

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

○廣瀬 寛騎*¹ 下川 雄一*²

キーワード：視線ベクトル 注視点 立体角 一般化螺旋集合 属性情報 BIM

1. 背景と目的

近年、建築分野では3次元モデルを活用したデザイン検討や熱・風等の各種解析ソフトを利用したシミュレーションが活発に行われるようになってきた。最近ではVR技術による空間体験シミュレーションやAR・MRといった実空間と各種情報の重畳技術への期待も高まっている。このような環境性能の検証や可視化による現象としての空間把握は、建築空間の内外において知覚され得る場の特性をより詳細に分析・評価しようとする設計意図の現れとして捉えることができる。これに対し、建物や周囲の景色の見え方、各種対象物との距離、樹木による囲まれ方(緑視率)、特定対象物の可視率など、建物内外において捉えられる視界に映る情報を幾何的に数量化することにより、その空間特性を把握・分析する研究や実例が様々なかたちで存在する。このような研究は、近年頻出するようになった不規則性の高い建築デザインに対してより有効と考えられる。通常の体験や間隔からは理解しづらい建築デザインも、視界構成や距離特性等の観点から分析することにより、図面や模型からは分からない場の特性や通常の建築デザインとの違い等をより明確に確認できる可能性があるからである。本研究はそのような分析をするためのツールの基本機能の開発として位置づけている。また、近年、BIM対応3次元CAD(以降、BIMソフトと呼ぶ)の普及により、建築要素を表すオブジェクト(以降、単にオブジェクトと呼ぶ)の属性情報が活用される場面が増えている。一般的にオブジェクトの属性情報には任意にユーザーが情報を付与で

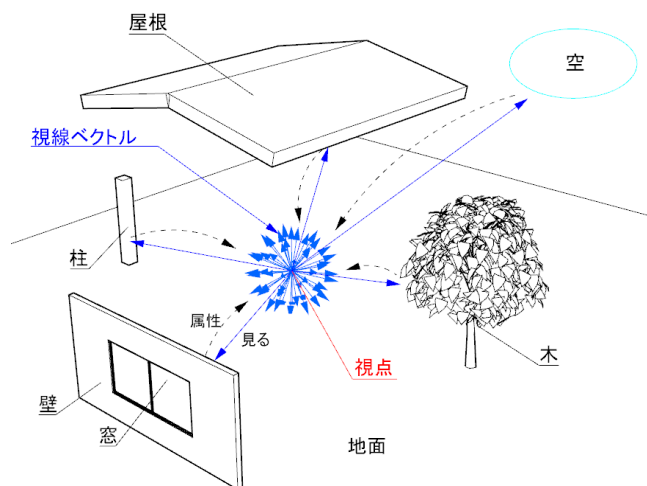


図1 本ツールのコンセプトイメージ

きるフィールドが用意されており、その与え方や活用の仕方によって様々な応用が期待される場所である。

以上のような状況に対し、本研究では属性付オブジェクトの活用を前提とした幾何的な視界特性分析ツールの開発を目指し、今回、その基本機能の開発と精度検証を行った(図1)。

2. 視線ベクトルによる見えの大きさの表現

立体的な物見えの大きさを評価する方法としては立体角あるいは立体角投射率が用いられることが多い。ここでは、今後、よりきめ細やかな建築空間の見え方の分析ツールへの展開を踏まえ、視線ベクトルによる立体角の計算アプローチをとる。

座標空間に3Dオブジェクトを配置し、ある視点から全方向に対して多数の視線ベクトルを一樣な間隔で発生させたと仮定する。この場合、発生する視線ベクトルの数が多いほど、視線ベクトルの総数に対する3Dオブジェクトに当たる注視点数の割合(ここでは衝突率と呼ぶ)はその3Dオブジェクトの見えの大きさ(全周の見えの大きさを100%とした立体角量として考える)に近づくと考えられる。

図2を例に説明すると、3Dオブジェクトの見えの大きさは視点を中心とした球体の表面積に対する壁Aの球面上の写像面積の割合であり、壁Aの立体角SR(A)として式(1)で表すことができる。

