

自己組織化マップを用いた場所毎の視界幾何特性の類型化 —見えの大きさによる複数建築の横断的分析手法の提案—

Classification of geometric appearance feature on each location using self-organizing map

—Proposal of Cross-sectional analysis method for multiple buildings by apparent size—

○清水 拓也*¹, 下川 雄一*², 廣瀬 寛騎*³
Takuya Shimizu*¹, Yuichi Shimokawa*², Hiroki Hirose*³

*1 金沢工業大学大学院 工学研究科 建築学専攻 学士(工学)

Graduate Student, Kanazawa Institute of Technology.

*2 金沢工業大学 建築学部 建築学科 教授 博士(工学)

Prof., Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 株式会社 BIM LABO 博士(工学)

BIM LABO Co.,Ltd, Dr. Eng.

Summary: It is important to check how each part of the building looks when planning a building. As a conventional examination method, there are many sensory evaluations while looking at a model or a monitor screen, and evaluation axes vary depending on the evaluator and purpose, and it is considered that a qualitative evaluation method can be easily adopted. In response to this, we developed a tool to calculate the apparent size and viewing distance, and classified the calculated data by SOM (Self-Organizing Map). However, no method has been proposed to compare and compare with other architectural works. In order to categorize buildings and clarify their features, the data calculated by the tools were classified using a SOM and compared using a color map. Furthermore, we also compared the clusters belonging to each architectural work and the number of clusters, and examined their characteristics and trends. As a result, the architectural features could be read by setting the appropriate number of clusters. From the above, it was confirmed that cross-sectional analysis may promote objective understanding.

キーワード: 視界幾何特性; 見えの大きさ; 自己組織化マップ; クラスタ; 属性情報; BIM.

Keywords: Geometric appearance feature; Appearance size; Self-organizing map; Cluster; Attribute information; BIM.

1. はじめに

1.1 研究背景と目的

視覚情報は人間の行動に強く影響しており、建築や都市空間の計画を行う際には対象領域内からの周囲の見え方を確認することが重要である。従来は模型やモニターを見ながら感覚的に行うことが多く、評価者や目的によって評価軸も様々であり定性的な評価となりやすい。これに対し、廣瀬ら¹⁾は BIM データ(ここでは、属性情報を持つ3DモデルをBIMデータと定義する)を用いた各種視対象の見えの大きさや視距離など(以降、これらを総称して視界幾何特性と呼ぶ)を算出・可視化する視界幾何特性分析ツール(以降、GAA: Geometric Appearance Analysis と呼ぶ)の開発とその有効性の検証を行った。しかし、GAA では壁など、空間構成要素毎に場所毎の見えの大きさが個別のカラーマップで表示されるため、総合的に場所毎の視界幾何特性の性質や全体的な傾向を把握することが困難であった。これに対し、福元ら²⁾は GAA より

算出した視対象毎の視界幾何特性データを基に自己組織化マップ(以降、SOM: Self-Organizing Map と呼ぶ)を用いて場所毎の視界幾何特性の類型化を行うとともに、場所毎の視界幾何特性の傾向を把握しやすい視界幾何特性クラスタマップの有効性を検証した。ここで、福元ら¹⁾は一つの建築空間を対象とした検証しか行っておらず、他建築作品と比較評価する手法は提案されていない。このことから、本研究では GAA と SOM を用いて複数建築を対象に場所毎の視界幾何特性の横断的類型化を行い、建築作品間の共通性や建築作品毎の固有性を顕在化する手法を提案し、その有効性を検証することを目的とする。

1.2 研究方法

まず、対象となる建築作品群を 15 件選定、モデリングを行う。それらを GAA で解析し、正規化された場所毎の見えの大きさのデータを SOM に適用し、類型化する。類型化に際し、延べクラスタ数を変化させながら、複数の建築作品を比較分析し、考察を進める。

