

フォトリアリスティック VR 空間を対象とした 視線行動分析ツールの開発

Development of tool for analyzing eye behavior for photorealistic VR spaces

○名久井 洋彦^{*1}, 下川 雄一^{*2}
Hirohiko NAKUI^{*1}, Yuichi SHIMOKAWA^{*2}

*1 金沢工業大学大学院工学研究科建築学専攻 修士(工学)
Grad.Student, Graduate School of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, M.Eng.
*2 金沢工業大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士(工学)
Prof., Dept of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr.Eng.

キーワード : VR; マテリアル; ライティング; 可視化; 注視点; 動線
Keywords: VR; Material; Lighting; Visualization; Gaze Point; Flow Line.

1. はじめに

1.1 研究背景と目的

建築空間の特徴をよりよく理解するためには、設計主旨の理解はもちろん奥行きや天井高等のスケール、空間の明るさや素材の質感などを総合した空間の雰囲気など、内部空間の体験や観察が重要である。従来、設計過程においては建築模型や BIM ソフトなどを用いて 3 次元モデルと空間の見え方を確認するのが一般的であるが、近年は 360 度カメラを用いた実写に基づく VR(Virtual Reality)ライクなバーチャルツアーサービスも提供されており、リアリティの高い情報空間の作成が手軽に実現できるようになっている^[1]。しかし、それらは建物が実在しなければ作成できないという点や単眼撮影であるため立体視ができない点で特に新築プロジェクトの設計過程での空間評価ツールとしての応用が難しい。設計過程において、BIM と連携した VR による空間評価が今後さらに普及することを考えると、VR 空間内での視線行動を正確に記録し、分析に応用できる技術が求められるが、フォトリアルな VR 空間における同様の取り組み事例はほとんど見られない。

そこで本研究では 2 つの目的を設定する。1 つ目は、上記問題の問題を解決するために、ヘッドマウントディスプレイ(以下、HMD)とハイエンドなゲームエンジンソフトを組み合わせてフォトリアルな VR 空間での視線追跡の実験環境の構築手法を明らかにすることである。具体的には、HMD で取得した注視点や動線を 3D モデルとして VR 空間内で可視化することにより閲覧者の視線の移動プロセスや視対象を知ることができる可視化ツールを開発する。2 つ目は、開発した技術を用いて滋賀県にある佐川美術館のホールを対象として VR モデルの製作と閲覧実験を行い、フォトリアルな VR 空間が視線行動にもたらす影響につい

て検証することを目的とする。

1.2 フォトリアルの定義について

一般にフォトリアルとは、特に 3D グラフィックスが写真のように写実的であるような表現であることを言う。本研究ではこのフォトリアルの定義を、3D モデルの形状およびテクスチャやその反射率や光沢感などの表面属性に対するリアルさと壁や床に降り注ぐ光などの空間に対するリアルさの両方を追求するものとする。

1.3 研究方法

本研究では、建築空間やインテリアをモデリングするために Blender を使用し、それを Unreal Engine(以下、UE)を使用してフォトリアルな VR 空間に加工するとともに、視線行動を記録・分析するための技術開発を行う。その後、HMD を装着して、作成したフォトリアルな VR 空間を被験者に体験してもらう閲覧実験を行う。その利用実験を通して、開発したツールの有効性を検証する。

VR の視線追跡を用いた既往研究^{[2][3][4]}では VR 空間の作成時に Unity を使用している例が多く見受けられた。Unity は国内におけるコミュニティ数や参考資料は多く、工夫次第ではフォトリアルな空間表現も可能と考えられるが、モデルの細部における表現や光のライティングなど 3D グラフィックスを高品質に再現するために必要な機能や拡張などを検討した結果、本研究では UE を用いて写実的な VR 空間表現に取り組むことにした。

2. フォトリアル VR データの作成方法

2.1. 対象とした建築物

対象とする建築空間は佐川美術館 楽焼展示室前のホール(Fig.1)である。以下の条件から選定した。

・ガラス窓が多いと注視点によるライントレースの衝突点

が窓の向こうにある風景なのか窓そのものを見ているのか曖昧になってしまうため、窓が少ない美術館や博物館が好ましい。

- ・動線が単純で、VR 空間を移動するのに十分な広さと高さを備えているもの。
 - ・光の表現が美しく、建築空間の構造が単純なもの。
- これらの条件から、佐川美術館が最適だと考えた。



