

# 3次元点群データおよび心理分析を用いた 定量指標による景観把握に関する研究

館川龍希\*・國井洋一\*\*†

(令和5年8月21日受付/令和5年12月1日受理)

**要約:**庭園や公園などの景観空間は、さまざまな景観構成要素によって構成され、多様な景観を作り出している。一方、景観を客観的に評価することが可能となれば、景観空間の管理・創造において、より良い空間づくりに活用することができる。近年、都市部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てきた。本研究では、点群データを用いた定量的な景観指標の適用可能性と、景観構成要素と人間との心理的な関係性を把握することを目的とし、定量的な指標の適用可能性を検証した。また、定量的指標の適用可能性に加え、空間内の環境および人間の心理状態は大きく変化する。そこで、景観構成要素の変化との関係に着目し、点群データを景観構成要素ごとに分類すると共に占有率を算出し、心理的側面との関係を算出して検証を行った。

**キーワード:**地上レーザスキャナ, 点群データ, 景観評価, VQM, 景観構成要素分類

## 1. はじめに

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。そこで、景観を客観的に評価することができれば、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挙げられる。

景観評価に関する既往研究としては、既存の評価構造から、主観的评价のデータを得て、新しい評価構造を探るための方法である Semantic Differential 法<sup>1)</sup>を用いた景観評価実験<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>、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<sup>4-6)</sup>が見られる。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。

本来の景観は奥行きを含めた3次元空間であり、2次元平面に置き換えられた分析では景観把握において限界があると考えられる。そこで、景観の総合的な特徴を捉えた指標として、視覚的側面や環境的側面などを考慮し、各構成要素が存在する奥行きなどの情報から景観を総合的にスコアリングする評価モデルである Visual and Ecological Environmental Quality Model<sup>7)</sup> (以下 VQM) を用いた事例が見られる。J.J. ギブソンは、3次元の奥行き知覚においては、視点の移動が本質的に重要な役割を果たしている

した<sup>8)</sup>。すなわち、空間内を動くことによって変化する網膜像の変化の様子はでたらめではなく、環境のあり方と一定の関係が保たれていることを不変項と定義し、これを抽出することによって3次元空間が知覚されると考えられている。このことから、景観を3次元的に捉えて分析を行うことにより、土地空間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。

上記の各既往研究では、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、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<sup>9)</sup>。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<sup>10)</sup>。しかし、景観定量評価指標を点群データに適用させた事例や点群データを用いた景観分析と心理的側面の関連性に関する研究は、ほとんど見られない。点群データを用いるメリットとして、対象空間に対するデータを取得することにより、取得された空間が、高密度な3次元座標を持った点の集合体によって表現されるため、対象空間において、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し、正確な奥行きを算出できる点や任意の視点を常時再現できる点が挙げられる。

そこで本研究においては、点群データを用いた景観定量指標の適用性と景観の景観構成要素と人間の心理的関連性の把握を目的としており、対象空間において地上レーザスキャナ (以下レーザスキャナ) によって取得された点群

\* 日本工営株式会社 (東京農業大学大学院地域環境科学研究科造園学専攻博士前期課程修了)

\*\* 東京農業大学地域環境科学部造園学専攻

† Corresponding author (E-mail: y3kunii@nodai.ac.jp)

データを利用し、景観の特徴を定量化する指標として、一般的な定量指標であるフラクタル解析に対する適用性や、景観を総合的に捉える指標である各構成要素が存在する奥行きなどの情報から景観をスコアリングする評価モデルである VQM に対する適用性の検証を行った。景観定量評価指標の適用性に関しては、従来のカメラによる景観把握と点群データによる景観把握の関連性の検証を行った。

また、定量指標の適用性だけでなく、空間における環境と人間の心理状況は大きく変化することから対象空間において任意に設定したルートにおいて変化する。そこで、景観構成要素の変化との関連性にも着目し、点群データの段階で景観構成要素別に分類を行い、各景観構成要素の占有率を算出し心理的な面との関係性を算出し、検証を行った。

## 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にある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の設置が施されている。そのため、自然的要素と人工的要素の両方が配置されており、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日の10:30~11:15に行い天候は晴れであった。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、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秒当たり1mとし、カメラの上下動が極力起きないように留意した。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。このレーザスキャナは最大 500,000 点/秒の高速データ収集が可能であり、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、計96枚の960×540のピクセルの画像を出力した。一方、レーザスキャナで取得した点群データにおいても、上記96枚のフレーム画像と合致する視点および画角となるよう抽出した。すなわち、点群データから得られる各画像の画角が、動画像からのフレーム画像と等しくなるよう手動で調整し、960×540のピクセルのレンダリング画像として96枚出力した。なお、レンダリングによる出力には点群処理ソフトである RiSCAN PRO を用いた。これによりレンダリング画像に対して以下に述べる解析および VQM をそれぞれ適用させた。

### (1) フラクタル解析による処理

フラクタル解析は、フラクタル次元という画像全体の複雑さを定量的に表す数値を求める処理である<sup>11)</sup>。本研究におけるフラクタル解析にはグレースケール法を用いた。グレースケール法ではグレースケール化した画像を利用し、画像全体に対するフラクタル次元を得ることができる。グレースケール法で得られるフラクタル次元は1~3の実数で表され、数値が高いほど複雑であるということを示している。

