■ 研究論文

地上型レーザースキャナを用いた 庭園の借景復元に関する景観シミュレーション

Landscape Simulation for Restoring Borrowed Scenery of a Japanese Garden Using a Terrestrial Laser Scanner

早瀬 真弓* 今西 純一** 中村 彰宏*** 戸田健太郎*** 森本 幸裕**
Mayumi HAYASE Junichi IMANISHI Akihiro NAKAMURA Kentaro TODA
Yukihiro MORIMOTO

Abstract : A terrestrial laser scanner provides detailed and highly accurate 3D data rapidly and is widely applied in various situations. In this study, we surveyed the Seifuso Garden designated as a place of scenic beauty by the national government. We acquired point-data having information of 3D coordinates and colors by a terrestrial laser scanner and simulated the scenic views from the garden for restoring the borrowed scenery. As a result, we confirmed the positional relationship of the garden, the buildings around the garden and the Higashiyama Mountains at the selected view points. The simulated results were useful for the garden management, especially for trimming the trees within the garden in consideration of hiding the near-by tall buildings. We also found the influence on the scenic views from the garden if the buildings in this area were built at the maximum height allowed by the zoning regulation of the Kyoto City. A terrestrial laser scanner was considered to be a novel and effective tool for landscape simulation.

Keywords: *terrestrial laser scanner, landscape simulation, borrowed scenery, landscape regulation, scenic view*

キーワード: 地上型レーザースキャナ, 景観シミュレーション, 借景, 景観規制, 眺望景観

1. はじめに

名勝清風荘庭園は明治44年頃から数年かけて七代目小川治兵衛（植治）によって作られた庭園であり、昭和26年に文化財保護法の規定により名勝指定されている。本庭園は京都市左京区田中関田町に位置し

図-1 大文字山と清風荘庭園の位置関係

(図-1), 植治による庭園の特徴のひとつである京都東山の借景, すなわち五山の送り火で有名な大文字山やその周辺の山並みを庭園の風景に取り込む工夫のなされた名庭である。しかし, 近年成長しすぎた樹木によって大文字山が見えない状態となるなど維持管理は十分とは言えず, 作庭当初の風趣が失われつつある。現在は所有者である京都大学を中心に庭園の修復整備事業が進められているが, 成長しすぎた樹木を切り下げる際には, 作庭当初は存在しなかった近隣の高い建築物への視線を遮蔽しつつ借景の復元をする必要がある。本件のような場合, 事前に様々な視点や角度からの景観に配慮した植栽管理を検討するために景観シミュレーションを行うことが有用であると考えられる。

庭園の景観シミュレーションの方法として, フランスの熱帯農業開発センター (CIRAD) が開発した植物形状モデリングシステムである AMAP などを用いた研究が多くなされている¹⁻⁵⁾。しかし, AMAP などの手法による景観シミュレーションでは, 予め庭園内で毎木調査などを行い, どのような樹木があるのかと

いう事前情報が必要である²⁻⁵⁾。また, 庭園における樹木の実際の形状や刈り込みなどを再現することは難しく²⁾, 庭園内における樹木がライブラリに存在しない場合には, 代替植物を用いることになる²⁻⁵⁾。また, 借景庭園の眺望保全の研究としては, 借景庭園から見える地形と建築物に関する報告⁶⁾ などがあるが, 植物を含めた3次元モデルは構築されていない。

一方, 近年新しい測量方法としてレーザースキャナが用いられるようになってきている。レーザースキャナによって, 離れた地点から短時間でかつ正確に対象物の3次元座標を測量することが可能であり, 現在様々な場面で利用されている。また地上型レーザースキャナは, 航空機搭載型のレーザースキャナと比べて測量できる範囲は狭いものの, 数 mm 単位で測量でき, 位置センサを必要としないことや飛行中のブレもないため, より正確なデータが得られ, 地形の計測が困難な急崖地での測量⁷⁾, 災害観測調査⁸⁾, 微地形計測⁹⁾ などの調査研究が行われている。庭園においては測量に用いられつつあるが, 景観シミュレーションに応用した研究事例はまだない。

そこで本研究では地上型レーザースキャナを用いて, 清風荘庭園における借景復元に関する景観シミュレーションを行い, その実用性について考察することを目的とした。さらに, 地上型レーザースキャナによって得られたデータを用いて, 庭園周辺に現在の京都市の都市計画で許容されている高さの建築物が建てられた場合, 庭園からの眺望景観にどのような影響があるかを検討した。

2. 方法

(1) 地上型レーザースキャナによる測量

測量は樹木落葉前 (平成19年10月30日/測量日Ⅰ) および樹木落葉後 (平成20年1月25日/測量日Ⅱ) に計2回行った。測量日Ⅰには庭園内外14箇所, 測量日Ⅱには庭園内外9箇所,

