

## タブレット端末を用いた樹木管理に関する景観シミュレーションシステムの開発

### Development of Landscape Simulation System for Tree Management Using Tablet Terminals

守村 敦郎\* 中村 彰宏\*\*

Atsuo MORIMURA Akihiro NAKAMURA

**Abstract:** The tree is one of the important landscape elements in a park and a garden, and the simulation with CG provides an effective means of appropriate maintenance of the tree. In earlier studies, AMAP that has been developed in France was often used for the modeling of the tree. However, the tree models in the library of AMAP are not same as shape of real trees and it is difficult to use it for simulation such as the restoring of the scenic views. On the other hand, the three-dimensional measurement using the terrestrial laser scanner can reproduce the shape of the real trees, and we can make an appropriate decision about tree management if we could perform landscape simulation with this "real trees" *in situ*. Therefore we developed the landscape simulation system that can display point cloud data of the trees and can run on tablet terminals for tree management, and we examined the accuracy and the productivity of the system. As a result, we concluded that the system is practical enough for tree management and provides the sense as if we operated real trees on the site, although the problem was left in the transaction speed of the system.

**Keywords:** tree management, landscape simulation, terrestrial laser scanner, tablet terminals, point cloud data

**キーワード:** 樹木管理, 景観シミュレーション, 地上型レーザスキャナ, タブレット端末, 点群データ

#### 1. はじめに

公園や庭園において樹木は重要な景観要素の一つである。美しい景観を維持するためには、樹木を健全な状態に保つ必要がある。樹木が健全に生育を続け、定期的な整枝・剪定を行っていたとしても、樹木は成長を続けるため、樹冠を含めた個体サイズが大きくなり、設計した景観から大きく逸脱することがある。特に眺望景観を利用する公園や借景式庭園では樹木成長が影響する景観の変化が大きい。眺望景観が遮蔽された場合には、整枝・剪定などの通常の管理ではなく、樹木の樹冠の切り下げ、伐採などが必要となる。樹形を大きく変えずに遮蔽された景観を取り戻すためには、適正な切り下げ、剪定量に留める必要がある。適正な樹冠の切り下げ量を決定するには、複数の視点から眺望を遮蔽する樹冠部を総合的に判断して主観的に切り下げているのが現状である。

近年はコンピュータによる景観シミュレーションを利用して、景観を管理する動きがある。比較的形状が単純なビルなどの建築物を中心とした都市景観のシミュレーションや 3DCG の研究例は多い<sup>1)2)</sup>。しかし、複雑な形状をもつ植物が多い庭園や公園での景観シミュレーションの研究例は少ない<sup>3)4)</sup>。重要な景観要素である樹木のモデリングにはフランスで開発された AMAP が用いられることが多いが<sup>5)6)7)</sup>、この AMAP のライブラリにある樹木は、実在する樹形と同じではない。それゆえ、一般的な樹木モデルを用いて眺望景観の復元や遮蔽状況の評価に利用するのは困難である。早瀬ら<sup>8)</sup>は借景式庭園において、かつて眺望できた借景を樹木の切り下げによって復元するために、地上設置型レーザスキャナを用いた庭園での 3 次元計測と、眺望景観である山のデジタル標高モデルを用いて、定量的な樹木切り下げによる景観シミュレーションを行った。高精度で形状を測定できるレーザスキャナを用いて、庭園内の地形、建築物、樹木形状を実測し、約 3 km 離れた借景として眺望できた山を遮蔽する樹冠を特定し、見通せるような切り下げ量を求めるとともに、周辺に存在するマンションや屋上の看板等が見えないように、最適な切り下げ量を

景観シミュレーションで求めた。そして、庭園で実際に切り下げが行われて借景が復元した。この庭園では、借景として見通した場所が遠いこと、代表的な視点として 2 点が特定されたため、複数地点からの景観シミュレーションを行う必要がなかった。様々な視点からの多くの対象場について評価するには、多くの景観シミュレーションを必要とする。現場から離れた研究室等の室内で、様々な条件でシミュレートした景観では、その評価が困難となる。

それゆえ、樹冠成長時の遮蔽状況、樹木伐採や切り下げ時の景観のシミュレートを複数の視点、複数の方向を対象とするのであれば、室内ではなく、公園や庭園などの現場で行えれば、様々な周辺環境を直接五感で得ることもできるため非常に便利となる。しかし、これまでの景観シミュレーションには、高性能な PC と高額なソフトウェアが必要であるため、現場で行うことは不可能であった。

