

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06115

研究課題名（和文）深層学習と写真測量を用いた景観の点数化に関する研究

研究課題名（英文）A study on the scoring of landscapes by using deep learning and photogrammetry

研究代表者

國井 洋一（KUNII, YOICHI）

東京農業大学・地域環境科学部・教授

研究者番号：10459711

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、レーザスキャナによって取得された点群データを利用し、フラクタル解析の他に景観の全体的な特徴を定量化する指標としてVQMを用い、景観の総合的な特徴を捉えた定量化を行った。その結果、点群データを用いた景観把握において、フラクタル解析では既往研究手法との相関がみられたが舗装や建築物の占有度によって差が出ることを確認された。また、VQMにおいては人間の主観的な距離把握と、点群での距離把握には相関があることが確認され、公平な指標として点群データによる距離把握が十分に利用することが可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、景観評価の定量化に至る道筋を構築することができたといえる。通常、景観評価指標であるVQMにおいては、写真内の要素の分類などを手動にて行う必要があり、さらには各要素の奥行きについても判断しなければならない。すなわち、景観を客観的に評価するためには、景観を構成する要素として何が存在し、それらが3次元空間上のどこに位置しているのかを把握する必要がある。本研究ではレーザスキャナによる研究を組み合わせることで、対象物の距離や反射率により対象物の認識が可能となったため、景観評価の可能性を高めることに成功した。

研究成果の概要（英文）：In this study, using point cloud data acquired by a laser scanner, VQM was used as an index to quantify the overall characteristics of the landscape in addition to fractal analysis, and quantification was performed to capture the overall characteristics of the landscape. As a result, it was confirmed that in understanding the landscape using point cloud data, fractal analysis showed a correlation with existing research methods, however that differences appeared depending on the degree of occupancy of pavements and buildings. In VQM, it was confirmed that there is a correlation between human subjective distance perception and distance perception using point cloud data, indicating that distance perception using point cloud data can be used as a fair indicator.

研究分野：空間情報工学

キーワード：景観評価 VQM フラクタル解析 写真測量 レーザスキャナ

1. 研究開始当初の背景

造園の分野においては、人が心地よいと感じる景観を造り上げるために設計やデザインが行われ、その要求に応じた施工が行われる。特に、近年の日本においては訪日外国人の増加や東京オリンピック・パラリンピックをはじめとした数々の国際的なイベントの開催に伴い、日本らしい良い景観づくりが求められている。その「良い景観」とは、一般的には主観的に判断されることが多いが、より公平な判断のためには客観的に景観を評価する手法が求められる。これまで、景観の主観的な評価に客観性を持たせるための手段としては、景観のカテゴリー分類や、SD法を用いた景観評価実験の事例が多く見られるが、被験者のサンプルを多数必要とすることがボトルネックとなる。そのため、申請者はこれまで景観を撮影した写真に対する画像処理によって、写真の特徴を数値化する数種の手法を試みてきた。しかしながら、それらの手法は特定の要素のみに着目しなければ得られないものであり、景観の全般的な特徴を広く捉える手法が必要となる。1枚の写真に写っている景観の評価指標としては、VQM (Visual and Ecological Environmental Quality Model) が提案されているが、写真内の要素の分類などを手動で行う必要があり、さらには各要素の奥行きについても判断しなければならない。すなわち、景観を客観的に評価するためには、景観を構成する要素として何が存在し、それらが3次元空間上のどこに位置しているのかを把握する必要がある。

一方、写真に写されている要素を分類する手段として、最近では深層学習が応用されている。深層学習はAI(人工知能)構築のための学習方法として注目されており、学習を確立させることができれば景観においても要素の自動認識が可能になると予測される。また、写真に写されている対象物の3次元情報を取得するためには、写真測量が有用である。従来、写真測量は主に航空写真に適用されてきたが、近年は一般的なデジタルカメラやスマートフォンを用いた地上写真測量も普及してきている。すなわち、これらのような景観の写真に対する定量化の技術が、景観の客観的な評価に結びつく可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