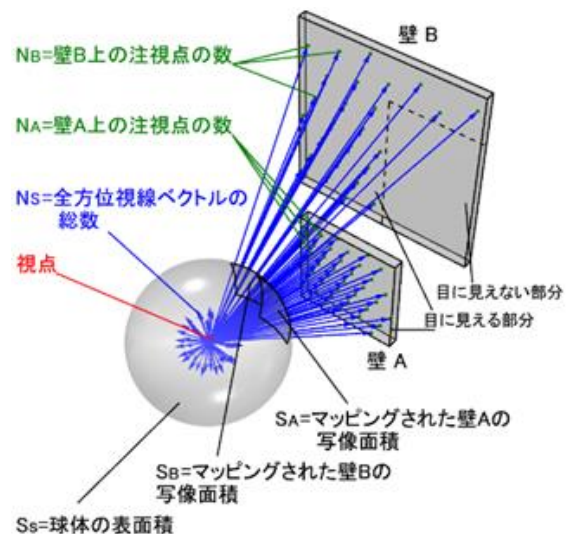


図2 3D オブジェクトの見えの大きさの表現方法

$$SR_{(A)} = \frac{S_A}{S_S} \times 100 (\%) \quad \dots(1)$$

視点から放出された視線ベクトルの総数に対する、壁 A と交わる視線ベクトルの本数の割合は、壁 A の衝突率 $Rg(A)$ として式(2)で表すことができる。

$$Rg_{(A)} = \frac{N_A}{N_S} \times 100 (\%) \quad \dots(2)$$

視線ベクトル群が全方位に完全に一様な間隔で発生され、その数がかなり多いと仮定した場合、衝突率は立体角にはほぼ一致すると考えられる。ここで、立体角と衝突率の誤差 E は式(3)として表すことができる。

$$E_{(A)} = \frac{|Rg_{(A)} - SR_{(A)}|}{SR_{(A)}} \times 100 (\%) \quad \dots(3)$$

式(3)で求められた誤差は、発生する視線ベクトル数の総数が少ない時は値が大きくなり、視線ベクトル数を増やすほどに値が 0 に近づくと考えられ、式(4)で表すことができる。

$$\lim_{N_S \rightarrow \infty} Rg = SR \quad \dots(4)$$

この衝突率により 3D オブジェクトの見えの大きさを算出する方法には、以下の 2 つの課題が挙げられる。

1 つ目は、視線ベクトル数が増えるほど計算負荷が高くなるという点である。可能な限り少ない視線ベクトル数で衝突率が正確な見えの大きさに近づくことが理想であり、どの程度の視線ベクトルを発生させるのが妥当なのかを確認する必要がある。2 つ目は視線ベクトル間の間隔を完

全に一様にすることはできないという点である。この問題は球面上に一様な間隔で点を配置する方法として置き換えることができるものの、既往の関連研究¹⁾²⁾から有益な知見を得ることはできる。

以上のことから、本研究では 3 種類の視線ベクトルの発生パターンを用い、3D オブジェクトの見えの大きさの表現精度の違いを確認する。

3. ケーススタディ

衝突率によって 3D オブジェクトの見えの大きさを計算するためのアプリケーションを Rhinoceros のプラグインである Grasshopper と Human を用いて試作した。

3.1 視線ベクトルの発生パターン

仮説として 3 種類の視線ベクトル発生パターン((a)緯度経度格子、(b)正二十面体基準格子、(c)一般化螺旋集合格子)を取り上げ、各々における見えの大きさの表現精度やその違いを評価する(図 3)。

ここで、一般化螺旋集合格子はフィボナッチ格子とも呼ばれ、黄金角を使用することで容易に発生させることができる。

3.2 視線ベクトルの発生数

3 種類の配置パターンのうち、(c)一般化螺旋集合格子はガイドポイントを任意に指定できるのに対し、(a)緯度経度格子と(b)正二十面体格子はガイドポイントを任意に設定することができない。そのため、(a)(b)(c)の各パターンで視線ベクトルの発生数が近似するように 7 段階に変化させ、衝突率が立体角にいかになづくかを検証する(表 1)。

