

天井高の異なる接続空間の空間認知に関する基礎的研究

Fundamental Study on Spatial Perception of Concatenation Space with Different

Ceiling Height

高柳英明*, 木原己人**

Hideaki TAKAYANAGI*, Ttatsuto KIHARA**

要旨

本研究では、都市型住居における異なった天井高を持つ2居室の連続空間を模型にて再現し、被験者の感性測定から2居室の空間的關係が双方の開放感に及ぼす影響の定量化とその評価分析を行った。

天井高を変数とした重回帰分析、その結果のロジット変換から、手前の空間と奥の空間の天井高がおよそ4~4.4:1の割合で評価値に影響している事が明らかになった。

また、クラスター分析による評価傾向から手前の天井高と奥の天井高において大きく評価わかれ、手前の天井高と比較した場合、奥の天井高を1) 同等程度に評価するグループと、2) 奥の天井をあまり評価しないグループが存在することがわかった。

キーワード: 空間認知, 空間知覚, 空間の印象, 天井高, 回帰分析

Summary

In this study I reproduced the contiguous space of 2 living rooms having the different studding with a model in the urban house. Then, I quantified the influence that the spatial relations of 2 living rooms give to a feeling of expanse and evaluated it from the sensitivity measurement of the subject.

As a result, following two points became clear.

- 1) Studding of space of this side and the back space influences an evaluation level at the rate of about 4~4.4:1.
- 2) A tendency to evaluation for the back ceiling is divided into two by the cluster analysis

Keywords: *Space Recognition, Space Perception, Impression of the Space, Ceiling Height, Regression Analysis*

1. 序章

1.1 研究背景

五十嵐淳氏設計による「原野の回廊」にみられるように、居室を連続的に配置し空間を曖昧に区切ることで開放的で伸びやかな空間を創出する住宅が数多く見受けられる。都市住宅や狭小住宅などの場合、接続する2空間の高さ方向の空間操作は、限られた面積条件の下で有効に空間の広がり感を補完し、空間に変化やアクセントをもたらす手法の一つであると言え、得られる空間は単調な空間構成には無い面白みがある。また、大きな天井高の差を有するメゾネット型住宅は、その形態から面積を小さく設計される傾向にあるが、より有効に広がりを出するためにも、吹抜けとその前の空間の高さを適切なバランスで調整し、接続させる必要がある。

1.2 研究目的

本研究において、ボリュームの異なる接続空間の評価を扱うに至った動機とは、例えばF.L.WrightのPope-Leighey House等に見られる陰と陽、発散と凝縮、伸びやかさと身近さの対比などに評される、秀逸な空間様式の再現と憧憬である。この空間様式を、現代の都市型住宅におけるスケール感、身体寸法に落とし込んだ、空間モデルとして再構築し、接続空間の関わりとそこから受ける印象を定量的に示すことを目的とする。

室内空間の開放性についての既往研究の多くは、単一空

間のみを対象としており、連続した空間構成には言及したものは少ない。二空間を取り扱った水澤らの研究¹⁾では、天井高の段差のみを操作し、吹抜けをもつ空間における天井高の変化による開放性について、評価分析を行っているが、対象を天井高別の分類にのみ留まっており、空間双方の関わりまでは言及されていない。そこで本研究では、異なる天井高を持つ2居室模型にて再現し、連続空間における被験者の感性測定を行う。

2. モデル空間の設定

本研究における『接続空間』とは、2以上の空間の平面形状が連続し、かつ接合部に扉などの仕切りを設けず一体となった空間を定義する。接続する空間の天井高は、それぞれ滞在する側（つまり手前の空間の天井高）をHtとし、奥にある空間の天井高をHoと定める。

また、本研究では、天井高のみを変数とするため、平面スケールは圧迫感を考慮した3,600mm×3,600mm(8帖)の平面が接続する3,600mm×7,200mmの平面形状とし、壁面の開口部や柱・梁は設けず、単純なヴォイド空間とする(図2)。変数とする天井高は、2400mm~3000mmの範囲で4段階設定する。この天井構成の最小変化量は1.98度~2.05度であり、研究による弁別可能範囲である仰角2度に近い値となる。さらに照明は、天井高の変化に連動する建築化照明とし、その配置は、空間の隅の陰影を抑えるため8カ

*東京都市大学 都市生活学部 准教授 博士 (工学) Tokyo City Univ. Dept. of Urban Life Studies A. Prof. (Dr., Eng.)