庭園、公園等の造園空間は様々な景観構成要素によって構成されており、多様な景観を生み出している。一般的にそれらの空間における景観の善し悪しは、来訪者の主観によって判断されることが多い。その一方で、景観に対して客観的な評価を行うことができれば、造園空間の管理や造成においてより良い空間の計画に有用であるといった利点がある。景観評価に関する既往研究としては、主観的な評価に客観性を持たせる手段として Semantic Differential 法¹⁾を用いた景観評価実験²⁾の事例が見られる。その一方で、景観を定量的に把握する手段として、地域の景観パターンを指数により定量化した研究³⁾、カメラにより撮影された景観写真に対して、画像処理を行い、複雑さを算出するフラクタル解析を用いた事例⁴⁾⁵⁾⁶⁾が見られる。以上の各既往研究では、いずれもカメラで撮影された写真によって景観分析が行われているが、本来の景観は奥行きを含めた3次元空間を対象とすべきであり、写真による2次元平面に置き換えられた分析には景観把握において限界があると考えられる。すなわち、景観を3次元で捉えて分析を行うことにより、土地としての広がりや視点を自由に設定することが可能となり、より精度の高い景観の把握が可能であると考えられる。また、フラクタル解析によって算出される指標は景観の複雑さであるが、この指標のみで景観の総合的な特徴を捉えることは難しいと考えられる。

そのような3次元による景観把握のための手段として、近年は、都市空間や自然地域において点群データが取得されるようになった⁷⁾。造園空間においても、景観シミュレーションや現況平面図作成等に対する点群データの利用が増えてきている⁸⁾。そのため、景観評価においても点群データの利用が有効である可能性が考えられる。点群データを用いるメリットとしては、対象空間を高密度な3次元座標によって表現するため、任意の視点を再現できる点や、点群の存在する空間内において視点から対象までの距離を算出できるため、景観構成要素を近景、中景、遠景のように分類することが可能である点が挙げられる。

そこで本研究においては、対象空間において地上型レーザスキャナ(以下レーザスキャナ)によって取得された点群データを利用し、フラクタル解析の他に景観の全体的な特徴を定量化する指標として各構成要素が存在する奥行きなどの情報からVQMを用いて景観の総合的な特徴を捉えた定量化を行った。VQMは、景観画像から近景中継遠景を抽出して、点数化する手法であるが、点群データは前述の通りそれらの分類が可能であるため、VQMと点群データとの適合性は高いと判断した。また、景観把握に関する点群データの有用性を検証するために、動画データを取得し、取得されたデータに対し比較および検証を行った。

3. 研究の方法

1) VQMについて

VQMはBurley(1997)によって提案されたアルゴリズムであり、景観画像に写しこまれている

構成要素を分類し、各構成要素が存在する領域や奥行きなどの情報から、景観をスコアリングすることが可能である。VQMには変数として樹木、植生、水系、人間、舗装、建造物、車両19種の景観構成要素が含まれている。これらは、多数の景観に対するサンプル画像から、画像中に含まれている主要な景観要素を抽出したものである⁹⁾。

はじめに、景観画像に対する処理としては、画像全体を一定のサイズの正方グリッドにより分割を行う。既往研究においては、フィルム写真のアスペクト比に合わせるために横38グリッド、縦30グリッドで分割を行っている¹⁰⁾。VQMにて景観をスコアリングする際は、対象とする景観画像に写っている樹木、植生、舗装、建造物、車両などの景観構成要素を抽出し、抽出されたグリッドの数や辺長から変数を求める。その際、植生に関する各変数には、Immediate、Intermediate、Distantといった奥行きに関する情報が必要とされる。すなわち、VQMによる景観把握においては、景観構成要素だけではなく視点から構成要素までの距離を把握する変数がある。さらにVQMにおいてはEnvironmental Quality Index(以下EQI)という環境評価指標を合わせて算出する¹⁰⁾。これは、対象とする景観の環境に対する貢献度を示す指標であり、環境評価に関する20項目の評価により求められる。EQIの各項目は+1、0、-1の3段階での評価となり、その総和によって求められる。以上によって得られた変数及びEQIの結果に対し、既往研究⁹⁾の統計分析で得られた係数をそれぞれ乗じて総和を算出することで、数値を求めることができる。求められる数値は概ね0~250の実数であり、数値が低いほど景観としての評価が高いことを表している¹¹⁾。