Fig.1 佐川美術館樂焼展示室前のホール¹⁾

2.2. VR データの構築および視線行動分析ツールの開発環境

建築空間やインテリアのモデリングには Blender を使用し、UE を使用してフォトリアルな VR 空間に加工する。マテリアルの作成には Quixel Mixer を使用する。VR データと併せて、閲覧者の VR 空間内における注視点データとワールドの位置座標を HMD から取得し、csv 形式でエクスポートする処理を組み込むとともに、得られた csv データを python で可視化するツールを開発する(Fig.2)。注視点分析と可視化モデルの作成には python の外部ライブラリである pyvista を使用する。VR 閲覧時の HMD は Varjo Aero を使用する。Varjo Aero は超高解像度の VR 体験ができる HMD で、被験者の注視点データなどを取得できるアイトラッキング機能を備えている。

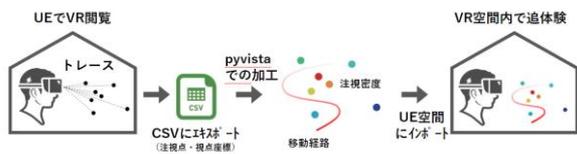


Fig.2 視線情報分析のダイアグラム

2.3. 素材の質感やライティング表現の工夫

Blender と Quixel Mixer を使用してフォトリアルな佐川美術館の 3D モデルを作成した。佐川美術館で実際に展示されている案内板のデザインや間接照明の配置などなるべく実際の建築空間に寄せてモデリングした(Fig.3, Fig.4, Fig.5)。Quixel Mixer で作成したマテリアルは経年変化により細かな傷や汚れなどをテクスチャに追加して写実的な表現にしている。



Fig.3 ホール後方から見た Blender モデル



Fig.4 ホール前方から見た Blender モデル

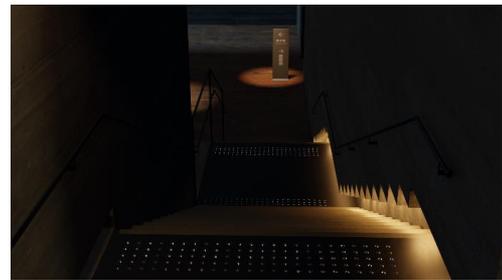


Fig.5 ホール階段の Blender モデル

3D モデルを作成した後、UE にモデルを FBX 形式でエクスポートする。インポートされたモデルにはライトが付属していないため、改めて UE でライトを配置する。UE を使用して Blender で作成したモデルをインポートした図を以下(Fig.6, Fig.7, Fig.8)に示す。VR はレンダリングの処理に非常に負荷がかかるのでライトや影はできるだけ動的にするのを控え、あらかじめレベル全体をビルドしておく。また、インポート時はコリジョンの設定をしていないので、インポート後にコリジョンとナビゲーションの設定も同時に行う。これらの設定を行っていないと VR 空間内でテレポート移動ができない。



Fig.6 ホール後方から見た UE モデル



Fig.7 ホール前方から見た UE モデル

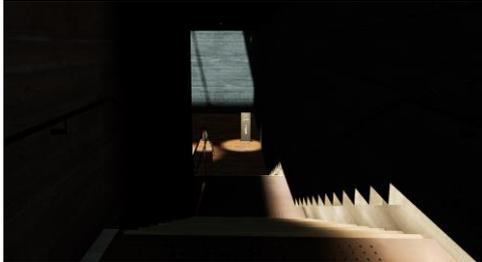


Fig.8 ホール階段 UE モデル

2.4. 注視点取得の仕組み

UE で注視点データを取得する際に標準機能であるトレース機能を使用する。トレースは開始と終了のポイントを指定して光線を放ち、コリジョンを設定したオブジェクトにヒットした場合、ヒットしたオブジェクトの情報を取得する。本研究では、UE で注視点の位置座標を取得するブループリントを作成した。このデータは、CSV ファイルとして保存する。また、視線ベクトルの始点は被験者のワールド上の動線の位置座標として別の CSV ファイルに保存する。