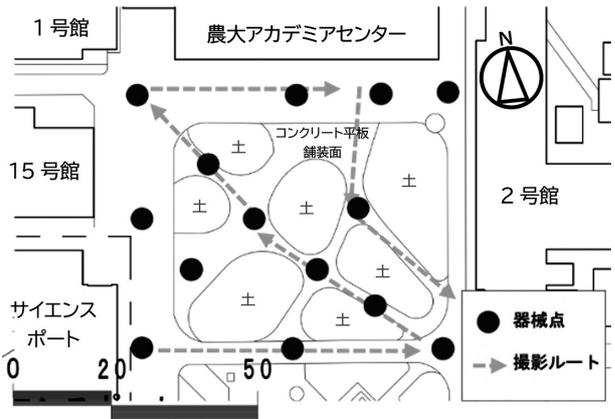
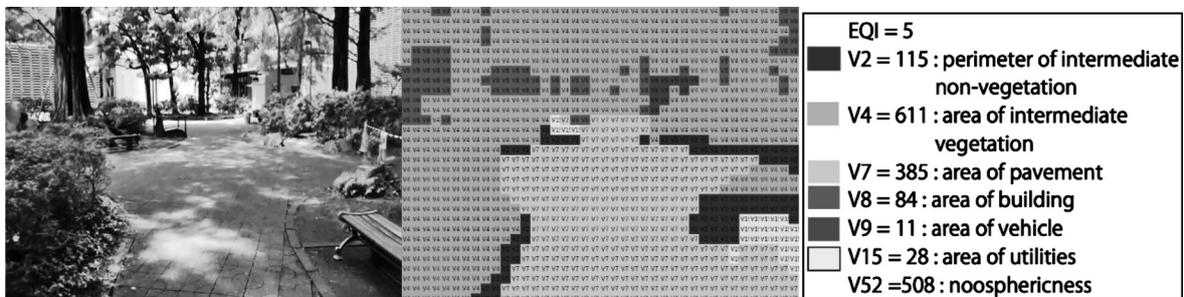


図 1 動画像取得のルートとレーザスキャナの器械点



得られた変数+環境に対する貢献度を表す指標+既往研究によって得られた係数を総じて乗じた数

図 2 VQM の例

## (2) VQM

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、車両など、計19種の景観構成要素が含まれている<sup>7)</sup>。

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<sup>12)</sup>。ここでは4:3のアスペクト比を想定し、横40グリッド、縦30グリッドの計1,200グリッドに分割を行うこととした。

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必要がある。本研究の景観構成要素や奥行きの抽出においては、1グリッドあたりの動画像の解像度としては18×18ピクセルとしており、1グリッド内の総ピクセルの中で一番多い構成要素の抽出を行い、VQMに反映させた。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。EQI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、生物多様性の促進、日陰を生む、土壌資源を育成する等の環境評価に関する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ため、数値の範囲としては+20~-20の範囲の整数値となる。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、VQMスコア(以下スコア)を求めることができる。求められるスコアは概ね0~250の実数であり、スコアが低いほど景観としての評価が高いことを表している<sup>13)</sup>。図2はVQMの算出例、図3(a)はVQMにおける景観構成要素、図3(b)はEQI指標をそれぞれ示している。

VQMは、従来手法においては、景観画像から近景、中景、遠景を景観画像の判読により主観的に判定して、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正確な距離の算出によって奥行きの判読が可能であるため、VQMと点群データの適合性は高いと推測した。また、VQMを用い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、動画像データを取得し、取得されたデータに対し比較および検証を行った。

本研究では、BURLEY(1997)<sup>7)</sup>(以下「既往研究」と記す)によって取得された変数及び係数を用い、VQMを応用した。また、VQMにおける点群データの有用性を検証し、既往研究手法と点群データを既往研究手法に適用させたもの、そして奥行きを閾値によって区分したものを比較

perimeter of immediate vegetation	V1
perimeter of intermediate non-vegetation	V2
perimeter of distant vegetation	V3
area of intermediate vegetation	V4
area of water	V5
area of distant non-vegetation	V6
area of pavement	V7
area of building	V8
area of vehicle	V9
area of humans	V10
area of smoke	V11
area of wildflowers in foreground	V14
area of utilities	V15
area of boats	V16
area of dead foreground vegetation	V17
area of exposed foreground substrate	V18
area of wildlife	V19
open landscapes $V2 + V4 + (2*(V3+V6))$	V30
closed landscapes $V2 + V4 + (2*(V1+V17))$	V31
openness $V30 - V31$	V32
mystery $V30 * V1 * V7 / 1140$	V34
noosphericness $V7 + V8 + V9 + V15 + V16$	V52

## (a) VQMにおける景観構成要素

- A Purifies Air
- B Purifies Water
- C Builds Soil Resources
- D Promotes Human Cultural Diversity
- E Preserves Natural Resources
- F Limits Use of Fossil Fuels
- G Minimizes Radioactive Contamination
- H Promotes Biological Diversity
- I Provides Food
- J Ameliorates Wind
- K Prevents Soil Erosion
- L Provides Shade
- M Presents Pleasant Smells
- N Presents Pleasant Sounds
- O Does Not Contribute to Global Warming
- P Contributes to the World Economy
- Q Accommodates Recycling
- R Accommodates Multiple Use
- S Accommodates Low Maintenance
- T Visually Pleasing