2. 使用ツールについて

2.1 視界幾何特性分析ツール(GAA)の概要

GAA はビジュアルプログラミング環境である Grasshopper を用いて開発されており、任意の視点から全方位に視線ベクトルを放出し、衝突したオブジェクトの属性情報を読み取ることで視界幾何特性を算出するものである。GAA では、視線ベクトルをできる限り全方位に一律に放出させるため、フィボナッチ格子による配列方法を採用している。ここで、ある視点から全方位に発生させる視線ベクトルの総数を N 、3次元オブジェクト A に衝突した視線ベクトルの数を N_A とすると、視点からの A の見えの大きさ(立体角、単位：ステラジアン[sr]) は式(1)で近似することができる。

$$4\pi \times \frac{N_A}{N} \quad \dots \text{式(1)}$$

GAA の機能として、3次元モデルに対して任意の複数視点(通常は 1m 間隔のグリッド状に配置)を配置し、各視点から全方位に視線ベクトルを放出することで視点毎に視界幾何特性を算出することが可能である。算出結果を基に、壁・床・樹木など属性の種類ごとに見えの大きさをカラーマップで表示することができる(Figure.1)。ここで GAA が算出する見えの大きさは全方位を対象としており、人の視野や視線方向は考慮されていない。これは、GAA が空間の包括的な見え方のポテンシャルを可視化・分析することを目的としているためである。

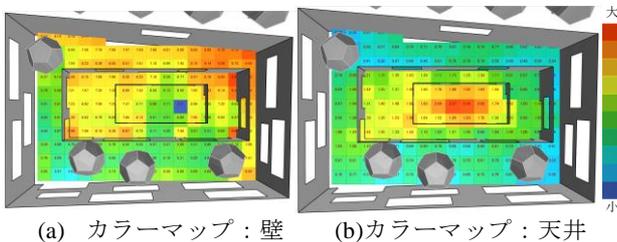


Figure1. Color maps of apparent size calculated by GAA

2.2 自己組織化マップ(SOM)の概要

SOM は、コホネン(T.Kohonen)により提案された教師なし学習アルゴリズムを用いたニューラルネットワークモデルである。入力した多次元データの分布の位相構造を特徴マップと呼ばれる 2次元平面上に非線形写像を行い、データ間の距離でそれらの類似度を計算し、可視化する(Figure2)。本研究では市販の自己組織化マップソフトで、建築分野での使用実績もある ViscoverySOMine7.2 を用いた。本ソフトでは、特徴マップに位置付けられたデータ群がウォード法をベースとしたソフト独自のクラスタリング手法(SOM-Ward 法)により、類似度の高いデータ群毎にクラスタ分類される(Figure3)。

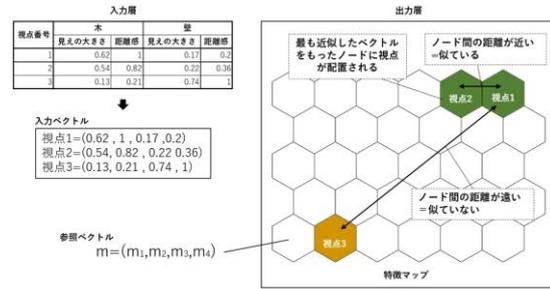


Figure2. Conceptual diagram of SOM

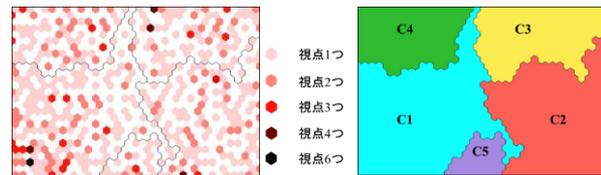


Figure3. Location of eye-points and clusters on SOM feature map

3. ケーススタディの概要

3.1 ケーススタディの方法と流れ

ケーススタディの対象とした建築作品は以下のような方法で最終的に 15 作品を選定した(Table1)。

- ① 本学の BIM 演習科目で、学生がモデリング対象として選んだ建築作品リスト過去 3 年分のデータを集計し、各年度の選定数上位 10 名の建築家を選出する。
- ② その建築家の氏名を国立国会図書館の Web サイトで検索し、検索件数上位の建築家から作品を選定する。
- ③ さらに、受賞歴および複数の建築雑誌への掲載実績、用途が住宅、認知度の高さ、建築構成の単純さ、規模の小ささ、周辺環境のバリエーション、という 5 つの条件を全て満たすものを絞り込む。

