる。滑らかなウォーク・スルーのシミュレーションに適している。

このような特徴から, 景観設計の特に構想・企画段階において, 土地の形状をいろいろ変えて, さまざまなケースの景観をチェックしたいときに役立つだろう。

RGBIM や CALRGB のレンダリングはたいへん高速である。品質はレイトレーシングには劣るが, 1 本あたり数十万ポリゴンという膨大なデータ量の樹木が充分なリアリティを発揮する。しかも 1 本あたりせいぜい数秒しかかからないので, 多数の植物がある場合でも高品質の画像で試行錯誤しながら景観を検討できる利点がある。

5. AMAP 使用事例

5.1 ベニバナトチノキの樹形の検討

植物成長エンジンの使用事例を図 1 に示す。これは VISU で作成した樹木を視点を変えて, 実体視できるように配置したものである。樹齢 3 年, 10 年, 10 年 (別の種子), 15 年, 20 年, 27 年である。

5.2 内蒙古毛烏素砂漠

中国内蒙古の毛烏素砂漠ではヤナギ類の挿し木による緑化が行われている。筆者らも, 当地の研究センター東試験地にモデル砂丘を設定し, 形状や植生の変化を調査している⁵⁾。そこに, ヤナギ類で緑化した場合の景観をシミュレーションした。(図 2)

DTM データは 10m メッシュで, 制御点はわずか 9 × 10 点である。

5.3 糺の森

糺の森は京都市の賀茂川と高野川合流点付近に成立する下鴨神社の宮の森であり, 都市緑地として極めて重要な意味をもち, 史跡に指定されている。もともとニレ科樹種を主体とする河畔林であったが, 昭和 9 年の室戸台風による被害後に植えられた非郷土樹種のクスノキが近年増加してきている⁶⁾。この状況をビジュアルに観察するために 1991 年に行った直径 10cm 以上の樹木に関する毎木調査データ⁷⁾を用いて AMAP を用いた景観シミュレーションを行った。

まず, ここで出現する樹種ないし, それに類似した種のオブジェクト・データを VISU で作成した。つぎに樹木の位置, 樹種, 大きさのデータがあるので, 変換プログラムを作成して AMAP のシーン・ファイルにした。

なお, AMAP のシーン・ファイルは視点, 注視点, ウ

図 1 AMAP を用いたトチノキの 1 種の実体視画像の生成 (数字は樹令)

Fig. 1 Stereoscopic images of *Aesculus* sp. by AMAP (each numeral means age.)

図 2 中国内蒙古毛烏素沙漠の砂丘とヤナギ類による緑化景観シミュレーション

Fig. 2 Visual simulation of sand dune and planting of *Salix* sp. in Mu-U desert, China

図 4 京都下鴨神社，糺の森の毎木調査結果の可視化

Fig. 4 Visualization of the results of the tree survey in Tadasu forest in Kyoto

図 5 仮想建築物の桂離宮庭園景觀への影響の検討

Fig. 5 A visual impact study of possible buildings on the Katsura imperial garden

図 3 AMAP シーン・ファイルにおける地形と植物の記載例

Fig. 3 Example of the discription of a terrain and a plant in the scene file

Element		(地形エレメント)
Número	11	Fin
Global		要素番号
Objet	10	オブジェクト番号
Nature	5	要素タイプ (5:地形)
Detail	4	レンダリングのレベル
Visible	1	表示/非表示
Terrain	1	地形の上にソート/非ソート
Nom	dune	オブジェクト・ファイル名 (dune)
Fin		
Geometrie		
Echelle	0.1001	縮尺
Angle	0.0000	回転角度
Incline	0.0000	傾き角度
Position	-3.0326 0.0000 -11.0446	位置
Fin		
Element		(植物エレメント)
Número	12	Fin
Global		
Objet	11	
Nature	1	要素タイプ (1:植物)
Detail	4	
Visible	1	
Terrain	1	
Nom	pinus_b03021	(マツb、種子No.3、21年生)
Fin		
Geometrie		
Echelle	0.0004	
Angle	12.8571	
Incline	0.0000	
Position	5.3262 0.4839 -5.4904	
Fin		

インドウ、ビューポート、解像度、前後のクリッピングなどのパース情報と光源の情報に加えて、地形や樹木、ポリゴン、建築物などのオブジェクトの名称と位置、スケール、傾きなどの、そのシーンでの情報で構成される。シーン・ファイルでの地形と植物エレメントの記載例を図3に示した。

地形はほとんど平坦であるため、あまり意味はないが、10m メッシュの DTM とした。なお、これは1/2,500の都市計画基本図をパソコン (pc9801vm4とタブレット・デジタイザ) で等高線をランダムに読み取り、距離の2乗分の1の重み付けでリサンプリングしている。このDTMをGENSURFでAMAPのデータに変換し、適当な色情報を付加して用いた。

レンダリング例を図4に示す。樹木は全部で3449本あり、このレンダリングに要した時間は約20分であった。これによって、クスノキがほぼ全域に分布していること、落葉広葉樹林は、すでにかかなり限定された範囲になっていることなどが視覚的に明瞭にとらえられた。

5.4 桂離宮庭園

現在、桂離宮庭園の情報化については別途研究中であ

るが、図5は付近に建設中の国道バイパスの完成にともなう建築物高さ規則変更があった際に建築物による庭園景観破壊がおこるかどうかを検討した際の中間生成画像である。主要視点場からの見えかたを、庭園建築物や樹木を一部省略してレンダリングしてある。

6. 今後の課題

AMAPの植物ライブラリには日本で使われる種が少ないので、日本の樹種のライブラリが作成されるまでは、類似の種を用いたり、修正して使用する必要がある。また植物は原則的に自然樹形である。生け垣風に刈り込んだ樹種はあるが、日本の庭園などで行われる剪定された樹形のサポートが早急に望まれる。

つぎに、VISUの成長エンジンは一般的な成長環境を想定しているが、かならずしも具体的な場所に対応しない可能性もある。植物の形態は遺伝情報と環境の関係で決まるものだからである。すでに、2個体の相互作用を考慮したパラレル成長と、剪定とその後の萌芽成長の基本的なアルゴリズムは開発されているが⁴⁾、立地条件と群落的環境を考慮した成長エンジンの開発は今後の非常に重要なテーマとなろう。

文献

- 1) Honda, H.: Description of the Form of Trees by the Parameters of the Tree-like Body: Effects of the Branching Angle and the Branching Length on Shape of Tree like Body, J.Theor. Biol., **31**, 331-338, 1971
- 2) 本條毅：植物成長シミュレーションとコンピュータグラフィックス, PIXEL**109**, 133-140, 1991
- 3) 本條毅, 斎藤馨, 熊谷洋一：植物形状モデリングとその可視化による景観予測に関する考察, 造園雑誌 **55** (5), 301-306, 1992
- 4) R.Lecoustre: 私信, 1992
- 5) 森本幸裕, 吉川賢, 李樹青, 小橋澄治：カイトセンシングなどによる毛烏素砂漠の緑化状況モニタリング, 緑化研究 **10**, 217-226, 1988
- 6) 森本幸裕, 吉田博宣, 小橋澄治：糸の森の樹木および土壌調査 (1), 緑化研究 **6**, 1984
- 7) 森本幸裕：未発表

(1992. 11. 18受理)