*京都大学大学院農学研究科 **京都大学大学院地球環境学堂 ***大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

計 23 箇所で行った。いずれの測量も午前 9 時から午後 5 時の間に行われた。なお測量日Ⅰの天気は曇り時々晴れ、測量日Ⅱの天気は晴れ時々雪であった。測量には地上型レーザースキャナ (Riegl 社 LMS-Z420i) を用いた。本研究で用いた測器は鉛直方向に 80° 、水平方向に 360° の測定範囲について最小 0.004° ステップでスキャンすることができる。レーザの波長は 1550 nm、ビームの拡散角度は 0.25 mrad である。なお、測定時のすべての操作は測器と LAN で接続されたノートパソコンより専用ソフトウェア (Riegl 社 RiSCAN PRO) を用いて行った。清風荘庭園敷地内の建築物内各地点からは約 160 万点ずつ、敷地内庭園各地点からは約 310 万点ずつ、敷地外各地点からは約 160 万点ずつ、3 次元座標をもつ点群データを取得した。

(2) 取得したデータの統合と処理

地上型レーザースキャナによって得られた庭園内外の 3 次元座標データと、トータルステーションで位置測量を行った測量基準物のデータを用いて、公共座標系への統合を行い、測量日ごとのプロジェクトファイルを作成した。さら測器に取り付けられたデジタルカメラの写真からの色情報をデータに付加し、全地点のデータの統合を行った。上記の処理の間に、データの圧縮や不要部分の削除を適宜行った。

(3) 京都東山の標高データ及び清風荘庭園の周辺建築物データの作成

国土地理院による京都東部の 50 m メッシュの標高データを内挿して 25 m メッシュの標高データを作成した。また、大文字山の山の文字周辺は 5 m 及び 1 m メッシュの標高データを同様に作成した。これらのデータを専用ソフトウェアに読み込ませることで、庭園のデータとの合成を行った。そして、得られたデータを部分的に切り出して CAD ソフトに読み込ませ、断面図に加工した。

現在、清風荘庭園近隣は、京都市都市計画によって 15 m 第 2 種もしくは 15 m 第 4 種高度地区に指定されており、建築物の高さは 15 m、さらにその上部の塔屋部分は 3 m まで許容されている^{10, 11)}。そこで、京都市都市計画図と国土地理院の 5 m メッシュの標高データを用いて、周辺の建築物が京都市の都市計画で許容されている最大の高さとなる場合の仮想建築物データを作成した。なお、作成した画像をわかりやすくするにあたっては画像処理ソフト (Adobe 社 Adobe Photoshop, Adobe Illustrator) を用いた。

(4) 実際の施業結果とシミュレーション結果の比較

清風荘庭園では実際に樹木切り下げの施業が行われたため、同じ視点における景観シミュレーションの結果と施業後の写真との比較を行った。

3. 結果

(1) 取得したデータ

地上型レーザースキャナを用いて測量を行った結果、コンピュータ上で庭園景観は図-2 のように再現された。基本的に池の部分のデータは得られなかったが、測量地点によっては水面でレーザが鏡面反射することによって水面より下に倒立した樹木等が記録された (図-2)。測量日Ⅱの天候の降雪時のデータには雪のデータが含まれていた。これらのデータはノイズとして除去する必要があった。また、今回の測量で得た点群データにおいて測器からの最長距離は約 600 m であった。

(2) データの合成

地上型レーザースキャナによって得られたデータと京都東山の標高データは図-3 のように合成された。以下、清風荘庭園内の主な視点である庭園内芝生広場及び庭園内建築物 2 階から (図-4) の眺望景観について結果を示す。庭園内の景観と周辺建築物

図-2 地上型レーザースキャナで得られた庭園内の景観

図-3 地上型レーザースキャナのデータと東山の標高データの合成

図-4 清風荘庭園内の主な視点

のデータや標高データを重ね合わせると、実際には樹木で隠れている東山の山並みや周辺建築物は図-5、6 のように表現された。これらの合成画像から樹木を切り下げる方法が検討され、例えば庭園近隣のある建築物が大の字の右払いにかかることなど具体的な問題点も把握された。このように複数の視点からの眺望景観を

図-5 視点①からの眺望景観

図-7 視点①における樹木切り下げシミュレーション

図-6 視点②からの眺望景観

図-8 視点②における樹木切り下げシミュレーション

表示させることにより、それぞれの地点から眺望景観に影響を与える庭園周辺のいくつかの建築物や看板等が抽出された。

(3) 樹木の切り下げシミュレーション

庭園の景観と近隣の建築物、東山の山並みの位置関係を予め把握した上で、地上型レーザースキャナによって得られたデータを部分的に削除し、樹木の切り下げシミュレーションを行った(図-7, 8)。視点①から大文字山の大きな文字が見えるようにするためには、該当部分の樹木は最大約5.5m切り下げが必要があった。視点②から同方向を眺望するにあたっては大文字山の大きな文字と重なる部分の樹木を約5m切り下げると、近隣の建築物を遮蔽しつつ東山への眺望を確保できることがわかった。