Table 1. Architectural works for case study

建築名	建築家名	竣工年	視点数
レマン湖畔の小さな家	ル・コルビュジエ	1923	69
サヴォア邸	ル・コルビュジエ	1931	810
ファンズワース邸	ミース・ファン・デル・ローエ	1951	207
フィッシャー邸	ルイス・カーン	1967	259
住吉の長屋	安藤 忠雄	1976	74
ウィークエンドハウス	西沢 立衛	1998	152
屋根の家	手塚 貴晴	2001	243
梅林の家	妹島 和世	2003	89
桜台の住宅	長谷川 豪	2006	206
House N	藤本 壮介	2008	165
地層の家	中村 拓志	2008	144
スモールハウスH	乾 久美子	2009	33
House NA	藤本 壮介	2011	89
coil	平田 晃久	2011	92
デッキの家	手塚 貴晴+手塚 由比	2012	343

3.2 GAA による解析

選定した 15 建築作品について、周辺環境も含めて 3D モデルを作成した後、GAA による視界幾何特性分析のため、全てのオブジェクトに対し、「壁」、「床」等の 9 種類の属性のいずれかを付与した。また、分析作業は 1 作品ずつ個別に行った。その際の条件を Table2 に示す。

Table2 GAA analysis conditions

視線ベクトルの長さ	200000mm
視線高さ	1200mm
視線ベクトル本数	5万本(ポリゴン数が少ない一部作品は10万本)
属性情報	壁・床・天井・柱・階段・周辺建物・樹木・地面・水・空
視界幾何特性	見えの大きさ
延べ視点数	2975視点
視点グリッド	1000mm間隔

視線ベクトルの長さは、視線がある程度届く範囲として 200000mm とした。視線高さは住宅であるため座位を想定し 1200mm とした。属性情報は、建築物および外部環境を構成する最低限の基本的な要素に絞り込んだ結果であるとともに、初めての試みであるため、条件をシンプルにするという考えのもと、属性情報を 10 個に設定した。Table2 に示した 9 種類の他、どのオブジェクトにも衝突しなかった視線ベクトルは「空」としてカウントされるので、計 10 種類の属性毎に見えの大きさが出力されるものとした。視点はどの作品でも 1000mm 間隔とした。各作品毎に設定した視点数は Table1 に示す通りで、延べ視点数は合計で 2975 視点となった。また、視線は正面に限定されず色々な方向を見る可能性があることから、潜在的な空間の見え方を扱い、全方位の情報を等しく扱い分析を行った。GAA による解析結果から得られた各住宅モデルの視点ごとに見えの大きさのサンプルを示す (Table3)。これらは、式(1)で求められたデータを正規化したデータとして出力されており、各視点での合計は全て 1 となる。

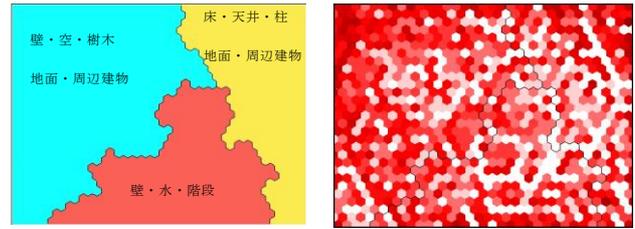
Table 3. Normalized data of apparent size

視点番号	壁	床	天井	柱	階段	周辺建物	樹木	地面	水	空
住吉の長屋-0	0.66285	0.16389	0.16964	0	0.00001	0.00151	0	0	0	0.0021
住吉の長屋-73	0.62091	0.16885	0.17029	0	0	0.00688	0.00139	0.01849	0	0.01319
サヴォア部-0	0.64514	0.11416	0.09726	0.03068	0	0	0.0335	0.039	0	0.04026
サヴォア部-809	0.10984	0.16582	0	0.00056	0	0	0.1475	0.14672	0	0.42956
地層の家-0	0.04718	0.1647	0.03748	0	0	0.01264	0.07092	0.29464	0.00716	0.36528
地層の家-143	0.76742	0.11048	0.1221	0	0	0	0	0	0	0
板台の住宅-0	0.63682	0.13876	0.17226	0	0	0.00646	0.01276	0.01706	0	0.01588
板台の住宅-205	0.33746	0.14658	0	0	0	0.00978	0.00128	0.00046	0	0.50444

