

## レーザー計測による樹木の3Dモデリングへの応用に関する研究

Application to 3D modeling of tree by laser measurement

熊崎 理仁\* 國井 洋一\*\*

Rihito KUMAZAKI Yoichi KUNII

**Abstract:** Laser measurement is currently applied to several tasks such as plumbing management, road investigation through mobile mapping systems, and elevation model utilization through airborne LiDAR. Effective laser measurement methods have been well-documented in civil engineering, however few attempts have been made to establish equally effective methods in landscape engineering. By using point cloud data acquired through laser measurement, the data for trees are contained each components of parts (branches, leaves and trunk), which can be recognized detail form of the trees. Therefore, this study focuses on expression of detail 3D model for trees expressing by using the point cloud data, and considers the construction of a library of garden trees extracted from point cloud data. The library would serve as a resource for creating new gardens and simulating gardens prior to conducting repairs. Finally, Models created using point cloud data are informative because simply shaped garden features such as trees are often seen in the 3D industry.

**Keywords:** laser measurement, 3D point cloud data, visualization, 3D model

**キーワード:** レーザ計測, 3次元点群データ, 可視化, 3Dモデル

### 1. はじめに

レーザー計測技術は地上に据え置いて地物のレーザー掃射（スキヤニング）をおこなう地上型3Dレーザースカナ、航空機やドローンに搭載したレーザースカナを地上へ向かってレーザー掃射する航空レーザー測量、さらに車両に搭載されたレーザースカナによって道路および周辺の地物にレーザー掃射するMMS(Mobile Mapping System)など多岐に渡っている。レーザー計測を使用する利点として、対象物に対して非接触かつ高速で3次元形状データを取得できることがあげられる。このことから、レーザー計測は配管工の維持管理やMMSによる道路現況調査、航空レーザー計測による地形データの活用など多くのフィールドで用いられている。とりわけ、土木分野ではレーザー計測の利用技術の事例が多く発表されており、インフラの分野において有効な活用法がすでに多く存在している。

こうした中、造園の分野において、庭園などの植物空間に対してのレーザー計測技術のアプローチは非常に少ないと考えられる。その理由の1つとして考えられるのが、庭園などの空間は都市と異なり、取得される点群データは植物や樹木が含まれていることから、構造が非常に複雑であり、庭園の3Dモデリングや地形把握をおこなうことは非常に困難であると考えられる。

こうした背景の中、植物の解析に焦点を当てたレーザー計測技術が存在している。中でも近距離レーザー掃射の事例として、MMS計測において樹木を構成する点群（以下、樹木点群）を除去するために、建物の壁面の幾何学的な特徴と樹木の相違を利用した樹木点群の分析が行われている<sup>1)</sup>。一方、近年航空レーザー測量(LiDAR)の使用による森林計測の事例が多く発表されており、植生階層構造の把握や樹幹形に基づく樹種判別や<sup>2)3)</sup>植生分布の可視化、森林解析(樹種分類、立木本数、樹高把握)における山地災害の危険度情報の整備<sup>4)</sup>などがおこなわれており、植物や森林を対象としたレーザー計測技術の発展が目覚ましいと言える。

しかし、植物や森林を対象とした、特に航空レーザー計測技術の事

例は年々増加しているが、事例の多くは樹木点群の削除のフィルタリング開発や森林植生に関わる解析や緑被率の算出、植物分布の可視化などが主流である。さらに、得られた樹木点群から詳細な3D樹木モデルを作成する試みは、広範囲の森林を対象とした、樹木のボクセルモデルの作成をおこなうことはあっても、個々の樹木に焦点を当てた詳細な3D樹木モデル作成への応用は成されていない。その理由として、得られた森林での点群データでは、空間が非常に密集しているため、レーザーが行き届かず、個々の樹木の形状までを把握するのが不可能であることがあげられる<sup>5)</sup>。そこで、本研究で計測をおこなってきた庭園での点群データを使用することを提案する。地上型3Dレーザースカナを使用することで、航空レーザーによって得られる樹木点群よりも高密度な点群データがえられることと、庭園での計測では森林と異なり開けた植物の存在する空間であることから、全体が詳細に取得されている樹木点群が多く取得することができる。よって、その樹木点群を使用し、詳細な3D樹木モデルの作成が可能となることを、本研究で示すこととする。