なお、シミュレーションを行った結果を活かし、実際に庭園内で施業が行われ、大文字山への眺望景観が復元された。施業の途中ではあるが、庭園内の芝生広場から大文字山が見えるようになった(写真-1)。この写真との比較により、データの合成によって示された庭園景観と東山の山並みの位置関係は、実際とずれていないことが確認された。

(4) 清風荘庭園の周辺建築物

地上型レーザースキャナによって得られたデータを断面図にし、大文字山までの眺望について検討を行った結果、東大路通り以西、特に庭園の近隣に位置する10m以上の建築物が眺望景観に大きな影響を与えることがわかった(図-9)。また、清風荘庭園周辺に現在許容されている高さの建築物のデータを表示したところ

図-10のようになった。さらに、眺望景観に最も影響を与えている、地区A及び地区B(図-11)の建築物の高さ規制を現状より強め、塔屋部分も含めて地区Aは高さ10m以下、地区Bは高さ12m以下とした場合、図-12のとおりとなった。

4. 考察

(1) 地上型レーザースキャナを用いた景観シミュレーションの実用性

本研究では地上型レーザースキャナによって得られた清風荘庭園及びその周辺の建築物データと国土地理院の標高データを用いて、借景復元に関する景観シミュレーションを行った。図-5, 6で示したように地上型レーザースキャナで得られた庭園及び周辺建築物のデータと東山の標高データを重ね合わせることで、それぞれの正確な位置関係を捉え、東山、特に大文字山が見えるようにするためにはどの程度樹木を切り下げればよいかということや、庭園近隣のある建築物が大きな字の右払いにかかってしまうことなどを予め具体的に把握することができた。また、図-7, 8のように部分的にデータを削除して庭園内の樹木の切り下げシミュレーションを行い、切り下げた場合の眺望景観について検討するとともに切り下げる樹木の高さについて具体的な数値を示すことができた。庭園内で維持すべき樹木の高さを示せば、本庭園の今後の維持管理に活かすことができると考えられる。これらの結果より、地上型レーザースキャナを用いた名勝清風荘庭園におけ

写真-1 清風荘庭園と大文字山 2008.10.15 撮影

図-9 清風荘庭園と周辺環境を示す断面図

る京都東山の借景復元に関する景観シミュレーションは、任意の視点から近隣の高い建築物を考慮しながら、東山への眺望を阻害していた樹木を切り下げ際の資料として有用であったと考えられた。

測量においては計測対象物の表面がレーザー光線を吸収または散乱してしまうような素材である場合は計測できないため、池の部分のデータを得ることはできなかった。池の水面では、レーザーが鏡面反射することによって、樹木等が倒立している状態のデータが取得されたため、これらのデータの除去が必要となった。また、霧中、降雨、降雪の天候下で計測を行うとノイズが発生するため、測量日Ⅱの天候の降雪時のデータにはノイズ除去の作業が必要であった。測定距離には制限があり、今回の測量で得たデー

図-10 現状の都市計画で許容されている高さの建築物が建てられた場合

図-11 清風荘庭園からの眺望景観に特に影響を与える地区

タにおいて測器からの最長距離は約 600 m であった。本手法には測量について機器の特性上このような制約もあるが、今後庭園における景観シミュレーションに十分に活用できると考えられた。

また、実際に庭園内で行われた施業後の写真(写真-1)と樹木切り下げシミュレーション画像(図-7)との比較により、庭園景観と東山の山並みの位置関係の確認を行った結果、本手法で得られた情報は実際とずれていないことがわかった。本手法のように現実に即した正確なデータに基づく景観シミュレーションは、信頼性が高いと言える。景観シミュレーションの意義を考えると、シミュレーション結果の信頼性が高いことは重要であり、今後本庭園の整備事業に関する情報を公開し、事業についての評価を行う際にも役立つと考えられる。また、座標の統合が正確に行えるという点においては、本件のように周辺の建築物を考慮した景観シミュレーションを行うにあたり有利である。さらに、樹木や建築物等の形状を一つ一つモデリングする必要が無いため、他の景観シミュレーションと比べて労力が大幅に少なくて済むことも大きな利点である。以上から、本研究により新たな手法を用いた景観シミュレーションの有用性を示すことができた。

(2) 清風荘庭園からの眺望景観に周辺建築物が及ぼす影響

地上型レーザースキャナによって得られたデータを断面図に加工し、大文字山までの眺望について検討を行った結果、東大路通り以西に位置する 10 m 以上の建築物が眺望景観に大きな影響を与えることがわかった(図-9)。この地域は、京都市都市計画