## (b) EQI 指標

図3 VQMにおける指標

するため取得した各データに対するVQMによる処理として、Case A, B, Cの3パターンを実施した。以下、3パターンの詳細を示す。Case Aは画像を用いた一般的なVQM手法であり、撮影されたフレーム画像に対して処理を実施した際の成果として求めた。Case Bは、レーザスキャナによる点群データを用いた手法であり、点群データから出力されたレンダリング画像よりVQMを求めた。Case CはCase Bと同様に点群データを用いた手法であるが、近景、中景、遠景の景観構成の分類を量的に実施してVQMを求めた。すなわち、Case AおよびBは景観構成を主観的に分類して求めたが、Case Cについては以下に示す手法により、近景、中景、遠景に対する閾値設定を実施した。

既往研究において、画像内における奥行き情報の把握については、画像より目視によって感覚的に構成要素を分類している点が課題であった。そこで、本研究における奥行きの把握においては RiSCAN PRO の計測機能を用いて点群データの座標値から各景観構成要素までの距離を定量的に求めることとした。図 4 (a) は視点から対象構成要素までの奥行きを算出しており、すべての構成要素の距離を測定し奥行き判定の際に用いた。例として、視点から植栽までの距離 (14.259m) を示している。図 4 (b) は画角内における視点から全ての点までの距離を色の濃淡によって表されており、色が濃くなるにつれて遠距離であることを示している。以下に本研究のレーザ測量による奥行きを、VQM に適用する際の根拠について述べる。

本研究では、近景、中景、遠景の定量的分類に関して、Dreyfuss (1959) を参照し、直立姿勢の人間の視線は、一般的に  $10^\circ$  下がる理論にもとづいて閾値設定を行った<sup>14)</sup>。それにより視線高を 1.6m に設定し、視線を  $10^\circ$  下げた際の地盤面である 9m までを近景構成要素、 $5^\circ$  下げた際の 9~18m を中景構成要素、18m 以上を遠景構成要素として設定



(a) 奥行きの算出



(b) 距離把握

図 4 近景、中景、遠景の定量的分類

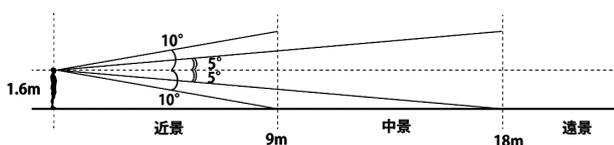


図 5 近景・中景・遠景の閾値設定

し、VQM における閾値設定に適用させた。図 5 に本研究における閾値設定を示した。本研究における VQM による景観構成要素の分類は、奥行きが必要でない景観構成要素は既往研究と同様に行い、奥行きの把握が必要な距離算出についてはレーザスキャナから得られた景観構成要素までの正確な距離を用いて閾値に従い奥行きの反映をさせた。

### (3) 各景観構成要素における可視量の推移と心理との関係性

造園学における一般論として、景観構成要素の分析は撮影された写真に対して 1 枚毎に分類分けを行っていたが、点群データを利用するメリットとして、一度データ取得が完了すれば、対象空間が高密度な 3 次元座標によって表現されるために、対象空間における任意の視点を再現できる。つまり、景観構成要素を点群データの処理段階で分類することによって、動画の視点だけではなく、それ以外の様々な視点においても点群データによって取得された空間内であれば、構成要素が分類された状態で表示される事が可能となり、今後の景観構成要素の把握において効率化が期待される事が考えられる。この利点を利用し、点群データの段階において環境を構成する数種の基本的構成要素によって分類し、動画取得時の画角に合わせてレンダリングを行った。具体的には、空、建築物、舗装面、樹木 (中高木)、低木・グラウンドカバー、ベンチなどの設備をユーティリティとし、それぞれが占めている割合を算出し各景観構成要素の占有率の推移を示した。そして被験者を対象としたアンケートを実施し、心理的側面との関連性を検証した。点群データを用いた構成要素分類には点群処理ソフトである Cloudcompare (64 bit, v2.11.0) を使い、構成要素の分類を行った。データ出力時は、LIDAR Data Exchange Format である .las 形式で出力した。図 6 は空、建造物、舗装面、樹木 (中高木)、低木・グラウンドカバー、ベンチなどの設備をユーティリティとし、点群データの段階で分類を行ったものである。各点群数については、全ての点群データ 38,675,893 点のうち、建造物が 10,420,446 点、舗装が 2,884,835 点、樹木が 22,248,307 点、低木・グラウンドカバーが 2,899,145 点、ユーティリティが 223,160 点であった。そして、景観構成要素を分類した点群データを歩行者の空間に近い環境での検証を行うために出力したデータを、Twinmotion (2022.1.2) に読み込み、96 枚の画像をレンダリングした。なおレンダリング出力時は、動画の画角と合致するように調整した。図 7 は図 6 にて示した Cloudcompare にて動画の画角に景観構成要素を点群データの段階で分類して Twinmotion にて動画の画角に調節し、レンダリングした画像例である。なお、各対象物の分類については、建築物と舗装面は自動で実施した。一方、樹木と低木・グラウンドカバーについては分類精度が低いため、手動にて調整した。

次に、被験者 100 名 (東京農業大学地域環境科学部造園科学科 2・3・4 年生) を対象に、設問に表示されている動画画像から得られた 96 枚の画像に対してその対象画像の景観の良し悪しを 1 「大変悪い」~10 点 「大変良い」の中で

