

視線データと歩行データを用いた 3D モデル上での 視線行動分析システムの構築とその展開

Construction and application of a gaze behavior analysis system on a 3D model using gaze data and walking data

○井上 僚（株式会社 竹中工務店）*1

*1 Ryo INOUE, Takenaka corporation, 4-1-13 Honmachi, Chuo-ku, Osaka City, 541-0053, inoue.ryou@takenaka.co.jp

キーワード: 視線計測, 歩行分析, 3D モデル

1. はじめに

都市・建築の分野において、利用者の視線データというのは、多くの場面で様々な空間の効果を評価するための重要な要素となっている。例えば、バイオフィリックデザインの効果を高めるために、より自然に植栽を目にすることができるようにするための配置計画を行う目的で視線データを用いられることがある。その他にも、駅やショッピングモールなどにおけるサイン計画や広告看板・ディスプレイなどの誘目性を評価するためにも用いられるなど、その影響力は大きい。

これらの視覚データを取り扱う際に、顕著性マップを用いることがある。高井・沖*1は、実空間を歩行する際の視線データと、VR 空間での視線データをもとに作成した顕著性マップをそれぞれ比較し、VR 空間を用いた視線計測実験の有用性の評価を行った。加えて、Lou*2らが作成した顕著性予測モデルと、取得した視線データをもとにファインチューニングしたモデルによる視線予測結果の比較も行った。一方で、実際に歩行が行われた際の位置情報やそこから対象物までの奥行情報などについては、言及がされておらず、実空間における視線に関しては、対象物の奥行情報については、郷地・小濱*3の研究で、述べられている。郷地・小濱によると、奥行き顕著性を予測モデルに組み込んだものでシミュレーションした結果と実測データがある程度一致することが確認され、視覚探索行動に対して奥行情報が機能している、とされた。

また、視線探索行動においては、情報処理を行う際に、ボトムアップ注意とトップダウン注意の二種類の情報処理が関連して行われているというのが通説である。ボトムアップ注意は、無目的下の視線探索行動において色や輝度などの物理的な特徴から影響を受ける注意である一方、トップダウン注意は、事前知識や探索目的がある中で、重要性を判断しながら対象を選択する注意である。従来の顕著性予測モデルは、ボトムアップ注意を重視することが多かったが、都市計画や建築設計の場においては、利用者の意図を想定することが多く、トップダウン注意も重要なものである。

そこで、本研究では、実空間における歩行者の詳細な位置情報を歩行データとして取得しながら、歩行中の視線データを取得し、建築設計の際に作成された 3D 空間モデル上でこれらを再現する。それにより歩行者の歩行速度や進行方向、頭部の向きといった歩行者の歩行データと、注視対象となった要素に関する素材や照明配置による輝度情報などのボトムアップ注意に関するものと、部材や什器の種類、歩行者の頭部との位置関係などのトップダウン注意に関するものを合わせて視線データを分析できるシステムを構築する。これにより、都市・建築空間において計測された視線データの可視化および体系的な整理を可能にし、高度な分析や新たな視線予測モデルの作成に寄与することを目的とする。

そのうち、本稿では実際に視線データおよび歩行データを 3D 空間モデル上で再現する手法の構築について述べる。

2. 各データの取得方法について

本研究では、3D 空間モデル上に歩行者の行動とその視線の向きを再現するため、視線データと歩行データの 2 種類をそれぞれ表 1 の方法で取得する。

Table 1 Methods for Gaze Data and Walking Data

項目	視線データ	歩行データ
使用機器	Tobii Pro Glasses 3	mocopi
機器種別	眼鏡型アイトラッカー	モーションキャプチャー
サンプリング周波数	100Hz	50Hz
主な機能	・視線データ取得 ・視野範囲録画 ・ジャイロセンサー付随	・全身6か所のセンサー ・骨格の動きを再現
使用目的	視線追跡と頭部挙動の感知	歩行距離や全身での方向転換のセンシング（アイトラッカーでは読み取り困難な動作の補完）

また、3D 空間モデルについては、後述の可視化システムの動作させるために、Rhinoceros+Grasshopper で作成を行う。

3. 各データ形式について

先述の手法で取得した視線データ、歩行データおよび 3D 空間モデルの特徴を以下の通りに示す。

(a) 視線データ

Tobii Pro Glasses 3 によって取得できる視線データは、Gaze Point 2D と Gaze point 3D の 2 種類がある。Gaze point 2D は、録画された視野範囲の画像のどの位置を見ていたかを示し、XY 軸形式で単位は pixel である。Gaze 3D point は、Tobii Pro Glasses 3 を中心とした相対座標で、正面方向を X 軸とした XYZ の左手系（図 1）で示したものである。そのため、Gaze 3D point を用いて、3 次元の絶対座標に注視点を再現するために、Tobii Pro Glasses 3 の正面方向を、頭部の向きと一致させる必要がある。

(b) 歩行データ

mocopi によって取得できるデータは、BVH 形式となっている。BVH 形式は、HIERARCHY と MOTION という二つのデータが時系列ごとに羅列される形で構成されている。

