

# 建物外皮の窓の計画における3次元都市データの利用

真島 凜太郎

## 1. はじめに

建物外皮に設ける窓は、昼光や外気を取り入れるのに必要不可欠であるだけでなく、眺望を得る役割もある。良い眺望は執務者に幸福感を与え、生産性の向上にもつながると言われている<sup>1)</sup>。しかし、現在のオフィス建築において、眺望を意識して窓の計画がなされることはほとんどない。

眺望は窓を通して得られる、室外の状況によって決定される。現在は ZENRIN<sup>2)</sup>や PLATEAU<sup>3)</sup>がいくつかの都市で 3D データの整備を進めている。これを用いることで、設計段階でより詳細に室外の状況を予測することが可能となっている。

本研究では、オフィス建築において、眺望を考慮した窓の計画を行う方法として、3D 都市データから眺望内容を推定し、評価する手法を提案する。また、VR ヘッドマウントディスプレイを用いて被験者に眺望画像を評価させる実験を行い、3D 都市データから得た各物理量から、眺望内容を評価する関数を作成する。

## 2. 眺望性評価に関する既往研究

井上 (2022) は、オフィスの眺望性を評価する眺望性指数 (view quality index) を、眺望量 (view quantity) と眺望内容 (view contents) の関数によって表される評価関数として提案している<sup>4)</sup>。眺望量の要素としては、窓壁比 (壁面の室内側面積に対する窓面の面積比) が挙げられ、眺望の満足度との関係が対数関数によって表された。眺望内容の要素としては、窓外の主要対向物までの距離、空が占める割合 (空視率) と植物が占める割合 (緑視率)、光の時間変化などが考えられた。緑視率と眺望の満足度の関係、窓の外への主要対向物までの距離とそれに対する気になる度合いを表す関数はここで提案されているが、空視率や、スカイラインに関する分析は行われていない。

Hellinga (2014) は、見えているレイヤーの数や、対向建物のファサード面の状態を考慮してフローチャートによって眺望を分類し、0 点~12 点で評価する方法を提案している<sup>5)</sup>。この方法では、眺望要素を含むか否かを考慮し、眺望要素の量は考慮されていない。また、評価する眺望はオフィスに限っていない。

## 3. 3D 都市データを利用した眺望推定、評価ツール

3D 都市データから、対象敷地の周辺の状況を推定し、外皮の計画段階で眺望を意識するための指標を提示するツールの作成を目標とした。

Unity 内に 3D 都市モデルと計画中のオフィスビルの 3D モデルを配置する。実行すると、オフィスビルのファサード面から、一定間隔ごとに垂直に光線 (Ray) を飛ばし、光線が物に当たるまでの距離と当たったオブジェクトの種類を判定し、出力するプログラムを作成した。当たったオブジェクトの種類は、建物、地面、緑に分けて判定する。600 m 以上光線が物に当たらない場合は空と判定した。光線を出力する間隔や数は自由に設定できる。出力結果を図 1 に示す。この図は、ファサード面に対する周辺状況を、視覚的に伝えることができる。

同様に指定した間隔ごとに上下 50°、左右 60° の間で放射状に光線を飛ばし、空視率と緑視率を取得し、出力するプログラムを作成した (図 2)。

このように、3D 都市データを用いると、ファサード面に対して、周辺の眺望要素の様々な量を得ることができる。本研究の実験では、このようにして得た眺望要素の量から、眺望を評価する関数を作成することを目的とする。



図 1 周辺状況の可視化

階	高さ	空視率								高さ	緑視率							
10	39.2(m)	38	38	34	36	34	31	30	39.2(m)	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	35.2(m)	35	35	31	32	33	29	28	35.2(m)	1	0	0	0	0	0	0	0	
8	31.2(m)	33	31	27	29	30	27	26	31.2(m)	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	27.2(m)	27	27	23	25	26	24	22	27.2(m)	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	23.2(m)	23	22	19	21	23	22	19	23.2(m)	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	19.2(m)	21	20	17	19	20	19	18	19.2(m)	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	15.2(m)	16	17	14	16	17	15	14	15.2(m)	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	11.2(m)	12	13	12	14	14	14	14	11.2(m)	7	8	9	9	10	8	5		
2	6.2(m)	8	10	9	8	7	6	6	6.2(m)	31	44	45	45	39	30	20		
1	1.2(m)	0	0	0	0	0	1	3	1.2(m)	28	42	41	35	23	20	15		

