

# 潜在的眺望

## 空間内から窓を通して見える眺望領域の記述手法

### Potential Prospect

Describes the prospect area that can be visible through windows from the architectural space

○安田 溪<sup>\*1</sup>, 和田 大輝<sup>\*2</sup>, 三浦 研<sup>\*3</sup>  
Kei YASUDA<sup>\*1</sup>, Hiroki WADA<sup>\*2</sup> and Ken MIURA<sup>\*3</sup>

- \*1 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 助教・修士（工学）  
Assistant Professor, Department of Architecture, Kyoto University, M. Eng.
- \*2 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士課程  
Graduate student, Department of Architecture, Kyoto University
- \*3 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士（工学）  
Professor, Department of Architecture, Kyoto University, Dr. Eng.

キーワード：眺望；内部景観；窓；借景；可視性

**Keywords:** prospect; landscape from inside; projection; window; borrowed scenery; visibility

#### 1. 序論

屋内から窓を通して屋外を見たときに得られる眺望について考える。屋内を移動すると見える眺望は変化する。それでは、屋内のある領域から屋外を見たときに得られる眺望の範囲はどのように記述できるか？すなわち、1つの視点からだけではなく、その視点が動いた時に見える眺望を重ね合わせた領域を求めたい。本研究では、空間内を移動したときに観測できる眺望を重ね合わせたものを「潜在的眺望」と呼ぶこととし、この潜在的眺望をみることができる範囲を記述することを目的とする。

ある視点から見える領域を記述する方法は isovist（可視領域）と isovist field に基づく方法<sup>1)</sup>が一般的といえる。ところで、 $10^{-2} \sim 10^1$  m 程度の建築空間のスケールでの視点の移動に対して、 $10^2$  m 以上の遠い距離、都市空間スケールの可視領域を記述するのは技術的に難しい。

理由の1つは、建築空間スケールの細かい精度で、都市空間スケールの大きな範囲の3Dモデルを用意するのは、データサイズと実測の労力の点で難しい。加えて、用意した3Dモデルの全ての領域が一つの視点から見えるわけではないため無駄が多い。

理由の2つめは、isovist が小さいスケールと大きいスケールを同時に扱うことが難しいことである。眺望として見える領域は空といった無限遠を含む。これに対して、例えば2次元の isovist の面積（見える領域の面積）は、非常に大きな視距離を取った場合、微小な建築空間内の変化が無視できる程度となる。

そこで本研究では、眺望として見える背景を、仰俯角と方位角のみで定義される大きさを持たない球面と仮定し、その球面の見える領域を眺望とする可視領域モデルを提案する。

これは実用上、実写の背景を全天球カメラ等で撮影した360度パノラマ写真で得られることから、建築計画・設計上でも利用しやすいモデルであるといえる。また、空間内を移動してみられる眺望の範囲を記述できれば、空間と窓の関係をデザインするのに役立つ。

ただし、背景を球面と仮定する場合には、視対象までの距離と、視点の動ける範囲に限界がある。この点についても考察する。

#### 2. 眺望・潜在的眺望および空間のモデル化

視点  $v$  は領域  $V$  を動く。背景は視点を中心とした方向のみの極座標、言い換えると大きさをもたない球面として定義する。この球面（方向の集合）を背景球面  $Q$  とする。視点  $v$  に対して、視線を通さない障害物  $O$  があり、 $v$  から方向  $p$  への視線  $\vec{vp}$  を取ることができる。このとき、視点  $v$  からの眺望  $P_v$  は次のように定義できる。

$$P_v = \{p \in Q \mid \vec{vp} \cap O = \emptyset \quad p \text{ is visible from } v\}$$

これを用いて、潜在的眺望  $\Omega$  は次のように定義する。

$$\Omega = \bigcup_{v \in V} P_v$$

これについて図1に示す。潜在的眺望は言い換えると、多視点からの眺望の重ね合わせである。また、isovist という isovist field に相当する。人は同時に一つの視点からしか眺望を経験できないが、建築空間を移動することでさまざまな視点からの眺望を経験する。その眺望経験の総体をモデル化しようとする試みである。

