

全周パノラマ画像を用いた視覚情報の変化の AI 活用型定量分析手法の提案とその検証 — 定量的データによる八ヶ岳美術館の空間的特徴の指摘 —

副田和哉¹, 大津敬太², 松田翔太³, 山田猛矢⁴

¹第一工科大学 工学部 建築デザイン学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2) k-soeda@daiichi-koudai.ac.jp

²第一工科大学 工学部 環境エンジニアリング学科 (同上) k-otsu@daiichi-koudai.ac.jp

³第一工科大学 工学部 情報・AI・データサイエンス学科 (同上) s-matsuda@daiichi-koudai.ac.jp

⁴第一工科大学 工学部 情報・AI・データサイエンス学科 (同上) t-yamada@daiichi-koudai.ac.jp

Proposal and Verification of an AI-based Quantitative Analysis Method of Changes in Visual Information Using Full Panorama Images Pointing out the spatial characteristics of the Yatsugatake Museum of Art using quantitative data

Kazuya SOEDA¹, Keita OTSU¹, Shota MATSUDA², Takeshi YAMADA²

¹Department of Architecture Design, Daiichi Institute of Technology
(1-10-2 Kokubuchuo, Kirishima City, Kagoshima, 〒899-4395) k-soeda@daiichi-koudai.ac.jp

²Department of Civil and Environmental Engineering, Daiichi Institute of Technology
(same as above) k-otsu@daiichi-koudai.ac.jp

³Department of Information, Artificial Intelligence and Data Science, Daiichi Institute of Technology
(same as above) s-matsuda@daiichi-koudai.ac.jp

⁴Department of Information, Artificial Intelligence and Data Science, Daiichi Institute of Technology
(same as above) t-yamada@daiichi-koudai.ac.jp

Abstract: This study examines the spatial characteristics of the Yatsugatake Museum of Art using a VR camera field survey and AI-based analysis. We captured a panoramic image with a VR camera and applied semantic segmentation using a U-net model to identify distinct architectural areas. The regions were analyzed with high precision on Google Colaboratory. Additionally, we combined VR presentations with EEG measurements to study how visual changes influence brain activity. This approach helped quantify the museum's impact on visitor brain waves and provided a scientific basis for understanding how the museum's visual environment influences EEG responses. Our findings demonstrate the value of integrating AI and VR in quantitative architectural analysis.

Keywords: 360° Panorama Image, Deep Learning, Visual Information, ElectroEncephaloGraphy,

1. はじめに

人が得る情報の8割から9割は視覚に由来し、視覚情報はそのダイナミクスさと即時性の為に、他の感覚情報をも左右し、我々の判断に影響を及ぼすと言われている。

空間が内包する視覚情報は、我々の空間体験を大きく左右する非常に重要な問題である。建築における視覚的問題、即ち空間の見え方を如何に扱うべきかを具体的かつ定量的に検討する必要がある。建築空間の本質は実空間にあり、そ

の体験の中で経験される空間的豊かさをより具体化したいというのが本研究の動機である。

本研究は建築意匠の観点から、AI（深層学習）を活用し、空間における視覚的变化を定量分析する手法を提案する新しいアプローチである。そこで得られる定量的データとしての視覚的变化が、空間を体験する人々の生理的現象に与える影響に注目し、これまでの定性的論考を参照しながら、対象空間の空間的特徴を明らかにすることで、本AI活用型定量分析手法の有効性を検証する。

2. 先行研究について

これまでに研究代表者は「全周パノラマ画像を用いた離散的視覚情報の定量分析手法（以下、QDP手法）」を提案してきた¹⁾²⁾。QDP手法は、VRカメラとも呼ばれる全天球カメラから得られる全天球画像に、円筒図法を援用した画像変換を行う。こうして生成された見かけの面積が正確な正積円筒図法で描かれた全周パノラマ画像を用いて1つ1つの地点から見える空間の視覚情報を定量的に捉え、その割合と変化率を求める。この一連のプロセスで、空間体験における視覚的变化を可視化・数値化するものである。しかしながら、実際の画像データを空間要素ごとに塗り分ける作業は、画像加工ソフトを用いて1枚1枚手動で塗り分けていた。これは人の手に依存した作業であり、主観的な側面が拭えないものであった。また対象となる画像の枚数が多いほど作業的負担が大きく、大量の画像データを扱えていないのも事実である。すなわち一連のプロセスを、AI（深層学習）を用いて自動化することで、空間要素の抽出基準がより明確化され、さらなる簡便化、ひいては一般人や初学者にとっても容易に扱いやすい手法として一般化させることも期待できる。