**総合意匠企画きはら 修士 (環境科学) General Design Planning KIHARA. (M., Env.)

所に分散させ設定した。また、天井面の変化に伴う照明環境の変化を捉えるため、平均照度を計測する。

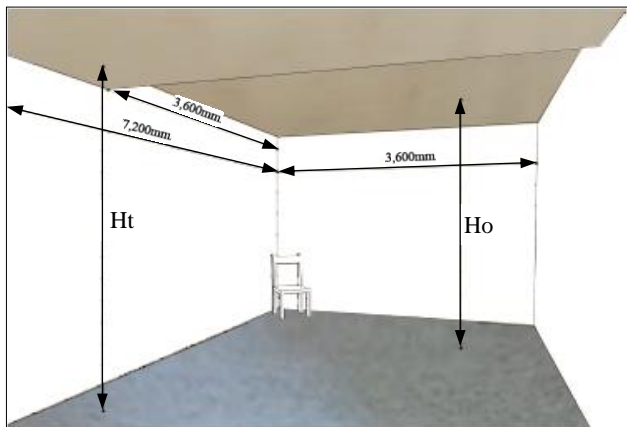


図2 モデル空間

3. 実験計画

3.1 実験概要

空間模型を用いて、type A～type F の天井高の違いによる6種類連続空間において一対比較法による印象の比較評価を行う。この天井のタイプは、連続空間の高さが同じになるもの除き、Hoに比べHtが低くなる空間の組み合わせのみを抽出した。また、各実験空間について8箇所、フロアレベル+420mmの地点で事前に平均照度を計測し、その結果の合計から測定箇所を除いたものを平均照度とした。

被験者へは、あらかじめ1/2スケールの空間であることを伝え、実空間をイメージした上で以下の手順で空間を体験と印象評価への回答をさせる。(図3)

- ① 実験空間 A に入り、所定の位置に座る。
- ② 座位にて空間を15秒間体験させる。
- ③ ①同様、実験空間 B に移動し、所定の位置に座らせる。
- ④ ②同様に座位にて空間を15秒間体験させる。
- ⑤ 実験空間 B から出た上で空間の印象についての問いに回答させる。

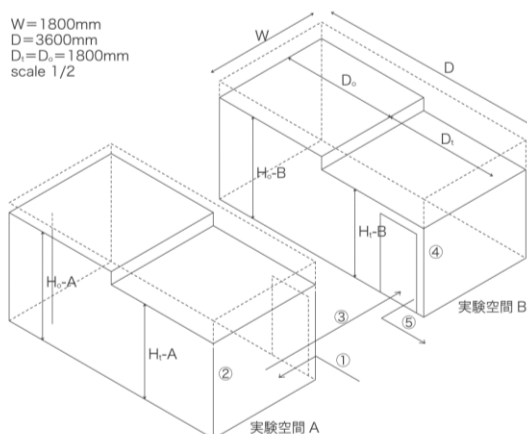


図3 実験手順

回答方法は、より開放的に感じる空間を回答ボードを指示し選択させる。点数は、実験空間 A を基準とし「より開放的に感じる」を+2、「やや開放的に感じる」を+1、「同程度」を0とする。逆に、実験空間 B が選ばれた場合は実験空間 A をそれぞれ-2、-1と読み替える。

3.1 評価実験

実験により得られた結果から各要素の抽出を行う。本研究にて用いた中屋の変法で得られた評価値は、「主効果」「対象と評価者の交互作用」「組合せ効果」「残差」で構成される。それらは、次式により求められる

$$\text{平均嗜好度} \quad \hat{\alpha}_i = \frac{1}{tN} x_i \quad (1)$$

$$\text{平均嗜好度の個人差} \quad \hat{\alpha}_{ik} = \frac{1}{t} x_{i.k} - \hat{\alpha}_i \quad (2)$$

$$\text{組み合わせ効果} \quad \hat{\gamma}_{ij} = \frac{1}{N} x_{i.k} - (\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j) \quad (3)$$

