

開口部と視点の相対位置が開放感に与える影響

- VR を用いた基礎的検証 -

Effect of Relative Position of Opening and Viewpoint on Sense of Openness Basic Analysis Using VR

○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 博士課程

Doctoral 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：開口部，眺望，開放感，可視性，VR

Keywords: Opening; View; Sense of openness; Visibility; VR

1. はじめに

開口部は、採光や通風のためだけでなく、外部に広がる風景を建築内部に取り込むための重要な要素である。開口部の位置が変化すれば、視点から見える風景の大きさや内容が変化し、視点における空間の特質は大きく変化する。

本報では、開口部と視点の位置関係が、視点における開放感にどのように変化するかを検証する。

具体的には、以下のことを行う。

- (1) 開口部を見込む立体角と室内可視容積から開放感を評価する式を提案する。
- (2) 開口部大きさ、視点位置を統御可能な VR 実験により、評価式の妥当性を検証する。

前提として、開放感は、人間が視覚を通して受容する空間の広さの感覚と定義する。また、開放感は視点の位置と向きを定めたうえで定義されるものとする。

本報の評価式は、建築空間内での視点の位置と向きを定めれば、開放感が導出される形となっている。つまり、視点の位置と向きが固定されるオフィスの座席のような場所での、開放感を評価することができ、座席の評価や最適配置問題に応用できる

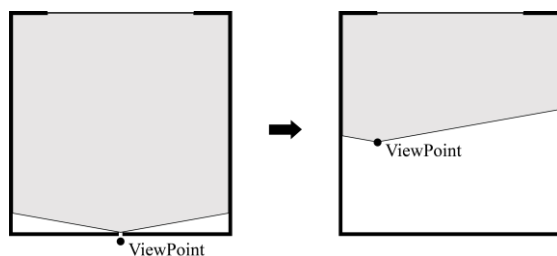


Fig. 1 開放感の一般式の考え方

左：(1)式の開放感評価の前提、右：(2)式の開放感評価の前提

2. 開放感の定式化

2.1. 特定の視点における開放感

乾ら¹⁾は、本報と同定義の開放感を構成する視覚要素を明らかにし、以下の関係式を提案した：

$$S_p = C_1 \cdot L^\alpha \cdot W^\beta \cdot R^\gamma. \quad (1)$$

C_1 は係数、 L は室内作業面照度、 W は開口部を見込む立体角²⁾、 R は室容積を表す。つまり、開放感は、(i)室の明るさ、(ii)開口部の見かけの大きさ、(iii)室の大きさの3つの因子から構成され、それらは、独立して開放感に影響するという式である。

(1)式は、特定の部屋で視点を特定位置に固定した場合における定式化にとどまっている。なぜなら、同室内の全ての視点において、室の大きさ因子が変化しないからである。つまり、室の一部のみ見える位置にいた場合、見えない部分からも、見える部分と同様に、開放感を感じるという非現実な仮定が含まれてしまう。

2.2. 開放感の一般式

本報では、(1)式を参考に、視点位置の変更にも適用できる開放感の一般式を考える。また、(1)式の3つの因子が独立であることから、開口部の見かけの大きさと室の大きさの因子に問題を限定する。

(1)式を視点位置の変更にも適用させるため、室の大きさの因子は、室内の見える部分からのみ影響受けるという仮定を置く。(1)式が室の大部分が見える視点(模型端部ののぞき穴)での式であるため、(1)式の室容積 R を、室内可視容積 V に置き換え、下式を得る(Fig.1):

$$S_p = C_2 \cdot W^\delta \cdot V^\epsilon. \quad (2)$$

後述の通り、本報での W や V の計算方法は、(1)式と異なる。そのため、 C_2 , δ , ϵ は、それぞれ C_1 , β , γ と異なる値をとる。

2.3. 各因子の計算方法

(2)式の開口部を見込む立体角 W と室内可視容積 V は、厳密な数値を求めることは困難であるため、3D-CAD 上で、簡易的に計算できる代替量を用いる。代替量の単位は、一般の立体角や容積とは異なるが、それらとおおよそ比例関係にあるように定義している。つまり、これらの単位の違いは、ここに数式を入力します。係数に吸収される。