### 2. 研究方法

本研究で用いた地上型3Dレーザースカナは、RIEGL社製のパルス方式の機種である“LSM-Z390i”である。計測方法としては各器械点でレーザー掃射（スキヤニング）を行うことで、3次元形状データは点群データとして取得される。また、計測をおこなってきた庭園は、いずれも所有者や自治体からの委託を受けたものであり、その目的は庭園の維持管理や現状把握、過去の平面図消失による新たな平面図作成などである。

取得される点群データは物体そのものの形状が表れている実測データであり、樹木点群を基にした3Dモデルの作成は形状的にも非常に現実的な3D樹木モデルの作成が可能であると考えた。しかし、樹木の形状は、葉の形、枝ぶり、幹の形など部品ごとに分

\*東京農業大学大学院 農学研究科 造園学専攻 \*\*東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科

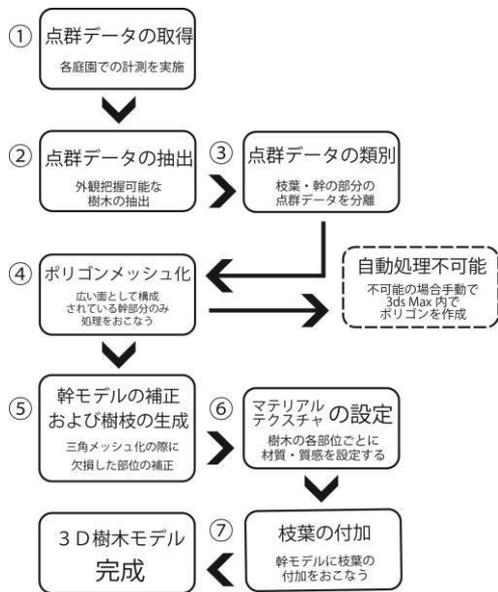


図-1 3D 樹木モデル作成のワークフロー

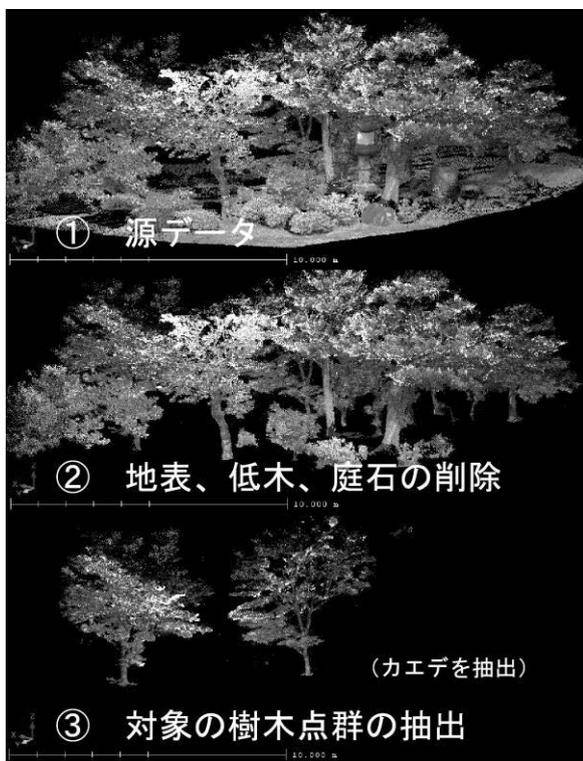


図-2 源データからの樹木点群の抽出のための処理

けて考えると複雑な表面形状を持っており、樹木点群を活用した 3D 樹木モデルの作成は困難であるといえる。そこで、本研究では樹木点群の処理を段階的におこなうことで、詳細で樹種判別が容易に認識可能であるモデルの作成が可能であることを示す。