次に、各要素を基にそれぞれの平方和と自由度を求め、F検定を行った。算出されたF値はそれぞれ危険率5%のF分布表の数値を上回り、全体として有意差があることを示した。(表1)

表1 分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F ₀
主効果	S _α = 499.689	5	99.938	181.716*
主効果×個人	S _{α(B)} = 140.31	70	2.004	3.645*
組み合わせ効果	S _γ = 25.511	10	2.551	4.639*
残差	S _e = 192.489	350	0.55	
総平方根	S _γ = 858	450		

*: 危険率 5%以下で有意差あり

F_(5,350;0.05) = 2.240

F値に有意差が認められたことから、評価対象間での区間に有意差があるかの指標となるヤードスティックYを求める。Yは式(4)より求めることができる。

$$Y = q \times \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{2tN}} \quad (4)$$

qはスチューデント化された範囲q(t,f)で、tは評価対象数、fは分散分析表での誤差の自由度に等しい。また $\hat{\sigma}^2$ は分散分析表での誤差の不偏分散の値を用いる。各値は $q_{0.05}=4.054$ 、 $\hat{\sigma}^2 = 0.550$ 、 $2tN=180$ 、 $Y_{0.05}=0.224$ となり、得られた平均嗜好度は95%信頼区間で、A-B間、D-E間を除いて有意差を示した。平均嗜好度とその尺度値の関係を(図4)に示す。A-B間、D-E間は、順位の入れ替わる可能性があり、Fが最も評価が高く、A・B・CとD・Eは評価が分かれた。また、各タイプに対する評価値、分散、平均照度表2に、天井高の組み合わせを反映する容積と評価値の関係を図5に示す。最小2乗法による回帰直線を求めると、決定係数は88.91となった。C-D間は、等容積であるが評価平均値が異なり、またタイプごとに評価値のばらつきがみられる。そこで各タイプを、構成する変数別に整理し、比較を行った。

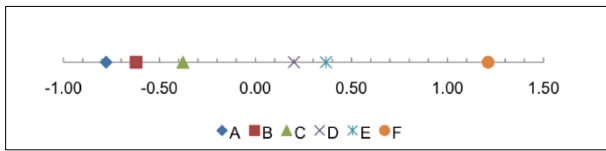


図4 平均嗜好度とその尺度値の関係図

表2 タイプ別数値一覧

タイプ	Ht [mm]	Ho	評価値	分散	平均照度
type A	2,400	2,600	-0.78	0.136	61.9
type B	2,400	2,800	-0.62	0.068	60.6
type C	2,400	3,000	-0.38	0.228	59.4
type D	2,600	2,800	0.20	0.156	66.9
type E	2,600	3,000	0.37	0.149	58.5
type F	2,800	3,000	1.21	0.042	51.6

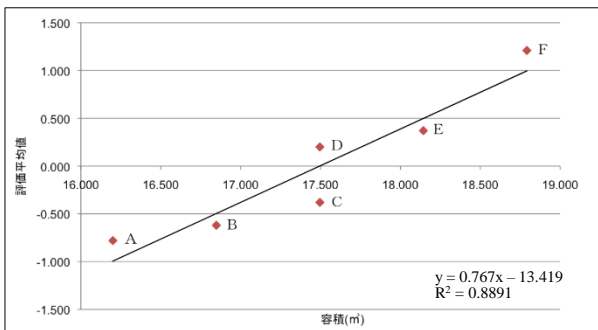


図5 容積と評価平均値の関係

4. 統計解析による考察

4.1 各変数の分類による考察

段差を200mmとしたタイプ (type A, D, F) に関して、Ht と各検出値 (評価値・分散値・平均照度) の散布図から、評価値は Ht と強い相関を示した。一方、分散値と平均照度は Ht と相関を示さなかったが、分散値と平均照度の間には比例関係が認められた。これは、2 空間双方の天井を高くする事で評価が高まる傾向を示しており、またその変化量が本実験範囲では直線回帰することがわかる。つまり、実験範囲内では高さに対する一定の効果が認められた。