4. SOM による視点の類型化解析

4.1 解析の概要および予備解析の結果

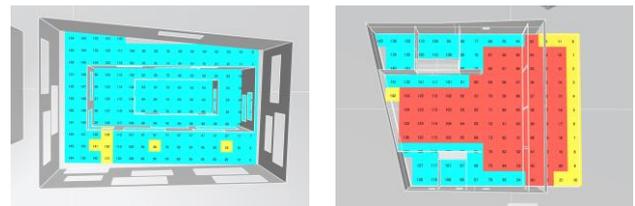
2975 視点分の 10 属性の見えの大きさを 10 次元のデータとして SOM に適用し、特徴マップを作成した (Figure4)。今回使用したソフトではクラスタ信頼度が出力可能であり、ここでは、最もクラスタ信頼度の高いものとして、3 つのクラスタに分類された。Figure4(a)の属性名は各クラスタに影響を与えているものであり、それらの見えの大きさが比較的大きい視点のグループとなっている。



(a)グループ化 (b)視点配置

Figure 4.SOM feature map with highest cluster reliability

Figure4 は SOM から出力される図であり、建築空間内の各視点の位置が不明である。そこで、福元ら²⁾と同じ方法でこれらのクラスタ分類が各建築内でどのように分布しているかを確認できるように、視点グリッドに対してクラスタ毎に色付けを行った (Figure.5)。この図を視界幾何特性クラスタマップ (以降、クラスタマップと呼ぶ) と呼び、クラスタ分類に影響を与えた属性の凡例を下部に示す。以降、全作品を通しての延べのクラスタ数を延べクラスタ数 (ここでは 3 つ) と呼び、各建築内に含まれるクラスタ数を保有クラスタ数と呼ぶ。



(a) House N (b) 地層の家

	見えの大きさ大	見えの大きさ小
C1	壁、水、階段	床、空、柱、樹木、地面、周辺建物
C2	床、天井、柱、地面、周辺建物	壁、空
C3	床、空、樹木、地面、周辺建物	壁、天井、柱、水、階段

Figure 5. Cluster maps of geometric appearance feature

4.2 予備解析の問題とクラスタ数調整

Figure5 の(a)(b)から、延べクラスタ数が 3 つでは類型化が大まか過ぎるため、各建築の保有クラスタ数は更に少なくなることもあり、建築空間内の各場所の細やかな差異が読み取れない。これは、1 つのクラスタに影響を与えている属性が多すぎる状態とも言え、各クラスタ内には異なる特徴を持つ視点群が潜在的に存在していると考えられる。そこで、延べクラスタ数を増やし、より細かい特徴の顕在化を試みた。具体的には、まず延べクラスタ数を 5、10、15、20 の 4 段階でそれぞれ特徴マップを出力し、さらに各建築空間内のクラスタマップを作成した。次に、延べクラスタ数毎に、各建築の保有クラスタ数やその分布の特徴を読み取りながら、より詳細な分析を要すると思われる延べクラスタ数の区間を決定し、その区間で延べクラスタ数を 1 ずつ増やしなが、各建築作品における保有クラスタ数やその分布がどのように変化するかを分析した。

4.3 延ベクラスタ数 5、10、15、20 での分析結果

5、10、15、20 クラスタでそれぞれ類型化した結果、延ベクラスタ数が増えるにつれて各建築の保有クラスタ数も増加した(Table4)。

Table4 Number of clusters in each building

建築作品名	延ベクラスタ数										凡例
	5	10	15	16	17	18	19	20			
レマン湖畔の小さな家	1	3	3	3	4	4	4	4			
サヴォア邸	4	6	10	10	11	11	11	11			
ファンズワース邸	3	4	6	6	7	7	7	7			
フィッシャー邸	3	5	6	7	8	8	8	8			
住吉の長屋	1	3	3	3	4	4	4	4			
ウィークエンドハウス	3	4	6	6	7	7	7	7			
屋根の家	4	7	9	10	11	12	12	12			
梅林の家	1	3	4	4	5	5	5	5			
桜台の住宅	3	5	6	6	7	7	7	7			
House N	2	4	5	6	7	8	8	8			
地層の家	3	4	6	6	7	7	8	8			
スモールハウスH	2	4	4	5	5	5	5	5			
House NA	2	4	5	5	6	6	6	7			
coil	4	6	7	7	8	8	8	8			
デッキの家	5	8	11	11	12	13	13	13			