HIERARCHY は、センサーが取得および予測した関節の初期位置を示すもので、股関節の位置を始点として一つ前の関節に対して相対的にどの位置に特定の関節が存在するかを XYZ 軸の右手系（図 1）で示したものである。

MOTION は、時系列ごとに、HIERARCHY で記された関節の位置情報とオイラー角形式で記録された関節の回転角度を示したものである。これにより位置情報を一定の間隔で移動平均をとることで、歩行時の進行速度を概算することができる。また、関節の回転角度がわかることで、進行方向に対する頭部の向き情報を計算することが可能である。

(c) 3D 空間モデル

3D 空間モデルについては、Rhino + Grasshopper を用いて作成したもので、部材ごとに 3D モデルを作成することで、各部材に素材の情報や部材名を登録することができる。また、Grasshopper 上で HoneyBee などのプラグインを利用することで、光環境の分析を行うことができる。Rhino 上のモデルは、XYZ 軸の左手系（図 1）からなっていて、単位は作成するモデルの大きさに合わせることができるため、建築設計の場で広く用いられる mm を用いる。

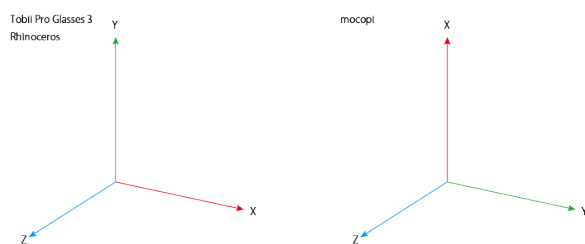


Fig.1 Left-handed XYZ coordinate system (Left figure)
Right-handed XYZ coordinate system (Right figure)

4. 3D 可視化システムの構築

取得した視線データと歩行データをもとに、3D ソフト Rhino とプラグインである Grasshopper を用いて、各種データの以下の変換を行いながら、3D 可視化システムの構築を行った。

(1) 歩行データを 3D 空間モデルに再現する

mocopi で取得された BVH 形式のデータを、Python の公開ライブラリである bvhio を用いて、各関節の位置を絶対座標化し、Y 軸の値を反転させ 3D 空間モデル上にプロット（図 2）する。この時、頭部の回転情報をもとに正面方向を定めておく。（図 3 内に、赤線で示す。）

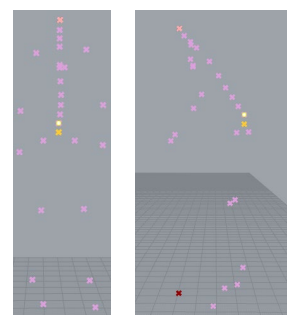


Fig.2 Diagram showing the reproduction of joint positions in a 3D spatial model

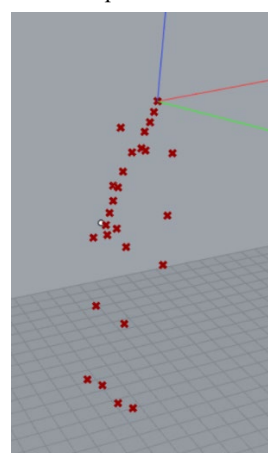


Fig.3 New coordinate axes defined based on the front direction of the head (Red :X', Green : Y', Blue : Z')

(2) 視線データを 3D 空間モデルに再現する

Tobii Pro Glasses 3 で取得したデータのうち、Gaze 3D point のデータを 3D 空間モデルに再現する。この時、Gaze 3D point が示す点 α は、Tobii Pro Glasses 3 からみた、相対的な位置を示す持つもののため、(1) で定めた頭部の正面方向を新たに X' 軸とした X'Y'Z' をもつ座標軸へ対応した値へ変換する必要がある。そのため、頭部の回転情報から作成した回転行列 R を用いると、点 α を絶対座標に直した点 α_{world} は式 (1) のように示すことができる。

$$\alpha_{world} = R \times \alpha + t \quad (1)$$

t : 頭部の位置座標

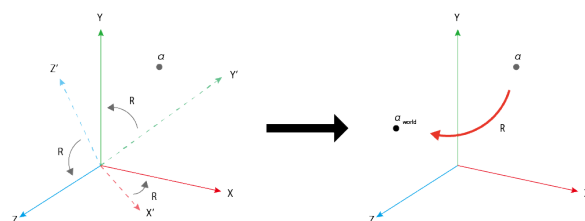


Fig.4 Diagram of correction with the head position as the origin

上記の手順に沿って、注視点 α_{world} を 3D 空間モデルにプロットすることで、歩行データと視線データの可視化シス

テムを構築した。

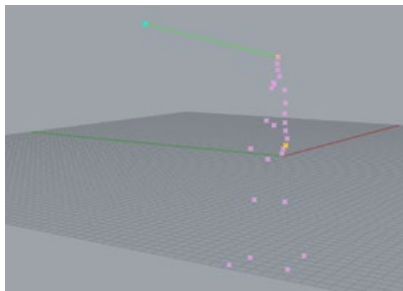


Fig.5 Diagram of the constructed visualization system for gaze and gait data

5. 構築したシステムについての考察と展開

5.1. 本システムの利便性について

従来の視線計測においては、計測対象者の軌跡を追跡調査する手法が一般的であり、ある程度人手を必要とすることが多かった。一方で本システムによる視線計測が実現することで、機材の数を増やせば軌跡を調査するための人手を省略することが可能になる。また、注視点にあった物体の情報についても本システムでは、予め 3D 空間モデルに情報を登録すれば、簡易的にデータ整理が行える点で、今後の視線計測の効率を大幅に向上できる可能性があると考えている。