3. 分析方法

3.1. 注視点の密度分布の可視化

注視点の分析には、k 近傍法を使用して密度解析を行う (Fig.9)。k の値は最近接点の数を表しており、入力値はデータサイズの平方根としている。アルゴリズムはまず、位置座標データの各点と、一つ選択した点のユークリッド距離を求め、距離に応じて昇順に注視点データを並び替える。次に、一番近い点から k 近傍点までの距離の総和を取り、k で割って平均値を求める。最後にこの距離の平均値に基づいてカラーマップを適用する (Fig.9, Fig10)。

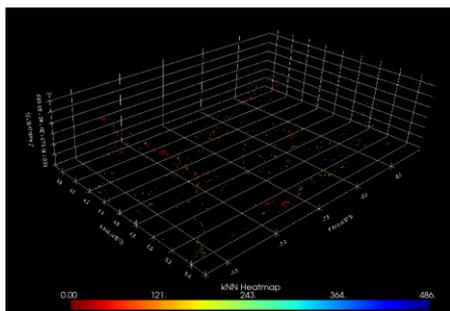


Fig.9 注視点の 3D 可視化モデル

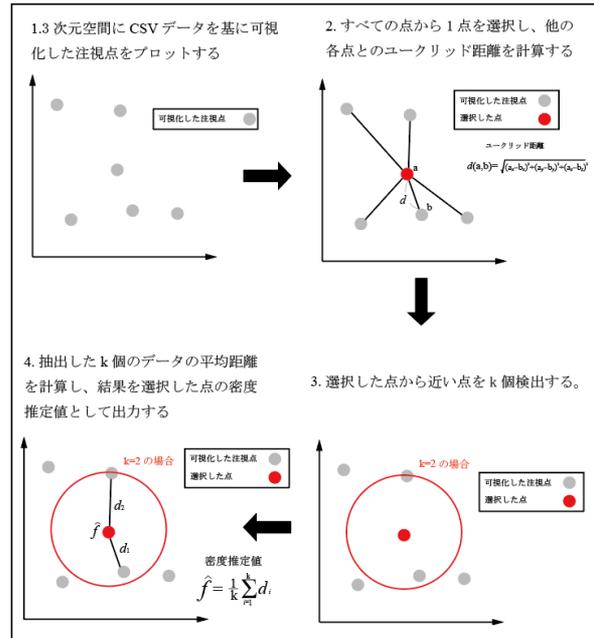


Fig.10 k 近傍法のダイアグラム

3.2. 動線の可視化

UE 内で取得したワールドの位置座標の動線の可視化については、pyvista の tube を使用して作成する。2 秒ずつ取得したワールドの位置座標をオブジェクトの midpoint とした tube を、pyvista を用いて作成し、時間経過ごとに色に変化していくような tube を作成した (Fig.11)。この時、tube の半径やカラーマップの色のバリエーションは自由に設定が可能である。

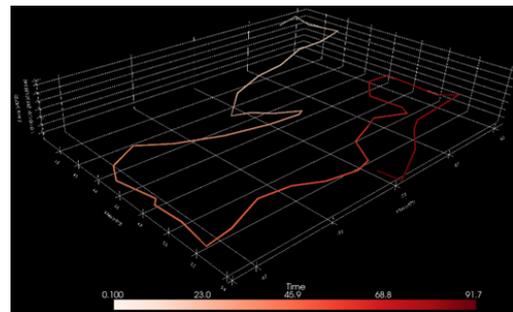


Fig.11 動線の 3D 可視化モデル

3.3. 動線の可視化

注視点と動線の可視化には python の外部ライブラリである matplotlib のカラーマップを使用した。割り当てられる色のスカラー値は注視点の可視化モデルでは、k 近傍法で求めた各注視点の密度の数値を割り当て、密度が高い場所では赤色で密度が低くなっていくにつれて虹色のグラデーションで青色に変化していく。動線の可視化モデルではスカラー値に時間を割り当て、時間の経過とともに色に変化するようになっている。本研究では人の動線の可視化モデルを注視点の可視化モデルと明確に区別するために、赤