以降、「House N」、「地層の家」、「デッキの家(1F)」、「屋根の家(1F)」を例に、固有クラスタの分布やその変化についての特徴を Figure6 に基づいて述べる。

Figure6(a)から、C1 の青の視点群は壁が近いもしくは壁に囲まれており、壁が大きく見えるエリアであること、C2 の赤の視点群は壁から少し離れ、床と天井が相対的に大きく見えるエリアであること、C4 の緑の視点群は外部のデッキもしくは外部に近い場所であり樹木や地面が大きく見えるエリアであること等が分かる。しかし、まだ細かな特徴は読み取れない。

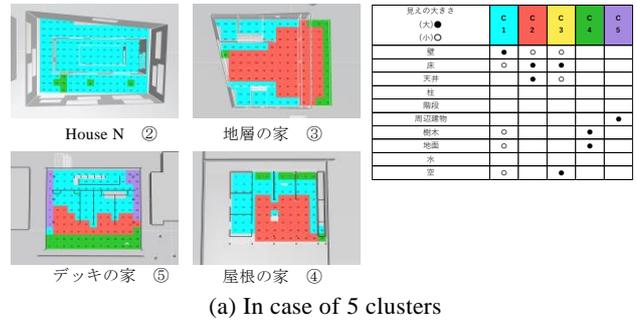
ここで、延ベクラスタ数が増えるにつれ、クラスタ番号やその色も増えていくが、同じ番号や色であっても同質(影響を受けている属性の構成が同じ)とは限らないことを補足しておく。

次に、(b)では、(a)に比べて、保有クラスタ数が増え、特に 4 作品に共通しているのが、C1 の黄緑色の視点群が(a)の青色 C1 の視点群から派生している点である。これは、青色 C1 と赤色 C2 の中間的な存在であることがその分布関係から推察される。また、(a)の緑色 C4 が(b)では緑色 C7 と紺色 C8 に分かれたことも確認できる。

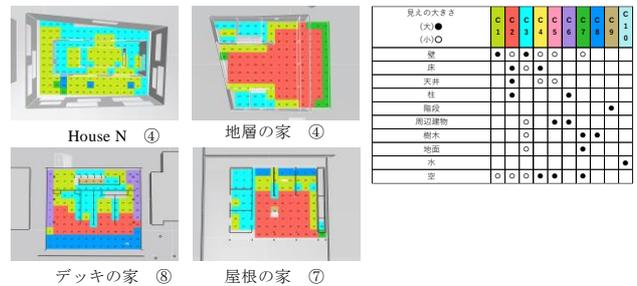
次に(c)を確認すると、(b)の黄緑色 C1 がここでは黄緑色 C2 と薄茶色 C5 に分かれており、House N にその影響が強くみられる。また、(b)の赤色 C2 は(c)の赤色 C3 に継承されるとともに濃青色 C6 が派生しており、地層の家や屋根の家にその影響が強く表れている。

さらに(d)では、(c)の薄茶色 C5 が薄茶色 C5 と濃桃色 C16 に分かれており、House N にその影響が強くみられる。また、(c)の濃青色 C6 は(d)の濃青色 C6 に継承されるとともに濃茶色 C17 が派生しており、地層の家でその影響が強く表れている。また、影響を与えた属性についても濃茶色 C17 で新しく「水」が追加されている。

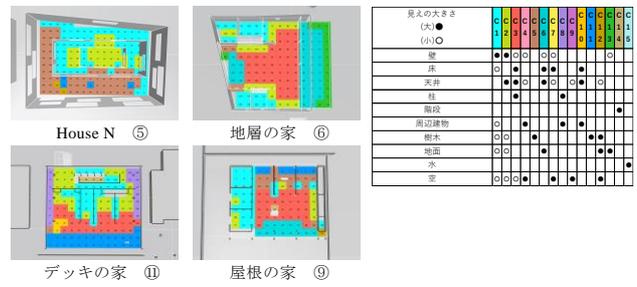
以上の結果から、15 クラスタと 20 クラスタでは個々の建築でも一定数以上の固有クラスタが含まれ、各建築のクラスタマップを横断的に観察していき、共通のクラスタや固有のクラスタを多角的に分析するのに相応しいと考えられる。したがって、次に 15~20 クラスタの区間で延ベクラスタ数を 1 ずつ増やしながら分析を行い、クラスタ構成の変化について分析を試みる。