2) 調査概要

本研究における対象地は、東京農業大学世田谷キャンパス内のメタセコイア広場とする。メタセコイア広場はキャンパスの出入り口に対する動線上に位置しており、人の往来が多く、多彩な植栽やベンチ等が設置されている。そのため、自然的要素と人口的要素の両方が配置されており、VQMにおいて対象としている多種類の景観構成要素が視認できる空間である。

対象地における計測は、2021年5月28日に行った。動画像の取得に際しては対象地の景観をくまなく把握できるルートを設定し、そのルートを歩行しながら、進行方向に対する動画像撮影を行った。撮影機材には、一般的なスマートフォンであるiPhone8のカメラを用い、カメラ位置を視点の高さになるように設定した。撮影時の進行速度は、1秒あたり1mとし、カメラの上下動が極力起きないように留意した。

また、点群データの取得においては、RIEGL社製のレーザスキャナVZ-400iを用いた。その際には、空間全体を網羅できるように器械点を決定し、計14点での計測を行った。図-1は対象地詳細図であり、動画像取得のルート、点群データ取得時の器械点を示している。

3) データ処理

本研究においては撮影した動画像からフレーム画像を抽出し、1秒に1枚ずつ抽出し、計96枚の画像を出力した。一方、レーザスキャナで取得した点群データからは、上記のフレーム画像と画角が同じになるように点群データの画角を手動で調整し、レンダリング画像を96枚出力した。そしてレンダリングした画像に対してフラクタル解析とVQMをそれぞれ適用させた。また、取得されたデータに対し比較および検証取得した各データに対するVQMによる処理として、以下に示すCase A、B、Cの3パターンを実施した。まず動画像から抽出したフレーム画像に対し、既往研究手法を用いてVQMを適用させたものをCase A、次に取得された点群データから出力したレンダリング画像に対してVQMを適用させたものをCase B、そして点群データから把握できる奥行きを考慮し、任意の閾値を設定して近景、中景、遠景と分類したものにVQMを適用させたものをCase Cとし、各手法による検討を行った。

4. 研究成果

1) フラクタル解析による検証結果

フラクタル解析によって得られた結果により、動画像データと点群データの景観の複雑性について検証する。図-2に両データにおけるフラクタル解析による結果を示す。図-3は動画像および点群のフラクタル次元による解析例を示した。

フラクタル次元の標準偏差においては、動画像データが ± 0.049 、点群データが ± 0.032 であり、動画像データの方がスコアの分散が大きいことが確認された。また、26~31枚付近、57~81枚の部分において動画像のスコアが減少しているが、点群データにおいてはスコアが増加傾向となる変化が見られた。変化している部分に着目すると、26~31枚付近の画像内においては、白い構造壁によって構成されていた。また、57~81枚に関しても、舗装面や建造物によって構成さ

