

3次元点群データを活用した日本庭園における透かし剪定による樹木形態変化

Tree structural transformation of Sukashi-pruning using 3D point cloud data in Japanese garden

矢作 岳* 加藤 顕* 加藤友規** 三谷 徹***

Gaku YAHAGI Akira KATO Tomoki KATO Toru MITANI

Abstract: This study is aimed to identify structural transformation of trees pruned by traditional way named Sukashi in Japanese garden. Sukashi-pruning is a professional skill and has not been quantified in terms of spatial pattern and effect, while their tree structure change can be obtained by high precision of 3D laser measurement. To achieve the goal of this study Sukashi-pruning of trees (the main spatial component of the Japanese garden) is quantified by the tree structure transformation using voxels. Through voxel change before and after the pruning, the distribution of trees (DT), the length of trees outer circumference (LTOC), and the rate of outer circumference of trees (ROCT) are quantified. As the result, DT and LTOC have different distributions from 1.5m to 6.5m in height and 7.5m to 14.5m in height, and ROCT increases from 1.5m to 12.5m in height. ROCT distribution fluctuates every 1 m. This result shows that it is effective to clarify the pruning and transformation effect based on tree height, which was difficult to obtain without the high precision technique before. Sukashi-pruning is designed to form trees hierarchically besides considering the line of sight and increasing the outer edge complexity of the trees.

Keywords: point cloud, Japanese garden, tree, Sukashi-pruning
キーワード：点群データ，日本庭園，樹木，透かし剪定

1. 本研究の目的と位置づけ

(1) 研究の背景と目的

庭園やランドスケープ作品に対する空間構成の研究は、2次元の平断面図が主に使用されており、3次元的な立体空間形態の考察はあまり行われてこなかった。代表的な研究¹⁾においても幾何学的(無機的空間による)形態構成が3次元的に考察されているが、有機的である植栽を考慮した日本庭園の時系列上での形態変化はあまり把握されていない。植栽空間は庭園にとって重要な要素であるが、植物の複雑性や、光や揺らぎなど知覚現象が動的であるため、定量的に研究することが難しかった。近年、3次元レーザースキャナを活用し、樹木の定量的な分析²⁾や庭園景観のシミュレーション³⁾を行うなど、3次元データによる空間分析や樹木のモデリングを行う研究が行われている。

本研究は、庭園の植栽空間構造の解析において、3次元レーザー測量技術やデータの解析手法が持つ定量化や数値の記述により、庭園植栽空間の変化を把握することを試みる。さらに、無形伝承である「透かし」という技術によって作り出される植栽空間の未だ定義されていない空間的形態変化を、精度の高い装置によって取得されるデータから客観的に評価することを目的とする。

(2) 本研究の位置付け

1) 「透かし」に関するこれまでの学術的アプローチ

樹木は、庭園やランドスケープにおいて主要な空間構成要素であり、庭師による植栽管理で維持されている。日本庭園の管理の中でも剪定は、京都市を中心とする地域において「透かし⁴⁾」と呼び、「透かし」を施した庭園は、樹木の枝葉から背景や地面が透けて見え、このような景観は、日本人の美意識を反映している⁵⁾と考えられている。「透かし」の技法は、樹木の姿を整えるだけでなく、光を取り入れ、風通しを良くするなど、樹木の健康管理にとって重要な目的がある。さらに、樹木の成長をコントロールするだけでなく、樹形を整えること自体が、創造的な庭園空間をデザインしていると考えられる⁶⁾。「透かし」は、樹木の健康管理など

個々の樹木を対象に、局所的な管理を行うと同時に、視点場からの景観に配慮し、庭園全体の空間構築にも寄与している。このような技術は口伝により受け継がれているため、定量的に把握する手法はこれまでなかった。

このように「透かし」は、庭園空間を創造する手法であるが、「透かし」を題材とした研究は、剪定手法の違いが樹木成長に及ぼす影響(細野哲央他・2017⁷⁾)や、「透かし」が人の生理や心理反応への影響(田中葉月他・2018⁸⁾, 他多数)、「透かし」の呼称(今江秀史・2002⁹⁾)に関する研究に限られ、「透かし」の形態や空間構成を解析した研究はない。しかし、「透かし」は庭園の主要な要素である樹木を形作る、創造的な作業であり、空間形態として把握することは、新たな庭園空間構成の視点を提供すると考える。