3. 研究の方法

3.1 研究の流れ

まずVRカメラを用いた現地調査を行い、そこで得られた全周パノラマ画像を使用し、AI活用型定量分析手法の提案と、VR呈示と携帯型脳活動計測装置を用いた検証方法を検討する。視覚情報の変化をより客観的に定量化するとともに、生体反応からわかる空間における特異点を確認する。対象空間（村野藤吾設計の八ヶ岳美術館（1980））における既往の定性的論考を踏まえ、空間的特徴を確認する。

3.2 対象モデル:八ヶ岳美術館について

八ヶ岳美術館は、清水多嘉示のブロンズ彫刻を常設展示する鑑賞空間であり、村野晩年の1980年に竣工した。円弧と直線を組み合わせた平面形を持ち、プレキャストコンクリートのドームの反復が特徴的な建築である。カラマツ林を損なわず溶け込むように少しでも小さな平面でまとめること³⁾、彫刻作品の周囲を回れる展示室を目指す³⁾ように村野自身が指示した、とされている（Table1, Fig.1）。

Table1 八ヶ岳美術館建築概要

敷地面積	15,274.00 m ²
延床面積	1,155.03 m ²
主体構造	鉄筋コンクリート造
外壁仕様	セメントブロック素地 打放し部分/陶化状砂壁吹付け材
屋根仕上	ウレタン系塗布シート防水の上 ウォールコートウレタン
内部仕上	天井:PC直張り メッシュ押えの上フェザーガラス撥水断熱 材下地 レースカーテン紋り吊り天井 壁:ラフトンデラックス吹付け
設計期間	1978年8月~1978年11月
工事期間	1979年3月~1979年12月

