

3D Isovist を用いた街路空間の分析と比較

可視領域特性の非類似度を算出する分析ツールの開発

Analysis and Comparison on Streetscapes Using 3D Isovist

Invention of a mathematical program to compute un-similarities of visible regions

○渡辺 大介^{*1}, 本間 健太郎^{*2}, 今井 公太郎^{*3}
Daisuke WATANABE ^{*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: 街路景観; 可視領域; 3次元アイソビスト; 視線ベクトル; 属性情報; 見えがくれ
Keywords: Streetscape; Visible region; 3D Isovist; Gaze vector; Semantic information; Sequential depth.

1. はじめに

1.1 研究の位置付けと特異性

本研究は、建築・都市空間の見え方を定量的に分析する研究分野に分類される。この研究分野の目的は、従来は模型の覗き込みや写真による印象評価などの定性的な手法でしか評価できなかったものを、客観的な数値で捉えることにある。この研究分野の歴史的な系譜を辿ることで、本研究の位置付けと特異性を整理する。

まず、可視領域特性の定量化の手法は、写真などを用いた画像ベースのものと、コンピューター上の仮想モデルを用いたものとに分類でき、本研究は後者に該当する。この研究分野の発展を遡ると、その始祖は M. L. Benedikt による Isovist 理論¹⁾である。Isovist 理論では、2D 平面における可視領域を作成し、その作成された閉じた図形の形状に関する指標（面積・周囲長・形状複雑性など）と距離に関する指標（可視距離・可視距離の平均・可視距離の標準偏差など）で可視領域の特性を記述する。現代ではコンピューターの演算能力の向上に後押しされ、この Isovist 理論は 3D へと拡張されている。この 3D への拡張の仕方には基本的に二種類あり、門内ら²⁾のように 3D 可視領域をメッシュで表現するものと、下川ら³⁾のように視点から放射した無数のベクトル（以下、視線ベクトル）の束で表現するものがある。しかし、既往研究で使用される可視領域特性を記述する指標は、可視領域の持つ複雑な情報を大雑把に集約化したものであり、効率的に情報を処理できる反面、抜け落ちてしまう情報が多いことも確かである。この点を克服するため、本研究では下川ら³⁾の研究を応用し、各視線ベクトルが持つ生データを直接的に用いて、可視領域の評価値を算出することを試みる。

1.2. 研究で行うこと

本研究では、街路歩行時の視覚体験の変化を可視領域の非類似度として記述する分析ツールを開発し、その現状報告を行う。

具体的には、視点を設定する場所（以下、視点場）の

可視領域特性を各視線ベクトルの持つ 2 つの要素である、視線ベクトルの長さ（以下、視距離）と視線ベクトルがどの属性のオブジェクトに衝突しているかの情報（以下、属性情報）として捉え、歩行時の空間移動前後でのそれら情報の変化を非類似度として算出する。この非類似度算出ツールを用いたケーススタディとして神楽坂の 3D 都市モデル上で分析を行い、分析ツールの有効性の検証、改善点や展望を述べる。

2. 研究の背景と目的

本研究での取り組みを述べる前に、本研究の題材とする事象とその着想に至った背景について述べる。

本研究の題材は、東京の下町に見られるようなシーケンシャルに空間の奥行きが展開される街路の魅力を解き明かすというものである。その魅力について言及すれば、楨文彦ら⁴⁾が指摘するように、東京の下町の街路構成には日本人の深層心理が反映されており、その空間体験は「奥性」に富み「見えがくれ」が演出されている。また、島原ら⁵⁾が指摘するように、トップダウン的な整備のなされていない下町の裏路地のような空間で、「官能的」な人間臭いアクティビティが育まれるのである。街路構成とこのような東京の下町的な街路の魅力との関係性を検証するには、街路の空間構成要素を定量的に分析することで物理的な評価値を取得し、その物理量の心理量に対する相関関係を調べるというアプローチを辿ることが研究の全体像となろう。本研究では、その全体像の前半部分に当たる、街路空間の物理評価値を得ることを目的とし、その指標の設定と指標を算出する分析ツールの開発を行う。