### 3. 3D 樹木モデルの作成

実測によって得られた 3 次元形状データは点群データとして取得されるが、庭園データの中にある建築物の外壁や樹木の幹の部分などはポリゴン化することで、物体の存在を明確に表すことが出来る。そこで、樹木点群から面を作成し 3D 樹木モデルを作成するために、三角メッシュ化の処理をおこなう。三角メッシュ化とは点群における最近隣の 3 点を順次結び三角形を作り、面を形成する処理である。しかし、建物の場合、外壁の点群はほぼ鉛直に存在するため、三角メッシュによる面の形成が比較的容易である。しかし、樹木の形状は複雑で規則性がなく、三角メッシュ化の自



図-2にて抽出されたカエデ

図-3 抽出された樹木点群

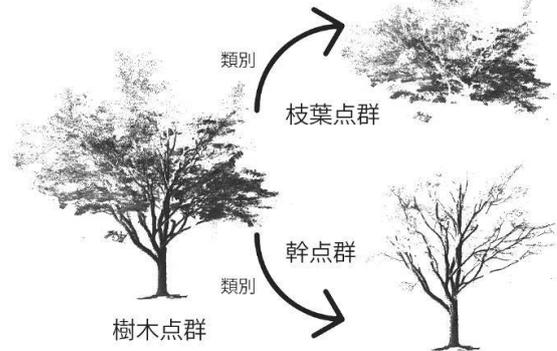


図-4 樹木点群の類別

動処理によって 3D 樹木モデルを作成することは不可能である。

そこで、樹木点群を図 1 のワークフローに沿って処理を実施することで 3D 樹木モデルの作成が可能となった。樹木点群データをポリゴン生成によって 3D 樹木モデルとする有益性として、3D CAD ソフトでの利用が可能になる他に、そこからモデルの編集・デザインにおいて幅広い活用が可能となることが挙げられる。以下に図 1 のワークフローに関する詳細な手順を示す。

#### ① 点群データの取得

本研究で取得した点群データは日本庭園にて計測をおこなったデータである。計測目的は各庭園の全体のデータを取得可能とするもので、計測は樹木に焦点を当てたものではない。各器械点にて取得された 3 次元点群データは、それぞれ器械点の位置を座標原点とするデータであるため、座標原点の統一を行う必要がある。座標系の統一には、隣接する器械点において共通にデータを取得している範囲の中から共通点を最低 4 点認識させてデータを合成させる。合成には RIEGL 社の専用ソフトである RiSCAN PRO を用いておこなった。

なお、取得した点群データの色画素の取得には、レーザスキャナ本体に取り付けられているデジタルカメラによって取得される。デジタルカメラとレーザスキャナは位置補正がおこなわれているため取得した点群に色データを付加が可能である。

#### ② 点群データの抽出

合成が完了した庭園の点群データから今回の研究対象である樹木点群データを抽出する。抽出の方法として標高ツールを使用し地表の不要となる点群データを削除することで程度樹木点群の抽出が可能である。地表以外の建造物、塀、庭石などの点群データの削除および、個々の樹木点群の抽出は目視でおこなった。

使用する樹木点群は樹幹と樹枝の点群が可能な限り高密度でかつ外観全体が取得されたものとした。その理由として、三角メッシュ化の処理をする際、精密で欠損部分の無いポリゴン生成をするためである。なお、幹部分が著しく欠損したものや、欠損により樹枝の成長方向の確認が不可能な樹木点群は抽出の対象としない。その理由として、生成されたポリゴンモデルの補正の段階にて、点群データの欠損のある部分は、枝の成長方向などの目視によるポリゴンモデルの補正をおこなうことができないからである。源データの一部から樹木の抽出をおこなう過程を図 2 に、抽出した樹木点群を図 3 に示す。