本報では、視点から全方位に一樣な間隔でレイを飛ばして視覚情報を数値化する3次元 Isovist により、開口部を見込む立体角 W と室内可視容積 V の代替量を計算した。レイを立体的に飛ばす間隔は、廣瀬ら⁴⁾のフィボナッチ格子球面上にレイを飛ばすモデルを援用した。レイの本数は全球で10000本となるように設定した(Fig.2)。

開口部を見込む立体角 W は、全球に飛ばしたレイのうち、開口部に衝突するレイの本数の割合で代替する。本報では、簡易的な数値化として、 W を下式で代替する：

$$w = \frac{N_W}{N_A} \times 100 (\%). \quad (3)$$

N_A ：全球に飛ばしたレイの本数(10000 本)

N_W ：開口部に衝突したレイの本数

本報で定義する室内可視容積 V は、身体前方方向に視野角水平 160° 垂直 130° で計測する^{注2)}。本来、可視容積は、無限本飛ばしたレイの長さの3乗量に比例する。本報では、簡易的な数値化として、 V を下式で代替する：

$$V = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_v} d_i^3 (\text{m}^3). \quad (4)$$

N_v ：視野の範囲内で室内に衝突するレイの本数

d_i ：視野の範囲内で室内に衝突するレイの長さ

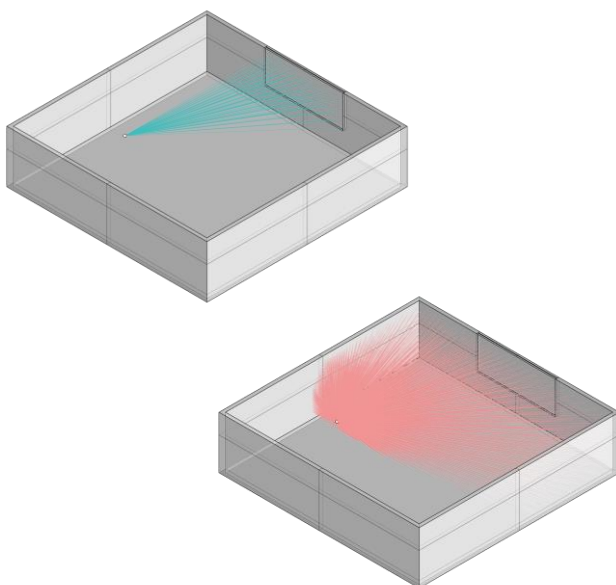


Fig.2 3次元 Isovist を用いた各因子の計算
(上：開口部の見かけの大きさ,下：室内可視容積)

3. VR 実験

3.1. 実験概要

VR 空間上に作成した室内で、マグニチュード推定法による開放感評価実験(実験 i, 実験 ii)を行い、(2)式の妥当性を検証する。実験 i は、開口部の大きさを変更することで、開口部を見込む立体角 W を変数として実験する。実験 ii は、視点位置を変更することで、開口部を見込む立体角 W と室内可視容積 V の2つを変数として実験する。結果として、(2)式の δ と ε を推定する。

実験空間として、開口部の大きさ5段階(開口部1~5)と視点位置6か所(視点A~F)の条件を変更できる室をVR空間上に作成した。室は、事務所ビルの一室として、マテリアル等を想定しており、床面積を心々 $12\text{m} \times 12\text{m}$ で、天井高は内法 3m とした。開口部には 1m の高さの腰壁を設けた。また、開口部から見える外部の風景は空と海としている。これは、視点位置の変更により、外部風景を変化させないための条件設定である。実験条件をまとめて Fig.3 に示す。