3. 分析ツールの構築

本研究では、街路歩行時に視覚体験がどれだけシーケンシャルに変化するかを定量的に分析するツールを開発する。ここでいう視覚体験の変化とは、移動前後の二つの視点場が持つ可視領域特性の非類似度によって定義

され、歩行時にこの非類似度がどのように変化していくかで表現される。可視領域特性は、視線ベクトルがもつ視距離と属性情報の2次元情報の集合であり、視線ベクトルの本数を n 本とすれば、 $n \times 2$ のマトリックスとして表せる。視線ベクトル及び視点場単位の非類似度は、このマトリックス同士の比較から算出される。

3.1. 算出する指標「非類似度」の定義

本研究で算出する指標は、移動前後の二視点場の視線ベクトル及び視点場単位の非類似度である。視線ベクトル単位の非類似度を算出した後に、その値を視点場毎に集計することで視点場単位の非類似度が算出される。また、可視領域を構成する視線ベクトルの特性は視距離と属性情報の二種類であり、非類似度はそれぞれにおいて定義する。以上を踏まえると、視点場単位の非類似度は以下のように定式化できる。

$$US_L = \left(\sum_{j=1}^n US_{Lj} \right) \div n$$

$$US_S = \left(\sum_{j=1}^n US_{Sj} \right) \div n$$

US_L 視点場単位の視距離における非類似度

US_{Lj} 視線ベクトル単位の視距離における非類似度

US_S 視点場単位の属性情報における非類似度

US_{Sj} 視線ベクトル単位の属性情報における非類似度

n 視点場から放射する視線ベクトルの本数

続いて、視線ベクトル単位の非類似度の定式化を行う上で、経路上で連続した二つの視点場 $N-1$ と N と、それぞれの視点場の視線ベクトル i と j を想定する。この時、これら二本の視線ベクトルの非類似度は、視線ベクトル i と j の視距離・属性情報における非類似度評価関数に、二本のベクトルの方向の違いによる重み付け係数を乗算することで求まる。この重み付け係数の意味は、近い方向の視線ベクトルが持つ情報の差異は非類似度の算出に大きな影響を持ち、逆は比較的重要ではないからである。以上を踏まえると、視線ベクトル単位の非類似度は以下のように定式化できる。

$$US_{Lj} = \sum_{i=1}^n (W_{ij} \times L_{ij}) \div \sum_{i=1}^n W_{ij}$$

$$US_{Sj} = \sum_{i=1}^n (W_{ij} \times S_{ij}) \div \sum_{i=1}^n W_{ij}$$

W_{ij} 視線ベクトル i, j に対して定まる重み付け係数

L_{ij} 視線ベクトル i, j の視距離における非類似度評価関数

S_{ij} 視線ベクトル i, j の属性情報における非類似度評価関数

3.2. 指標を算出するための分析ツールの開発

上記の指標、非類似度を算出する分析ツールを、コンピュータ上で開発する。開発には、3DモデリングソフトであるRhinoと其のplug-inであるGrasshopperを用いる。基本的な流れとしては、Plateau等から都市の3

DモデルをRhinoにインポートし、その都市モデル上での幾何学的な演算と分析データの可視化を主にGrasshopperで行う。

3.2.1. 視点場の設定

視点場とは、視線ベクトルを放射する基点である。今回の分析対象は街路歩行時の視覚体験であるため、選定した経路の高さ1.5m上(アイレベルの想定)に視点場を等間隔に配置する。

3.2.2. 視線ベクトルの放射

視線ベクトルの放射配列は、既往研究を参考にすると、緯度経度格子、正二十面体基準格子、フィボナッチ格子の三種類が候補として上がるが、下川ら³⁾の研究に拠れば、フィボナッチ格子がオブジェクトの見えの大きさにおける精度が最も高い^{注1)}ため、本研究ではこのフィボナッチ格子を採用することとした。