2) 3次元レーザー測量手法と解析技術の現状

レーザー計測は、地上型、航空機や車両に搭載するものなど多岐に渡っており、非接触で高速かつ精密に対象物の三次元座標を測量することができる。地上型レーザースキャナは、計測範囲は狭いが、数mm単位の測量ができ、航空機搭載のスキャナと比べて、より正確なデータを取得することができる。このような特徴から、文化財や土木分野で多くの利用事例が発表されている。

林学分野では、地上型レーザースキャナや航空機レーザースキャナなど様々な計測方法でデータ取得が行われており、森林構造を計測できる手法や解析技術は、すでに確立している¹⁰⁾。しかし、従来の研究では、対象とする森林が広いため、サンプリングによる調査を重視しており、庭園のように同じ場所での形態変化を継続的に3次元で調査する研究はあまり行われていなかった。取得した計測データを用いた森林解析では、3次元データをそのまま活用せず、研究の目的に応じて、ボクセル¹⁰⁾や360度パノラマ画像¹¹⁾などに変換してきた。ボクセルを応用して街路樹を含む都市景観を解析する研究¹²⁾などに発展しているが、庭園や造園空間の解析に応用された事例は少ない。本研究は、樹木単体から庭園全体に及ぶ「透かし」による効果を地上レーザーによって得られる

*千葉大学大学院 園芸学研究所

**京都芸術大学大学院 芸術研究所

***東京大学大学院 工学系研究所

詳細な点群データを数値として記述し、庭園植栽空間の形態分析に用いることを試みる。これにより、考察の少ない庭園植栽空間を分析する手法が確立すれば、これまで明らかになっていなかった庭園空間の新たな側面が把握できると考える。

2. 現地計測とデータ編集

(1) 対象庭園と対象範囲

1) 庭園の概要

本研究の対象地は、京都南禅寺大寧軒とする。大寧軒は、南禅寺の塔頭寺院大寧院の跡地に作られた現代数寄屋建築と池泉回遊式庭園である。本庭園を研究対象とした理由は以下の3点である。1.伝統的な植栽管理が継続して実施されている。2.通常非公開で、長時間および長期間の計測が可能である。3.一度の計測で主要な庭園全体を計測可能な規模である。

2) 研究対象範囲と管理内容

本研究では玄関庭を除く、大寧軒の主要な庭園部分である池を中心とした主屋座敷前面に広がる庭園範囲とする。「透かし」による形態変化を把握するため、主な計測対象は樹高 1.5m 以上の中木および高木とする。本庭園の計測時期における管理内容の内、樹木の形態変化に影響するものは、「透かし」と「伐採」、「枝下ろし」であり、庭園全域でこの3種の手入れがされる時期前後に計測する。

(2) 現地計測の方法

庭園樹木の形態データを獲得するため、地上レーザー測量による3次元データの取得を行う。計測時期は「透かし」作業の前である2019年5月27日から28日と「透かし」後の2019年8月6日から7日の2回である。計測範囲は、上記の庭園部分約160m²、計測地点は19地点である。この19地点は、庭園内の主な視点場や園路の分岐点など比較的ひらけた空間を中心に、レーザーの死角を少なくし、取得データを統合する際に必要な重複部分を確保できる約7mから10mの間隔で均等に配置する¹³⁾。

レーザーセンサーは可搬性に優れているセンサーである SICK LMS511 (SICK 社製) を用いる。SICK LMS511 自体にスキャナー機能がないため、センサーを縦置きにし、回転台を取り付けることで、3次元レーザーセンサーとする。レーザーの最長到達距離は40mであり、センサーを設置した高さは約1.5m、計測時の水平・垂直角度分解能は0.1667度に設定する。1回の計測時間は360度を1回転として3分程度であり、4500万点取得可能である。19地点でセンサーを設置して解析を行うため、合計8億5500万の点群を本研究は対象としている。