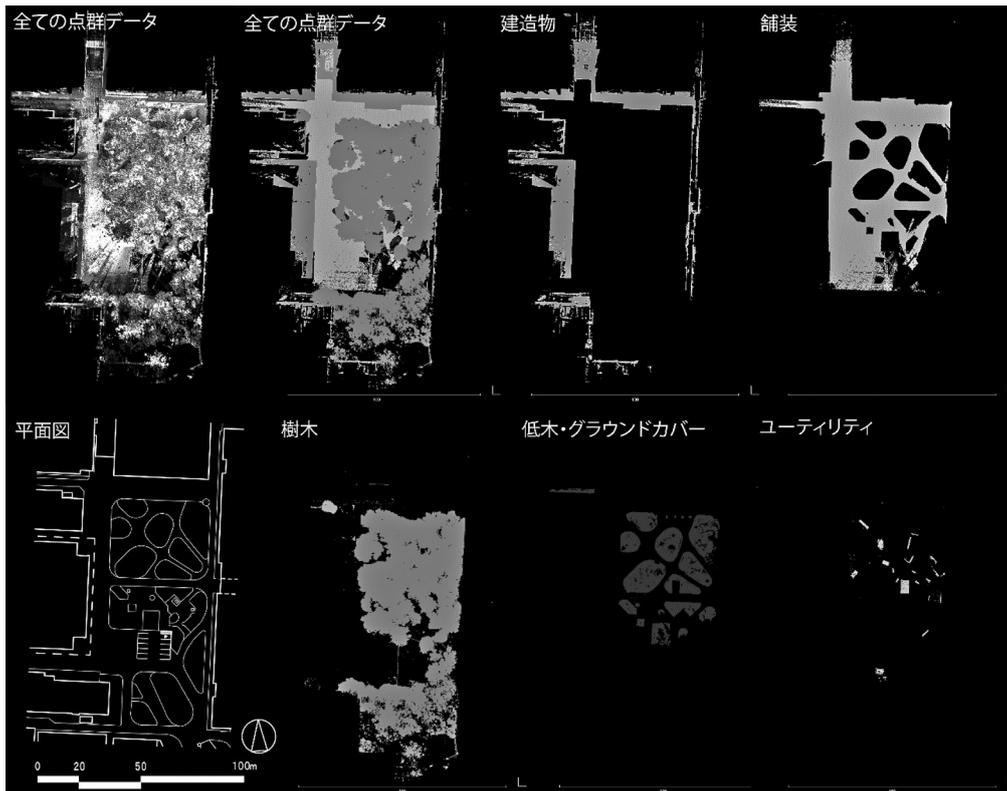


図 6 点群データを用いた景観構成要素分類



■ 建築物 ■ 舗装 ■ 樹木

■ 低木&グラウンドカバー ■ ユーティリティ

図 7 点群データよりレンダリングされた画像例 (画像 No. 41)

何点であるかを 96 枚連続で選択させた。その結果の点数の平均を算出し、景観構成要素との関連性を求めた。また、一般的に使用される定量指標であるフラクタル解析や、景観を総合的に捉える指標である各構成要素が存在する奥行きなどの情報から景観をスコアリングする評価モデルである VQM において、主観的側面と客観的側面がどのような関連性があるのかを検証するために相関分析を行った。

## 4. 検証結果

### (1) フラクタル解析検証結果

フラクタル解析によって得られた結果により、動画データと点群データの景観の複雑性について検証した。図 8 に両データにおけるフラクタル解析による結果を示す。

フラクタル次元の範囲は、動画データが 2.319~2.500、点群データが 2.390~2.541 であった。両者の最大値および最小値はいずれも小差であったが、標準偏差においては動画データが  $\pm 0.049$ 、点群データが  $\pm 0.032$  であり、動画データの方がフラクタル次元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データのフラクタル次元が減少しているが、点群データにおいてはフラクタル次元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、舗装面や建築物によって構成される部分が多く、人工構造物が多いほど動画データと点群データのフラクタル次元が変化していた。この要因として、動画データは天候による影が撮影されていることに対し、点群データは天候の影響を受けずに取得することが可能であるためである。