両実験とも20代から60代の男女5名を被験者とした。VR環境はUnity2022.3で開発を行った。ヘッドマウントディスプレイ (Meta quest pro/Meta 社)を被験者に装着して、実験空間を体験させた。姿勢は座位で、身体方向を窓方向に固定とし、首の稼働は可能なものとして実験を行った。実験時の被験者の姿勢に合わせて、 W と V は、全条件 FL+ 0.8m を視点の高さとして計算する。

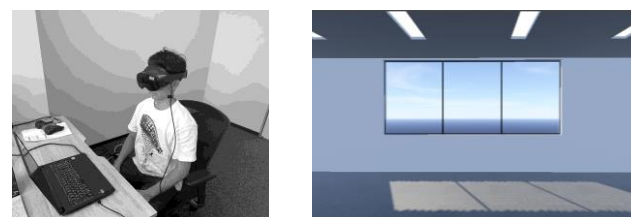
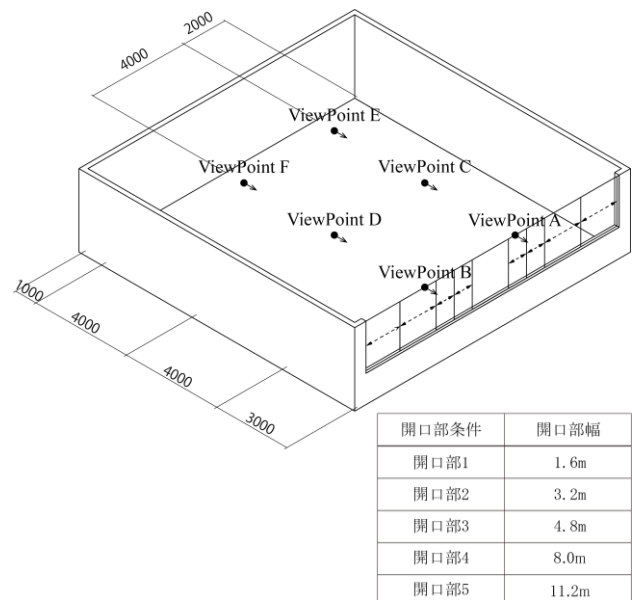


Fig.3 実験条件

3.2. 実験 i

3.2.1. 目的

実験 i では、視点位置を固定して、開口部の大きさを変更する。つまり、室内可視容積 V を固定して、開口部を見込む立体角 W を変数とする。 V を定数とすることから新たに C_3 を次のように定義すると

$$C_3 = C_2 \cdot V^\varepsilon \quad (5)$$

(2) 式は下式のように表せる：

$$S_p = C_3 \cdot W^\delta. \quad (6)$$

実験 i の目的は、(6) 式の W を変化させ、 δ を推定することである。これは、乾らとほぼ同様の検証となっており、VR 実験においても、同様の結果が得られるかの検証を兼ねる。

3.2.2. 手順

まず被験者に、開口部 3(8.0m 幅)、視点位置 D の状態を基準条件として体験させ、そこでの開放感評価値 S_p を 100 とし教示する。続いて、開口部の大きさを開口部 1~5 に変更した条件をランダムな順序で、3 回ずつ繰り返し体験させる。各条件につき基準条件と比較した開放感評価値 S_p を被験者に口頭で答えさせる。回答時間は制限を設けず、なるべく直感的に早く回答するよう指示をした。結果として、1 評価空間につき、15 個の評価値(5 人×3 回)を取得する。

3.2.3. 結果

開口部の見かけの大きさ W と 15 個の開放感評価値 S_p の中央値の両対数グラフ(散布図、回帰直線、95%信頼区間)を Fig. 4 に示す。これらの回帰直線は、よい直線性を示した(決定係数 0.98)。これは、乾らと同様の結果であり、VR 実験においても開放感評価が可能であることが示された。回帰直線の式変形により、(6) 式は以下の式と推定された：