なお、レーザーは垂直角150度(+90度/-60度)の範囲に照射されるため、センサーを設置した場所の真上のデータも取得可能である。

(3) 点群データの編集方法

1) データの統合方法について

計測した点群データは各地点の独立したデータとなっているため、庭園全体の点群データとして統合する必要がある。対象庭園は、地表面を含む庭園を構成する要素を傷めることはできないため、通常のレーザー測量に必要なデータ統合の基準点となるタイポイントを設置することができない。そのため、本研究では、庭園内に位置する建築、灯籠、庭園灯、鳥居などの不動の要素をタイポイントとして、全19地点を合成¹⁴⁾する。はじめに「透かし」前のデータを統合し、そのデータを基準とし「透かし」後のデータを統合する(図-1)。データ結合は2つの過程で行われ、各時期で、様々な場所に置いたセンサーで取得されたデータを庭園全体で結合し、さらに、剪定前後でデータが正確に合うように、異なる2時期のデータを結合し、その変化量を正確に把握できるようにする。

2) 点群データの標準化について

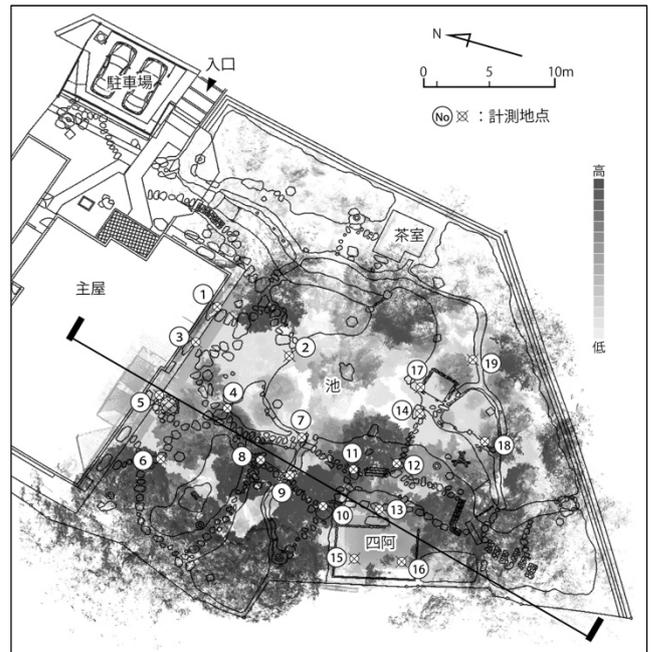


図-1 統合された庭園平面図(樹冠投影図)と計測位置(点群平面図)

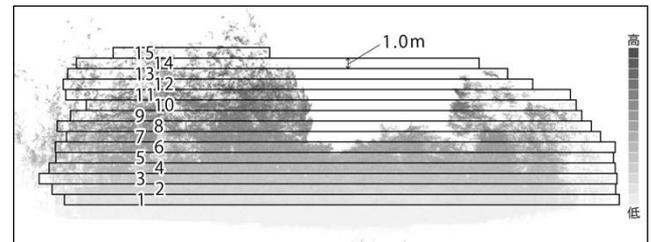


図-2 庭園断面図と平面スライス箇所(点群断面図)

レーザー測量は多方面からレーザーを照射し、対象の形態や座標などの情報を取得するが、同一箇所を複数地点から計測するため、一部に重複が発生し過大な点群データとなる。そのため、対象地で均等な密度となるよう処理する必要がある。また、重複したまま統合されたデータは容量が膨大で、閲覧や編集をする際、PCに高負荷がかかるため、データの軽量化をはかる必要がある。この2つの理由からデータの間引きを行う。間引きには voxel 法を応用し、最短点間距離が0.125m¹⁵⁾となるよう処理をする。

3) 分析対象の整理

本研究は樹木(低木を除く中木、高木)の形態変化に着目したものであるため、対象とする樹木以外のデータを除去する必要がある。タイポイントとして用いた、主屋、四阿、茶室、灯籠、庭園灯、層塔、鳥居を最後に点群3D表示の中で選択し削除する¹⁶⁾。これにより樹木のみで分析が可能となる。本庭園は池を中心とした広場や園路は基本的には平坦であり、外周部にわずかに起伏する地形が存在するが、庭園の主要な視点場である主屋前芝生広場を基準の地上高さとし、高さ1.5mを下限高と設定することで、地表面と低木のデータは含まれず、対象となる樹木のみデータを作成することが可能である。