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% 有意だった。し

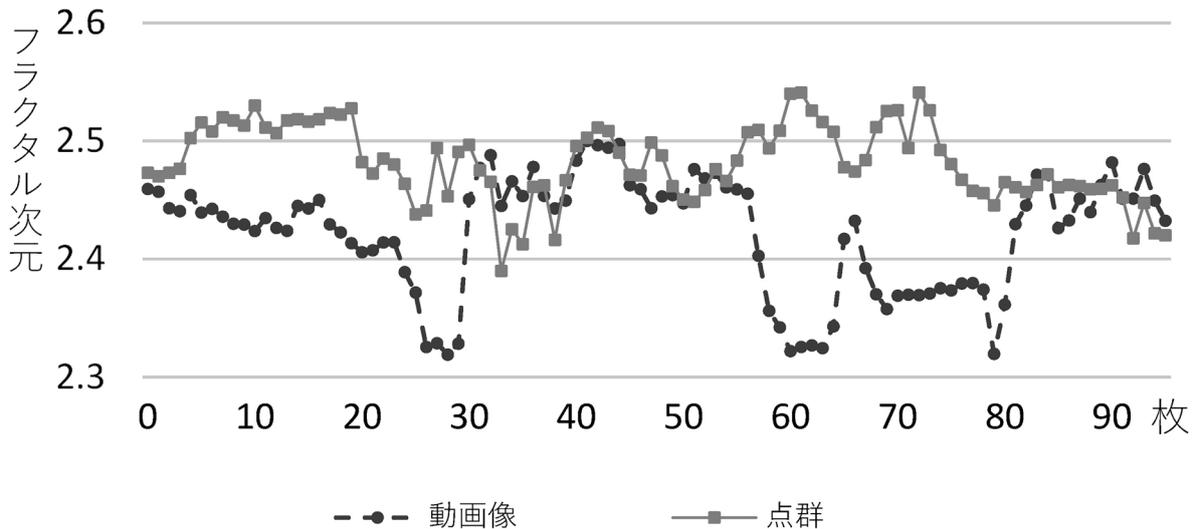


図 8 動画像および点群データに対するフラクタル次元

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フラクタル次元に差異が見られる。具体的にフラクタル解析の結果と景観構成要素の推移に関する関連性に着目し相関係数に着目すると、例えば建造物において、動画像の場合は $-0.729$ となり、画像内における建造物の割合が増加するとフラクタル次元が減少する傾向がみられるが、点群データの場合は $0.114$ となり、相関がないことが確認され、建造物の割合によってフラクタル次元が変化しないことが確認される。そのため、舗装面や建造物によって構成される部分が多い場合は、点群データによるフラクタル解析は景観の再現性が低い可能性があることが考えられる。図9は動画像と点群のフラクタル次元に差が生じた箇所の例を示した。両者のフラクタル次元については、点群データが $2.441$ 、動画像が $2.325$ である。本例のような箇所では、木陰の有無によりフラクタル次元に差異が生じているが、動画像と点群データよりレンダリングした各96枚において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。図10はVQMのスコアの統計量である。

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11にスコアの差が大きかった箇所の画像例を示す。同図には、各図における代表的な構成要素(V1~4, 7, 8)を示している。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

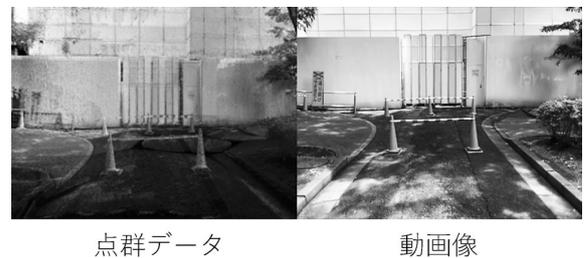


図 9 構造物によるフラクタル次元の変化 (例: 画像 No. 26)

するとCase Aが最もスコアが高く、Case Cの平均値が最も数値が小さいことが確認された。また、近景構成要素の推移とVQMの統計量を比較すると近景構成要素が100以上ある場合にスコアの減少が見られた。すなわち、近景構成要素が多い箇所における従来の目視判読によるVQMでは、スコアが想定値より高い値が算出された。具体的には、視点から各景観構成要素まで距離が主観的に算出されており、景観評価の精度が低かったことが考えられる。次に、各データの相関について検証した。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%有意だった。このことから点群データに対するVQMの適用性は、視点から各景観構成要素を正確に算出し、点群データに適用したことによって、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ことが確認された。表2にそれぞれの統計量を示す。