そこで本研究は、公園や庭園などの現場で、多くの人が使用する簡易なモバイル・タブレット端末によって手軽に景観シミュレーションを実行できるシステムを開発し、再現性の高い 3 次元データを用いて、樹木の成長時や伐採、切り下げ時の景観をシミュレートして現場での樹木管理に役立てることを目的とした。

#### 2. 方法

##### (1) 調査地

調査対象地は静岡県熱海市の植物研究園 (N35° 6' 28", E139° 2' 53", 標高 277~310 m, 面積は 1.3 ha) である。ここはかつて、庭園のある保養所として使用されていたが、平成 4 年より、植物の育成及びその計測技術研究が実施可能なように環境整備された研究園である。熱海市の山麓の谷間に位置し、園内には溪流が縦断し、観賞用の池や庭石が配置され、芝生や梅林、わさび田もある庭園であり、多くの植物が生育する。園内には、高木として、クロマツ、アカマツ、ヒノキ、スギ、コウヤマキ、ナギなどの針葉樹、イロハモミジ、オオモミジ、エドヒガン、アカガシ、タイ

\*人間環境大学人間環境学部

\*\*大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

サンボクなどの広葉樹が、低木としてはウメ、ツツジ類、アジサイ類、アセビ、ナンテン、ヒサカキなどが、グランドカバーとして、ヤブコウジやジャノヒゲ、シダ類、蘚苔類が生育する。

## (2) 地上型レーザスキャナによる3次元計測

この庭園の南東部を対象に、2012年11月15日と11月16日に3次元計測を行った。園内の27箇所に地上設置型レーザスキャナ(LMS-Z420i, Riegl社)を設置して、地形や樹木形状などの3次元データを取得した(図-1)。各地点において、鉛直方向±40度、水平方向360度の範囲を対象に、鉛直及び水平の角度ステップを0.06~0.09度で測定し、場所によっては0.12度の角度ステップで低密度データも取得した。これらの角度ステップでのレーザ射出数はそれぞれ、800万、355万、200万点である。データ取得後に、スキャナ上部に付属するデジタルカメラで水平方向360度の画像を取得し、レーザスキャナで取得した点群データ(以下点群)にこの色情報を付加した。複数地点で取得したデータ群の合成のために、高輝度反射体(直径49mm、高さ104mmの円筒で周囲に高輝度反射シートを貼り付け)を多数配置し、各測定地点で高輝度反射体の重心を詳細に計測した。各地点から重複して7個以上が見えるように設置した。一部の高輝度反射体の重心を園内に設置した基準点からトータルステーション(SET650RXS, Sokia社)で測量した。重複して測量したこれらの高輝度反射体重心座標をもとに、すべての点群を平面直角座標系の座標値に変換した。3次元データの測定、デジタルカメラの制御、点群への色情報付加、点群の座標変換は3次元ソフトウェア(RiSCAN PRO, Riegl社)で行った。

## (3) タブレット端末で動作する景観シミュレーションシステムの開発

本研究では、景観のすぐれた視点に立ち、測量により得た点群をもとに景観シミュレーションを行えるシステムを開発することを目指した。そのため、プラットフォームはPCではなく可搬性に優れたタブレット端末(iPad(第3世代、高精細Retinaディスプレイ搭載機種)、Apple社)とした(図-2)。システムの開発はMacOS X上で動作するソフトウェア開発キット(XcodeとiOS 7 SDK)を用い、コードの記述はObjective-Cにより行った。以下に当システムの機能の概要を操作の流れとともに示す。

### 1) 点群の読み込みと前処理

PC上でCSVファイルとして加工した点群のデータをタブレット端末内のストレージに転送する。点群は計測したXYZ(平面直角座標系の南北と東西、標高)の各座標と、同時に取得したデジタルカメラ写真からのRGBの色情報を合わせて1レコードとし、その集合から成る。読み込み処理の高速化を行うため、前処理としてASCII形式のCSVファイルからバイナリ形式の固定長レコードファイルへの変換を行う。また視点と視線方向をタブレット端末の画面でグラフィカルに指定し景観を描画することができる