(4) データの事前解析

整理した点群データを用いて、厚さ1.0mの水平面での高さ別スライスを高さ1.5mから16.5mまで派生させ、垂直に15層のスライス構造を作成する(図-2)。これらをASCIIファイルに書き出し点群データの基礎資料とする。作成された各時期15層の1m間隔のデータを「透かし」前後で計30層用意し、各層で、縦横1.0mの格子¹⁷⁾を作成する。その中で、レーザーの点が1点であれば、1とラベル付けをし、無ければ0として、0か1の情報を入力する。スライス幅が1.0mであるため、結果的に1.0m³の中に

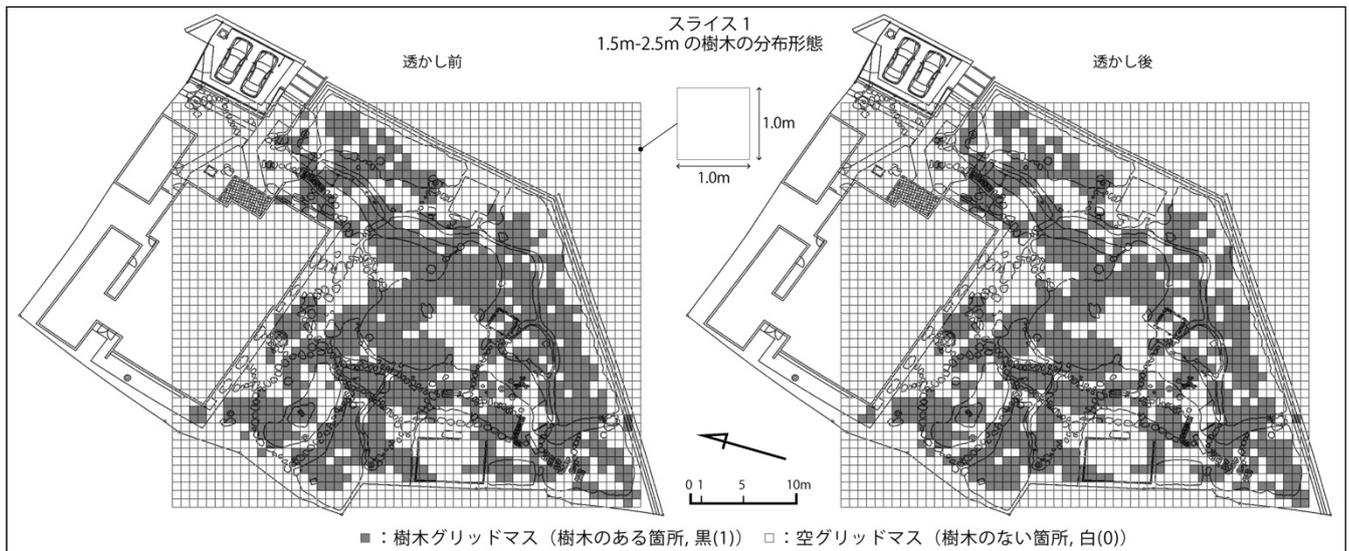


図-3 平面スライス図による剪定前後の樹木の様子

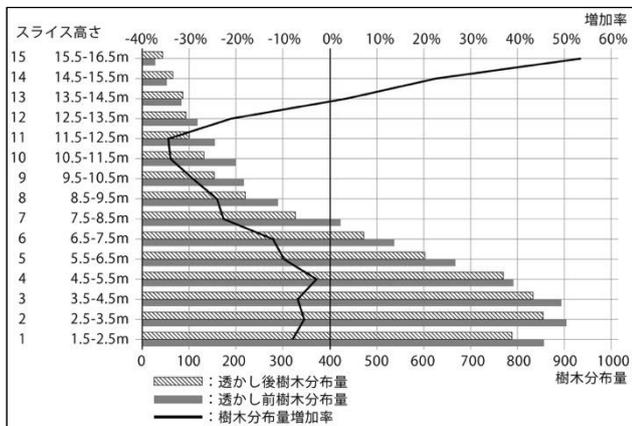


図-4 透かし前後における樹木分布量の変化と増加率

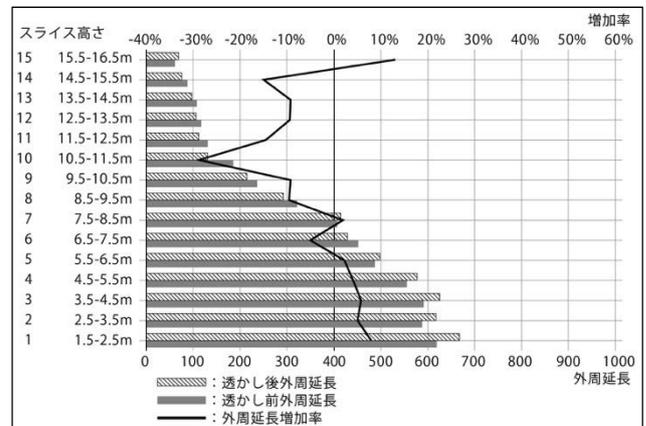


図-5 透かし前後における樹木外周延長の変化と増加率

あるデータ数が把握できる。本解析では9から297点の範囲で分布している¹⁸⁾。さらに、図-3のように庭園全体の平面図で1となる場所を黒く、0となる場所を白くなるバイナリー表示で表現する。

3. 透かし効果の解析手法

本研究で「透かし」による樹木形態への効果を把握するために、以下3つの指標に注目して解析を行う。

(1) 樹木分布量変化の定量化

1m³のボクセルの数に注目し、「透かし」によって減少する樹木分布量を透かしによる効果として高さ別に把握する。バイナリー表示した平面スライス図の黒く塗られたグリッドを「樹木グリッドマス」、白く塗られたグリッドを「空グリッドマス」とし、「樹木グリッドマス」の数(=樹木分布量)を、「透かし」前後でどのように推移しているか計測する。

(2) 樹木外周延長変化の定量化