また、Ht=2400mm を一定とし Ho を変数としたタイプ (type A, B, C) は、分散値に相関が認められなかったが、評価値と平均照度は Ho と強い相関を示した。ここで、AB 間は有意差が無く順位変動があり得るが、有意差のある BC 間を含め相関を示した事で、評価傾向を読み取ることができる。緩やかではあるが Ho が高くなるにつれ、評価値が高くなる事がわかる。また平均照度は、Ho が高くなるにつれ低くなっている。これに関しては測定位置から光源が遠ざかる事で、一定の割合で低くなったと考えられる。

さらに、Ho=3000mm の一定とし Ht を変数としたタイプ (type C, E, F) は、評価値と分散値 Ht と強い相関を示し、平均照度は若干ではあるが比例関係が認められた。評価値は Ho を変化させた場合と比べより大きい割合で上昇している。このことより、手前の天井が奥の天井と比べより

強く開放感に影響していることがわかる。また、分散が評価値と反比例しており、Ht が高くなるほど評価が安定していることもわかる。

4.1 回帰分析による考察

各天井高 (Ht、Ho) と評価平均値について、最小2乗法による回帰直線を求めると回帰方程式は次のようになる。

$$[Ht] \quad y = 4.485x - 11.362 \quad R^2 = 0.96538 \quad (5)$$

$$[Ho] \quad y = 2.97x - 8.514 \quad R^2 = 0.42334 \quad (6)$$

以下に各天井高と評価値の関係を散布図に示した。(図6) Ht についての決定係数は0.965と高い値を示したが、Ho については0.423という結果となり図6からも、Ho に対する回帰方程式の当てはまりが悪い事がわかる。

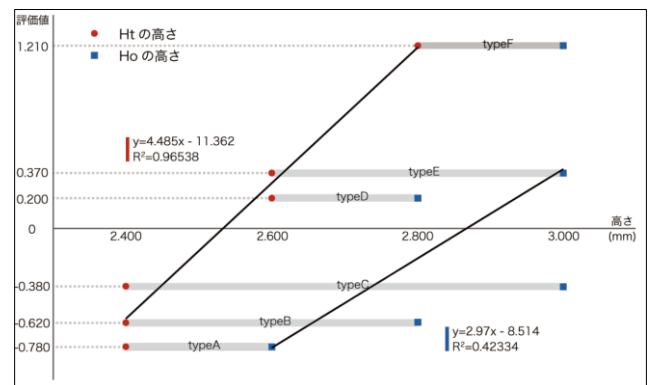


図6 容積と評価平均値の関係

そこで、各変数についての偏相関係数を求めた。偏相関係数は、独立ではない説明変数間の相関を考慮した相関係数で、片方の変数による影響を取り除く事で求められる。Ho の偏相関係数 Ro' と天井高 Ht の偏相関係数 Rt' は下記となり Ro'、Rt' ともに0.98を超え、高い値となった。

$$\text{偏相関係数 } Ro' = 0.9891 \quad \text{偏相関係数 } Rt' = 0.9994$$

次に天井高 Ht、Ho を説明変数とする重回帰分析を行った。重回帰分析は、目的変数を y、説明変数を x、u とすると回帰方程式は $y = a + bx + cu$ と表され、a を切片、b、c を偏回帰係数とすると、求めた回帰方程式は、以下となる

$$y = 4.00x + 0.97u - 12.91 \quad R = 0.9996$$

重相関係数は0.99以上であり、上記の式が目的変数を99%以上説明していることがわかる。また、このとき説明変数は同一の単位であり、偏回帰係数を比重と見ると Ht と Ho は約4:1の割合で評価値に影響しているのとれる。ただし、目的変数である評価値 α は2もしくは-2に収束する曲線に回帰されるはずである。つまりこの回帰方程式は限られた範囲内 (少なくとも本実験での天井高の範囲内) のみを説明している。