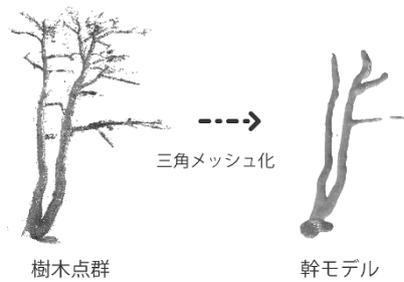


図-5 三角メッシュ化によって生成された幹モデル

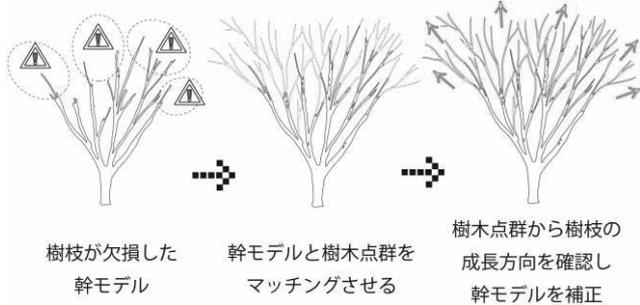


図-6 樹木点群と幹モデルのマッチング

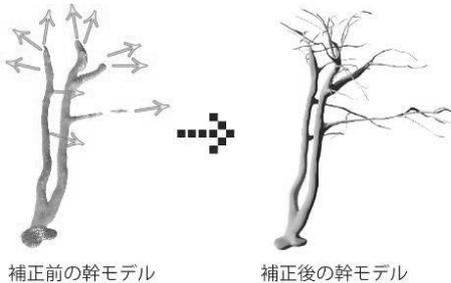


図-7 補正された幹モデル

### ③ 点群データの類別

3D 樹木モデル作成するための樹木点群の重要な処理として、枝葉点群と幹点群を類別する必要がある。その理由として、ポリゴン生成の処理である三角メッシュ化において、点群が平面的に構成されていない枝葉の部分は三角メッシュ化によるポリゴン生成に不向きであるからである。

枝葉点群と幹点群の類別は目視でおこなった。樹木点群から枝葉点群と幹点群の類別を図4に示す。

### ④ ポリゴンメッシュ化

樹木点群から類別された幹点群を三角メッシュ化によってポリゴンを生成する。三角メッシュ化はWindows およびMac で使用可能なフリーソフトウェア MeshLab にておこなった。MeshLab は三角メッシュを編集、加工やファイル変換が可能なソフトウェアである。生成された幹モデルを図5に示す。

### ⑤ 幹モデルの補正および樹枝の生成

MeshLab にて作成された幹モデルは樹枝の直径の大きい部位まではポリゴンが生成されているが、小さい部位は生成されていないことが図5から分かる。そこで、幹モデルを樹枝の生成のために補正をおこなう必要がある。MeshLab 上では3Dモデリングを行うことはできないので、幹モデルを3dsMaxに出力することで幹モデルの補正をおこなった。なお、出力のファイル形式はOBJにておこなった。

3dsMax 上での幹モデルの補正をおこなうためには、樹枝が成長している方向を確認する必要がある。その確認の方法として、幹モデルと幹モデルの基となった樹木点群をマッチングさせ、欠損した樹枝の方向の把握をおこなった(図6)。樹枝の成長方向を樹木点群から樹枝が成長している方向を把握し、方向に沿って樹