「透かし」によって樹木外周延長が増加すると想定し、「透かし」の効果によって、樹木の形態変化を外周の長さによって高さ別に把握する。「樹木グリッドマス」に隣接する「空グリッドマス」の数を外周延長と定義し計測する。

(3) 樹木外周延長率の定量化

樹木分布量における外周延長の割合を計測し、これを外周延長率として解析する。(1) 樹木分布量変化の定量化と(2) 樹木外周延長変化の定量化で求めた数値を基に計測する。この解析により樹木分布量変化を考慮した、樹木外周延長変化を高さ別に把握

することができる。

4. 結果

(1) 樹木分布量の変化(図-4)

樹木分布量変化の定量化の結果、一部の上層部を除くほとんどのスライスに対し、「透かし」後の樹木分布量が減少していた。「透かし」は樹木の枝葉を間引く作業であるため、その結果がデータに反映されていた。1.5mから6.5mの層(スライス1から6)では、2.78%から12.1%減少しており、高さ7.5mから12.5mの層(スライス7から12)では、21.19%から34.42%減少していた。高さ13.5m以上の層(スライス13以上)は、3.57%から53.57%増加していた¹⁹⁾。

(2) 樹木外周延長の変化(図-5)

樹木外周延長変化の定量化の結果、「透かし」後で、半分ほどの層で減少していた。具体的には、高さ1.5mから5.5mと7.5mの層(スライス1から5と7)では、2.26%から7.92%とわずかに増加していたが、高さ6.5mと8.5mから14.5mの層(スライス6から8と14)では、5.09%から28.80%減少し、15.5m(スライス15)では、13.11%増加していた。

(3) 樹木外周延長率の変化(図-6)

樹木外周延長率変化の定量化の結果、「透かし」後には、ほぼ全ての高さで、増加していることが分かった。樹木外周延長率が増加するということは、「透かし」前に比べて「透かし」後で樹木外縁部における平面形状の凹凸が増加し、一塊の樹木空間が分離し島状の空間が発生することで、樹木外縁部の形状が複雑化したと

