

3Dモデルと全天球画像を組み合わせたVR空間における 視線データの収集と可視化

Combining 3D Models and Panoramic Images in VR Spaces Gathering of line-of-sight data and Visualization

○宮川 卓也^{*1}, 馬 遠^{*2}
Takuya Miyakawa^{*1}, and Yuan MA ^{*2}

*1 (株)FOVE R&D部門 修士(工学)

K.K.FOVE, Research and Development. M.S. in Engineering.

*2 (株)FOVE R&D部門 修士(知識科学)

K.K.FOVE, Research and Development. M.S. in Knowledge science.

キーワード：視線；VR；HMD；3Dモデル；全天球画像；空間記述

Keywords: Line of sight; VR; HMD; 3D models; Panoramic images; Spatial notation.

1. はじめに

近年、視線追跡技術の発展に伴い、人がいつ何をどのように見たのか、といった生態的な情報を手軽にデータとして記録できるようになった。視線追跡技術とは、赤外線センサーやカメラなどを用いて人の目の動きを感知し、その人が何を見ているのかをリアルタイムにトラッキングするセンサー技術のことである。現在、この技術は様々な領域で活用されており、事例として医療やマーケティング・広告、自動車、教育の領域などが挙げられ、非常に多様な使われ方をしている。

VR空間を提示する装置としてのヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）は、頭部の回転運動に応じて全方位の空間提示が可能となり、実在する空間の映像や3DCG上を自由に体験できるようになった。更に、3Dスキャニングの技術や360度カメラの普及により、3Dモデルや全天球画像を簡単に入手できるようになり、これらの素材を用いることで実在する空間をVRとして体験することが可能になった。

また、Metareal社が提供するMetareal StageというSaaSのウェブアプリケーションでは、360度カメラで撮影した複数の全天球画像を3Dモデルに簡単に変換することができ、その上で全天球画像の撮影ポイント間を、実際に移動可能な範囲に従って繋いでいくことで、実在する空間を移動を伴ったVR体験として再現させることが出来る。3Dモデルを簡単に作成でき被験者は移動を伴った体験をすることができることから、従来では、建築空間に関する被験者実験を行う際に、実物大の模型を作成したり、離れた場所へ大勢の人を連れて行ったりと、実験を行う

のに膨大なコストと時間を掛けなければいけないことが多かったが、このようなアプリケーションを利用することで工数を削減でき、被験者実験に取り組むハードルを下げられるのではないかと考える。

この度、FOVE Gaze Analyzer Architecture (以下、FGAA) というソフトを開発した。FGAAは、視線追跡機能付きHMDであるFOVE0を使いながら、Metareal Stageと連携することで全天球画像によるVR空間の体験をとりいれつつ、3Dモデルを扱うことが出来るソフトである。体験中の被験者の注視対象や注視時間といった視線データの他に、被験者の移動データ、AOI分析の集計データ、そして一人称視点の動画ファイルなどを記録することができる。そして、記録したデータを再生することで3Dモデル上で被験者の視線や頭の回転、移動の様子などを詳細に確認することができ、分析ツールとして役立てられる。

建築空間における人の視線や頭の動き、移動といった生態的な情報を収集し、それらを3Dモデル上にマッピングし可視化することは、建築空間の形や構成要素が、人の視線や移動といった行動にどのように影響を与えるのかについて捉える上で、有効な方法になるのではないかと考えた。本稿では、建築空間における人の視線や移動といった生態的な情報を3Dモデル上に記述し、俯瞰して捉えることで見えてくる内容の一端について、紹介することを目的とする。

2. 既往研究

既往の研究として以下のものが挙げられる。

視線追跡技術を利用した研究として、三浦による研究¹⁾

や鈴木らによる研究²⁾が挙げられる。これらの研究では屋外・屋内空間でアイトラッキングカメラを装着した被験者に経路探索を行ってもらい、移動に伴う注視行動について様々な分析を行っている。本稿では、体験する空間を3Dモデルとして用意することで、被験者を取り巻く空間形状や構成要素と、被験者の視線や移動といった情報とを一緒に扱える点で異なっている。

VRやHMDを扱った研究として、山本らによる研究³⁾や徐らによる研究⁴⁾が挙げられる。これらの研究では建築内部空間における光・視環境を考慮した定量評価を行う上での、HMDによるVRの妥当性検証を行ったり、屋上庭園を対象として景観の空間構成と心理的評価の関係を明らかにしている。本稿では、VR空間をHMD提示するが、各ポイントの画像を個別に見せて評価を行うのではなく、ひとつの広がりをもち連続した空間として被験者に経路探索を行ってもらおう点で異なっている。