そこで、目的変数を自然対数であると仮定し、ロジットモデルによる回帰分析を行った。ロジットモデルは比率 p

のロジットを目的変数とする回帰分析モデルであり、説明変数を重回帰分析とすると以下のように表現される。

$$\log \frac{p}{1-p} = a + bx + cu \quad (7)$$

そこで、まず評価値を比率に変換した後、ロジット変換を行った。これにより評価値の限界値を $+\infty \sim -\infty$ に引き延ばす事ができ、重回帰方程式を用いた実験範囲を超える部分の予測を行う事ができる。続いて得られたロジット (logit(p) と表記) を目的変数、天井高 Ht、Ho を説明変数とする重回帰分析を行った。求めた回帰方程式は式(8)となり、重回帰係数は 0.9978 と、当てはまりの良い回帰式が得られた。

$$\text{Logit}(p) = -14.178 + 4.415x + 1.051u \quad R=0.9978 \quad (8)$$

ロジット変換とロジットモデルによる評価推定値を表 3 に、実験による評価範囲を超える評価値と同等となる天井高の推定値を表 4 に示す。結果の一例を挙げると、居室内における接続空間で、高さ 2100mm の滞在空間に 3400mm の空間を接続させた場合、連続する約 2400mm の空間とほぼ同等に開放的であるという数値を、このロジットモデルにより得ることができる。(図 7) これは F. L. Wright による住宅、Pope-Leighey House にみられる天井高寸法である。圧迫感を感じると言われる天井高であるが、天井の高い空間と一体することで開放感を補完していると予想することができる。

4.1 評価傾向のクラスター分析による考察

図 8(左図)は、縦軸を評価者に横軸を評価対象にとり、評価者別の評点平均の変化パターンを重ならないよう表示したものである。多くの被験者がゆるやかに右上がりであるが、評価者 3 は type F を除いて他の評価者と対称的な評価をしている (*1^{注1)})。分散の値が大きい type C は評価にばらつきが見られ、評価者 1 と評価者 14 は、特にその差が大きい (*2)。また評価者 6、11、12 は評価傾向が似ており (*3)、嗜好が近いと考えられる。等容積である type C、D は、前者は Ht が低く段差が大きい、後者は Ht が高く段差が小さいという比較に置き換えられる。多くは type D を高く評価しているが、評価者 14 をはじめ、3、11、12 も若干ではあるが type C を高く評価している (*4)。また評価者 1、4、8 は type B、C を比較すると、Ho が高くなっているにもかかわらず、type C の評価が低い (*5)。

表 3 ロジットモデルによる評価推定値

組合せ	評価値	比率変換	logit	logit推定値	比率変換	評価推定値
type A	-0.78	0.3050	-0.8236	-0.8478	0.2999	-0.8004
type B	-0.62	0.3450	-0.6411	-0.6375	0.3458	-0.6168
type C	-0.38	0.4050	-0.3847	-0.4272	0.3948	-0.4208
type D	0.20	0.5500	0.2007	0.2455	0.5611	0.2443
type E	0.37	0.5925	0.3743	0.4558	0.612	0.4481
type F	1.21	0.8025	1.4020	1.3388	0.7923	1.1692

表 4 推定される天井高

Ht \ Ho	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2
1.8	1.8000	1.8385	1.8769	1.9154	1.9539	1.9923	2.0308	2.0693	2.1078	2.1462	2.1847	2.2232	2.2616
2.0		2.0000	2.0385	2.0769	2.1154	2.1539	2.1923	2.2308	2.2693	2.3078	2.3462	2.3847	2.4232
2.2			2.2000	2.2385	2.2769	2.3154	2.3539	2.3923	2.4308	2.4693	2.5078	2.5462	2.5847
2.4				2.4000	2.4385	2.4769	2.5154	2.5539	2.5923	2.6308	2.6693	2.7078	2.7462
2.6					2.6000	2.6385	2.6769	2.7154	2.7539	2.7923	2.8308	2.8693	2.9078
2.8						2.8000	2.8385	2.8769	2.9154	2.9539	3.1539	3.1923	3.2308
3.0							3.0000	3.0385	3.0769	3.1154	3.1539	3.1923	3.2308
3.2								3.2000	3.2385	3.2769	3.3154	3.3539	3.3923
3.4									3.4000	3.4385	3.4769	3.5154	3.5539
3.6										3.6000	3.6385	3.6769	3.7154
3.8											3.8000	3.8385	3.8769
4.0												4.0000	4.0385
4.2													4.2