## (3) 各景観構成要素における可視量の推移と心理的な関係性の検証結果

はじめに、図12は、各景観構成要素における可視量の推移を示している。同図における景観構成要素の推移は、20~30枚付近や60~70枚付近において、レンダリング画

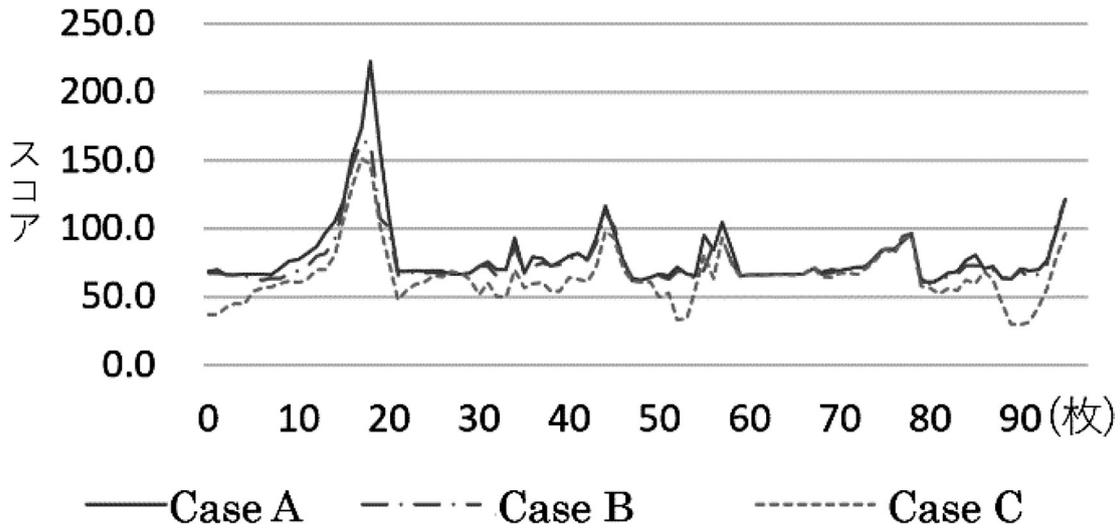


図 10 VQM の統計量

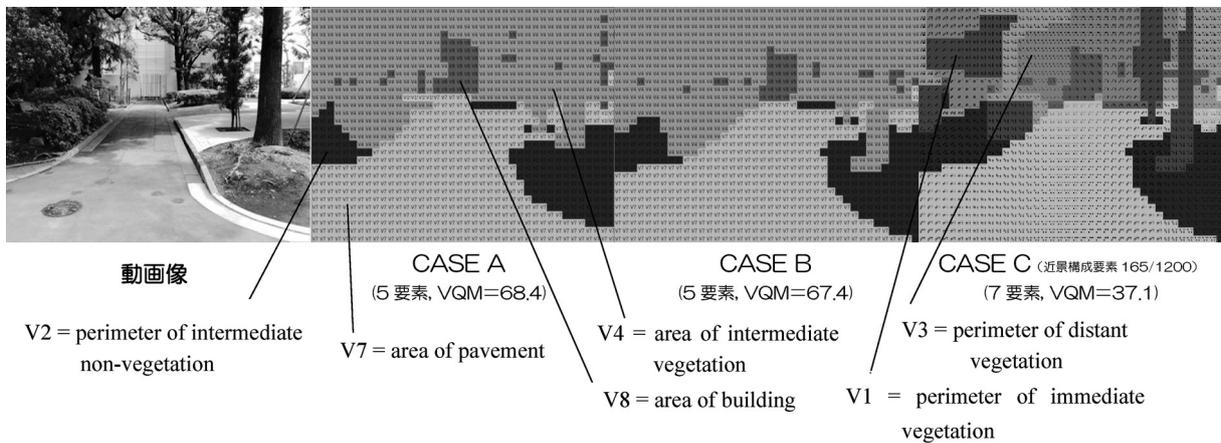


図 11 近景構成要素によるスコアの差 (例：フレーム 1)

表 1 VQM の相関行列

	Case A	Case B	Case C
Case A	1		
Case B	0.951**	1	
Case C	0.854**	0.878**	1

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

像内の建築物や舗装面の容量の増加が見られ、一方で、樹木や低木の容量が減少している箇所があることが分かる。そして景観構成要素分類による占有率の推移とアンケートによって得られた景観の善し悪しに関する点数の関係性に着目し、無相関検定を実施した結果、すべての要素において項目数 96 に対して 1% 有意であり、相関がある結果となり、景観構成要素の占有率が変化により、アンケートによって得られた景観の善し悪しに関する評価も変化することが明らかとなった。ここで着目すべき点として、建築物と舗装に関しては負の相関となり、それ以外は正の相関となった。すなわち、建築物と舗装の構成要素が増えるほど、

点数は下がる傾向となり、樹木や低木、ユーティリティが増えると点数が上がる事が明らかとなった。図 13 は景観構成要素分類による占有率の推移とアンケートによって得られた景観の善し悪しに関する点数との相関の中でも負の相関を示す建造物と正の相関を示す樹木を示している。表 3 は景観構成要素分類とアンケートによって得られた景観の善し悪しに関する点数の相関を示している。