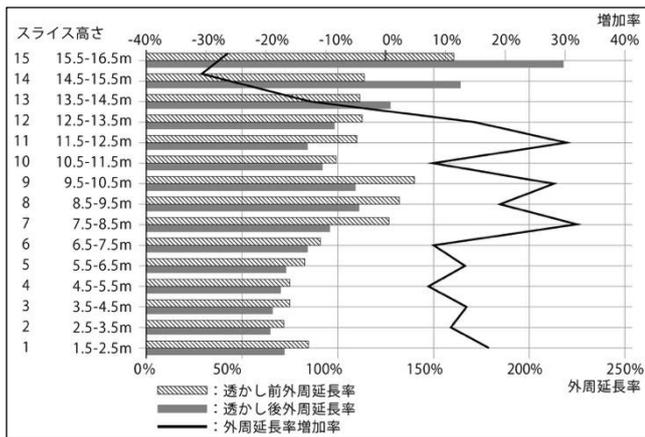


図-6 透かし前後における樹木外周延長率の変化と増加率

考えられる。高さ 1.5m から 12.5m の層 (スライス 1 から 12) では、7.12% から 31.91% 増加しており、高さ 1m 毎に増加率が前後する特徴的な分布が確認された¹⁹⁾。上層部の高さ 13.5m から 15.5m の層 (スライス 13 から 15) では、12.47% から 30.65% 減少していた²⁰⁾。

5. 考察

本研究では、林学分野で多く活用されている三次元レーザー測量技術と解析手法を応用し、庭園の樹木が持つ形態変化を、「透かし」という作業を通して見たときに、どのように定量的に把握できるかを試みた。そこから得られた知見は次の通りである。

「透かし」効果の定量化の結果から、「透かし」後において、高さ 1.5m から 5.5m の層 (スライス 1 から 5) では樹木分布量は減少しているが、樹木外周延長は増加していた。高さ 6.5m から 12.5m の層 (スライス 6 から 12) では、樹木分布量は同様に減少しており、樹木外周延長も減少していた。このような分布から言えることは、より目線に近い 1.5m から 5.5m の層 (スライス 1 から 5) において、樹木の大きさを変えずに枝葉間の空隙を大きくすることで、水平方向で視線が奥に届き、背後の様子が見える形態に変化したと考えられる。6.5m から 12.5m の層 (スライス 6 から 12) では、樹木の大きさを抑えていると考えられる。樹木外周延長率の定量化の結果から、1.5m から 12.5m の層 (スライス 1 から 12) においては全て増加しているため、樹木全体では外縁部の複雑性を増加させていると考えられる。さらに、樹木外周延長率は図-6 の折れ線グラフに見られるように、高さ方向 1m 毎に増加率の強弱を繰り返す分布がみられる。これは、間引き量の強弱により樹木を階層的に形成し、幹枝の形態を視認しやすくしていること、加えて、「透かし」が樹木個別の階層形成だけでなく、庭園の樹木群全体において、1m の層規模で階層のある樹木空間を形成していることを示している。

このように本研究では、樹木分布量、樹木外周延長、樹木外周延長率を計測することで、「透かし」のもたらす枝葉形態の変化を定量化することができ、これまで、定量的に分析することが困難であった樹木の形態に対して、数値で変化や特徴を明示する手法として有効であることを示すことができた。

これまで庭師の感覚に委ねられていた「透かし」は、管理としての一面だけではなく、創造的なデザイン作業であると言われてきたが、本研究の定量化によって、「透かし」による樹木の形態変化が、高さに応じて樹木を階層的に形成し、外縁部の複雑性を高めると定量的に認識された。

6. 今後の展望

本研究により、透かしの定量化に関する基本的な手法が確立さ

れた。格子の幅や点群データの密度などの解像度を高めることで、樹種単位での解析など、より詳細な「透かし」の効果を把握できる研究の展開が可能と考える。また、庭園内にある視点場からの見え方は、「透かし」においても考慮されており、目線の高さからの空間変化を検証することで、別の視点から「透かし」の特徴を把握できる可能性がある。「透かし」はスケールや空間の質に応じて樹木に対する処理が異なる技術²⁾と考えられているため、条件の異なる庭園でデータを取得することで、総合的に樹木の形態の特徴や庭師技術を定量化することが可能になると考える。