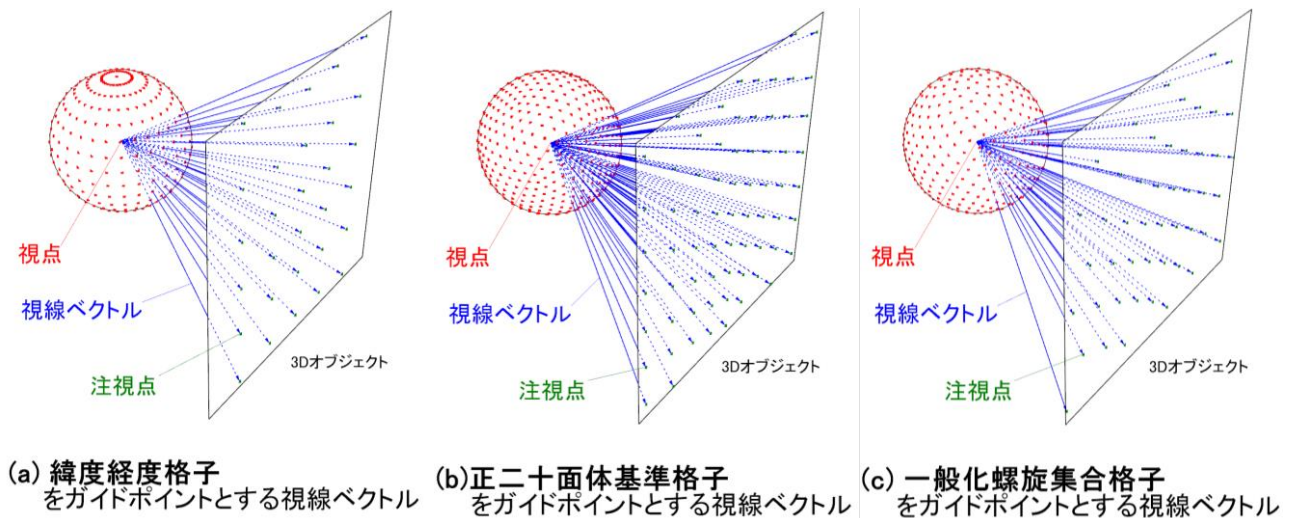


図 3 3 種類の視線ベクトル発生パターン

表1 視線ベクトル発生数ケースと発生パターンの関係

視線ベクトル発生パターン	視線ベクトル発生数ケース						
	1	2	3	4	5	6	7
(a)緯度経度格子	42	146	614	2592	10256	40792	163592
(b)正二十面体基準格子	42	162	642	2562	10242	40962	163842
(c)一般化螺旋集合格子	42	162	642	2562	10242	40962	163842

3.3 検証モデル

検証を行うためのモデルは建築的なスケールにおいて柱や梁を模した、比較的細い縦材と横材の計12個のオブジェクトを対象に行う(図4)。

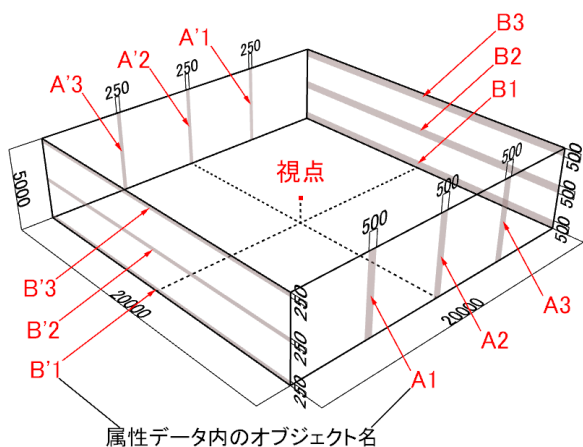


図4 ケーススタディに使用した属性付きの3Dモデル

視点をモデルの中心に配置し、一般化螺旋集合格子を利用して視線ベクトルを低密度(1000本)発生させた場合と高密度(10000本)発生させた場合は次のようになる(図5)。

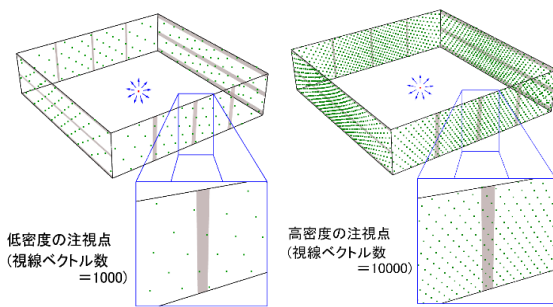


図5 (c)一般化螺旋集合使用時の壁上の注視点

3.4 注視点の配列パターン

ケース5(緯度経度格子パターンで視線ベクトルを10256本、正二十面体基準格子と一般化螺旋集合格子でそれぞれ視線ベクトルを10242本発生させた時)の検証モデルにおける注視点群の発生状況を図6に示す。視線ベクトルの発生パターンや各オブジェクトに当たる数に影響していることが確認できる。

4. 検証結果

図4の検証モデルを用い、ケース1~7の各々における正確な見えの大きさを式(1)から、その近似値としての衝突率を式(2)から求め、それらの誤差を式(3)から求めた(図7)。