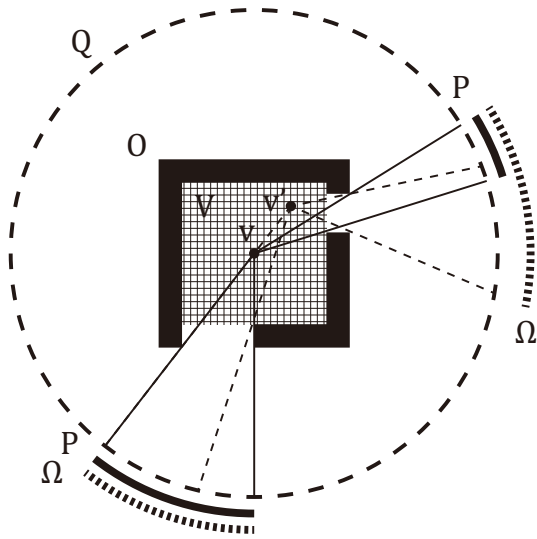


図1 潜在的眺望の概念図

### 3. 実装

#### 3.1. 入力と出力

前章で眺望の見える範囲は視線を遮る障害物の残余としたように、窓は単に四角形であるわけではなく、壁厚やサッシによって変化する。また窓より手前にある家具や柱等の障害物によって分割・隠蔽される。このような複雑な重なりの上で成立する、外部空間をみるための「窓」を考慮するために、3D モデリング上で得られる透視図（以下パース）を入力として用いる。

また出力については、背景球面  $Q$  は全方位であるため、正距円筒図法の 360 度パノラマ画像とする。

#### 3.2. パース画素列からパース $xyz$ 座標系への変換

パース画像は左上を始点として、横  $n_h$  ピクセル、縦  $n_v$  ピクセルの画像となる。画像中心が光軸であり、画角が横  $2\lambda_h$ 、縦  $2\lambda_v$  として与えられている。この画像のそれぞれのピクセルを  $xyz$  座標系に変換する。

視点  $v$  を中心とする右手系  $xyz$  座標を考える。 $x$  方向を前、 $y$  方向を左、 $z$  方向を上とする。パース画像は  $v$  から  $x$  方向に  $f > 0$  離れた位置<sup>注1)</sup>に正対しておくとする、横縦の大きさはそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} s_h &= 2f \tan \lambda_h \\ s_v &= 2f \tan \lambda_v \end{aligned}$$

したがって、画像の横縦の大きさがピクセル数 +1 であることに注意して、横  $h_p$  番目、縦  $v_p$  番目のピクセルの中心

の座標は次のようになる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \\ \frac{s_h}{n_h+1}(-h_p + \frac{n_h}{2}) \\ \frac{s_v}{n_v+1}(-v_p + \frac{n_v}{2}) \end{pmatrix}$$

ただし、パースは必ず  $x$  方向にあるため、 $x > 0$  であることに注意する。

#### 3.3. パース座標系からワールド座標系への回転

パース  $xyz$  座標系は画像中心に向けて設定したが、パースを重ね合わせるため、ワールド  $XYZ$  座標系に変換する。原点はパース座標系と同じく視点  $v$  とする。パースの光軸すなわち  $x$  軸は、 $X$  軸に対して方位角  $\phi_0$ 、仰角  $\theta_0$  で撮られている。<sup>注2)</sup>したがって、 $z$  軸まわりに方位角  $\phi_0$  回転し、回転後の  $y$  軸まわりに仰角  $\theta_0$  回転する<sup>注3)</sup>順のオイラー角による変換によって、 $XYZ$  座標で表現できる。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathbf{R}_z(\phi_0)\mathbf{R}_y(-\theta_0) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

ただし、

$$\mathbf{R}_z(\phi_0) = \begin{pmatrix} \cos \phi_0 & \sin \phi_0 & 0 \\ -\sin \phi_0 & \cos \phi_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_y(-\theta_0) = \begin{pmatrix} \cos -\theta_0 & 0 & -\sin -\theta_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin -\theta_0 & 0 & \cos -\theta_0 \end{pmatrix}$$

#### 3.4. ワールド座標系からワールド極座標系への変換

背景球  $Q$  に投射するために、極座標系に変換する。方位角を  $\phi$  ( $-\pi \leq \phi \leq \pi$ )、仰角を  $\theta$  ( $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ ) とする。

$$\begin{pmatrix} r \\ \phi \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \\ \arctan2(Y, X) \\ \arcsin \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \end{pmatrix}$$

#### 3.5. ワールド極座標系から正距円筒図法画素列への変換

正距円筒図法画像は横 2 縦 1 の比率の画像である。画像中心を  $X$  軸方向として定める。画像の横縦のピクセル数をそれぞれ  $m_h, m_v$  とし、横  $h_e$  番目、縦  $v_e$  番目のピクセルを求める。

$$\begin{aligned} h_e &= \frac{m_h}{2} - \frac{\phi}{2\pi}(m_h + 1) \\ v_e &= \frac{m_v}{2} - \frac{\theta}{\pi}(m_v + 1) \end{aligned}$$