補注及び参考文献

- Charles W. Moore, William J. Mitchell, William Turnbull, Jr (1988) : The Poetics of Garden : The MIT Press, Cambridge
- 熊崎理仁・國井洋一 (2017) : レーザ計測による樹木の 3D モデリングへの応用に関する研究 : ランドスケープ研究 80(5), 465-468
- 早瀬真弓・今西純一・中村肇宏・戸田健太郎・森本幸裕 (2009) : 地上型レーザー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 (オンライン論文集) 2, 62-66
- 「山水並野形図」において初めて「透かし」という語が使われた。「透かし」は、京都市を中心とする地域で呼ばれており、一般的に枝葉を剪定して透けた空間とすることと解釈されている。
- 藤井英二郎 (1995) : 見る庭と触れる庭 : 淡交社, 12-14
- 中村一・尼崎博正 (2000) : 風景を作る : 昭和堂, 340pp
- 細野哲夫・入山準 (2017) : 剪定手法の違いがケヤキ (*Zelkova serrata*(Thunb.) Makino) 成木の成長に及ぼす影響 : ランドスケープ研究 80(5), 469-472
- 田中葉月・孫暎愷・藤井英二郎 (2018) : 奥行きのある配植に対する人の生理・心理反応に関する実験的研究 : ランドスケープ研究 81(5), 727-732
- 今江秀史 (2002) : 「御所透かし」・「寺透かし」・「町家透かし」という呼称に関する基礎的考察 : ランドスケープ研究 65(5), 447-450
- 加藤顕・田村太彦・市橋新・小林達明・高橋輝昌 (2019) : 地上レーザーを用いた階層構造と植被率の自動解析手法 : 日本緑化工学会誌 45(1), 121-126
- 加藤顕・安藤祐樹・吉田俊也・梶原康司・本多嘉明・小林達明 (2014) : 簡易型地上レーザーを用いた毎木調査法 : 日本緑化工学会誌 40(1), 136-141
- Szymon Chmielewski・Piotr Tompalski (2017) : Estimating outdoor advertising media visibility with voxel-based approach : Applied Geography 87, 71-13
- 事前到庭園に似た樹木環境下で試験運用を行い、分析に十分な点群密度と合成の精度が確保できる距離と判断した。また、現場の樹木の配置状況から、対象物の背後についても適切に計測できるよう、状況に応じて機器を配置した。
- 合成や不要箇所の削除等の点群データの編集には、無償かつ多機能な CloudCompare を使用した。合成では、構造物の角や頂点など明確な地点が把握できる箇所を、3次元空間に分散するように4つ以上タイポイントとし処理をした。
- Voxel では、任意の値の立方体を生成し、その中に点が一つでもあれば、重心1点に変換される。本研究では、CloudCompare の Resample 機能を用いて間引きを行った。この場合、点の位置は変換されず、間引きが行われる。点間最短距離は、5) の既往研究を基に、精度がもっとも高いと考えられる 0.125m に設定した。
- CloudCompare を使用し、目視により対象物を拡大し、間引きの最短点間距離である 0.125m を参考に、対象となる構造物の輪郭を把握し、適切に削除した。
- ArcMap を使用し、格子を作成した。幅は、0.25m, 0.5m, 1.0m の3つの値で作成し、事前それぞれ解析した。その結果、どの値も同様の傾向であることが確認できたため、最も解析が効率的に実施できる 1.0m を採用した。
- 本研究では、Voxel と異なり点の位置が変換されない最短点間距離による間引きを実施しているため、点群の量に関わらず樹木が分布する箇所であると判断した。
- スライス幅 1.0m の他に 2.0m, 0.5m, 0.25m の場合の分布を確認し、1.0m に設定することで、増加率が前後する明確な特徴が現れることを確認した。
- 主に上層部で確認される傾向に反して増減している分布は、樹木の枝葉に遮られ、計測レーザーが上部まで届かず、他に比べデータの取得が少なくなり、点群密度にムラができたことが原因と考えられる。

(2020.9.26受付, 2021.3.30受理)