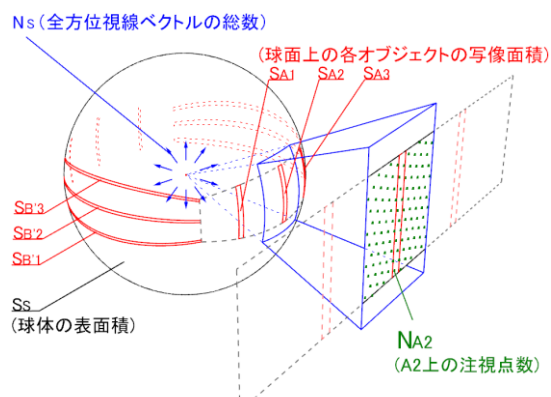


図7 ケーススタディに使用した属性付きの3Dモデル

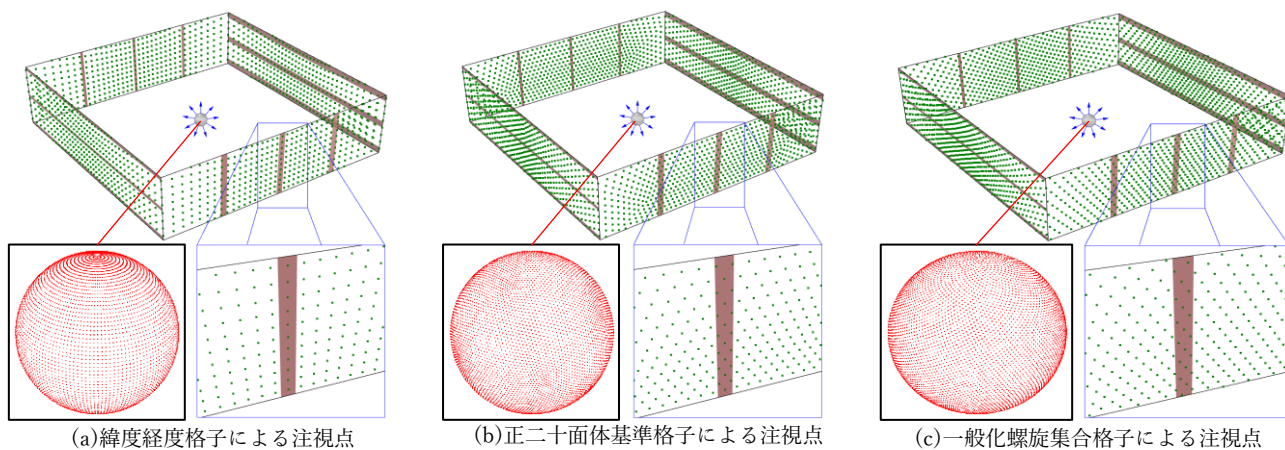


図6 ケース5における注視点の発生例

3種類の視線ベクトル発生パターンを比較した結果、(c)一般化螺旋集合格子が最も誤差が低かった(表2、図8)。同パターンにおいて、視線ベクトル数=40962の時の誤差が1.3%で、視線ベクトル数=163842の時の誤差が0.5%であることから、視線ベクトル数を10万本程度発生させることで誤差1%を下回ることが推測される。

表2: 各オブジェクトにおける衝突率の誤差

オブジェクト名	発生パターン	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
		E(%)	E(%)	E(%)	E(%)	E(%)	E(%)	E(%)
A1	(a)	-	-	-	28.60	28.41	22.13	42.60
	(b)	-	77.69	11.58	29.43	0.75	19.41	21.65
	(c)	-	77.69	11.58	17.62	5.96	1.03	1.19
A'1	(a)	-	-	-	64.30	35.80	38.93	44.43
	(b)	-	88.84	55.79	76.42	11.84	17.04	20.55
	(c)	-	-	55.79	76.42	0.75	2.73	0.74
A2	(a)	-	-	41.39	-	78.01	0.15	41.97
	(b)	91.98	69.07	38.71	22.29	6.88	8.62	9.76
	(c)	-	-	22.57	2.17	2.23	0.26	0.26
A'2	(a)	-	-	70.69	-	10.98	49.81	18.33
	(b)	95.99	84.53	69.35	38.84	39.70	11.11	7.89
	(c)	-	-	38.70	22.31	2.21	0.29	0.93
A3	(a)	-	-	-	28.60	28.41	22.13	42.60
	(b)	-	77.69	11.58	29.43	0.75	19.41	21.65
	(c)	-	77.69	-	11.79	0.75	2.57	0.16
A'3	(a)	-	-	-	64.30	35.80	38.93	44.43
	(b)	-	88.84	55.79	76.42	11.84	17.04	20.55
	(c)	-	-	-	41.19	0.75	0.74	0.16
B1	(a)	-	-	-	4.89	52.56	9.52	50.82
	(b)	-	-	253.34	8.47	8.40	9.97	9.30
	(c)	-	55.42	17.78	8.47	2.81	1.55	0.08
B'1	(a)	-	-	-	11.34	100.45	10.51	55.43
	(b)	-	-	75.67	0.15	3.80	7.77	8.55
	(c)	-	-	56.08	0.15	3.36	0.98	0.37
B2	(a)	-	-	-	-	54.22	20.08	50.94
	(b)	-	-	40.47	29.58	11.73	12.82	11.03
	(c)	-	9.87	28.56	4.97	1.75	1.74	0.16
B'2	(a)	-	-	-	-	7.95	12.37	52.74
	(b)	-	-	70.23	28.72	9.60	10.65	10.11
	(c)	88.31	-	10.69	20.80	9.60	1.76	0.03
B3	(a)	79.04	-	-	0.50	38.32	5.47	51.18
	(b)	-	19.16	6.79	16.23	4.31	0.77	0.41
	(c)	79.04	-	46.60	1.65	2.22	0.77	1.02
B'3	(a)	89.62	-	-	6.72	111.13	8.35	50.79
	(b)	-	-	-	58.22	2.69	3.63	1.04
	(c)	-	59.98	-	20.89	2.69	0.79	0.68
平均値	(a)	84.33	-	56.04	26.16	48.50	19.87	45.52
	(b)	93.99	72.26	62.66	34.52	9.36	11.52	11.87
	(c)	83.68	56.13	32.04	19.04	2.93	1.27	0.48