3Dソフトのなかで視線を扱った研究として、水谷らによる研究⁵⁾や宮崎による研究⁶⁾が挙げられる。これらの研究では、ある74特定点から遮蔽体までの視線の距離を計測し建築内部空間の囲われ方について分析したり、3次元の地形上に位置する人間同士の視線の関係をソフトを使ってモデル化を行ったりしている。本稿では、ソフトを用いて可視領域等を計測した数値を扱いはしないが、視線追跡機能付きHMDを通して得られた視線や頭の回転といった生態的な情報を主に扱う点で異なっている。

全天球画像を取り扱った研究として、秋山らによる研究⁷⁾や森田らによる研究⁸⁾が挙げられる。秋山らの研究では全天球画像を用いた室内空間評価実験を行い、全天球画像評価と写真評価それぞれの現場評価に対する類似性を把握し、写真より全天球画像は実空間の代替性が高いことを示した。森田らの研究では全天球画像のHMD提示とPCモニタでの提示、静止画提示を比較する被験者実験を行い、全天球画像のHMD提示によって現実感と没入感の向上することが確認されている。本稿では、これらの結果を踏まえ全天球画像のHMD提示を採用し、実空間の代替性がある程度有るものとみなして実験を進めることにした。

3. 実験概要

3.1. 使用するハードウェアの概要

視線追跡機能付きHMDであるFOVE0(表1)、Host PCとしてAlienware x14、VR空間内の移動用コントローラーとしてELECOM JC-VRR01BKを採用した。

表1 FOVE0の仕様

Display	Eye Tracking System
Resolution: 2560 X 1440	Tracking accuracy: 1.15°
Frame rate: 70fps	Frame rate: 120fps
FOV: Up to 100°	Motion sensing: 6-DOF

3.2. 使用するVRソフトの概要

Metareal Stageと連携することで全天球画像によるVR空間と3Dモデルを取り込みつつ、FOVE0を用いて経路探索を行い視線や移動に関するデータを記録し再生ができるソフトFGAAを採用した。

3.3. 対象空間の素材となる全天球画像と3Dモデル

全天球画像と3DモデルはMetareal Stage 側で用意されているサンプルツアー(LeVertendre、Canadian style house)を利用した。2階建て住宅で撮影点は合計22箇所(図1)、撮影点のレンズ高さはFL+1.72m、画像解像度は4K。



図1 1階平面図(上)、2階平面図(下)

3.4. 実験方法

21歳から63歳までの14人の被験者(男性8人)を採用した(平均: 35.29、標準偏差: 13.18)。FOVE0を装着した被験者に対して、建築の内部空間をVR空間として提示し自由に経路探索を行ってもらい、視線と移動データを記録する(図2)。移動可能なポイントの床面には白マーカーが配置され、顔の正面方向にマーカーがある時に白いパーティクルが発せられ、そのタイミングでボタンを押すと、そのポイントへ移動できるシステムとなっている。



図2 実験の様子(左)、VR空間内の探索の様子(右)

4. 3Dモデル上で視線の軌跡を視覚化する

注視先をひとつの対象から別の対象へ変更する際の眼球運動の速度は200deg/sec以上になる。細やかに俊敏に動く視線の軌跡を空間の中で捉え、それらの全容を掴もうとすることは困難であることが想像できる。そこで、今回は実験で得られた視線データから視線の軌跡を算出し、その生態的な情報を静的な線形オブジェクトとして3Dモデル上にマッピングすることで、空間の形態や構成要素を踏まえた視線の様子を観察できる空間記述の方法を提案したい。

4.1. 視線の可視化の方法

120FPSで記録されている視線データを読み込み、各観察点毎に視線の軌跡をマッピングしていく。観察点における頭の回転角度と視線の角度を計算し、実際に注視していた方向を算出する。そして、観察点を起点として注視方向へ遮蔽体につくまで線を伸ばし、線形オブジェクトとしてプロットしていく。

また、被験者毎の体験の総時間に対して、滞在していた時間帯の割合によって色が変化するシステムを採用しているため、線形オブジェクトを眺めているだけで、そこに滞在していた時間帯を直感的に把握することができるようになっている(図3)。

4.2. 視線の軌跡を可視化して見えてきたもの

視線の軌跡を可視化して、建築空間の形や構成要素から見えてくるものについて述べていきたい。

はじめに、大きな吹き抜け部分を備えているリビングについて述べていきたい(図4)。この空間は、経路の自由度が高いことや吹き抜け部分が2階の廊下やサロンスペース等と繋がっていること等から、多様な視線の抜け方が見られた。どの被験者も吹き抜け部分を一回以上見上げたり見下ろしたりしていたが、はじめて吹き抜けを見通す観察点が被験者毎でそれぞれで異なっていたのが興味深かった。リビングの中央に立って見上げるケースが一番多かったが、1階玄関付近の廊下で壁のスリットを通して見通すケースや、2階に上ってから初めて見下ろすケースなども見られた。