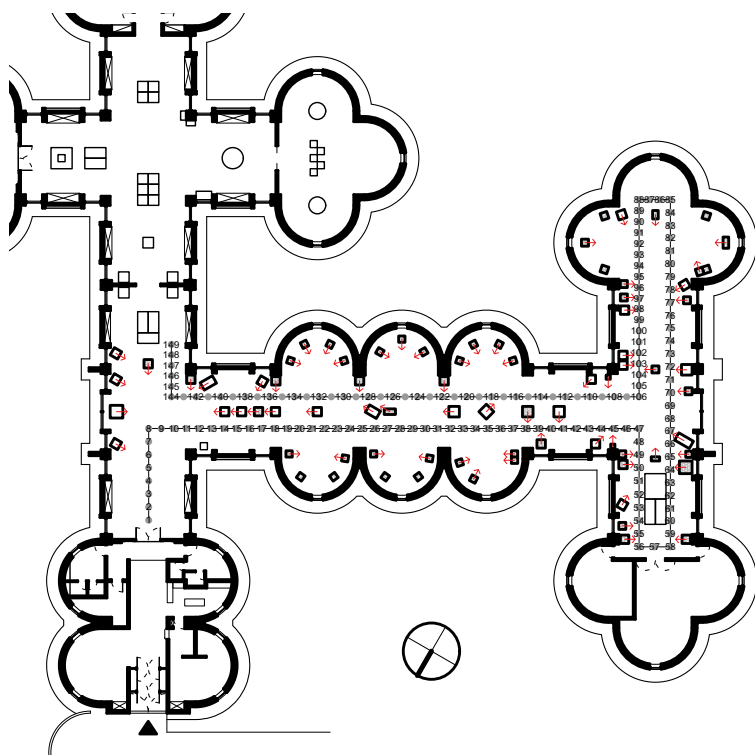


Fig.1 八ヶ岳美術館の平面図(S.1:600)と写真^{注1)}

3.3 現地調査

まず、VRカメラを用いた全天球動画の撮影を行う。彫刻展示空間において玄関ホールから右回りに展示物を通り、戻ってくる鑑賞ルート (Fig.1) で撮影を行った。今回の撮影条件は〈日時：2023年3月17日11:00-14:00, 天候：曇り〉であり、VRカメラは、RICOH THETA Zを用いて撮影を行った。その際、人が立った時の目線の高さ(1600mm)で全天球動画の撮影を行い、カメラ本体の向きは観察者の進行方向に統一した。この動画を、鑑賞空間における歩行速度が幾分遅い速度1,000mm/secであることや彫刻ギャラリー内の展示物が細かく配置されていることなどを考慮し、1秒間隔で静止画への書き出しを行う。

3.4 AI活用型定量分析手法の提案

次に、U-netを用いたセマンティック・セグメンテーションによる領域抽出モデルの作成である。U-netは、画像の領域分割を推定するセグメンテーションの分野で大きな成果を上げているエンコーダ-デコーダモデルのCNNアーキテクチ

ャである。入力画像を圧縮しながら画像の特徴量の抽出を行う畳み込みニューラルネットワーク(エンコーダ)で学習を行い、さらに画像のサイズを拡張しながら逆畳み込みニューラルネットワーク(デコーダ)で出力画像を得る。画像サイズを拡張する際、単純に拡張すると元の画像より情報量が落ちるため、デコーダ部分で学習した特徴量を足し合わせることで画像全体の特徴量を補いながら、出力画像を生成する。このようにエンコーダ側の特徴量を足し合わせることで学習を行うことがU-netの特質である。本研究では、壁と天井、床、展示物の領域といった現れ方が一定ではない建築空間の画像の塗り分けを行う。そのため、物体を検出し領域を推定するインスタンスあるいはパノプティック・セグメンテーションではなく、不定形の領域を検出することに適したセマンティック・セグメンテーションが妥当であると判断した。またU-netの特質としても、画像全体のピクセルの特徴から塗り分けを行うセマンティック・セグメンテーションが適している、と判断した。

また、今回の計算環境は、Web上でpythonを記述、実行できるホスト型のJupyter Notebookサービスである、google Colaboratoryを採用する。事前の予備研究では、コンピューターの計算処理の限界によって塗り分け精度の向上ができなかったことも確認できており、こうした課題を克服する試みでもある。Colabは、機械学習を効率的に学習させるための環境も整っており、開発者の個別のコンピュータの性能に依存せず、機械学習を行うことができる計算環境であり、再現性も担保できる。

上記のモデル・環境のもと、現地調査で得られた元画像65枚、その元画像を手動で塗り分けた画像（教師画像）65枚を用いた。さらに、上下反転等の加工を加えた195枚の水増し画像を加え、計260枚の画像のうち、234枚をトレーニング画像、26枚をテスト画像として分け、学習を行った。トレーニング画像については、補正をかけた元画像と教師画像をリサイズし、384x192の大きさにして学習を行った。その精度をMetrics Accuracy、損失をCategorical Focal Crossentropyで求めた結果、95.2と高い正答率が得られた（Fig.2）。これはCPUのみで計算した結果に比べ、高速な学習が可能となり学習回数（Epoch数）を増やすことで、学習時間を短くできた成果である。即ち、Colab環境においてTPUを用いることで、今回のように65枚と少ない教師画像でも高い正答率を得られることを確認できた。