図 2 ファサードの眺望性能の視覚化

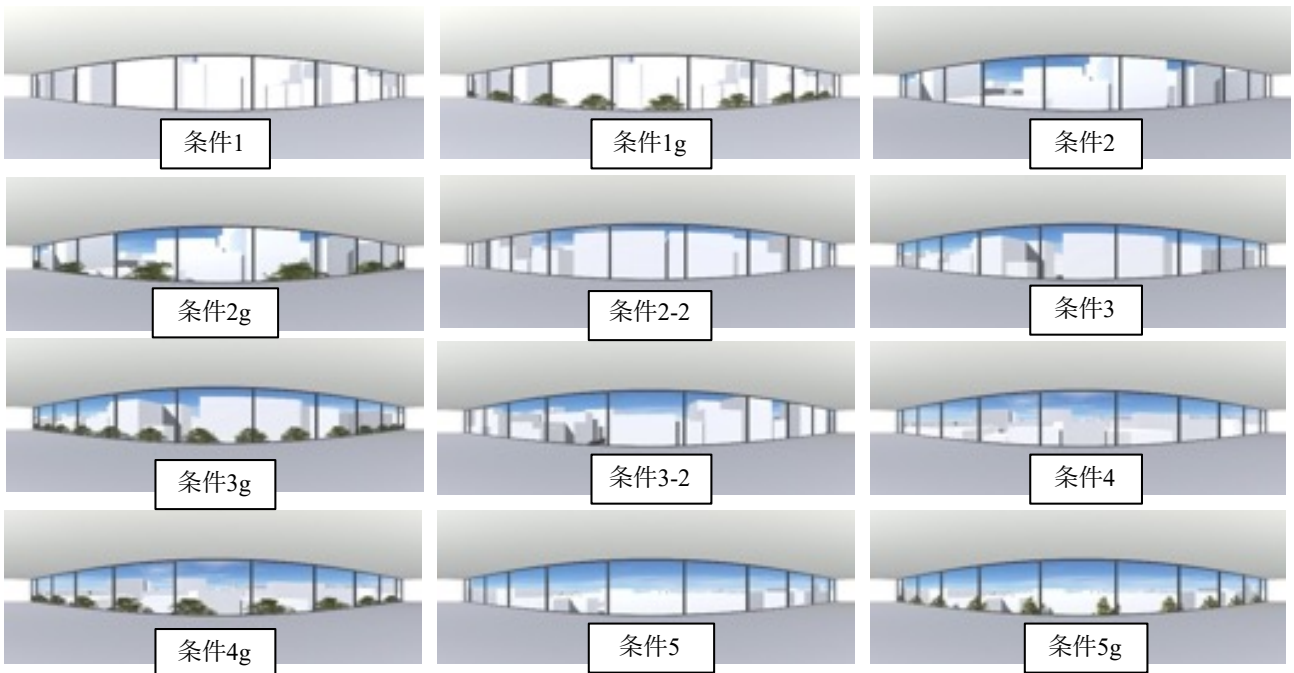


図4 実験画像一覧

#### 4. 眺望内容評価に関する実験

本実験では、眺望の内容の満足度に関して、眺望要素の物理量を変数とする関数を作成することを目的とする。眺望要素の量と、眺望要素に対する満足度は対数関数で表されると仮定した。各眺望要素に対する満足度は、眺望の満足度と線形の関係になり、重回帰分析によって眺望の満足度を予測する式を立てられると考えた(図3)。

そこで、評価者にVRヘッドマウントディスプレイを通じて、窓の外の条件の異なる眺望をいくつか提示し、各要素に対する満足度や眺望の満足度を質問で答えさせる実験をおこなった。各要素の満足度として、空の見える割合の満足度、緑の見える割合の満足度、対向建物の気になり度、奥行き感の4つを質問した。奥行き感とは0~5の6段階で、その他は100点満点で評価させた。また、眺望の満足度の点数に影響を与えた要素を口述で答えさせた。被験者は大学生11名(男性11名)であった。