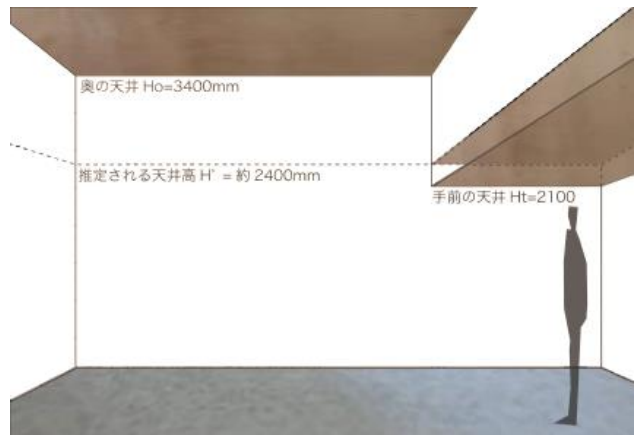


図 7 各天井高 Ht, Ho と推定される天井高 H'

図 8 は、評価者と対象の交互作用を図 9 と同じように評価者別に表示したものである。全体を通して面積の少ない評価者 2、6 は、評価平均値に近く、標準的な評価をしており (*6)、各評価者の横軸の上に山がある場合は平均より高く、下に山がある場合は評価平均値より低く評価していることを瞬時に把握できる。たとえば評価者 14 は、type C を他の評価者と比べて特に高く評価していることがわかる (*7)。評価者 1、3 は、すべてのタイプについて個人差が大きく、特異な評価をしている (*8)。評価値が似ている評価者 6、11、12 を比較すると、評価者 6 がより評価平均値に近い回答をしており、評価者 11、12 は、type E、F で評価が分かれ、評価者 12 は type F をより開放的だと評価している (*9)。評価者 7、9 は、type D-F 間では比較的似た評価をしているが type A-C 間で評価が分かれている (*10)。また、分散値の高い type C は、評価傾向が分かれており、個人差が大きいことがわかる。一方、分散値の低い type B、F の多くは評価平均値に近い値をとり、目立った違いは示さなかった。全体を通して、type C-D 間の変化ないし type C に対する評価に、多くの個人評価傾向を読み取ることができた。

また、type C、D における評価傾向の違いがみられたことから、評価者ごとの評価傾向の違いを解析し分類するため、クラスター分析を用いて樹状図を作成した。(図 10) クラスター分析では、各個体間のユークリッド平方距離を求め、近いクラスターを併合していくことで似通った評価者のグループ化を行なう。図 9 は、縦軸に評価者、横軸に平方距離

をとり、横に伸びるほどクラスター間の距離が遠く、評価傾向の違いが大きいかを示しており、評価者は大きく3グループに分けることができた。グループによる評価傾向の特徴を具体的に示すため、それぞれについて回帰分析による評価傾向の分析を行った。得られた回帰方程式は以下の通りである。

$$y_1 = 4.33a - 1.33b - 7.16 \quad R^2 = 0.851$$

$$y_2 = 2.92a + 2.25b - 13.84 \quad R^2 = 0.950$$

$$y_3 = 4.92a + 0.83b - 14.84 \quad R^2 = 0.954$$

(y_1, y_2, y_3 はそれぞれ Group1, Group2, Group3 の目的変数)

Group1 に関しては、図9からもわかるように、他の評価者と比べ特異な回答をしたグループである。決定係数も0.851 という結果となった。

Group2、Group3 は、それぞれ同じ評価者数であり、決定係数もそれぞれ0.95を超える高い数値となった。回帰方程式を比較してみると、Group2 に関しては変数 a、b にかかる数値が近く、Ht と Ho の効果が似ている傾向にある。一方 Group3 は、変数 b にかかる数値が低く、Ho の効果が極端に小さいことがわかる。これは、概ねグラフから読み取った評価者傾向の特徴に一致する結果となった。