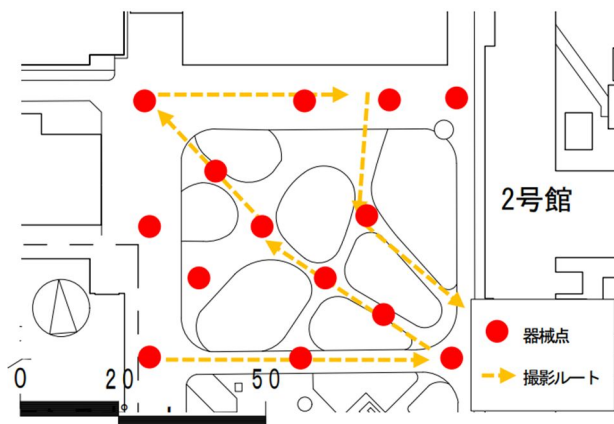


図 - 1 対象地詳細図

れる部分が多く、人工構造物が多いほど動画と点群のフラクタル次元が変化していた。

次に動画データと点群データのフラクタル次元同士の相関係数を求め、両データにおいて無相関検定を実施した。両データのフラクタル次元の相関係数は -0.258 であり、係数に着目すると、項目数 96 に対して 1% 有意水準を満たしていることが確認され、両データに関連性があることが確認できる。しかしながら、この数値は有意水準を満たしているものの、舗装面や建造物によって構成される部分が多い際に両データにおけるスコアに差異が見られる。つまり、舗装面や建造物によって構成される部分が多い場合はレーザスキャナによる方法は景観の再現性が低い可能性がある。図 - 3 の例のように木陰の有無によるフラクタル次元の相違については、相関がみられたため、影響が少ないことが確認された。

2) VQM による検証結果

つぎに VQM によって得られた結果より、景観評価における点群データの有用性について検証を行った。Case A と Case B の 2 つの手法においてはスコアに大きな差異が見られなかったが、Case C では、1~6 枚目、51~55 枚目、88~93 枚目において閾値設定を行ったスコアが低くなっていることが確認された。それらの傾向としては、近景構成要素の分類が多く見られる際にスコアの差が大きいたことが確認された。近景構成要素における変数は他要素との関係性が強く、スコアに影響することが要因であると考えられる。図 - 4 にスコアの差が大きかった箇所の画像例を示す。画像例より近景構成要素が多いことによってスコアが低くなることが確認された。また、平均値に着目すると動画データが最もスコアが高く、点群データに対して閾値設定を行ったデータの平均値が最も数値が小さいことが確認された。つまり、近景構成要素が多い箇所では従来の目視判読による VQM では、理想値より高い値が算出され、景観評価の精度が低かったということが考えられる。

次に、各データ同士の相関性について検証した。表 - 1 は VQM によるスコアに対する相関行列であり、さらに 3 種のデータにおいて無相関検定を実施した。各データの相関係数を示している相関行列に着目すると、いずれにおいても強い相関であることが確認された。また、各データの相関は項目数 96 に対して 1% 有意水準を満たしている。このことから VQM はカメラで撮影された景観画像に対して適用させるモデルであるが、点群データに対しても有用であるという

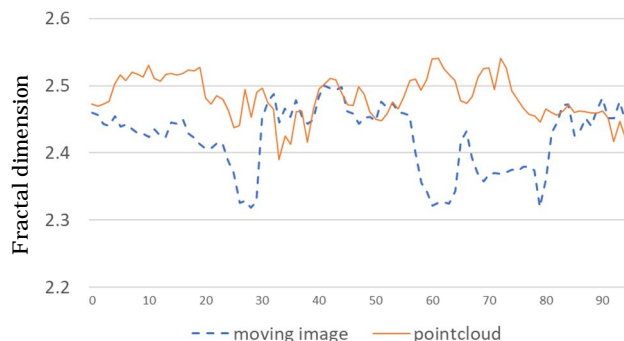


図 - 2 動画および点群データに対するフラクタル解析結果



点群データ

(フラクタル次元 = 2.441)

動画

(フラクタル次元 = 2.325)

図 - 3 建造物によるフラクタル次元の変化

(例：フレーム 26)