$$S_p \cong 83.2339 \cdot W^{0.7816}. \quad (7)$$

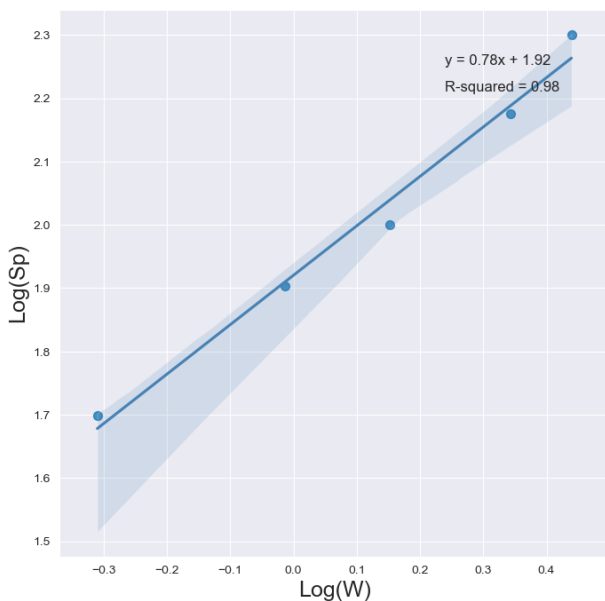


Fig. 4 W と S_p の両対数グラフ

3.3. 実験 ii

3.3.1. 目的

実験 ii では、開口部の大きさを固定して、視点位置を変更する。視点位置の変更により、室内可視容積 V と開口部を見込む立体角 W の 2 つが変数となる。実験 i で、 δ が既に求められていることから、(2) 式を変形した下式の ε を推定を行う：

$$\frac{S_p}{W^{0.7816}} = C_2 \cdot V^\varepsilon. \quad (8)$$

実験 ii の目的は、(8) 式の W と V を変化させ、 C_2 と ε を推定することである。

3.3.2. 手順

被験者に、実験 i と同様の開口部 3(8.0m 幅)、視点位置 D の状態を基準条件として体験させ、そこでの開放感評価値 S_p を 100 とし教示する。これは、実験 i と同様の基準条件を同様の評価値を教示することで、実験 i の開放感評価値 S_p と実験 ii の S_p を同じ尺度で定義するためである。これにより、実験 i で推定した δ を、実験 ii でも用いる。続いて、視点位置を視点 A~F に変更した条件をランダムな順序で、3 回ずつ繰り返し体験させる。各条件につき基準条件と比較した開放感評価値 S_p を被験者に口頭で答えさせる。その他の条件は、実験 i と同様とし、結果として、1 評価空間につき、15 個の評価値(5 人×3 回)を取得する。

3.3.3. 結果

室内可視容積 V と 15 個の $S_p/W^{0.7816}$ の中央値の両対数グラフ(散布図、回帰直線、95%信頼区間)を Fig. 5 に示す。これらの回帰直線は、誤差は大きいものの、両対数グラフで一定の直線性を示した(決定係数 0.88)。回帰直線の式変形により、(8) 式は以下の式と推定された：