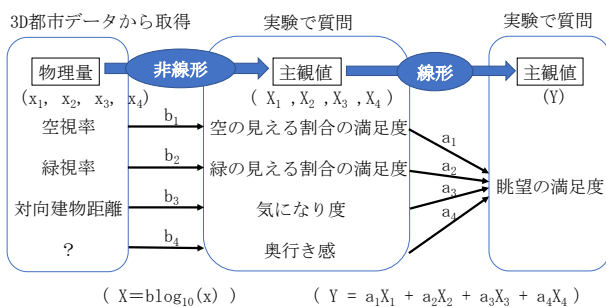


図3 実験の目的

Unityでオフィス室内のモデルと3D都市モデルの配置を変えて12の眺望画像を作成した(図4)。オフィス室内はUnityで作成した。視点は、窓の中心から室内側に4.0mの地点に設定した。3D都市モデルはPLATEAUの東京24区のデータを用いた<sup>6)</sup>。街路樹はUnity Asset Storeからダウンロードした3Dモデルを用いた<sup>7)</sup>。

各条件の実験結果の平均値の一覧を表1に示す。条件2と2-2、条件3と3-2は同じ空視率で、スカイラインが異なる条件だが、奥行き感や、気になり度にも差が出たため、スカイラインの影響を分析することはできなかった。緑視率が18%程度になるように、樹木を加えた条件1g~5gでは、緑の満足度が、平均で50~60程度であった。樹木が含まれていない条件は緑の見える割合の満足度を0とした。

表1 実験結果の平均値一覧

条件	気になり度	奥行き感	緑満足度	空満足度	満足度
1	86	1	0	6	21
1g	70	2	58	7	48
2	84	2	0	33	38
2-2	76	1	0	25	29
2g	76	3	52	45	53
3	72	2	0	50	51
3-2	56	3	0	54	51
3g	61	3	51	56	59
4	42	4	0	76	68
4g	35	4	56	80	80
5	36	3	0	80	72
5g	28	4	58	85	82

眺望の満足度を目的変数に、空の見える割合の満足度、緑の見える割合の満足度、対向建物の気になり度を説明変数とし、重回帰分析をおこなった。奥行き感を含めると有意値が低くなるため除外した。結果を表2に示す。全ての説明変数の有意値は0.05以下で、R2値は0.72であった。

表2 実験結果の平均値一覧

	係数	標準誤差	T 値	P 値	
切片	46.73	5.939	7.87	1.30E-12	***
Mnd	-0.29	0.061	4.75	5.40E-06	***
GrS	0.19	0.036	5.25	6.20E-07	***
SkS	0.42	0.052	8.07	4.40E-13	***
自由度調整済み R <sup>2</sup> : 0.72					

重回帰分析の結果から、眺望内容の満足度(Stf)と各主観値の値は以下の式で表される。

$$Stf = -0.3Mnd + 0.2GrS + 0.4SkS \quad (1)$$

本実験の条件では奥行き感が、空の見える割合の満足度や、対向建物の気になり度との相関が大きく、重回帰分析に加えることができなかつた。しかし、奥行き感を除いても R2 値はほとんど変化しなかつた。

空の見える割合は、空視率0.4程度で概ね満足された(図5)。関係は対数関数によって表すことができた(式2)。

$$SkS = 97 \log_{10}(x + 0.1) + 100 \quad (2)$$

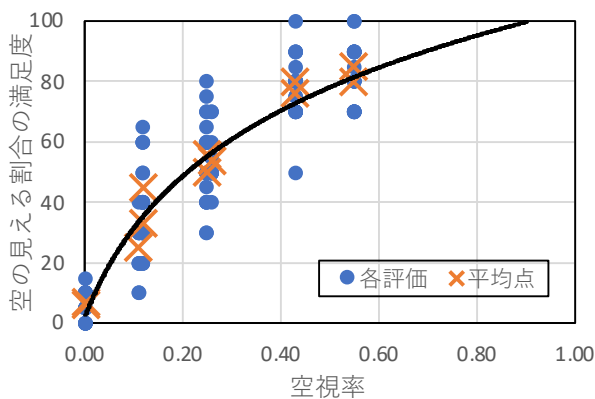


図5 空視率と空の満足度

各条件の対向建物までの距離と対向建物の気になり度は相関が小さく(図6)、以前の実験で得たような対数関数によって表すことはできなかつた。道路を挟んだ向かいの建物ファサードが揃っていない場合、気になり度を対向建物までの距離の関数で表すことは適切でないと考えられる。