#### 3.6. Python および OpenCV による実装

以上の変換により、パース画素列  $h_p, v_p$  から正距円筒図法の画素列  $h_e, v_e$  への変換を求めることができた。これを Python および OpenCV で実装することができる。OpenCV では `remap` 関数を用いて画像を変換することができる。

この変換の行列を  $\text{map}$  と呼ぶ。ただし、この関数を利用する場合は、 $\text{map}$  を逆の手順、すなわち  $h_e, v_e$  から  $h_p, v_p$  を求める手順で計算しておく必要がある<sup>2)</sup>。

#### 4. 変換の実験と結果

対象は京都市内の住宅地における住宅とした。その住宅の道路境界上 2.7m より撮影した 360 度パノラマ画像を図 2 に示す。この画像を背景球  $Q$  とみなすことができる。方位角 20 度の方向に道があり、その道の先に仰角 17 度程度の山がある。例えば、この山を望めるように開口をさだめることを設計目標とすることができる。

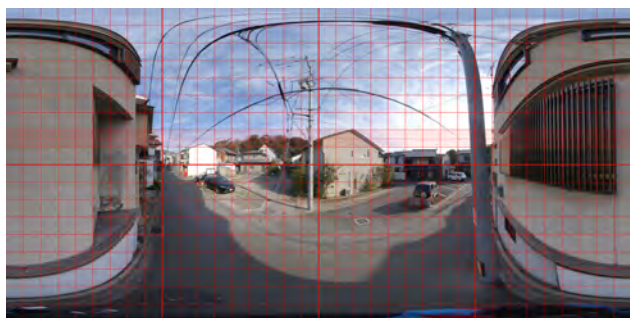


図 2 対象の道路境界上 2.7m より撮影した 360 度パノラマ画像。insta One X にて撮影。道路に対して直交する方向を画像中心とした。方位角・仰角にたいして 10 度ごとにグリッドラインを引いている。方位角左に 20 度の方向に道があり、その道の先に仰角 17 度程度の山がある。この山を望めるように開口をさだめることが設計目標となる。

この住宅をリノベーションすることを想定して Rhinoceros を用いて 3D モデルを作成した。このときの内部から外部を見るパースの一つを図 3 に示す。このパースのうち、窓越しに見える空白の部分が眺望  $P_v$  である。単に窓の形が見える眺望の形態というわけではなく、軒庇や壁で隠れる部分があることがわかる。



図 3 3D モデルの内観のレンダリング画像。窓越しに屋外が見える部分は png で透明としている。縦横比率は 1 : 1 で、画角は縦横ともに 35mm 換算 20mm としていて、 $2\lambda_h = 2\lambda_v \approx 84$ 度である。

このパースを正距円筒図法にマッピングしたものを図 4 に示す。このパースの眺望部分のみを抽出することで、眺望  $P_v$  の正距円筒図法へのマッピングができる。背景球  $Q$  は視点  $v$  によって不変と仮定するため、さまざまな視点から眺望をとって重ねることによって、潜在的眺望  $\Omega$  を得ることができる。この中央の窓についての潜在的眺望を図 5 に示す。58 の  $v$  からパースを取得した。視点の高さは床から 1.5m として、座席に座る部分は 1.2m とした。視点の位置はこの窓がおおよそ見える部分  $V$  として、 $V$  の内側におおよそランダムに生成した。パースは全てこの窓の中心方向を光軸、すなわち画像中心としている。

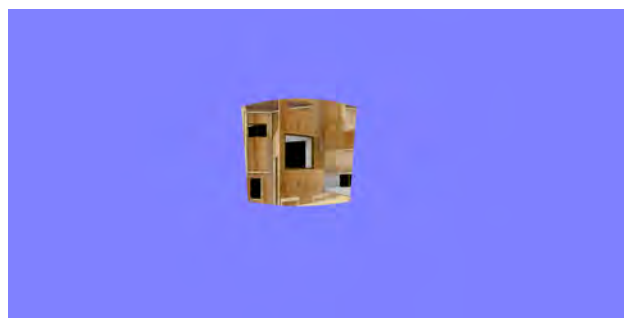


図 4 図 3 を正距円筒図法にマップしたもの。パースの光軸は少し上を見ているため、中心より少し上に位置し、背景球  $Q$  にマップするため、輪郭が曲線となっていることがわかる。