また、本研究では街路歩行時の視覚体験に着目しているため、観測者の方向を考慮する必要がある。そこで、視線ベクトルは全球ではなく、進行方向を中心とした半球に放射(Fig.1)することとした。進行方向の定義は、視点場における経路の接線方向とした。

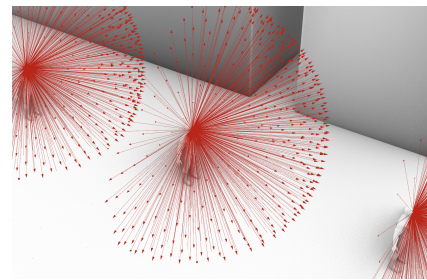


Fig.1 経路上の視点場から視線ベクトルを放射

3.2.3. 視線ベクトルのオブジェクトとの当たり判定

視点場から放射した視線ベクトルとオブジェクトの当たり判定(Fig.2)を行う。オブジェクトはPlateauからインポートしたLOD1の都市モデルの建物メッシュと地形メッシュである^{注2)}。当たり判定が無い視線ベクトルは空へ抜けているものと判断する。

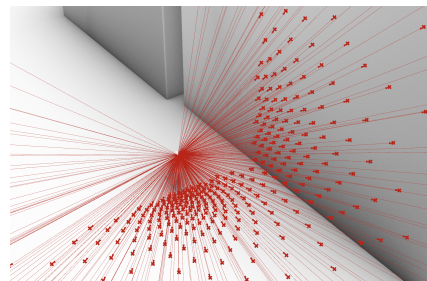


Fig.2 視線ベクトルとオブジェクトの当たり判定

3.2.4. 指標の算出に必要な生データの抽出

算出する指標である「非類似度」は、視線ベクトルが持つ二つの特性：視距離・属性情報についてそれぞれ算出される。そのため、当たり判定後の視線ベクトルとオブジェクト衝突点のデータから、上記二つの特性を抜き

出す必要がある。

3.2.4.1. 視距離の抽出

視距離は、視点場とオブジェクト衝突点間の長さを計算することで求める。この時、衝突点が存在しない視線ベクトルは<null>（値なし）として処理する。

3.2.4.2. 属性情報の抽出

視線ベクトルの属性情報は、視線ベクトルとオブジェクトの衝突点がどの属性のオブジェクトメッシュ上に存在しているかを調べることで求める。衝突点が存在しない場合は、空の属性を付与する。

3.2.5. 指標の算出手法

前述の定義通り「非類似度」を算出する上で、視点場 N-1 の視線ベクトル i と視点場 N の視線ベクトル j について、重み付け係数 W_{ij} 、視距離における非類似度評価関数 L_{ij} 、属性情報における非類似度評価関数 S_{ij} の設定を行う。

3.2.5.1. 重み付け係数の設定

重み付け係数 W_{ij} は以下の要件を満たす必要がある。

- 二つの視線ベクトルの成す角が大きければ大きいほど小さくなる。
- 二つの視線ベクトルが同じ方向を向いている（成す角が 0 である）時も定義可能である。

これらを踏まえて、以下のように W_{ij} を設定する。

$$W_{ij} = 1/(1 + \theta_{ij})^p$$

θ_{ij} 視線ベクトル i と j が成す角
 p 0 以上の実数

今回は、やや恣意的な選択であるものの、 θ の単位はラジアンとし、 $p=3$ を分析を進めるための仮の値とした。

3.2.5.2. 視距離における非類似度評価関数の設定

視距離における非類似度評価関数 L_{ij} を定式化する前段階として、遠方まで伸びている視線ベクトルの「非類似度」算出への影響力を下げる操作を行う。これは、人の視知覚は近景の影響が大きく想定されるためである。具体的には、視距離と立体角の関係 (Fig. 3) から、視距離を視覚評価値に変換する。立体角 Ω は $0 \sim \pi$ の値域を取るので、 $0 \sim 1$ の値域を取るように正規化を行うと視覚評価値は以下ようになる。