図-1 調査対象地の鳥瞰図

ように、点群から上面図(XY方向)を生成し画像ファイルとして保存する。この際、画像内の位置関係を認識しやすいよう、平面直角座標系からそのX軸(南北)をX軸(東西)、同Y軸(東西)をY軸(南北)とした地上座標系への変換を行う。

### 2) 点群からの景観の描画

タブレット端末画面上に先の前処理で得た上面図の画像を表示し、その上に樹木リストファイルから読み込んだ樹木位置と樹木ラベルとをオーバーレイ表示する。視点と視線方向をそれぞれタップとドラッグで設定し(図-3)、この視点から人間の視野角に近い、視野上下左右60度内の点群を視覚化し景観を描画する。また描画した景観は画像ファイルとしてカメラロール(タブレット端末内のアルバム)に保存することができる。PCと比較し演算処理能力に劣るタブレット端末で点群による景観シミュレーションを行うために、視点と視線方向の設定や景観の描画の操作体系は3次元表示によるインタラクティブなユーザーインターフェースを用いず、2次元的なユーザーインターフェースを採用した。

### 3) 点群の局所操作による景観シミュレーション

樹木の成長に伴う景観の変化や、樹木の剪定、切り下げや伐採に伴う景観の変化のシミュレーションを可能とするため、点群を上面図と立面図から局所的かつ立体的に、楕円柱状に範囲指定し、切り出した上で操作する機能を設けた(図-4)。なお樹木の成長のシミュレーションについては、樹木を構成する点群が幹や枝葉として構造化されていないことや汎用性の観点から、樹形や枝ぶりについては変更を加えないこととし、樹木の根元を原点としてそこから樹木を構成する各々の点群へのベクトルをスカラー倍することで行うこととした。また樹木の切り下げや伐採については、点群により構成される樹木の根元を原点とし、Z方向の上部の点群を除去することにより表現することとした。これらを行うため、点群全体から樹木を構成する点群を切り出す機能や、サイズの変更機能、トリミングを行う機能、そして切り出し操作した点群を



図-2 タブレット端末

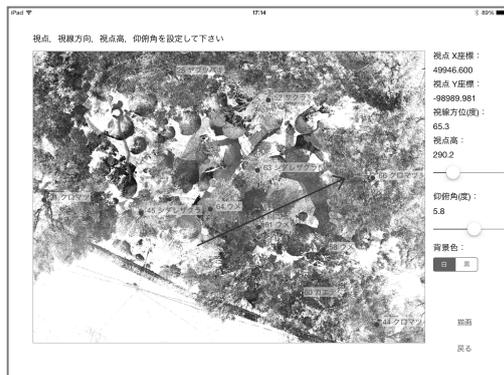


図-3 視点と視線方向の設定画面

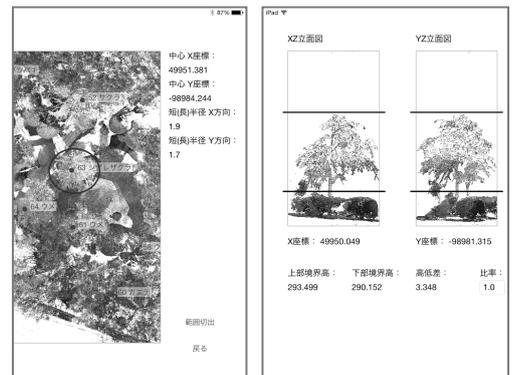


図-4 点群の局所操作画面

全体の点群と再合成する機能を設けた。さらに、あらかじめ PC で切り出した点群をインポートし、タブレット端末で操作した上で全体の点群と合成する機能も設けた。

#### (4) 景観シミュレーションによる眺望の検討

今回の研究で用いた、調査対象地内の複数地点で計測し合成した点群は、約 1,105 万レコードからなり、容量は ASCII 形式で 442.8 MByte である。このデータをもとに、当景観シミュレーションシステムを実行し、次の検討を行った。