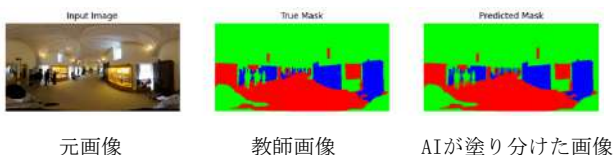


Fig.2 学習済みモデルを用いた塗り分けの一例

3.5 VR 呈示を用いた簡易脳波分析

そして、VRHMDを用いて一連のシークエンスを被験者に呈示し^{注2)}、脳波の時間変動を計測し、このデータ群に対して統計的処理を行なった。今

回は、Meta社の「Meta Quest 2」を用いてVR画像を呈示し、GoodBrain社の「Focus Calm」による脳波測定を実施する。無線かつ小型の簡易脳波計を用いることで、被験者への負担が少ない計測が可能である。また測定データの収集には同社が提供しているアプリケーションを使用し、CSV書き出しを行うことで、脳波の生データを取得した。数値化された各周波数帯域を分類し、1秒ごとに平均化した。脳波は、脳の表面における電極によってとらえられる脳の電気活動の記録⁵⁾と定義されており、中枢神経系活動の指標の1つである。

《1Hz< δ <3Hz, 4Hz< θ <7Hz, 8Hz< α <13Hz, 14Hz< β <40Hz, 40Hz< γ 》の周波数帯域に分類できる。脳の活動の電気的な反映である脳波は、客観性、数量性、実時間性、連続性、非言語性と生体機能性などの利点がある⁶⁾と指摘されており、研究蓄積も多い。そこで本研究では“ β 波の発生量が多い場合には視覚的処理が盛んである⁷⁾”や思考との関係性を指摘する複数の先行研究を考慮し、 β 波に注目する。

さらに、被験者ごとの脳波の変動を比較すべく、フーリエ変換^{注3)}を行い、その周波数の構造を比較することで相関性を確認する。今回、分析対象とするデータは、フーリエ変換によって得られた値を相関係数^{注4)}で比較し、高い相関性を確認できた16個のデータ群である（Fig.3）。

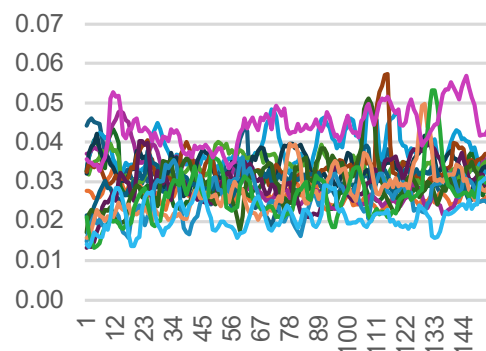


Fig.3 各脳波(β 波)の変動

これは一見ばらばらに見える各人における脳波の中でも^{注5)}、相関性が認められる全体としての

動的変化を内包する脳波の変動の傾向を定量的に把握するものである。この一連の相関性の確認できたデータ群の大きな傾向を把握するため、本研究ではこれらのデータの中央値によって、その時間変動を確認する (Fig.4)。

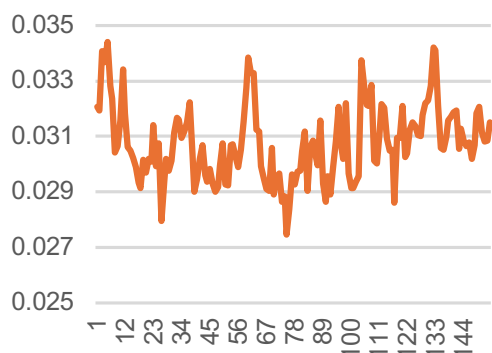


Fig.4 脳波(β 波)の中央値

4. 定量化による空間的特徴の指摘

八ヶ岳美術館について、“展示室の天井にはレースのカーテンが絞り吊りされ、... 包まれたやわらかな雰囲気の中で作品を鑑賞できる¹⁰⁾”という指摘があるが、視覚情報の割合 (Fig.5) に注目すると、壁や天井のような全体を覆う閉鎖性を示す要素が大きな割合を占め、“包まれたやわらかな雰囲気”を醸成していることは伺える。一方で、その変化率 (Fig.6) に注目すると、展示物の変化が大きく、視覚的変化をもたらしていることがわかる。脳波の時間変動に注目すると、その視覚的変化と呼応するような地点も確認できる。例えば、北西端の袋小路のような No. 52-No. 61 付近である。このエリアだけショーケースに入った資料が展示されており、他の地点との違いにより、脳波が反応していることが考えられる。また、展示の始まる No. 2-No. 4 付近や、展示中央にさしかかる No. 11、No. 103 でも脳波の反応が確認できたが、“内部では一続きの空間として一体となっており、視線が奥まで伸びる¹¹⁾”という指摘の通り、抜けるような視線の運動により脳波が反応していることが伺える。他にも、“直線の壁と半円型のアルコーヴ状の壁との対比も、歩むにしたがっ

