

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 A Notation of Pedestrian Visual Experience Process in Architecture Using VR Eye Tracker

○松井 研人*1, 本間 健太郎*2, 今井 公太郎*3
Kento MATSUI*1, Kentaro HONMA*2 and Kotaro IMAI*3

*1 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 修士課程

Master Course, Department of Architecture, the University of Tokyo

*2 東京大学生産技術研究所 准教授 博士(工学)

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, Doctor of Engineering.

*3 東京大学生産技術研究所 教授 博士(工学)

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, Doctor of Engineering

キーワード：視覚体験, 注視点, VR, VR アイトラッキング, VR ウォークスルー

Keywords: Visual experience; Gaze point; VR; VR eye tracking; VR walkthrough

1. 序論

1.1. 研究の背景

生態心理学によると、人間は視覚から環境と自己の両者の情報を獲得する。また自身の移動に伴う視覚情報の変化によって、3次元空間である環境の知覚が可能になる。

しかし、人間が3次元空間においてどのような視覚体験(注視を伴う視覚情報の受容と処理)をしながら移動するかに関する既往研究は、以下に示すように限定的である。

移動時の視野に着目した研究は、いくつか行われている。安福ら¹⁾は、独自のウォークスルーシステムを用いて、被験者の移動に伴う視野空間の変化を3次元で定量的に分析した。脇坂ら²⁾は歩行経路のコマ撮りの静止画から歩行者の視野空間の連続を記述し、分析した。ただし、いずれも顔の向きや写真から判別できる視野空間を分析対象としており、人がどこ実際に注視しているかについてまでは記述されていない。

一方で、三浦ら³⁾は、特定の観測点から撮影した360度映像内での注視点を取得することで場所選考の要因を定量的に分析しているが、移動時の注視点については分析されていない。

このように「移動時の視野」と「静止時の注視」についての研究はそれぞれ存在するが、「移動時の注視」を対象とした研究は、これまでに行われていない。これは観測技術の限界ゆえのことと思われるが、近年の発展の著しいVR技術を用いることで、移動ログや注視ログ等の多くのデータを取得できるようになってきている。また仮想空間への没入のリアリティは多くの研究で確認されている⁵⁾。

またVRを用いた研究として、杉山ら⁶⁾は、VRウォー

クスルーと被験者によるインタラクティブな空間操作を伴う実験手法により、アプローチ空間での歩行体験が空間知覚にどう影響するかを分析した。しかし、歩行中の注視位置などの詳細な視覚体験については記述されていない。

1.2. 研究の目的

美術館や宗教施設をはじめとする建築では、一連の歩行経路とそれに伴う視覚体験に沿った建築形態の緻密なデザインが為されている。しかし、建築形態によって人の視覚体験がどのように変化するか客観的事実は明らかになっていない。したがって、空間形態と歩行者の視覚体験の相関を分析することは、設計者の空間設計の手掛かりとなり、意義があると考えられる。

そこで本研究は、空間形態と歩行者の視覚体験の相関を本格的に分析する為の準備を行う。本研究の目的は、VRアイトラッカーとVRウォークスルーを用いて、仮想空間内歩行時の眼球と頭部の動きを計測するシステムを構築し、その計測結果の記述方法を提案することとする。またシステムの精度の確認の為のプレ実験を行い、空間形態と歩行者の視覚体験の相関に関する仮説を提示する。

2. 使用技術

2.1. 開発用ソフトウェア

本研究では、計測システムの構築をUnity2020.3とVisual Studio2019を用いて行った。

2.2. VRアイトラッキング

HMD(VRヘッドマウントディスプレイ)には、VRアイ

トラッカー(Tobii 社)が搭載された Vive pro eye(HTC 社)を用いた。視野角と追跡可能視野角共に 110 度、視線データ出力周波数(両眼) 120Hz で被験者の眼球の運動を計測することができる。

2.3. VR ウォークスルー

トラッキング用センサとして SteamVR ベースステーション 2.0 (HTC 社)を部屋の四隅に設置することで、最大 10×10m の範囲で被験者の歩行や頭部の動きを計測し、仮想空間上に反映する。実際に身体を使った歩行により現実空間に肉薄した建築歩行体験を可能とする。