##### 1) 景観の描画

研究対象地内の景観のすぐれた複数地点に立ち、タブレット端末で描かれる点群による景観と実際の景観との差異について検討を行った。

##### 2) 景観のシミュレーション

上記の複数地点で、当システムを用いた景観シミュレーションの検討を行った。シミュレーションは樹木の成長に伴う景観の変化と、樹木の剪定や伐採に伴う景観の変化について、それぞれ 2 つの操作体系のもとで行った。一つは調査対象地全体の点群から対象となる樹木の範囲を切り出し、局所操作を行い全体の点群に再合成するまでを、タブレット端末の操作のみで全て行う操作体系であり、もう一つは、対象地全体の点群からの樹木の切り出しをあらかじめ PC 上の 3 次元ソフトウェア (RiSCAN PRO) で行い、それらをタブレット端末にインポートして局所操作し、調査対象地全体の点群に再合成する操作体系である。前者は高性能の PC や高額なソフトウェアを必要とせず、点群のデータがあれば現場でのタブレット端末の操作のみで完結する点で優れるが、操作対象となる樹木の切り出しは上面図と立面図から楕円柱状に範囲を指定し行うのみであり、特に密な植栽がなされている場所では隣り合う樹木の部位などが混在しやすくなることが予測される。一方後者は PC 上の専用ソフトウェア、ならびに高いグラフィック能力を使用することにより、点群をあらゆる角度から閲覧して樹木の複雑な形状を切り出すことができることから、より精緻な景観の描画やシミュレーションが可能となると考えられる。しかしこの場合、あらかじめ操作対象の樹木を選定する必要があり、さらにはより多くの手順や労力が必要となる。これらを比較し、特にタブレット端末のみを用いたシステムとその操作体系の有用性について検討を行った。

### 3. 結果及び考察

#### (1) 景観の描画

図-5 に、景観にすぐれたポイントでの実際の写真と、タブレット端末上で表示した点群による景観描画の結果を示す。点群の描画により、樹木の実際の樹形が細部の枝ぶりまで再現されていることがわかる。当システムは視点と視線方向を自由に設定できることから、ハードウェア上の制約を除けば、原理上どのような景観も描画可能である。右下の図の中央の樹木 (クロマツ) の上部のように、写真と比べ部分的に薄く描画されている箇所があるが、これは色情報取得のためのカメラ撮影において、測器が自動で回転して 360 度分のパノラマ撮影を行うため、逆光状態で露出オーバーの画像を取得したためと考えられる (課題を明らかにするため、数ある中であえてこの視点—視線方向の描画結果を選定した)。また計測器の特性上、集中的に測定を行った調査対象地の中心部から離れるほど点群の密度が低くなる傾向にあることから、特に遠景の描画において実際より淡い色の描画となっている。より実際の景観に近づけるためには、点群の密度に応じた画像強調の仕組みが必要となる。本調査対象地においては、少なくとも園内の動線となる園路部分の DEM を整備することで、さらにウォークスルーによる景観シミュレーションが可能となる。

今回使用したタブレット端末で図-5 の景観の描画に要した時



図-5 タブレット端末上での景観の描画 (右上, 右下)

間は 15 秒程度であった。快適とは言えないまでも、実用に耐えうる速度であると言える。同じ景観を PC (Macbook Air, Intel Core i7 1.9 GHz) 上の iOS シミュレータ (MacOS 上で iPad を仮想的に動作させることができるもの) で描画すると 2 秒あまりで処理が完了した。これは実用上何ら問題ない速度であると言える。コードの最適化やデータ構造の見直しにより、さらなる速度向上が図れる可能性がある。

#### (2) 景観シミュレーション

図-6 に樹木の切り下げと伐採のシミュレーションの一例を、また図-7 に樹木の成長シミュレーションの一例を示す。切り下



図-6 樹木の切り下げ・伐採シミュレーション  
(左: 図-5 右下より地上高 10 m で切り下げ, 右: 同 伐採)

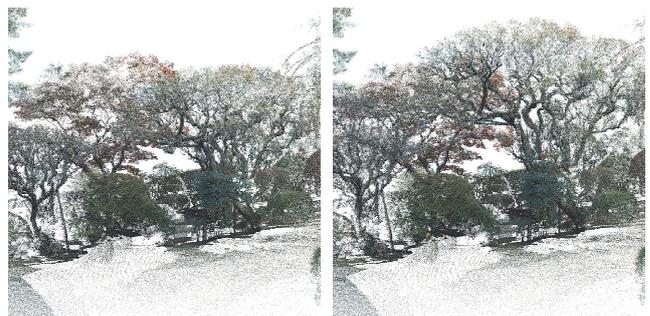


図-7 樹木の成長シミュレーション  
(左: 現状, 右: 1.25 倍に成長)