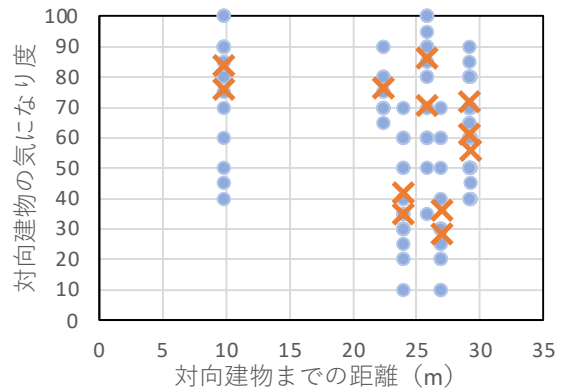


図6 対向建物までの距離と気になり度

そこで、対向建物の気になり度を、対向建物距離のおおよその許容値である30m以内にある建物の面積で表すことができると考えた。人の水平方向の有効視野60°<sup>8)</sup>に含まれるこの建物面積を、視点位置から60m以内の建物の面積の割合(Br)で求め(図7)、気になり度との関係を調べた(図8)。60m以内建物面積率と、気になり度の関係は対数関数で表された(式3)。

$$Mnd = 92 \log_{10}(Br) + 94 \quad (3)$$

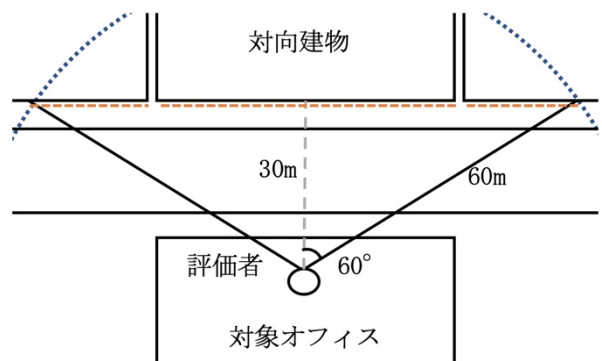


図7 60m以内建物面積率

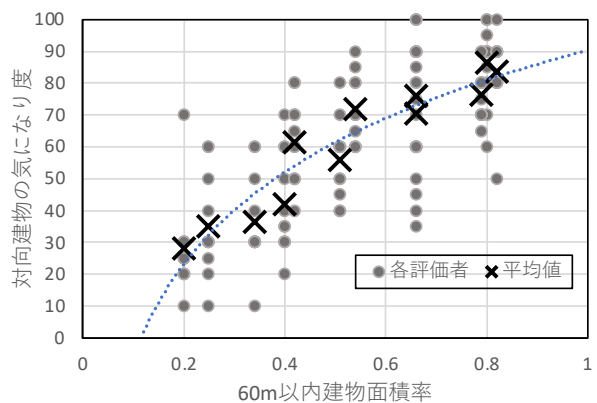


図8 60m以内建物面積率と気になり度

同様に、一定距離以上の建物面積率などで、奥行き感を予測できると考えたが、相関は小さかった。今後奥行き感を関数に加えるならば、奥行き感を表す物理量が必要である。また、奥行き感は0~5の6段階で質問したため、ばらつきが大きくなったと考えられる。

条件1~5を、樹木を含む条件と比較すると、どの条件でも樹木によって眺望の満足度の値が増加しているが、条件1~3では評価のばらつきが大きくなった。また、条件1では樹木による加点が30点と大きく、条件2で半分程度、条件3~5では10点の差であった。何人かの評価者は、樹木を含む画像の方を低く評価した。図9に各空視率ごとの樹木による眺望の満足度の加点幅を示す。自由口述によると、極端に近い位置に樹木は、低い評価の原因になる。

今回の実験の各要素の満足度を、重回帰分析で得られた式1に代入して、眺望の満足度を求めると、緑の満足度の影響が大きくなる空視率0%の条件1gでは実験値と大きく異なった(図10)。仮定のように、眺望内容の満足度と、各眺望要素の満足度は線形の関係にはなっていないことが分かる。