て変化して空間に襲のような奥行きを与えている。¹¹⁾”という指摘のように、展示が進む No. 131-No. 132 付近でも脳波の反応が確認できた (Fig.7)。

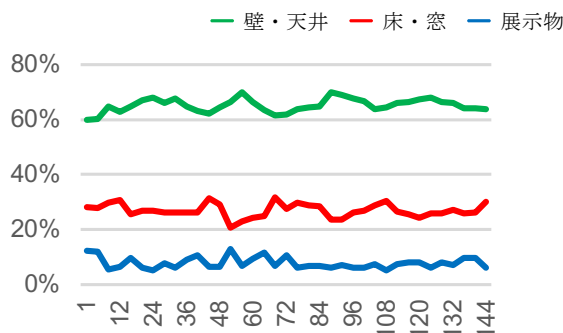


Fig.5 視覚情報の割合の変動

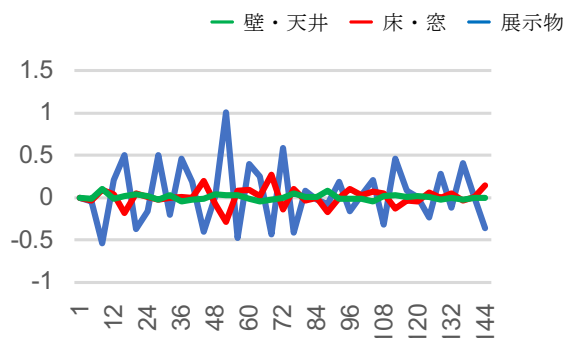


Fig.6 視覚情報の変化率の変動

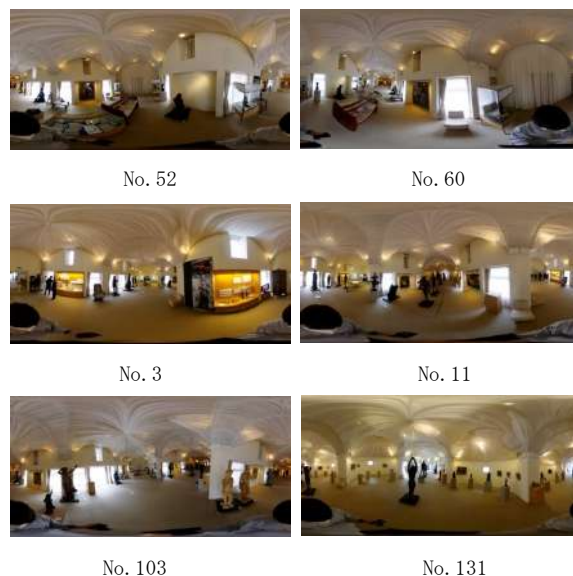


Fig.7 各地点での全周パノラマ画像

5. おわりに

本研究では AI 活用型定量分析手法を提案し、VR 呈示を用いた簡易脳波分析の実践的モデルを提示した。これまでも“展示コーナーを有機的につなぎ止めることによって特徴あるシーケンスをつくっている³⁾”という指摘があるが、ひとつつながりの一室空間の中でも、変化のあるシーケンスが形成されていることの一部を確認できた。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたって、第一工科大学の学生に多くの協力をいただいた。また、現地での調査にご協力して頂いた八ヶ岳美術館の方々に記して感謝申し上げます。本研究は公益財団法人鹿島学術振興財団研究助成金によるものである。記して感謝する。