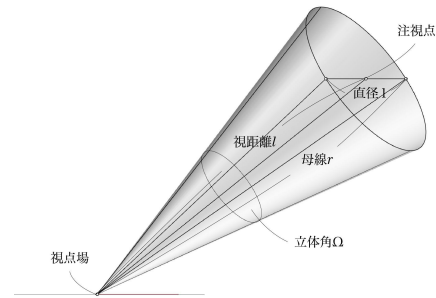
$$1/(4l^2 + 1)$$

よって、 L_{ij} は以下のように定式化できる。

$$L_{ij} = |1/(4l_i^2 + 1) - 1/(4l_j^2 + 1)|$$

l_i 視線ベクトル i の視距離
 l_j 視線ベクトル j の視距離

この時、視線ベクトルがオブジェクトと衝突点を持たない場合は、視距離が無限大に発散していると考え、視覚評価値を 0 として処理を行う。



$$\Omega = \pi/4r^2 = \pi/(4l^2 + 1)$$

Fig. 3 視距離と立体角の関係

3.2.5.3. 属性情報における非類似度評価関数の設定

属性情報における非類似度評価関数 S_{ij} は、以下のように定式化できる。

- 視線ベクトル i と j の属性情報が同じである時
 $S_{ij} = 0$
- 視線ベクトル i と j の属性情報が異なる時
 $S_{ij} = 1$

4. ケーススタディ

上記の通り開発した「非類似度」算出ツールを用いて、その有効性や課題を確認するべくケーススタディを行う。対象エリアは、神楽坂の大通りから路地へと入る経路とした (Fig. 4)。また、視点場は 5m 間隔で経路上に配置し、各視点場から放射する視線ベクトルの本数は全球に対して 1000 本^{注 3)}とした。

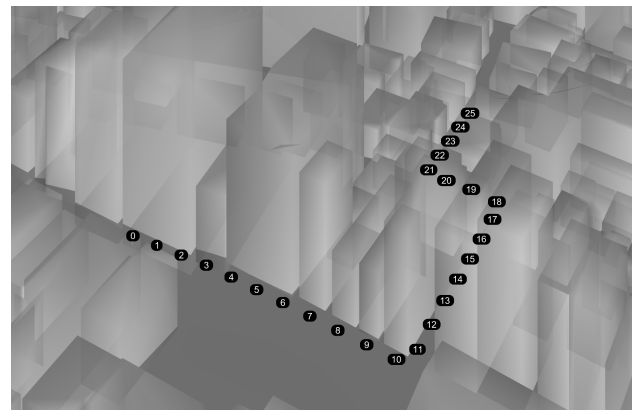


Fig. 4 ケーススタディを行う神楽坂の経路

5. ケーススタディの結果と考察

視線ベクトル単位の「非類似度」を表すヒートマップを、視距離と属性情報それぞれについて、各視点場上に描写した (Fig. 5, 6)。このヒートマップは、視点場から進行方向の視界についての「非類似度」を表現している。その意味するところとしては、一つ前の視点場と比較した時に、どれだけその視点場の特定の方向の可視領域特性が変化しているかということである。