$$\frac{S_p}{W^{0.7816}} \cong 3.8102 \cdot V^{0.8924} \quad (9)$$

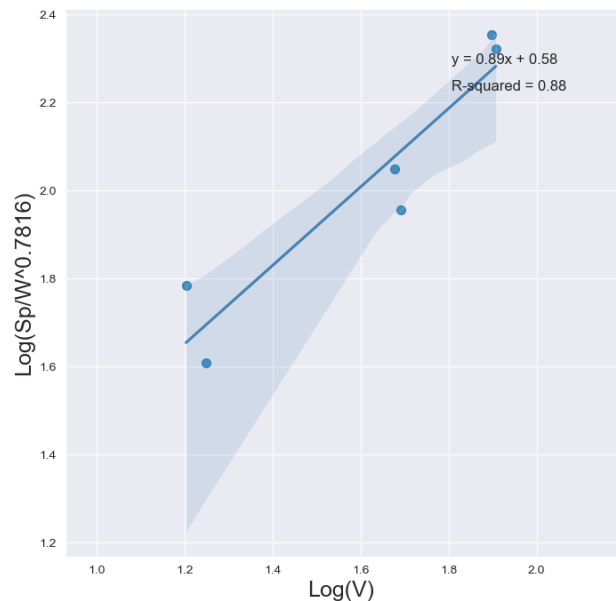


Fig. 5 V と $S_p/W^{0.7816}$ の両対数グラフ

結果として、(2)式のパラメータは以下のように推定された^{注3)}：

$$S_p = 3.8102 \cdot W^{0.7816} \cdot V^{0.8924}. \quad (10)$$

4. 結論・考察

本報では、乾らの式を参考に、開口部を見込む立体角と室内可視容積から開放感を評価する式の素案を提案した。また、小規模な VR 実験を行い、評価式の妥当性の検証を行った。

結果として、VR 実験においても、乾らと同様の結果を導出できることを確認した。そのうえで、開放感は、(2)式のような、開口部を見込む立体角のべき乗と室内可視容積のべき乗の乗算でおおよそ表せることを示した。また、それらのべき指数から、開口部の見かけの大きさ、可視容積共に、開放感について上に凸の増加曲線を描くことを示した。

これにより、単純な矩形の室においても、視点が開口部に近いほど、開口部の見かけの大きさが増して、開放感が増す。一方で、室内の可視容積が小さくなり、開放感が減じられるトレードオフ関係があることが示された。

今後の課題として、実験 ii については、被験者ごとに開放感評価値にばらつきがあり、両対数グラフの線形回帰に一定の誤差が出てしまった。これには、2 変数を同時に動かしたため、条件ごとの開放感の純粋な比較評価が難しかったことが影響していると考えられる。教示内容の改善や実験計画の工夫が必要である。

補足：教示内容

これから空間の開放感に関する実験を行います。ここでの開放感は、私たちが目で見て知覚する空間の広さの感覚です。皆さんがよく使う言葉としては、「広々とした」に相当する感覚です。例えば、締め切った狭い部屋では、窮屈に感じるし、屋外のテラスに出ると広々と感じるでしょう。

今から VR で事務所ビルの一室を体験いただきます。窓の大きさやあなたのいる位置や風景など条件が変化します。窓や部屋の見える大きさなどから総合的に判断して、あなたがいる位置で感じる開放感に主観で点数をつけてください。

最初に基準となる条件を体験いただきます。この条件での開放感の点数を 100 とします。次に条件を変更して体験いただきます。最初の条件と比較した開放感を口頭でお答えください。基準の倍の開放感があると感じれば 200 と、3 分の 1 くらいの開放感と感じれば 33 といった具合です。ランダムな順序で何回か繰り返すので、間違えた評価をしても、その後の評価で修正することが可能です。なので、あまり深く考えずに直感的にできるだけ素早くお答えください。

[注釈]

- 注1) W には、立体角投射率を入れても(1)式の関係が成り立つことが文献 2) で示されている。
- 注2) 報の実験で用いる VR ヘッドマウントディスプレイの視野角(水平 106° , 垂直 96°)に首の稼働角度を加味して決定した。
- 注3) W と V は、通常の立体角と容積とは異なる単位としているため、ここでの係数はあまり意味を持たない。

[参考文献]

- 1) 乾正雄、宮田紀元、渡辺圭子：開放感に関する研究 1、日本建築学会論文報告集、192 号、pp.49-55、1972
- 2) 乾正雄、宮田紀元、渡辺圭子：開放感に関する研究 2、日本建築学会論文報告集、193 号、pp.51-57、1972
- 3) 乾正雄、宮田紀元、渡辺圭子：開放感に関する研究 3、日本建築学会論文報告集、194 号、pp.39-44、1972
- 4) 三宅博行 ほか 5 名：ヘッドマウントディスプレイ上に再現したバーチャル空間と実空間に対する開放感の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.593-596、2022
- 5) 廣瀬寛騎、下川雄一：球面幾何学を用いた 3D 建築モデルの見えの大きさの表現精度、第 40 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、pp.339-342、2017