げ量や成長(拡大)量はタブレット端末上で自在に調節でき、現地にて複数地点からの実際の景観と対比させることができる。特に樹木の切り下げについて、当システムはその最適な量を決定する上で非常に有用であることがわかる。

なお、図-6 および図-7 のシミュレーション結果は PC 上であらかじめ樹木の範囲の点群を切り出し、その切り出した点群をタブレット端末にインポートし、局所操作を行ったのち全体の点群に戻したものである。PC での切り出しは手作業によるルーチンの操作を必要とするが、習熟することで作業時間の短縮を図ることができた。当システムではそれ以外にも、タブレット端末上で点群の任意の部分の切り出して局所操作を行うことも可能である。ただし、この操作で良好なシミュレーション結果が得られたのは、図-5 の中央に描かれたクロマツのように、操作対象となる樹木が比較的他の樹木と接しておらず、当システムの仕様である楕円柱による範囲指定が容易に行うことができた場合に限られる。図-7 の樹木のように操作対象となる樹木が密に近接し、重なり合う場合は樹木個体の切り出しが困難となり、さらにシミュレーションを進める場合は描画結果に他の樹木の一部が不自然に現れることや、操作対象の樹木が削られることがあっても構わないという“割り切り”が求められる。こうした問題は、タブレット端末が現行 PC に近い演算処理能力を有し、1,000 万点以上の点群をあらゆる角度から閲覧し対象部分のみを切り出すことができる性能を得た時におおよそ解決できると思われる。現在のタブレット端末の性能向上の速度をみると、それは遠くない将来に実現する可能性がある。なお、タブレット端末とサーバをネットをつなぎ、タブレット端末は入力・表示系を主とし、演算処理をサーバに任せるようなシステム構成にすればかなりの高速化が実現できると思われるが、高速な無線通信規格でデータの送受信が可能な場所ではしか使用できないことや、手軽に景観シミュレーションを実行できるシステムという趣旨からは外れるため今回は検討しなかった。用途によっては、このようなシステム構成も検討すべきであろう。今後は、GPS などの接続によるおおよその現在位置の取得や、欠測データの補間によるより精緻な描画、樹木 DB や GIS との連携、そして景観全体の樹木の成長を考慮したシミュ

レーションを当システムの課題としたい。

#### 謝辞

本研究は公益財団法人新技術開発財団の植物研究助成を受けて実施した。同財団および植物研究園には多大な協力をいただいた。ここに記して深謝の意を表す。

#### 引用文献

- 1) 堀口亮輔・三輪康一・末包伸吾・栗山尚子 (2009) : 建築物の高層化による都市景観の変化とその評価に関する研究(その2) : 神戸の主要な眺望点からみた都市景観に関するシミュレーション分析を通して : 学術講演梗概集 F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題 2009, 391-392
- 2) 丸山英一・平本一雄・末繁雄一・久保田純美 (2006) : 3DCG による都市空間の保存・復元のための簡易手法について : 学術講演梗概集 F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題 2006, 373-374
- 3) 森本幸裕 (1993) : 植物モデリング・可視化システムを用いた桂離宮庭園の植生景観のシミュレーション : 造園雑誌 57(2), 113-120
- 4) Lim, E.M., Honjo, T, Umeki, K (2006) : The validity of VRML images as a stimulus for landscape assessment. : Landscape and Urban Planning, 77(1-2), 80-93
- 5) 森本幸裕 (1993) : 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 : 日本緑化工学会誌 18(3), 162-167
- 6) 清水理佳・岩崎寛・山田宏樹・山本聡・新村義昭 (2004) : 庭園における維持管理作業が植栽植物の生育に与える影響- 姫路城西御屋敷跡庭園「好古園」における事例 - : 日本緑化工学会誌 30(1), 348-351
- 7) 斎藤馨・熊谷洋一・本條毅・趙東範・吉岡太郎・筒井一貴 (1995) : GIS,CAD,植物成長モデルを応用した景観シミュレーション手法に関する研究 : ランドスケープ研究 58(5), 197-200
- 8) 早瀬真弓・今西純一・中村彰宏・戸田健太郎・森本幸裕 (2010) : 地上型レーザスキャナを用いた庭園の借景復元に関する景観シミュレーション : ランドスケープ研究 73(5), 812-816