## 5. 考察とまとめ

本研究で作成したツールを用いて外皮の眺望性能が推測できれば、窓の設置高さや、窓ガラスの種類をより適切に選択することができる。今後都市データの整備が進むと、設計段階で利用の幅が広がっていくと考えられる。

空の見える割合の満足度と対向建物の気になり度は、それぞれ空視率とある距離内の建物面積率の対数関数で表すことができた。本研究で用いたオフィスのように天井高3mでフルハイトの窓の場合、空視率は最大で0.6である(図11)。フルハイトの窓で空視率0.6以上の場合は、天井高が3m以上になり、窓は人の有効視野の外に広がる。このような状況も考え、現実のオフィス建築に即した評価方法を作る必要がある。

眺望内容の評価は空視率、緑視率、近景の建物の割合で十分に表せると考える。ただし、緑の見える割合の満足度は、空視率によるため、眺望性指数を1つの関数にまとめるのは難しい。Hellingaによるフローチャートの考え方を検証する必要がある。

## 謝辞

本研究は、株式会社大林組との共同研究である。ここに記して謝意を表す。

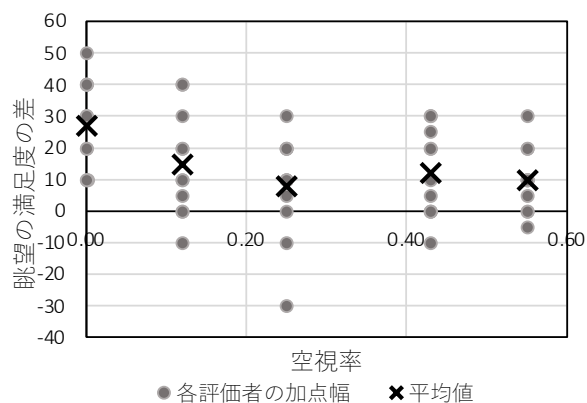


図9 空視率と樹木による眺望の満足度の加点幅

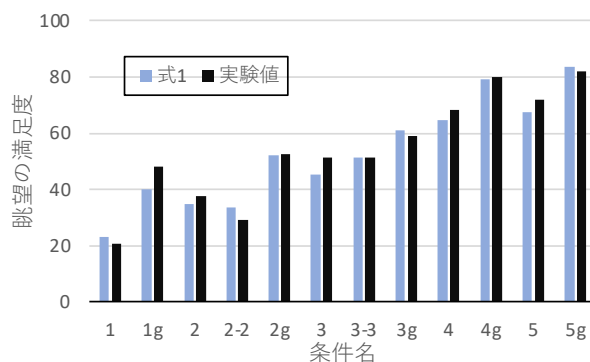


図10 式1と各条件の実験値との差

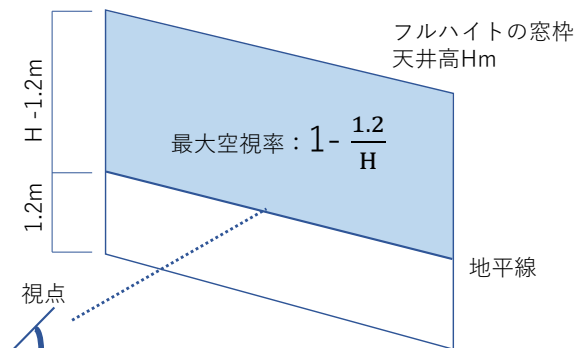


図11 空視率の最大値

## 参考文献

- 1) ヒューマン・スペース, 世界中の職場におけるバイオフィリックデザインの効果, 2015
- 2) ZENRIN City Asset Series™  
<https://www.zenrin.co.jp/contents/product/service/3d/asset/index.html>
- 3) PLAYEAU by milt <https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>
- 4) 井上幹太, オフィス建築における窓の眺望性指数の開発, 2022
- 5) Hester Hellinga, The D&V analysis method : A method for the analysis of daylight acces and view quality(2014)
- 6) G空間情報センター, 3D都市モデル (Project PLATEAU), 東京都23区  
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/plateau-tokyo23ku>
- 7) Unity Asset Store, Mobile Tree Package  
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/mobile-tree-package-18866>
- 8) Human dimension & interior space(1979), 9 Audiovisual Spaces