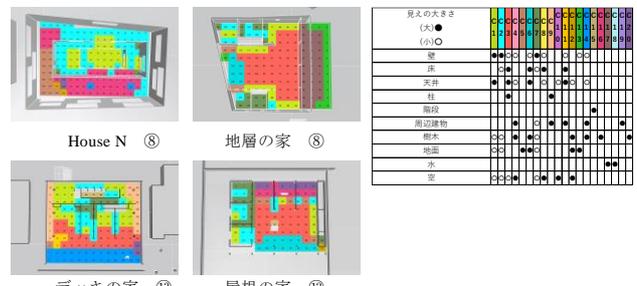
(a) In case of 5 clusters



(b) In case of 10 clusters



(c) In case of 15 clusters



(d) In case of 20 clusters

Figure 6. Cluster map samples in case of 5,10,15,20 clusters

4.4 クラスタ数 15~20 での分析結果

前節で得られた、特徴が読み取りやすい延ベクラスタ数 15~20 のデータ区間で SOM を用いて解析を行い、全ての建築作品のクラスタマップを作成した。また、5、10、15、20 の延ベクラスタ数に加え、16、17、18、19、の延ベクラスタ数の時の各建築における保有クラスタ数を整理した(Table4)。

延ベクラスタ数の増加に伴い、保有クラスタ数も徐々に増加しているが段階に応じて増加のパターンは大きく異なっていた。具体的には、延ベクラスタ数 16→17 の増加に際して、ほぼ全てといえる 14 作品において一気に保有クラスタ数が増えており、以降は一部の作品に僅かな増加がみられるのみであった。一方で、保有クラスタ数は維持したままクラスタに影響を与えている属性が変化するというクラスタの性質変化も確認され、延ベクラスタ数 15→16 の増加に際して多くみられた。以降、延ベクラスタ数が 1 ずつ増えていく過程でのクラスタの変化内容および変化が顕著に表れている作品のクラスタマップを一例ずつ示していく。

(1) 延ベクラスタ数 15→16 の変化(Figure7): 樹木がよく見えるクラスタ C6 が、地面がよく見えるクラスタ C6 と樹木がよく見えるクラスタ C15 に分かれた。特に「House N」において、駐車場と庭のエリアが明確に区別される形となった。

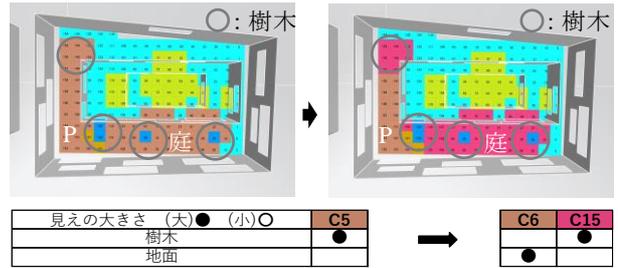


Figure7. House N cluster map in 15 and 16 clusters

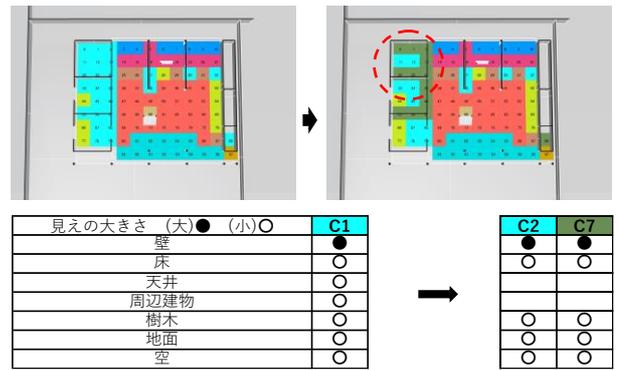


Figure8. Yane No Ie cluster map in 16 and 17 clusters

(2) 延ベクラスタ数 16→17 の変化(Figure8): 壁がよく見えるクラスタ C1 が、壁がよく見えるクラスタ C2、C7 二つに分かれた。この違いは、壁が遠いことによって相対的に見えの大きさが変化するとみられ、「屋根の家」の一階左の壁で囲まれた空間で顕著に見ることができる。