3. 計測システムの構築と記述方法の提案

3.1. 計測システムの概要

本システムでは、仮想空間上に作成した実験空間の 3D モデル内を、被験者は出発地点から提示された目的地点に向かって実験空間内を 1/1 スケールで自由に歩行し、見回すことができる。また次節に示す歩行中の被験者の計測指標をログとして取得することで、視覚体験プロセスを記述する。視覚体験プロセスは、適当なチェックサーフェイス通過時ごとに区切って取得することで、被験者の滞留や歩行速度によるデータのばらつきを抑えるものとした。

3.2. 計測指標

被験者ごとに(a)注視点と(b)注視始点、また顔の方向の可視化のために(c)顔方向ベクトルの衝突点^{注1)}の 3 つの指標を同時に計測し、最低 1/50 秒ごと^{注2)}にログを取得する。計測指標の模式図を図 1 に示す。

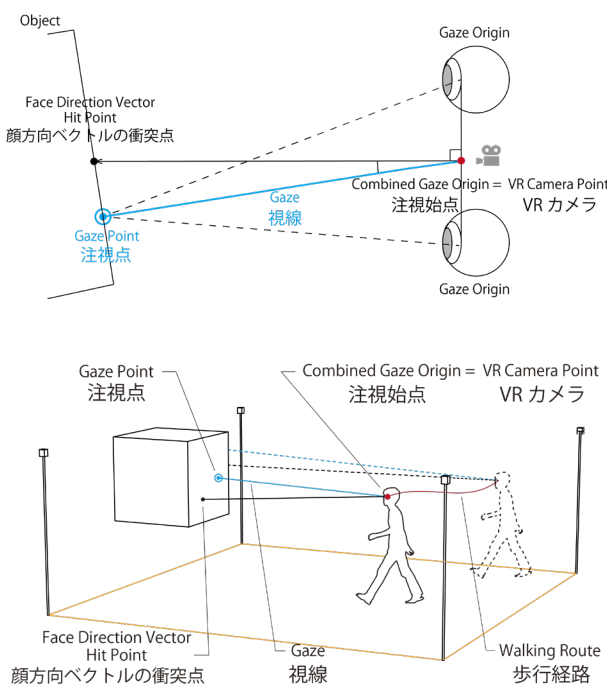


図 1 計測指標

(a)注視点としては、仮想空間内で目の役割を果たす VR カメラから両目の焦点方向にレイを飛ばし、オブジェクトと最初に交わった点の座標を取得する。また(b)注視始点としての VR カメラの座標、(c)顔方向ベクトルの衝突点として VR カメラの正面方向に飛ばしたレイの衝突点を取得する。

3.3. 記述方法

本研究では、計測システムで取得した被験者の視覚体験プロセスの記述方法として視覚体験平面図・視覚体験立面図・注視点展開図の 3 つの方法を提案する。記述方法の模式図を図 2 に示す。

3.3.1. 視覚体験平面図と視覚体験立面図

三次元空間上のデータである視覚体験プロセスを記述するにあたって、平面情報と立面情報とに分けて記述し、視覚体験平面図と視覚体験立面図とした。被験者の移動により注視始点が連続的にずれていくことで、既存の研究では為されていない「注視の順序」の明解なビジュアライズが可能となる。

3.3.2. 注視点展開図

天井面・床面・壁面上の注視点の正確な位置の記述として、建築の展開図上に注視点をプロットした図面を作成し、注視点展開図とした。これにより視覚体験平面図と視覚体験立面図では記述できない、被験者が天井や壁の中のどこを注視しているかについてのビジュアライズが可能となる。椅子や照明等の仕器上の注視点は、全てそれらの接する天井面・床面・壁面に投影した位置に存在するものとして記述した。