図-12 眺望に特に影響を与える地区の建築物の高さ規制を強めた場合

によって15m第2種もしくは15m第4種高度地区に指定されているが¹⁰⁾ ¹¹⁾、現在許容されている高さの建築物が建てられると、庭園からの眺望景観に大きな影響があることが明らかになった(図-10)。現在の京都市の清風荘庭園周辺における建築物の高さに関する規制では、本庭園からの眺望景観は保全できないことがわかった。特に大文字山への眺望景観に影響を与える地区A、B(図-11)の建築物の高さ規制を現状より強めた場合のシミュレーションを行った結果、塔屋部分も含めて、地区Aは高さ10m以下、地区Bは高さ12m以下に抑えれば、清風荘庭園からの大文字山の大字への眺望が確保されることがわかった(図-12)。以上の結果より、本手法は庭園内の重要な視点からの保全すべき眺望を確保するために必要な行政上の措置を検討する上でも有効であることが示された。京都市では平成19年に京都市眺望景観創生条例を制定している。この条例は、特定の視点場から特定の視対象を眺めるときに視界に入る建築物等の高さ、形態及び意匠について必要な事項を定めることにより、京都の優れた眺望景観を創生するとともに、これらを将来の世代に継承することを目的としており¹²⁾、現在38箇所が対象地として指定されている¹³⁾。名勝指定を受けている本庭園の眺望景観を保全するためには、京都市眺望景観創生条例によって眺望景観保全地域に指定し、近隣の一部の地域については建築物の高さ規制を現状よりも強めることが考えられる。

(3) 本手法の活用法について

本研究で得られた景観シミュレーションの結果は、清風荘庭園の整備活用事業の参考資料として用いられた。実際に資料として用いられる中では、2次元の資料だけではイメージがわきにくいことも、立体的な3次元情報を提示することによって誰にでも分かり易く感じられ、客観的な景観検討を行うことができたといった感想も聞かれた。地上型レーザースキャナによって得られる正確なデータに基づいたシミュレーションは、関係者が合意形成をはかった上で事業を進めていくことに有用である可能性がある。また、名勝に関する記録は、内容を理解し、適切に保存管理していく上で必須であり¹⁴⁾、今後本手法を文化財庭園名勝の貴重な記録方法として活用することが期待される。庭園の整備事業においては、作庭者の意図したデザインを的確に捉え、できる限り作庭当時の状況を復元することが求められる。現存する清風荘庭園の史料から作庭当時の様子を明らかにする研究と連携していくことで、さらに意義の深い景観シミュレーションを行うことができると考えられる。

引用文献

- 1) 本條毅・斎藤馨・熊谷洋一(1992)：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

- 2) 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
- 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) 中島義晴(1999)小石川後樂園における眺望景観保護のための景観シミュレーション手法に関する基礎的な研究：東京大学修士論文
- 5) 林恩美・本條毅・丸田頼一(2000)：VRMLと植物形状データベースによる景観可視化手法に関する研究：ランドスケープ研究 63(5)，799-802
- 6) 上山文子・飯塚英雄：借景庭園から見える地形のコンピューターによる分析研究(1998)：日本建築学会大会学術講演梗概集・A-2，防火，海洋，情報システム技術 vol.1998，487-488
- 7) 坂田聖二・横田修一郎・佐名木哲二(2007)：地上型レーザースキャナによる急崖上のタフォニの検出：情報地質 18(2)，128-129
- 8) 松田重雄(2005)：地上型レーザースキャナーによる災害観測調査：写真測量とリモートセンシング 44(2)，22-25
- 9) 戸田健太郎・中村彰宏・前中久行(2007)：地上型3Dレーザースキャナを用いた男里川河口の微地形計測と潮間帯の冠水特性の評価：ランドスケープ研究 70(5)，463-466
- 10) 京都市都市計画情報 用途地域・高度地区：京都市都市計画情報等の検索：ホームページ
<<http://www5.city.kyoto.jp/tokeimap/>>，2008.12.19 参照
- 11) 高度地区計画書：景観関連条例・規則集 都市計画の計画書：京都市情報館ホームページ
<<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000023511.html>>，2008.8.4 更新，2008.12.19 参照
- 12) 京都市眺望景観創生条例：景観関連条例・規則集 眺望景観関係：京都市情報館ホームページ
<<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000023511.html>>，2008.8.4 更新，2008.12.19 参照
- 13) 京都市眺望景観創生条例に基づく眺望空間保全区域等の指定等(告示)：景観関連条例・規則集 眺望景観関係：京都市情報館ホームページ
<<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000023511.html>>，2008.8.4 更新，2008.12.19 参照
- 14) 中島義晴(2008)：名勝の価値を記録する：月刊文化財 No.538 55-56

(2008.12.25 受付，2009.7.25 受理)