色系統のカラーマップである「Reds」を使用している。Redsは白色から赤色までを表現するカラーマップであり、UEの同じレベル内の建築モデルに配置しても目立ちやすいので赤色系統を選択したが、他のカラーマップにも変更することができる。

4. 試験利用の結果と考察

作成した佐川美術館のVRデータを数名の被験者に閲覧してもらい、開発したツールの動作やその有効性の確認を行った。UEの佐川美術館のモデル内に被験者の注視点データや動線データをインポートし、レベル内に配置した図を以下に示す(Fig.12, Fig.13, Fig.14, Fig.15)。これにより、被験者の注視点や動線を明確に把握することができるようになった。UEのプレビュー画面だけでなく、実際にHMDを装着してVR空間でも可視化モデルを確認ことができ、被験者が時系列的にどのような場所をどのような経路で見ていたのかを明らかにすることができる。特に、見ていた場所には建築的な特徴があるか、なぜ可視化された動線のようになったのかなどについて、本研究の可視化ツールを通して新しい議論することが可能になると考えられる。

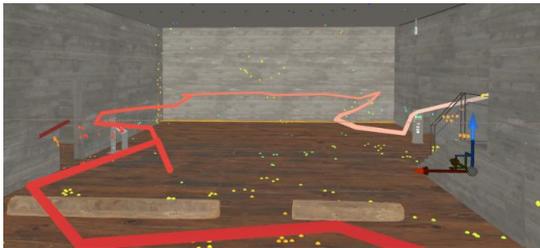


Fig.12 ホール後方から見たUEの3D可視化モデル



Fig.13 ホール前方から見たUEの3D可視化モデル



Fig.14 ホール手すりから見たUEの3D可視化モデル

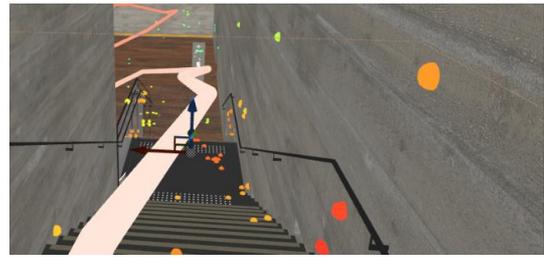


Fig.15 ホール階段から見たUEの3D可視化モデル

5. おわりに

本研究を通してデータ分析を可視化しVR空間で表示することによって、被験者が具体的にどのような視線行動やどのような経路をたどって移動したのかなどを明確にすることができた。また、BIMソフトの画面上ではなく、VR空間上で表示させることによって、実際にデータ分析の結果を直感的に体験し理解することが可能になった。また、本研究ではHMDにVarjo Aeroを使用しているが、OpenXRに対応していて、アイトラッキング機能を搭載していればどのHMDでも作成したツールに適用させることができる。今後の展望として、本研究で得られた結果が実際の建築設計のプロジェクトや各種の空間評価のニーズにどの程度適用できるかを評価する実証実験や比較実験をする必要があると考える、また、他の分野にもどの程度適用可能かについて議論することで社会的な意義をより明確にしていきたい。

[参考文献]

- [1] KIT 教育DX04: 全周囲360度カメラを活用したバーチャルツアー
(<https://www.kanazawa-it.ac.jp/jigyoo/dx/example/exa04.html>)
(最終閲覧日 2023年9月27日)
- [2] 大嶋佑梨, 本間里見, 内山忠, 加納なつみ: 街路樹に着目した街路空間の印象評価 視線情報を用いたVR景観検討支援システムの構築 その1, 日本建築学会大会学術講演概要集 pp.469-470, 2023.9
- [3] 松井研人, 本間健太郎, 今井公太郎: VRアイトラッカーを用いた建築空間における歩行者の視覚体験プロセスの記述, 日本建築学会情報システム技術委員会, 第44回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.395-398, 2021.12
- [4] 清水拓也, 下川雄一: 視線追跡対応VR建築教材および閲覧特性分析ツールの開発, 日本建築学会大会学術講演概要, pp.119-120, 2021.9
- [5] 新建築データ 佐川美術館 楽吉坐衛門館
(https://data.shinkenchiku.online/articles/SK_2008_02_074-0)
(最終閲覧日 2023年9月27日)