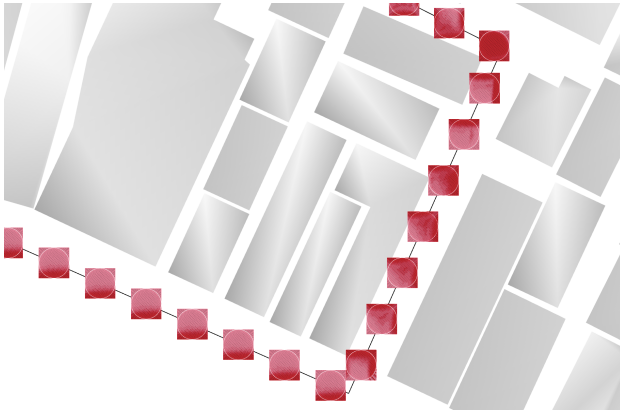


Fig. 5 視距離における「非類似度」ヒートマップ

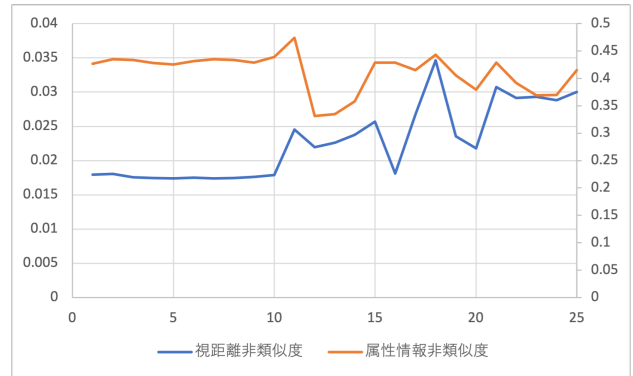


Fig. 7 視点場単位の「非類似度」の変化



Fig. 6 属性情報における「非類似度」ヒートマップ

続いて、視点場単位の「非類似度」の経路上変化を表すグラフを出力した(Fig. 7)。このグラフが示唆していることとしては、非類似度が連続的に低い箇所は単調な景観であり、逆に急激に高い箇所は景観の連続性が無く落ち着かない景観であるといったことである。筆者の想定としては、適度な大きさの「非類似度」を連続的に示す街路が、奥行きのある空間体験を提供する、東京の下町の路地的な景観ではないかと考えている。

これら上記の可視領域特性の分析により、街路空間の視覚体験変化を客観的な数値で捉えることができた。しかし、算出した「非類似度」が人間の視覚に馴染みのある数値でないため、心理量の基準となる数値を策定することが今後必要であろう。

6. 総括・展望

本研究は、街路歩行時に視覚体験がシークエンシャルに変化していく様を、「非類似度」という数値で定量的に把握する分析ツールの開発を行い、ケーススタディを通してその有効性を検証した。技術的な側面では、ある程度簡素な 3D 都市モデルに対して、比較的少数の視線ベクトルでの分析は有効に行えることが確認できた。今後の本分析ツールの応用については、「非類似度」の心理量に対する基準値を策定するために、いくつか典型的に作成した仮想都市モデル上で分析を行うことや、人の行動データとの相関をとることなどが挙げられる。

[注釈]

注 1) オブジェクトに対して衝突する視線ベクトルの本数から算出した見えの大きさの、そのオブジェクトを球面投影した実際の見えの大きさに対する誤差は、フィボナッチ格子が基本的に一番小さい。

注 2) 将来的には植栽・水面のモデルを加える、LOD 2 以上のより精度の高い都市モデルを用意するなどにより、より現実世界に近い精緻な分析を行うことを検討している。

注 3) 本研究と同様にフィボナッチ格子を用いた可視領域分析の既往研究では、視線ベクトル数は全球に対して 5 万本程度であるのに対し、本研究の視線ベクトル数は非常に少ない。この理由は、本研究で用いている都市モデルが非常に簡素であり、その精度に合わせていること、加えて視点場の数が多いため、分析の計算負荷を軽減することが挙げられる。

[参考文献]

- 1) M. L. Benedikt: To take hold of space isovists and isovist fields, Environment and Planning B, Vol. 6, No. 1, pp. 47-65, 1979
- 2) 大竹大輝, 門内輝行: 可視領域分析シミュレーターの構築-3 次元可視分析を用いた建築・都市空間の視覚特性とそのアフォーダンスに関する研究(その 1)-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E, pp. 805-806, 2012
- 3) 廣瀬寛騎, 下川雄一: フィボナッチ格子による視線ベクトル配列を用いた建築空間の視界幾何特性分析ツールの開発, 日本建築学会計画系論文集, 第 83 巻, 750 号, pp. 1611-1621, 2018. 8
- 4) 楨文彦, 若月幸敏, 大野秀敏, 高谷時彦: 見えがくれる都市, 鹿島出版会, 1980
- 5) 島原万丈ほか: Sensuous City[官能都市]-身体で経験する都市; センシュアス・シティ・ランキング, LIFULL HOME'S 総研, 2015