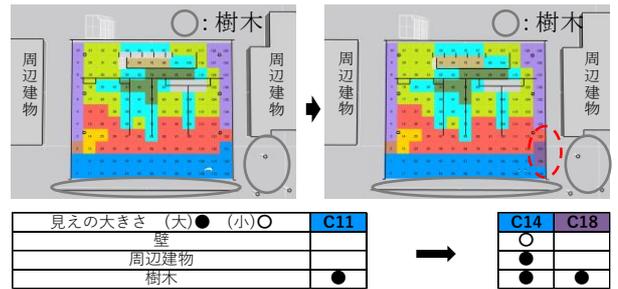


Figure9. Dekki No Ie cluster map in 17 and 18 clusters

(3) 延ベクラスタ数 17→18 の変化(Figure9): 樹木がよく見えるクラスタ C11 が、樹木のみがよく見えるクラスタ C18 と樹木と周辺建物がよく見えるクラスタ C14 に分かれた。「デッキの家」の一部でその特徴がみられるが、全体としては変化が極めて少ない結果となった。

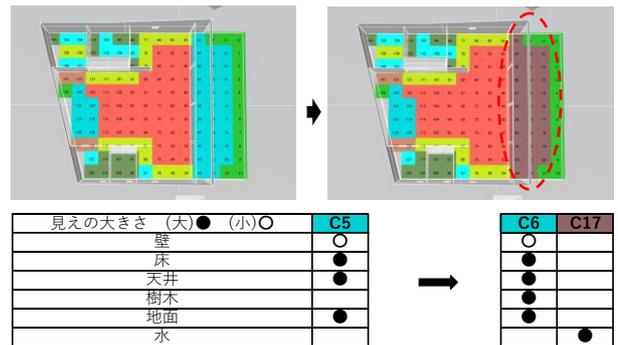


Figure10. Chisou No Ie cluster map in 18 and 19 clusters

(4) 延ベクラスタ数 18→19 の変化(Figure10): 床、天井、地面がよく見えるクラスタ C5 が、床、天井、樹木、地面がよく見えるクラスタ C6 と水がよく見えるクラスタ C17 に分かれた。建物の両サイドに大きな開口を持つ「地層の家」ではその変化がはっきりと表れている。

(5) 延ベクラスタ数 19→20 の変化(Figure11): 柱と周辺建物がよく見えるクラスタ C9 が、柱と周辺建物がよく見えるクラスタ C9 と周辺建物のみがよく見えるクラスタ C19 に分かれた。「House NA」でその特徴が表れており、道路側に近いところが周辺建物のみよく見えるクラスタに分かれる形となった。