次にフラクタル解析と景観構成要素分類による占有率の推移とアンケートによって得られた景観の善し悪しに関す

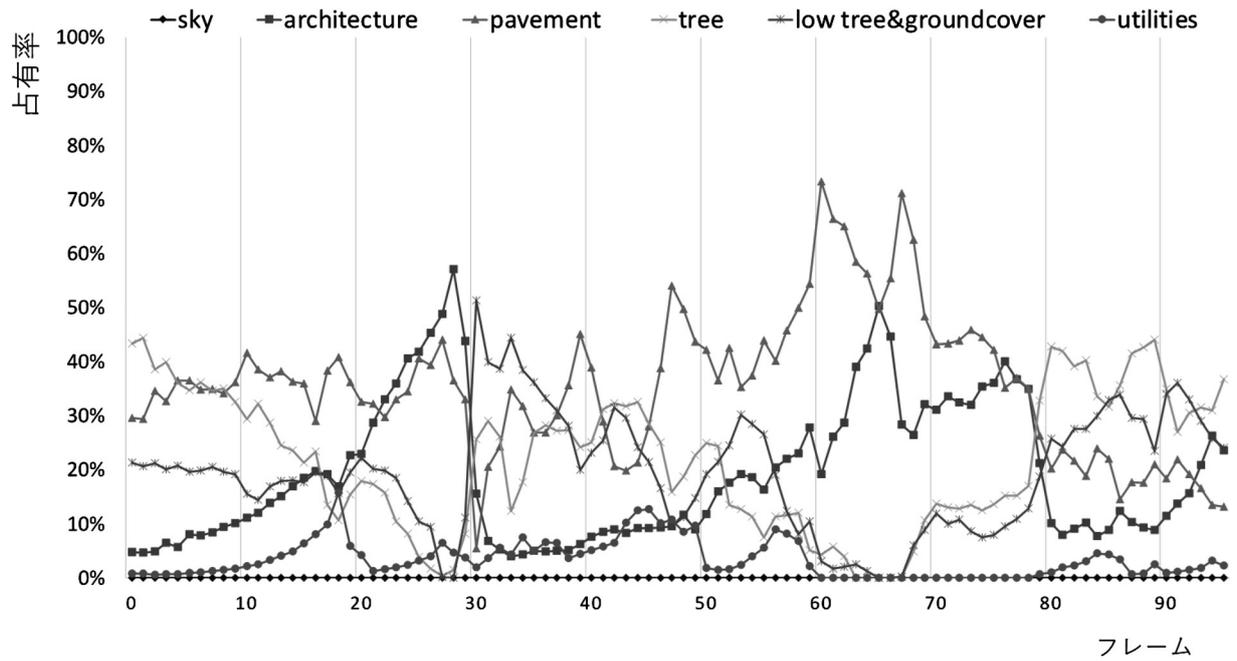
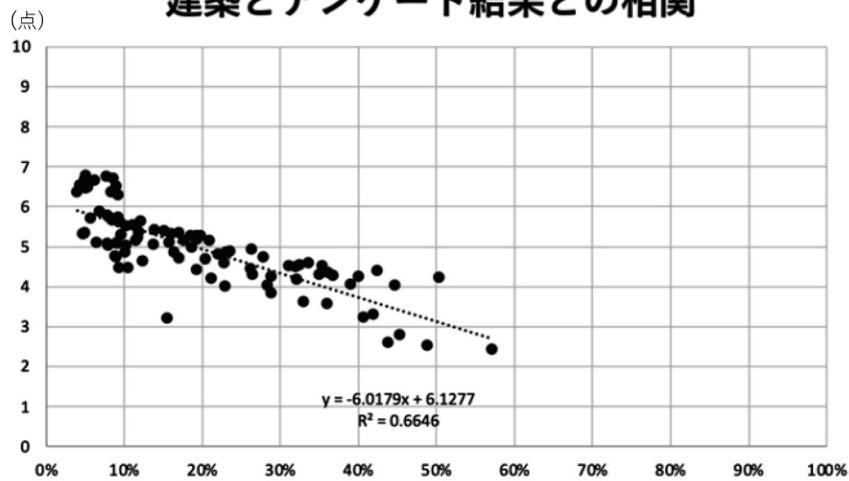


図 12 各景観構成要素分類における可視量の推移

### 建築とアンケート結果との相関



### 樹木とアンケート結果との相関

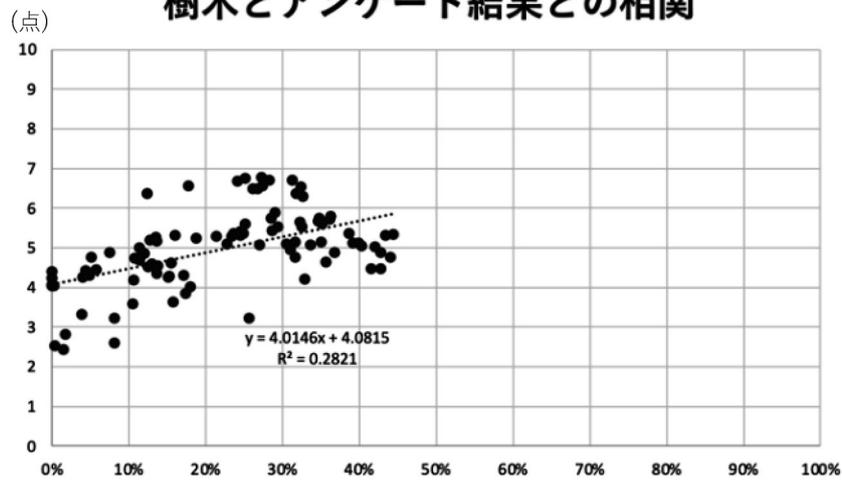


図 13 景観構成要素アンケートの相関 (建築物と樹木)

表3 景観構成要素分類とアンケートによって得られた景観の善し悪しに関する点数の相関

building	pavement	tree	grass&low tree	utilities
-0.82**	-0.21**	0.53**	0.52**	0.33**

\*\* p&lt;01

表4 VQMと各景観構成要素分類の相関

VQM	building	pavement	tree	grass&low tree	utilities
既往研究手法	-0.01	-0.08	-0.06	0.04	0.56**
点群	0.03	-0.11	-0.05	0.03	0.54**
点群 (閾値あり)	0.26**	0.16**	-0.26**	-0.27**	0.49**

\*\* p&lt;01

点数の関連性について検証した。検証より、フラクタル次元の検証結果における各景観構成要素に対する相関分析の結果と同様に、フラクタル次元すなわち舗装面や建造物によって構成される部分が多く、人工構造物が多いほど動画画像と点群のフラクタル次元が変化するということが確認された。また同時に樹木や低木、グラウンドカバーが少ない箇所について大きく差が開くことも確認された。また、フラクタル次元とアンケートによって得られた景観の善し悪しに関する点数において無相関検定を行った結果、動画画像の場合では、0.71となり、項目数96に対して1%有意であり、相関があるといえるが、点群データの場合は、-0.073となり、相関がないことが確認され、従来の動画画像に対するフラクタル解析によって得られる複雑性と心理的関係性については関連性が示されたが、点群データにおいては関連性がないことが確認された。以上の結果から、レーザスキャナによるフラクタル解析の適用性が低い可能性があることが考えられる。