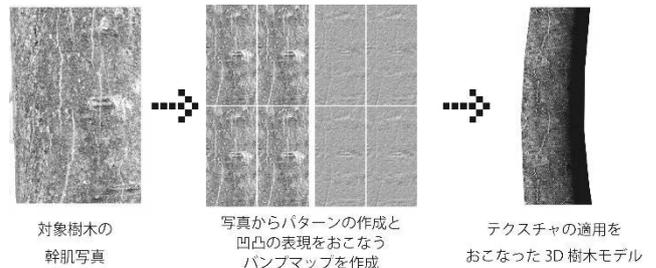


図-8 幹モデルのテクスチャ設定

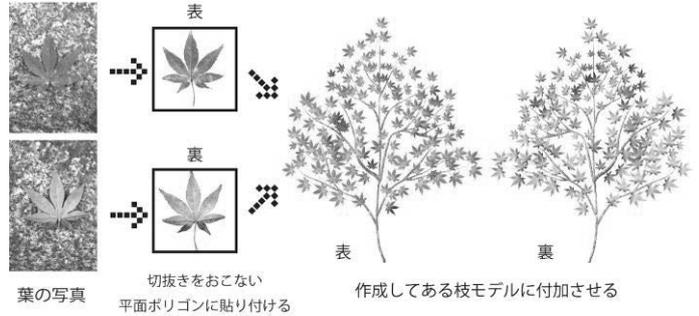


図-9 枝葉モデルの作成

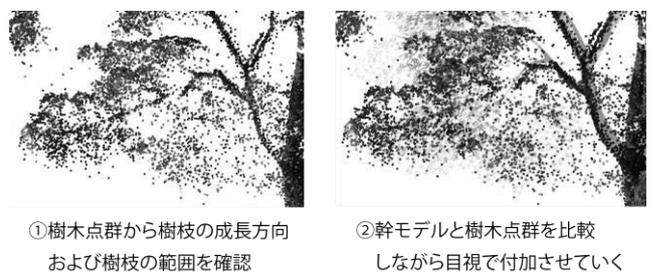


図-10 枝葉モデルの付加

枝を生成することで、樹木が持つ複雑な形状を反映させることが可能となる(図7)。3dsMax への樹木点群の取り込みであるが、Autodesk ReCap 360 を使用により RCS ファイルを作成することで入力をおこなった。

### ⑥ マテリアル・テクスチャの設定

テクスチャとして使用するのが実際の対象樹木の幹肌と葉の画像データである。点群の色情報からテクスチャ画像を書き出すことも可能であるが、計測において樹木点群の色情報が正確に取得されていないことが多く、現実的な表現がおこなえないことからこの手法をとった(図8)。

枝葉の表現の手法として、三角メッシュ化処理による3Dモデルの作成をおこなうことは困難なため、一般的に点群をそのまま使用することが多い。しかし、この手法では葉の表現が現実とかけ離れてしまうため、本研究での葉の表現は点群を使用せず、枝葉の3Dモデルを作成しそれらを補正した幹モデルに付加させていく手法をとった。幹モデルに付加をおこなう枝葉モデルの作成過程を図9に示す。

## ⑦ 枝葉の付加

枝葉の付加はマッチングをおこなった樹木点群を基に目視でおこなう(図10)。付加の際、葉の付加の際、枝が成長している方向と葉の向きが逆にならないように付加させること、樹木点群より樹幹面積や葉の存在する範囲を確認しながら付加をおこなうことが重要である。枝葉の付加が完了したら3D樹木モデルの完成である。完成した樹木を図11に示す。

## 5. 考察

造園学の観点から現実的な3D樹木モデルの作成は非常に重要なことであると言える。その理由として、日本庭園における樹木の配植は多変量解析による定量的な検討から、樹木の規模、本数、植被率の3特性により約76%が決まる研究成果が出ている<sup>6)</sup>。さらに、日本庭園での樹木の用い方に関する規則性において、庭の立地が選定する樹木に影響することや、庭の規模が選定する主要な樹木の大きさに関連すること、庭園にて樹種固有の大きさが生かされていることから<sup>7)</sup>日本庭園において樹木の景観的構成要因の重要性が示されている。他にも、樹木の現実的な表現は造園分野だけでなく3Dデザイン分野においても需要が高いことから、詳細な形状を表現した3Dモデルの必要性があることが考えられる<sup>8,9)</sup>。