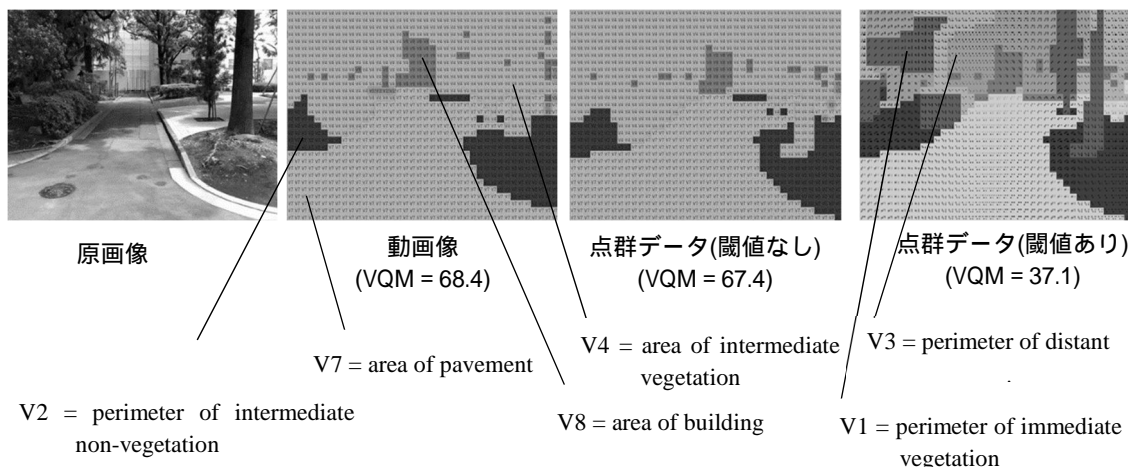


図 - 4 近景構成要素によるスコアの差 (例：フレーム 1)

表 - 1 VQM の相関行列

	動画像	点群 (閾値なし)	点群 (閾値あり)
動画像	1		
点群 (閾値なし)	0.951**	1	
点群 (閾値あり)	0.854**	0.878**	1

** p<01

ことが確認された。表 - 2 に各統計量を示す。

表 - 2 VQM の統計量

	動画像	点群 (閾値なし)	点群 (閾値あり)
平均	80.0	76.3	65.6
最大値	222.6	163.7	151.1
最小値	60.0	60.2	30.0
分散	621.7	383.2	433.0
標準偏差	24.8	19.5	20.7

5. まとめ

本研究では、レーザスキャナによって取得された点群データを利用し、フラクタル解析の他に景観の全体的な特徴を定量化する指標としてVQMを用い、景観の総合的な特徴を捉えた定量化を行った。その結果、点群データを用いた景観把握において、フラクタル解析では既往研究手法との相関がみられたが舗装や建築物の占有度によって差が出ることを確認された。また、VQMにおいては人間の主観的な距離把握と、点群での距離把握には相関があることを確認され、公平な指標として点群データによる距離把握が十分に利用可能であると示された。

点群データは写真と異なり、任意の視点から任意の範囲に対する景観を抽出できる。そして既往研究⁹⁾において奥行き距離の把握は目視によって主観的に行っていた点に対して、点群データを利用することによって対象までの距離を算出できることで、正確な奥行きの把握が可能となり、レーザスキャナにより取得されたデータからの景観分析の有用性が示された。一方で、本研究におけるVQMによる分析はすべて手動での処理であったため、点群データに対する処理を自動化することができれば、景観把握が効率化されると期待できる。そして今後は異なる造園空間での検証や、閾値設定に関して異なるサンプルでの検証等を進めていく予定である。

参考文献

- 1) Osgood, C. (1957): The measurement of meaning. Illinois Univ. Press.
- 2) 竹内 稔, 藤本 信義, 三橋 伸夫(1995): シークエンス景観と連続シーン景観の評価構造分析: 農山村地域における景観評価に関する研究 その1, 総合都市研究 (60), 119-128
- 3) O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Timmins, S.P., Jackson, B.L., Riitters, K.H. and Wickham, J.D. 1996. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. Landscape Ecol. 11: 169-180.
- 4) 松本剛, 水内佑輔, 古谷勝則(2016): 写真投影法と空間情報技術を用いた小石川後楽園の利用形態把握に関する研究: ランドスケープ研究 79(5), 477-482
- 5) 國井洋一, 古谷勝則(2011): 尾瀬国立公園のシークエンス景観に対する定量指標と主観評価の関連性について: ランドスケープ研究 74(5), 633-636
- 6) 國井洋一(2017): 2020年東京オリンピックマラソンコースの動画像による景観分析, ランドスケープ研究, 80(5), 615-620
- 7) 保田 敬一, 趙 子健, 小西 英之, 山崎 元也(2020): 点群データを用いた道路景観評価用画像の修正に関する一考察, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 76(1), 1-17
- 8) 熊崎理仁・國井洋一(2015): 日本庭園における地上型レーザスキャナによる図化及び景観シミュレーションに関する研究, 東京農業大学集報, 60(2), 93-102
- 9) Burley, J.B. (1997): Visual and ecological environmental quality model for transportation planning and design. TRR: J. Transp. Res. Board (1549), 54-60
- 10) Burley, J.B., Yilmaz, Rüya. (2014): Visual Quality Preference: The Smyser Index Variables, International Journal of Energy and Environment (8), 147-153
- 11) 國井洋一(2019): VQM に対する深層学習および距離画像の応用による定量的景観評価手法の提案. ランドスケープ研究 82 (5), 563-566
- 12) 池上佳志(1998): 景観の量的把握(2) - 景観パターンの指数の計算例 : 国際景観生態学会日本支部会報 4(3), 54-58
- 13) 樋口彦彦(1975): 景観の構造: 技報堂出版, 43
- 14) Henry Dreyfuss (1959): The Measure of Men: Humean Factors in Design, Whitney Publication, New York