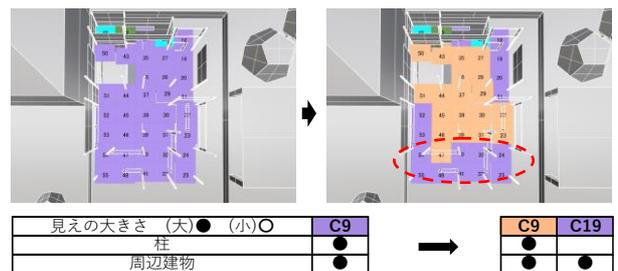


Figure11. House NA cluster map in 19 and 20 clusters

以上のことから、個々のクラスタの分布と性質およびその変化を観察してもその内容に違和感はなく、概ね合理的に理解可能なものであった。

Table5 Cross-sectional analysis between all buildings and all clusters

延クラス数		5					10					15					16					17					18					19					20				
各クラス名の記号		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35					
建築作品名		[Color-coded grid showing cluster membership for each building across 35 clusters]																																							
レマン湖畔の小さな家		[Color-coded grid]																																							
サヴォア邸		[Color-coded grid]																																							
ファンスワース邸		[Color-coded grid]																																							
フィッシャー邸		[Color-coded grid]																																							
住吉の長屋		[Color-coded grid]																																							
ウィークエンドハウス		[Color-coded grid]																																							
屋根の家		[Color-coded grid]																																							
梅鉢の家		[Color-coded grid]																																							
板台の住宅		[Color-coded grid]																																							
House N		[Color-coded grid]																																							
地層の家		[Color-coded grid]																																							
スモールハウスH		[Color-coded grid]																																							
House NA		[Color-coded grid]																																							
coil		[Color-coded grid]																																							
デッキの家		[Color-coded grid]																																							
影響のあった属性	壁	[Grid of dots indicating influence]																																							
	床	[Grid of dots]																																							
	天井	[Grid of dots]																																							
	柱	[Grid of dots]																																							
	階段	[Grid of dots]																																							
	周辺建物	[Grid of dots]																																							
	樹木	[Grid of dots]																																							
	地面	[Grid of dots]																																							
	水	[Grid of dots]																																							
	空	[Grid of dots]																																							

5. 複数建築作品の横断的分析

各建築作品間でのクラス共通性や固有性について分析するため、Table5 を作成した。

Table5 から、多くの建物に共通して存在するクラス(以降、共通クラスと呼ぶ)と少数の建物にしか存在しないクラス(以降、希少クラスと呼ぶ)があることが、どの延ベクラス数でも確認できる。

共通クラスは、延ベクラス数 5 では C1 のみだったが、延ベクラス数 20 になると C1、C2、C5、C7 の 4 つに増えている。これは、もともと全ての建築作品に存在していたクラス C1 が細分化された結果、それらのクラス全てが共通性の高いものとして派生したためである。これらのクラスに影響を与えている属性としては、C1、C2、C7 とともに壁の影響を受けており、且つ、他の属性の見え方の相違によって異なるクラスが形成されている。

一方、希少クラスの典型例としては、延ベクラス数 20 において「デッキの家」の C11、「地層の家」の C17、「レマン湖畔の小さな家」の C18、「House NA」の C19 等があり、それぞれ 15 作品の中でもその建築にしかない周囲の見え方が存在していることが推察できる。例えば、「レマン湖畔の小さな家」と「地層の家」は水辺に建てられていることから「水」属性の影響を受け、水がよく見える場所が生じていると考えられる。また、House NA に関しては壁がほとんどなく、外部に対して大きく開いているため、「周辺建物」の影響が強い特有の見え方が生じていると考えられる。

これらのことから、延ベクラス数の細分化を行っていくことで空間の見え方の固有性と共通性がより多様化していき、柔軟な分析が可能になると考えられる。

6. まとめ

本報では GAA と SOM を用いて、建築空間の視界幾何特性の特徴を顕在化させ、横断的な類型化やそれに基づいた比較を行う手法を提案し、15 建築作品への適用を通してケーススタディを行った。延ベクラスをどの程度にするかが大きな焦点であったが、最大の 20 でも、各建築の保有クラス数やその構成が過度に細分化されたという印象はなく、更に延ベクラス数を増やす余地があると考えられる。また、観察された各建築クラス構成、および共通性や固有性は、概ね違和感なく理解可能なことから、提案した手法は一定の有効性があると考えられる。一方で、延ベクラス数を増やす程にクラスマップ作成の手間が過大となっていた。今後、作業手間を軽減するプログラムの開発が必要と考えられる。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 福元大輔、廣瀬寛騎、下川雄一：「視界幾何特性の可視化手法の開発とその応用に関する研究(その 2) - 自己組織化マップによる視界幾何特性情報を用いた視点の類型化の試み -」、日本建築学会大会学術講演梗概集、E、pp.199-200、2018.7
- 3) 宗本晋作、山田悟史：「自己組織化マップによる空間要素の可視化分析を用いた通りの印象評価推定法に関する研究 - 京都市伝統的建造物保存地区を対象として -」、日本建築学会計画系論文集、第 708 号、2015.02、pp.331-339
- 4) 井芹慶彦、水元真輝：「自己組織化マップを用いた日本全国月降水量分布の変動特性解析」、水文・水資源学会誌、第 22 号、2009、pp.466-478
- 5) T.Kohonen (徳高平蔵、岸田悟、藤村喜久朗訳)：『自己組織化マップ(Self-Organizing Maps)』、シュプリンガー・ファアラーク東京、2005.6