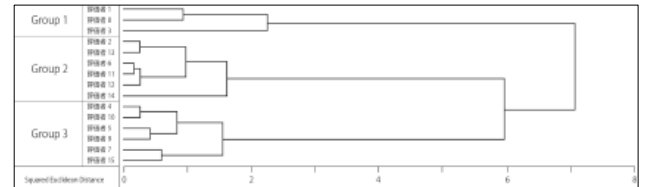


図10 評価傾向のクラスター分析による樹状図

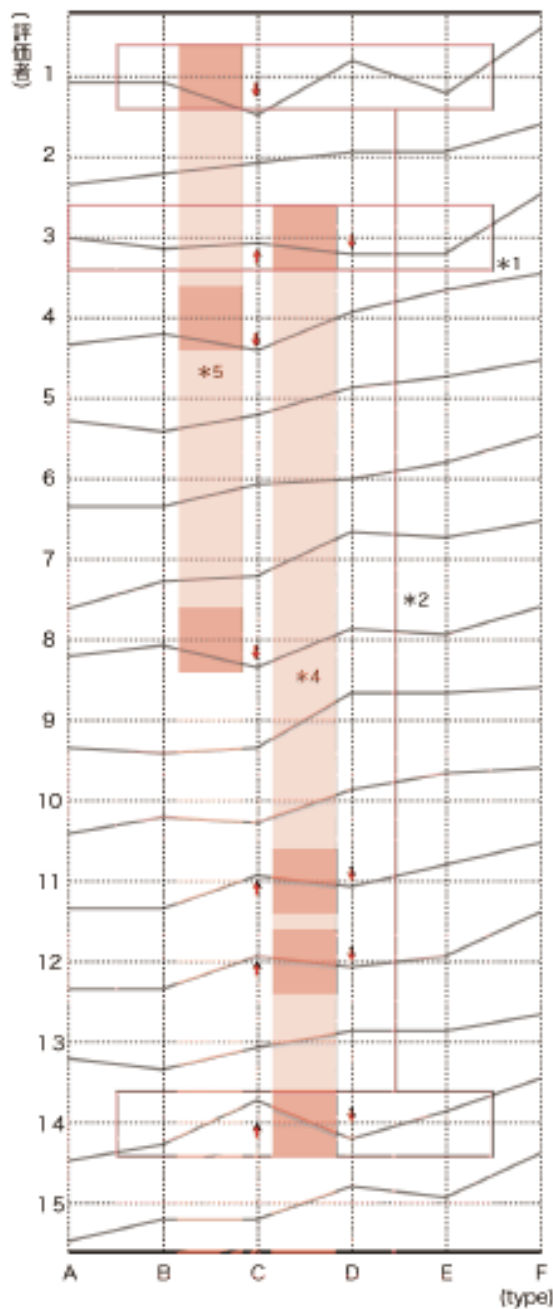


図8 評価平均

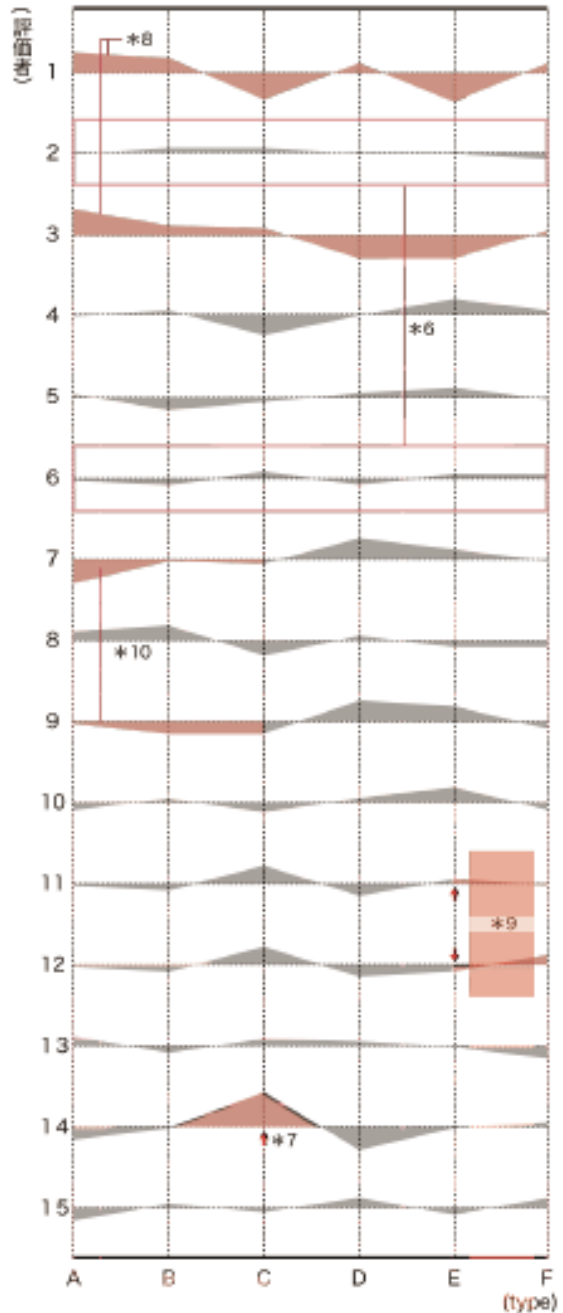


図9 評価者と対象の相互作用

5. 総括

本研究で行った空間評価実験は、高さの異なる空間の連接に着目し、双方の空間が開放感に及ぼす影響を定量的に示すことができた。まず変数を分類し比較する事で、各変数と評価傾向が相関を示し、手前と奥の両天井高がそれぞれ評価値に影響している事がわかった。さらに各変数をもとに重回帰分析を行い、その結果をロジット変換する事で、手前の空間と奥の空間の天井高がおおよそ 4~4.4:1 の割合で評価値に影響している事が明らかになった。また、クラスター分析による各評価者の評価傾向の分類の結果、手前の天井高と奥の天井高の評価傾向で大きく評価が分かれ、手前の天井高と比較した場合、奥の天井高を 1) 同等程度に評価するグループと、2) 奥の天井をあまり評価しないグループが存在することがわかった。しかし、評価が他の評価者と著しく異なるグループも発生し、全体として正確な分類を行う事はできなかった。また、本研究で得られた評価理論値を実空間へ適用し、更なる精度の向上が必要であると考え、本研究においては実証実験に至らず、今後の課題であると考え。

注釈

注1) 図8内の「*1, 2, 3…」に対応。

参考文献

- 1) 水澤秀輔、矢島規雄、直井英雄：「天井高の異なる二空間を通り抜ける時の頭上開放感の変化に関する実験」、学術講演梗概集、2004. 7