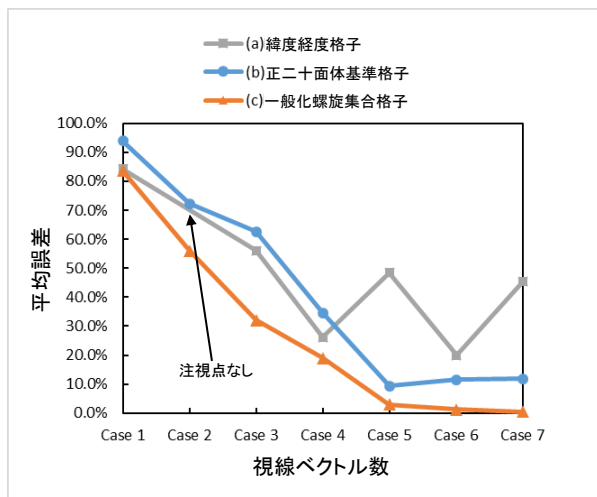


図8 立体角率と衝突率の平均誤差

5. 考察

検証結果から、今回使用した検証モデル程度のスケールであれば、一般化螺旋集合格子を用いることで、見えの大きさを高い精度で求めることができることが分かった。

しかし、各オブジェクトのサイズを変えずにより広い範囲で計算をする場合、精度は低くなると考えられる。

一方で、範囲が広がってもオブジェクトのサイズが同じ割合で大きくなれば、同じ程度の精度が保たれると考えられる。

また、今回の解析は Intel(R) Core(TM) i7-6700K CPU @4.00GHz を使用し、視線ベクトルを10万本に設定し、改めて解析した結果、計算時間は23秒であった。視点数やオブジェクト数が増えるにしたがって計算時間も増えると考えられる。

6. まとめ

本研究では、空間の見えの大きさを高い精度で求めるための視線ベクトルの発生パターンや発生本数について検討した。

その結果、一般化螺旋集合格子を用いて視線ベクトル数を10万本以上発生させることによって、誤差1%程度以下で比較的細い3Dオブジェクトでも見えの大きさを表現できることが分かった。

今後の課題として、計算処理速度の向上や各種視界特性の分析ツールへの展開が挙げられる。

[参考文献]

- 1) 山路敦: 多数の点を球面上に一様分布させるソフトウェア GSS Generator、情報地質 第12巻 第1号 システムソフトウェア開発、pp.3-12、2001年
- 2) 種村正美: 球面上の最適配置の問題、統計数理 第46巻 第2号、pp.359-381、1998年
- 3) Alvaro Gonzalez: Measurement of areas on a sphere using Fibonacci and latitude-longitude lattice, Mathematical Geosciences, 42:49, pp.1-19, 2010
- 4) 大竹大輝、門内輝行: 可視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、2012.9
- 5) 佐藤大樹、高取昭浩、佐藤康弘: 可視率を用いた観客席設計のための舞台への見通し評価手法に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第82巻、第737号、pp.1695-1702、2017.7

*1 金沢工業大学大学院工学研究科建築学専攻 博士後期課程
*2 金沢工業大学環境・建築学部 建築デザイン学科 教授