7. 参考文献

- 1) 副田和哉, 平瀬有人, 三島伸雄: 全周パノラマ画像を用いた離散的視覚情報の変化の定量分析手法 パラッツォ型鑑賞空間を対象とするモデル的研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 86 巻 第 780 号, pp425-435, 2021. 2
- 2) 副田和哉, 平瀬有人, 三島伸雄: 全周パノラマ画像を用いた離散的視覚情報の変化の定量分析手法 直列および並列房状鑑賞空間を対象とする比較検証, 日本建築学会計画系論文集, 第 87 巻 第 802 号, pp2699-2709, 2022. 12
- 3) 目黒区美術館: 村野藤吾の建築 模型が語る豊饒な世界, 青幻舎, 2015
- 4) 杉田宗, 西名大作, 小林亮, 田中貴宏, 大石洋之: 全天球画像評価による屋外空間の心理的評価の代替可能性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 83 巻 第 745 号, pp235-245, 2018. 3
- 5) 大熊輝雄, 松岡洋夫, 上埜高志: 脳波判読入門 編(第 4 版), 医学書院, 2009
- 6) 李早, 宗本順三: 脳波解析法を用いた水景空間と非水景空間の比較研究 中国の住宅団地の外構

に対する視聴覚実験による脳波計測-, 日本建築学会計画系論文集, 第 75 巻 第 647 号, pp67-74, 2010. 1

7) 大谷一郎, 梨木守, 北川美弥, 尾上桐子: 草地景観の静止画とビデオ画像による呈示の脳波反応の比較, 日本草地学会誌, 第 48 巻 第 6 号, pp522-525, 2003.

8) 横山広充, 福島和朗, 宮岸幸正: 眺望景観把握時の脳波特性に関する基礎的研究 高取山と大文字山からの眺望景観映像を対象として, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 857-858, 2015. 9

9) 尾形一樹, 秋田剛, 佐野奈緒子, 宇治川正人: 壁紙模様の反復性による心理・生理的効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 39-40, 2016. 8

10) 村野藤吾研究会編: 村野藤吾建築案内, TOTO 出版, 2009

11) 松隈洋: 八ヶ岳美術館 1979 年-自在な合理主義の結晶-第 9 回村野藤吾建築設計図展カタログ, 京都工芸繊維大学美術工芸資料館・村野藤吾の設計研究会, pp80-81, 2007.

8. 注釈

注 1) 特記なき写真は、筆者撮影。

注 2) この VR 呈示については、先行研究において、“[現場] (現実) と [全天球] (VR) との近似性が示される⁴⁾”ことが明らかにされており、他にも VR による実空間の再現性について研究が進められている。※ () は筆者追記

注 3) 本研究では、被験者ごとの脳波の変動を比較すべく、フーリエ変換を行う (式 (1))。その周波数の構造において相関性の認められるデータ群における比較を行う。

$$F_k = \sum_{t=0}^{n-1} f_t e^{i \frac{2\pi kt}{n}} \quad (1)$$

F_k : 離散フーリエ変換

f_t : 空間構成要素の時間変動 (サンプリング間隔 1 秒)

注 4) 相関係数の値と相関性の目安として《 $-1 \leq r \leq -0.7$: 強い負の相関, $-0.7 \leq r \leq -0.4$: 負の相関, $-0.4 \leq r \leq -0.2$: 弱い負の相関, $-0.2 \leq r \leq 0.2$: ほとんど相関がない, $0.2 \leq r \leq 0.4$: 弱い正の相関, $0.4 \leq r \leq 0.7$: 正の相関, $0.7 \leq r \leq 1$: 強い正の相関》が用いられているが、その中でも、0.7以上の強い正の相関が確認できたデータ群を対象とした。

注 5) 先行研究においても、“同一被験者間で比較的類似した傾向を示すものの、各景観映像において共通した β 波の推移は認められず、各被験者間で差が見られた。⁸⁾” や “「被験者」については全ての帯域で有意な差があり、逆に「模様の種類」(対象)については全ての帯域で有意な差が認められず、各模様(対象)に対する脳波の変化は個人差が大きいという結果となった。⁹⁾” などと、被験者ごとのバラバラな反応が指摘されている。※ () は筆者追記