5.2. 本システムの新規性について

本研究では、視線計測の主流である顕著性マップとの差別化点として、奥行情報を取り扱うことができる点を挙げている。これにより都市計画・建築設計の業務の中で、視線を誘導するための配置計画の際に、実際に操作対象物の 3 次元的位置調整に直接寄与することが可能になると考えている。

5.3. 本システムの課題について

先述の利便性について、計測時の簡易性について述べた一方で、調査対象施設（もしくは都市空間）の 3D 空間モデルが必要になる点においては、0 から作成する場合は非効率的是である。しかし、既に 3D モデルが存在している施設や、国交省が進めている PLATEAU を用いることで、緩和される可能性があると考えている。

また、近年ではヘッドマウントディスプレイを用いた VR 技術の発展に伴い、3D 空間モデル上で被験者に歩行させながら、行動データと視線データを抽出する事例がよく見られる。菊池^{*4}の研究によると、フォトリアリスティックな 3D 空間モデルが、実空間の光環境を考慮しきれていない点を、改善する手法について述べられており、既に VR 技術による実空間との体験性の差異は小さくなってきていて、これにより、視線計測を実空間で行うことの必要性が再度見直されてきている。本研究では、実空間での視線計測に関してシステムを構築したものの、実空間の輝度分布を本システムにおける視線データの入力を、ヘッドマウントディスプレイによって取得した視線データで代替することで、注視点の分析には寄与できると考えられる。その一方で実際の空間を占有する必要がなく、実測の際の被験者への負担の少なさの面では、VR 技術を活用した視線計測の方が優れているといえる。しかし、計測対象の施設の用途によっては実空間での計測が必要になることもあると考

えている。例えば商業施設のように、商品を探しているなどの背景を持って視線探索行動をとる場合は、実際に手に取ることができる実空間の方が、より正確にトップダウン注視を加味した視線データを抽出できるだろう。

現時点では、視線データと歩行データを統合するシステム構築に留まったが、今後は実際に被験者による視線計測を行い、その分析の過程を本システムを用いた分析と従来の顕著性マップを用いた分析とで比較を行い、データ統合時の精度を検証していく必要がある。

5.4. 本システムの今後の展開可能性について

本システムの今後の展開としては、実空間での視線データと歩行データをまずは蓄積していくことで、トップダウン注視に関連する目的性の有無や、計測対象者の年齢・性別・趣味嗜好などの属性情報を加味しながら、同じ歩行速度であっても高齢者かどうかや何かを探しながらの歩行であったかどうか、などを踏まえたシチュエーション別に視線探索行動の傾向を把握していくことが可能になるのではないかと考えている。

また、データを十分な量蓄積していくことで、Lou らが構築した画像に対する顕著性予測モデルに対して、新たに 3D モデルを対象とした予測モデルを開発することができると考えている。これにより、都市・建築分野における計画・設計段階で、まだ実空間として実現していない空間のユーザーのシチュエーションごとの視線行動シミュレーションが可能になると考えている。

6. まとめ

本研究では、モーションキャプチャーを用いて取得した歩行データと、アイトラッカーを用いて取得した視線データを、建築空間を再現した 3D 空間モデル上で統合し、視線探索行動を分析するためのシステム構築について述べた。

現時点では、従来の顕著性マップとの直接的な精度比較はできていないものの、顕著性マップでは把握しきれていない距離に関する情報を組み込める点で、都市・建築空間における分析に関しては優位なものとなる可能性があると考えている。

本システムを活用することで、将来的に都市計画・建築設計の場における、ユーザーのシチュエーションに応じた事前の視線探索行動のシミュレーションを可能にしていきたい。

文 献

- (1) 高井峻, 沖拓弥, 実空間と VR 空間における視覚的顕著性マップを用いた商店街歩行者の誘目性評価手法, 日本建築学会技術報告集, 第31巻, 第78号, 2025, 1105 - 1110
- (2) J. Lou, H. Lin, D. Marshall, D. Saupe, and H. Liu : TranSalNet: Towards perceptually relevant visual saliency prediction, Neurocomputing, Vol. 494, 2022, pp. 455-467
- (3) 郷地大紀, 小濱剛, 注意の 3 次元特性を考慮した顕著性マップモデル, 社団法人映像情報メディア学会技術報告 Vol.35, No.16, 2011, 31 - 34
- (4) 菊池卓郎, 視環境設計に用いる没入型仮想環境の性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (東海), 2021, 475 - 476