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 國井洋一, 佐々木崇弘, 三間慎啓, 近藤盛太郎	4. 巻 11
2. 論文標題 レーザーキャナを用いた浸透コンテナ栽培樹木の生育状況の把握	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ランドスケープ研究84増刊, 技術報告集	6. 最初と最後の頁 184-187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Rihito KUMAZAKI, Yoichi KUNII	4. 巻 XLIII (B3)
2. 論文標題 APPLICATION OF 3D TREE MODELING USING POINT CLOUD DATA BY TERRESTRIAL LASER SCANNER	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. (The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)	6. 最初と最後の頁 995-1000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-995-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yoichi Kunii, Paige O' Keefe, Jon Burley, Luis Loures and Marifaye Regina Villanueva	4. 巻 -
2. 論文標題 Landscape Hazards: Destructive Build Environment Zones and Safe Areas - An American Case Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IntechOpen, Land Use	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5772/intechopen.91228	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 熊崎理仁, 國井洋一, 鈴木雅和	4. 巻 30(1)
2. 論文標題 TLSによる原爆被爆樹木に対する3Dモデル構築手法の提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用測量論文集	6. 最初と最後の頁 129 - 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 江藤直輝, 國井洋一
2. 発表標題 景観評価指標を用いた深層学習による画像生成に関する研究
3. 学会等名 令和2年度日本造園学会関東支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江藤直輝, 國井洋一
2. 発表標題 深層学習及び量子アニーリングを用いた造園空間に対する画像生成
3. 学会等名 日本造園学会全国大会ポスターセッション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江藤直輝, 國井洋一
2. 発表標題 深層学習を用いた造園空間に対する画像生成
3. 学会等名 令和元年度日本造園学会関東支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國井洋一
2. 発表標題 深層学習の応用による景観評価手法の提案
3. 学会等名 令和元年度日本写真測量学会年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北岡史理, 國井洋一
2. 発表標題 国立市の道路景観に対する各種定量評価の相関性に関する研究
3. 学会等名 日本造園学会全国大会(ポスターセッション)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 舘川龍希, 國井洋一
2. 発表標題 造園空間における3Dレーザ測量を用いた時系列変化の抽出
3. 学会等名 令和2年度日本造園学会関東支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 舘川龍希, 國井洋一
2. 発表標題 点群データを用いた造園空間に対する時系列変化の抽出
3. 学会等名 令和3年度日本写真測量学会年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舘川龍希, 國井洋一
2. 発表標題 点群データに対するフラクタル解析およびVQMIによる景観把握に関する研究
3. 学会等名 日本造園学会全国大会(ポスターセッション)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 館川龍希, 國井洋一
2. 発表標題 3次元点群データに対する景観定量評価指標の適用性に関する研究
3. 学会等名 令和3年度日本造園学会関東支部大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科 ランドスケープデザイン・情報学研究室
<https://www.facebook.com/nodaizenkuni>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------