しかし、樹木の樹冠の部分は形状が複雑であるため、樹木点群は容量が重くなることから、これまで樹木3Dモデル作成などの実用的な使用があまり成されてこなかった。例として、図11の柴又帝釈天(葛飾区)のクロマツの3D樹木モデルであるが、作成される前の樹木点群の状態をAutodesk AutoCADへ入力するためのファイル形式であるDXFにて出力をおこなった場合、容量が195MBもある。また、クロマツの樹木点群の容量のうち、180MBは樹幹部分であり、幹部分は15MBほどである。

このような背景から、容量的にも樹木点群の処理は困難であることが言えるが、本研究で示した3D樹木モデル作成のワークフローに沿うことで実用的な活用のプロセスの一例が示すことができた。また、完成したクロマツの3D樹木モデルの容量は7MBほどであり、他の樹木も3MBから5MBほどの容量である。

よって今後の目標として、樹木点群から作成した3D樹木モデルのライブラリの構築を視野に入れている。樹木点群を基に作成されるライブラリは、実測によって得られた樹木形状を反映していることから、作成された3D樹木モデルを作庭のモデリングや既存の庭園データの景観シミュレーションなどに活用することが有効であると考えられる。

## 6. 課題

本研究のレーザ計測による樹木点群の活用法としてこの技術を浸透させるには、時間の削減が最も必要な課題となっている。現段階にて3D樹木モデル作成は図1で示したワークフローに沿うことで可能ではあるが、まだほとんどの段階で目視による手動での処理が必要となっており、多くの労力が必要とされている。よって、これらの手間の多くを簡略化するための有効的なツールの構築を今後おこなっていくこととする。

また、作成された3D樹木モデルをライブラリとして使用する他に、3D樹木モデルに樹木の成長に関するモデル式を反映させ、成長予測を行うことを目標としている。ライブラリとしての利用のほかにも樹木の成長予測を可能にすることで、作庭のためのツールとしての使用やその後の庭の変遷までをおこなう景観シミュレーションが可能となると考えられる。



図11 完成した3D樹木モデル

## 脚注及び参考文献

- 1) 曾鑫, 荒木俊輔, 碓崎賢一(2014): MMS点群を対象とした樹木に影響されない建物壁面の抽出方法, GISA 地理情報システム学会 E-6-1
- 2) 前田佳子, 本田謙一, 今井靖晃, 高橋弘太, 赤松幸生(2015): 波形記録式航空機LiDARデータを用いた森林構造の面的把握手法に関する検討, 日本写真測量学会 平成27年度年次学術講演会発表論文集, pp. 61-62
- 3) 栗屋善雄, 亀田智恵, 後藤誠二郎, 宮坂聡, 宇野女草太(2015): 高密度LiDARデータを利用した樹幹形に基づく壮齢のスギとヒノキの樹種判別, 平成27年度年次学術講演会発表論文集, pp. 65-66
- 4) 小澤岳弘(2016): 航空レーザ測量を活用した山地災害の危険度情報整備について, 月刊測量5月号 森林GIS, pp.18-20
- 5) 宮山智樹(2016): UAVによるレーザ計測~崩壊地における計測事例~, 月刊測量2月号, pp.12-15
- 6) 千葉喬三, 林俊克(1985): 日本庭園における樹木の配植に関する研究, 岡大農学報(65), 23-32
- 7) 千葉喬三, 林俊克(1986): 日本庭園における庭木と庭石の構成特性ならびにその応用による庭園の自動設計, 造園雑誌 49(3): 189-204
- 8) 林拙朗, 高橋洋子(1997): 樹形のモデル化について—スギ・ヒノキの場合—, 日本林學會誌 79(4), 222-228
- 9) 笠松卓史, 新谷幹夫, 湯浅嵩, 白石路雄(2014): 葉の曲面性を考慮した樹木のレンダリング, 映像情報メディア学会誌 68(11), J488-J491