次に、面的に一番大きな広がりをもつダイニングについて述べていきたい(図5)。ダイニングテーブルが中央に配置してあり、その周囲を巡回するような動線となっている。見通しが効くためか、全ての観察点を巡回せずに終えている被験者もみられた。また、どこの観測点からも物理的に距離が近いはずのテーブルは実際あまり注視対象とならなかった。代わりに各観察点から一番よく見える箇所、窓際であれば窓から見える外の景色を、ソファが沢山置いてあるところであればそのソファや窓から外の景色の方をよく見ていた。



図3 視線の軌跡を線形オブジェクトとして記述したもの

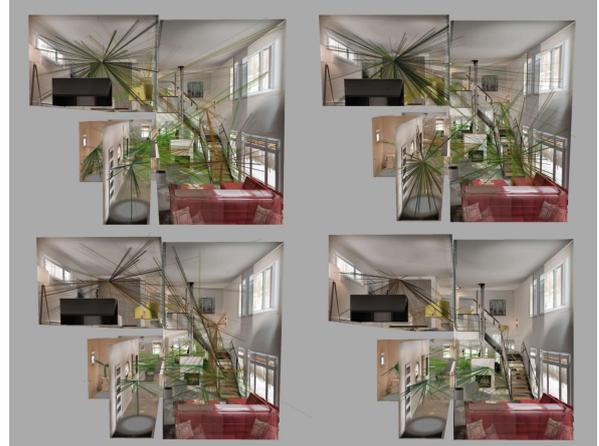


図4 リビング



図5 ダイニング



図6 トイレ

続いて、空間のボリュームとして一番小さかったトイレについて述べていきたい(図6)。制約が大きいこともあり、どの被験者も似たような視線の軌跡が見られた。小窓から少しだけ外の様子を把握したり、壁についているトイレや洗面台、照明や棚などを一通り見て回るケースが殆どだった。

最後に、2階に用意されていた各部屋について述べていきたい(図7)。どの部屋にも窓と家具や調度品が一様に並んでおり、それらを一通りぐるりと見渡すケースが多くみられ、線形オブジェクトを上から見ると、どちらかという均一で放射状に近い形状をしていた。但し、窓に近い観察点であれば、優先的に窓から外の景色が眺められることが把握できた。



図7 2階サロンスペースとベッドルーム

計測された視線追跡の動画記録だけを眺めていると見逃してしまいそうな、意外な箇所で見線の抜けが発生しているケースを発見できたりすることから、3Dモデル上に静的なオブジェクトとして視線情報を記述することで、他の方法では見落としがちなことも拾える可能性があることを発見できた。

5. まとめと今後の展望

本稿では、HMDによるVRの空間体験を被験者に行ってもらい、建築内部空間における視線の軌跡を3Dモデル上にマッピングし可視化することで、空間の形状や構成要素が人の視線や移動といった行動にどのように影響しているかについての一端を把握することができた。

本稿では取り扱いが出来ていないが、今回のようなソフトを扱うことで、もっと定量的な分析へ進めることも可能である。例えば、家具や設備、窓などのメッシュオブジェクトにアノテーション設定を行いAOI分析を行ったり、観察点から注視方向の遮蔽体までの距離を数値的に扱って分析を行ったりすることも可能である。

将来的には、設計段階の3DCGモデルをこのようなソフトにインポートできるようにすることで、視線に関する具体的なデザイン検討を行えるようになったり、BIMのような多様な情報をもったソフトと連携することで、より具体的で目的に沿った定量的な分析を行うことが可能になると考えている。

[参考文献]

- 1) 三浦金作：車両通行の多い街路空間での探索歩行時の注視傾向について -ローマ市の街路空間における探索歩行時の注視に関する研究 その2-、日本建築学会計画系論文集 2016.4
- 2) 鈴木利友、岡崎甚幸、徳永貴士：地下鉄駅舎における探索歩行時の注視に関する研究、日本建築学会計画系論文集 2001.5
- 3) 山本竜也、三宅博行、山口秀樹、吉澤望：建築内部空間における光・視環境を考慮した開放感の定量評価研究(その1)：HMDによるVRを用いた無窓空間における開放感評価の妥当性検証、日本建築学会環境系論文集 2021.5
- 4) 徐華、小林美紀：屋上庭園からの景観における空間構成と心理的評価との関係、日本建築学会計画系論文集 2023.2
- 5) 水谷誠、北川啓介、金森信道、麓和善、若山滋：<視深度>からみる茶室の内部空間の<空間囲包性>、日本建築学会計画系論文集 2011.9
- 6) 宮崎慎也：3D Isovisit Graph 解析システムの開発と応用、日本建築学会計画系論文集 2019.11
- 7) 秋山美早季、西名大作、杉田宗、浅見有希、田中貴宏、大石洋之、小林亮平：室内空間の心理的評価における全天球画像の代替可能性に関する研究、日本建築学会環境系論文集 2018.6
- 8) 森田裕介、長濱澄、大秦一真、田尻圭佑：ヘッドマウントディスプレイを用いた全天球画像の提示による実空間再現性に関する一考察、日本教育工学会論文誌 2019