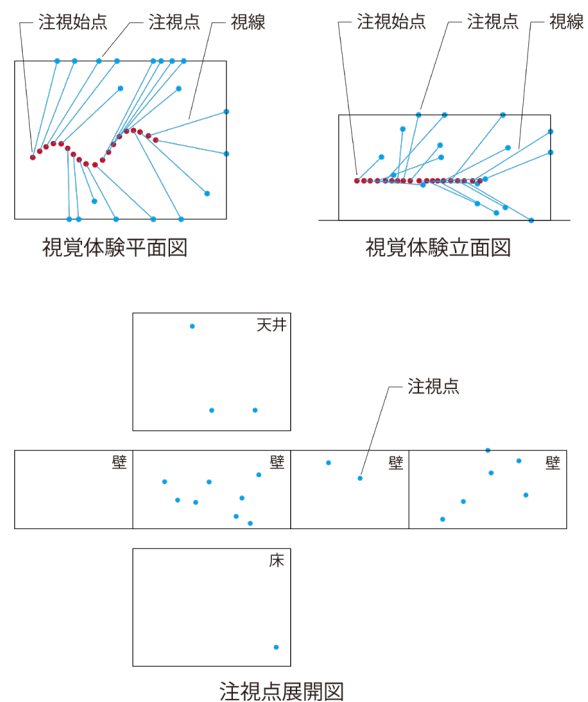


図 2 記述方法

4. ケーススタディ

4.1. プレ実験概要

本研究では、計測システムの精度の確認の為のプレ実験を行った。実験場所は、東京大学柏IIキャンパスの研究室内とし、VR ウォークスルーの計測範囲は 6m×6m の範囲とした。また建築学を専攻する修士学生 6 名を被験者とした。

被験者は、各自の身体に合わせて、眼球の動きを取得する為の HMD のキャリブレーションを行った後、計測システムに沿って実験空間内を歩行体験した。

歩行後に被験者自身に視覚体験プロセスの 3D データを目視で確認して貰い、システムの精度の確認を行った。

4.2. 実験空間

本研究では、入口からのアプローチが視覚体験の詳細な検討に基づいて設計された建築として、安藤忠雄設計の茨木春日丘教会（通称：光の教会）を実験空間に選定し、仮想空間上に 3D モデルを作成した。HMD に提示される実験空間の映像を図 3 に示す。

実験では、入口の直前を出発地点とした。また実験に先立ち、被験者に対し、図面にて礼拝堂の特定の地点を目的地点として提示したうえで、出発地点から前室を經由して目的地点に自由に歩行するよう教示した。出発地点から目的地点に至るまでの被験者が必ず通過する部分に 5 つチェックサーフェイスを設定した。それらの位置を図 4 に示す。

第 1 チェックサーフェイス通過時から第 5 チェックサーフェイス通過後 3 秒までの視覚体験プロセスをチェックサーフェイスごとに区切って取得する。



図 3 実験空間

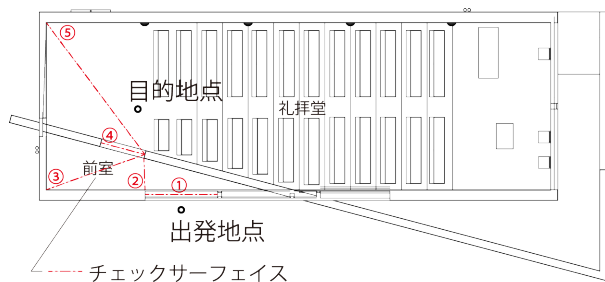


図 4 出発地点・目的地点とチェックサーフェイス

5. 考察

5.1. 視覚体験プロセスの 3D データ

プレ実験で入手した、被験者 1 名の視覚体験プロセスの 3D データの一部を図 5 に示す。このような 3D データを 6 名の全被験者にそれぞれ目視で確認してもらったところ、あくまで定性的な印象評価ではあるものの、移動履歴と注視箇所は相当の高精度で記録されていると確認できた。また全被験者から、本実験での視覚体験は現実空間での視覚体験に相当程度肉薄したものであったとの意見を得た。