VQMにおいては、スコアとアンケートによって得られた景観の善し悪しに関する点数との無相関検定の結果として、Case Aは0.103、Case Bは、0.098、Case Cは、-0.075となり、相関は見られなかったが、スコアと各景観構成要素分類の関連性に関して無相関検定を行った結果、Case Cのみに相関が見られた。このことからVQMにおいて既往研究手法を適用したCase Aや既往研究手法を点群データに適用したCase Bは正確に距離を算出し反映したCase Cに比べ、人間の心理との関係性が弱く、想定値より高い値が算出されていたものと考えられ、景観評価の精度が低かったことが考えられる。表4はVQMと各景観構成要素分類の相関を示している。VQMにおける検証においては、近景構成要素の抽出量によってスコアの変化が見られたが、点群データの段階で分類された景観構成要素の中で表4におけるユーティリティの項目における相関係数に着目するCase A~Case Cにおいて相関がみられ、ユーティリティの有無によってスコアに大きく影響が出ていることが分かる。ユーティリティの構成要素としては、ベンチや、電灯などが挙げられる、対象地には、景観に配慮された木造の照明や、意匠性のあるベンチなどがあり、一概にそれらが景観に対して影響を与えているとは考えられないため、ユーティリティの定義に関して今後検討が必要である。

## 5. 考察およびまとめ

本研究では、点群データを用いた景観定量指標の適用性と景観の景観構成要素と人間の心理的関連性の把握を目的とし、景観の特徴を定量化する指標として、フラクタル解析とVQMに対する適用性の検証を行った。また、定量指標の適用性だけでなく、空間における環境と人間の心理状況は大きく変化することから対象空間において、景観構成要素の変化との関連性にも着目し、点群データの段階で景観構成要素別に分類を行い、各景観構成要素の占有率を算出し心理的な面との検証を行った。その結果、点群データを用いた景観把握における従来の景観定量評価指標の適用性に関する分析と点群データの利点を活かした景観構成要素尾の把握と心理的関係性や従来の景観定量評価指標に関する分析が達成された。

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、各景観構成要素の占有度によって差が出るということが確認された。また、VQMにおいては公平な指標として点群データによる距離把握を十分に利用することが可能であることが示された。さらに、被験者に対して行ったアンケートとの関連性を検証したところ、Case Cがより、人間の感性に近い結果となることが確認された。今後、任意の視点かつ奥行きも常に求められる状態でのスコアを参照することが可能であると考えられる。景観構成要素の推移と心理的関係性の検証においては、建築物や舗装面の占有率が多くなればなるほど、点数が下がる結果となり、反対に樹木や低木が増加することによって点数の上昇が認められた。

一方で、景観定量評価指標の適用性や心理的関係性などは検証されたが、点群データを用いた景観分析の手法は確立されていない。今後点群データ利用のメリットである対象空間における任意の視点を常時再現できる点や視点から対象までの距離を算出できる点を活かした総合的な景観定量指標の作成が求められる。そして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が必要である。

### 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), pp.119-128
- 3) O'NEILL RV, HUNSAKER CT, TIMMINS SP, JACKSON BL, RIITERS KH, WICKHAM JD (1996) Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. Landscape Ecol. 11, pp.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樂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), pp.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), pp.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画像による景観分析. ランドスケープ研究 80 (5), pp.615-620.

- 7) BURLEY JB (1997) Visual and ecological environmental quality model for transportation planning and design. TRR: J. Transp. Res. Board (1549), pp.54-60.
- 8) J.J. ギブソン, 古崎敬他訳 (1985) 生態学的視覚論. サイエンス社, 東京.
- 9) 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), pp.1-17.
- 10) 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), pp.93-102.
- 11) 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), pp.54-58.
- 12) BURLEY JB, YILMAZ R (2014) Visual Quality Preference: The Smyser Index Variables. International Journal of Energy and Environment (8), pp.147-153.
- 13) 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), pp.563-566.
- 14) HENRY D (1959) The Measure of Men. Humean Factors in Design, Whitney Publication, New York.

# Quantitative Landscape Indices using 3D Point Cloud Data and Psychological Analysis to Quantitatively Understand the Landscape

By

Ryuki TACHIKAWA\* and Yoichi KUNII\*\*†

(Received August 21, 2023/Accepted December 1, 2023)

**Summary** : Landscape spaces such as gardens and parks are composed of various landscape components, creating diverse landscapes. However, if landscapes can be evaluated objectively, they can be used to create better spaces in the management and creation of landscape spaces. Recently, point cloud data has been obtained in urban and natural areas. In this study, we aimed to understand the applicability of quantitative landscape indices using point cloud data and the psychological relationship between landscape components and humans. The applicability of the quantitative indexes was also verified. In addition to the applicability of the quantitative index, the environment, and human psychological conditions in a space change significantly. Therefore, we paid attention to the relationship with the change of landscape components, categorized the point cloud data by landscape components, calculated the occupancy rate of each landscape component, and calculated the relationship with the psychological aspect for verification.

**Key words** : Terrestrial Laser Scanner, Point Cloud data, Landscape evaluation, VQM, Landscape Components Classification

---

\* Nippon Koei Co., Ltd. (M.S. in Landscape Architecture Science, Graduate School of Regional Environmental Science, Tokyo University of Agriculture)

\*\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

† Corresponding author (E-mail : y3kunii@nodai.ac.jp)