- 2) 込山敦司、初見学：「建築内部空間における天井高の認知構造」、日本建築学会計画系論文集、1996. 12
- 3) 高橋鷹志、長澤泰、西出和彦：『環境と空間』、朝倉書店、1997. 10
- 4) 込山敦司、橋本都子、初見学、高橋鷹志：「室空間の容積と印象評価に関する実験的研究-容積を指標とした空間計画のための基礎的研究(その1)」、日本建築学会計画系論文集、1997. 6
- 5) 畠山尚、半田宣之、込山敦司、橋本都子、初見学、高橋鷹志、高橋公子：「空間の容積感と印象評価に関する比較実験-室空間容積の認知構造(その3)」、学術講演梗概集、1996. 7
- 6) 橋本雅好、大崎淳史、西出和彦、長澤泰：「段差天井と容積の知覚・室空間の印象評価との関係に関する実験的研究」、日本建築学会計画系論文集 第540号、pp.167-173、2001. 2
- 7) 金子怜美、柳瀬亮太：「上下に分割された生活空間とこうい関係～狭小な住空間の有効活用について～」、日本建築学会計画系論文集 第81巻 第729号、pp2349-2357、2016. 11
- 8) 関戸洋子、西出和彦、高橋鷹志：「小空間における天井高変化による心理的影響」、日本建築学会計画系論文集 第531号、pp133-140、2000. 5
- 9) 佐藤信：『統計的官能検査法』、日科技連出版社、1895. 3
- 10) 三浦新：『官能検査ハンドブック』、日科技連出版社、1973. 3
- 11) 野澤昌弘、飯田一郎、椿広計、芳賀敏郎、鎗田政男、吉澤正：「一対比較データにおける個人差の解析法について」、社団法人日本品質管理学会、1995. 7
- 12) 中前光弘：「統計的官能検査法の理論と放射線技術科学への応用」、日本放射線技術学会雑誌、2010. 11

(2013年●月●日原稿受理、2013年●月●日採用決定)