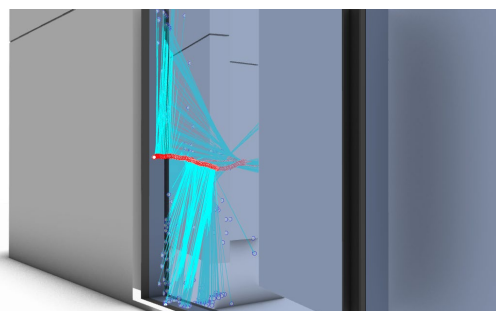


図 5 視覚体験プロセスの 3D データの例

また同一被験者から取得した注視点ログと顔方向ベクトルの衝突点ログを図 6 に示す。2 つのログを比較すると歩行中の顔方向ベクトルは、進行方向に大きく依存し、連続的で等速運動に近い傾向にある。一方で、注視点は滞留→移動→滞留の繰り返しで移動し、進行方向からは大きな影響を受けない傾向を確認できる。

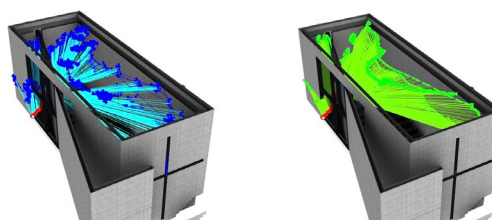


図 6 注視点ログ(左)と顔方向ベクトルの衝突点ログ(右)

5.2. 視覚体験平面図と視覚体験立面図

被験者 1 名の視覚体験平面図と視覚体験立面図をチェックサーフェイス通過ごとに番号を振り、図 7 に示す。①と②、④と⑤を比較すると、被験者は前室と礼拝堂どちらも入室直後は、広範な範囲を注視し、3 秒ほど経過するとある局所的な範囲を集中して注視するという傾向が確認できる。更に、室空間の注視は室上部から下部の順に行われていることも確認できる。

また③から、礼拝堂入室直前は、十字架と反対側の壁面から注視されていることが確認できる。これより空間知覚に際し、首を曲げる角度が浅く済む壁面から注視し始めていると推察できる。

5.3. 注視点展開図

前節と同一被験者の注視点展開図を図8に示す。広い空間では注視の密度が低く、狭い空間では注視の密度が高くなっていることが確認できる。また床に対して高い位置の方が注視の密度が低く、自らの身長に近い位置では、注視の密度が高くなる傾向にあることが推察できる。

6. 総括・展望

本研究では、VR アイトラッカーとVR ウォークスルーを用いて、仮想空間内歩行時の眼球と頭部の動きを計測するシステムを構築した。また3次元空間における視覚体験プロセスの記述方法として視覚体験平面図・視覚体験立面図・注視点展開図を提案した。またケーススタディとしてのプレ実験により、システムの精度の確認を行い、いくつかの仮説を得た。

課題として、より多くの被験者の視覚体験プロセスの分析が挙げられる。それに伴い被験者ごとの条件の差異を除くための緻密な実験のデザインが求められる。本研究でも被験者ごとにVRウォークスルーへの慣れが異なり、また被験者が実験空間である建築を既知であるかどうかデータに大きく影響していたと思われる。

今後、視覚体験プロセスに影響を与える要因を詳しく分析するにあたって、よりシンプルな条件の実験空間で視覚体験プロセスを比較し、分析することが望まれる。

[注釈]

- 注 1) 本研究では、注視点と顔の向きを比較し、仮説を発見する為、顔方向ベクトルの衝突点を取得し、ビジュアライズするものとした。
- 注 2) システムの構造上、厳密な等時間間隔で注視点を取得する事はできていない。最大1/500秒程度の誤差が生じる。

[参考文献]