図 5 中央の窓に関する潜在的眺望  $\Omega$ 。58 の  $v$  からパースを取ったものである。視点の高さは床から 1.5m として、座席に座る部分は 1.2m とした。ただし視点によってはこの窓越しに外部が見えないものもあるため、実際にかさなってるものはもう少し少ない。上画像の黒部分が窓を重ねたものである。この画像数だとまばらになっていて、ギザギザしている。下画像はこの黒部分をなめらかに繋ぎ、潜在的眺望として得られる範囲を示したものである。設計目標とする山並みを潜在的眺望として得られていることがわかる。

## 5. 本手法を適用できるスケールと限界

本手法は視対象までの距離と、視点の動ける範囲に限界がある。背景球  $Q$  を視点にかかわらず一定としているが、実際には移動すると近くにある視対象ほど、方位角・仰俯角が変化するからである。以下では仰俯角を  $\theta = 0$  として方位角  $\phi$  のみの  $xy$  平面で考える。

問題は、視差  $\phi_d$  を一定以下、例えば 1 度以下とするための、視対象までの距離  $D$  に対して移動できる範囲を求めたい。 $v$  から移動した視点を  $v' = (x, y) = (\alpha D, \beta D)$ 、その方位角を  $\phi'$  とおく。

$$\begin{aligned}\phi_d &= \phi - \phi' \\ &= \phi - \arctan \frac{\sin \phi - \beta}{\cos \phi - \alpha}\end{aligned}$$

例えば視対象が方位角 10 度にあり、視差が  $|\phi_d| \leq 2 \text{ deg}$  である領域を計算すると、視対象への距離  $D$  に対する  $v$  から移動できる範囲の比率  $\alpha, \beta$  は図 6 のようになる。視点  $v$  から視対象方向の光軸上は視差が生じないが、そこから横にずれると方位角の視差  $\phi_d$  は大きくなる。

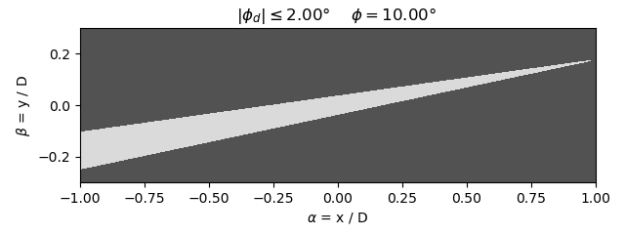


図 6 視対象への距離  $D$  に対する  $v$  から移動できる範囲の比率  $\alpha, \beta$ 。視対象が方位角 10 度にあり、視差が  $|\phi_d| \leq 2 \text{ deg}$  の場合を示している。

視差 2 度を許容する場合、 $v'$  が  $y$  方向にのみ移動する場合、 $\beta \approx 3.5\%$  となる。すなわち、100m 先の視対象について、方位角の視差を 2 度以下にするには左右方向は 3.5m まで動け、前後方向は建築空間スケール程度どこまでも動けるということである。たとえば 7m スパンの柱割ならば、柱割ごとに背景のパノラマ画像を撮影して考える必要がある。幅 35m の建物ならば、1km 先の視対象を考えるならば一つの背景のパノラマ画像で誤差を無視できる。

## 6. 結論

本研究で提案した眺望および潜在的眺望の概念と手法は、従来の isovist を基本とした手法では記述が難しかった、近距離と遠距離を同時に扱う可視性分析の手法といえる。背景が変わらないという仮定をするため、このモデルで扱うためには視対象までの距離  $D$  と、視点が動く範囲  $V$  の大きさと形態の係に制約があることを考察した。

今後はこの潜在的眺望について、isovist field のようになめらかな場として結果を得るための実装をすすめることや、視点場の方に視対象の見え方についての場を記述する等の拡張を行っていくことが、計画・設計で利用するため有効であろう。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23H01579 の助成を受けたものです。また、建築家西原将氏には「潜在的眺望」の概念と命名について有益な議論をさせていただきました。

## 【参考文献】

- 1) Benedikt, M. L.: To take hold of space: isovists and isovist fields, Environment and Planning B, vol.6, pp.47-65, 1979
- 2) opencv 2.2 documentation: 画像の幾何学変換, (2023.9.27 閲覧) [http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/geometric\\_image\\_transformations.html](http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/geometric_image_transformations.html)

## 【注】

- 注 1)  $f$  はカメラという焦点距離である。これは後に打ち消されるためどのような値でも実装上問題ない。
- 注 2) ここでは光軸すなわち  $x$  軸まわりには回転しないでパースを撮影したとする。
- 注 3) 仰角は  $y$  軸 から見ると、右手系では負の方向の回転（時計回りの回転）となるので注意する。