- 1) 安福健祐, 出来佑也, 阿部浩和: ウォークスルーシステムによる歩行経路に沿った視野空間分析ツールの開発と適用, 日本建築学会計画系論文集, 第684号, pp365-372, 2013. 2
- 2) 安福健祐: VRウォークスルーシステムによる視覚的シーケンス分析ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, 第54号, pp637-641, 2017. 6
- 3) 脇坂圭一, 本江正茂, 小野田泰明: 視覚体験を通じた流動的空間の記述方法に関する研究 生態学的視覚論を用いた遮蔽縁および明暗縁シーンプックの提案, 日本建築学会計画系論文集, 第670号, pp2273-2280, 2011. 12
- 4) 三浦健, 長谷川峻, 安田溪, 三浦研: ワークプレイスにおける場所選考時の注視特性: ワークプレイスの360度映像を用いた注視実験の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2020. 9
- 5) 寺本涉, 吉田和博, 浅井暢子: パーチャル・リアリティの"リアリティ", 映像情報メディア学会技術報告, 2012. 3
- 6) 杉山拓哉, 吉岡陽介: アプローチ空間の形状と吹き抜け空間の天井高の感覚量との関係, 日本建築学会計画系論文集, 第782号, pp1224-1232, 2021. 4

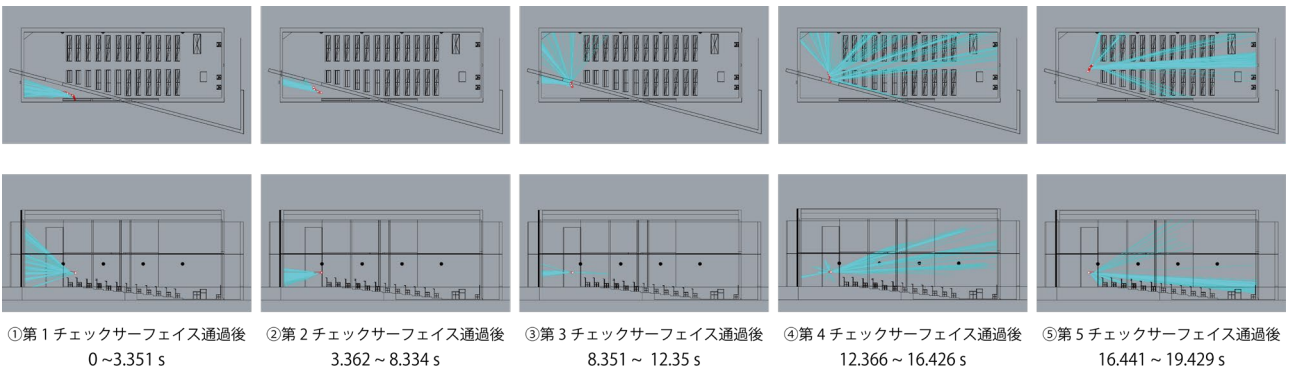


図7 視覚体験平面図と視覚体験立面図

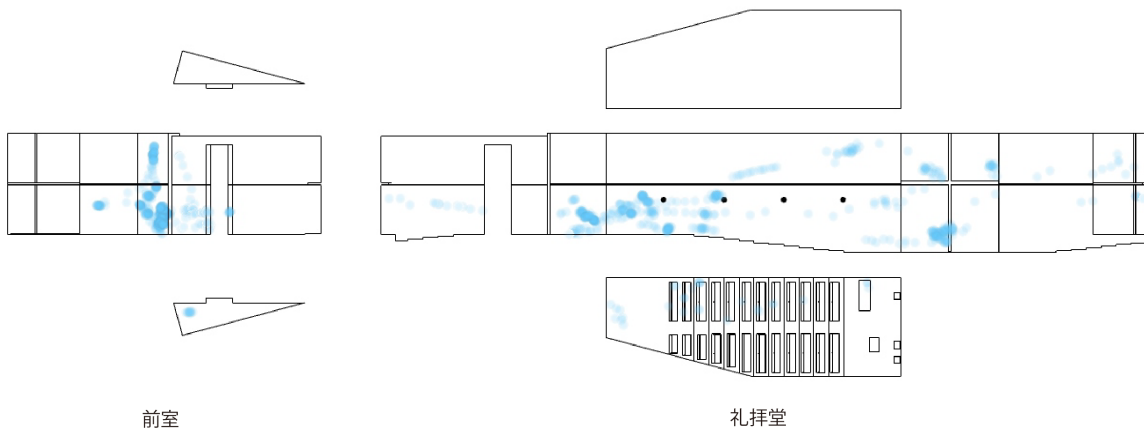


図8 注視点展開図