

囲繞性に着目した橋梁空間の評価に関する研究

岡田 裕司
Yuji OKADA

本研究では橋梁空間の囲繞性に着目して感性評価実験を行い、得られた結果にラフ集合理論を応用した分析を行い、橋梁空間に対する態度やイメージが判断される際の決定ルールを定量的に明らかにし、設計の際に参考となる知識を得た。また、得られた分析結果を認知モデルに基づき、階層的構造記述を用いて視覚化することで、被験者クラスター毎の評価構造の違いについて比較・考察を行った。結果、周辺環境が単独ないし橋梁構成要素との組み合わせによって橋梁空間の評価に強く寄与していることが分かり、その評価傾向は被験者クラスター毎に異なり、複雑な評価構造を持っていることが分かった。以上のことから、周辺環境も含めた橋梁空間という概念で橋梁利用者の空間体験を捉え、議論を行う必要があることが確認された。

Keywords : 橋梁空間, 囲繞性, ラフ集合理論, 感性工学, 人道橋

1. はじめに

(1) 橋梁利用者の空間体験に着目した議論の必要性

橋梁景観論の先駆者である加藤誠平が 1936 年に著した「橋梁美学」¹⁾ に始まり、橋梁デザインに関する非常に豊富な研究の蓄積がなされてきている。これらの多くは社会的要請と呼応し、主に地域のシンボルとなる道路橋や鉄道橋等の外観を視対象とし、視点場を橋梁外部においたものであった。一方で、橋梁に求められる社会的要請も徐々に変化しつつある。特に人道橋は、豊かな都市空間の創出に寄与し、利用者に豊かな空間体験をもたらすことが期待されている。しかし、筆者のレビューの限りでは、道路橋の前後道路との連続性と内部景観のシーケンスに着目し、車両運転者の抱く印象との関係を論じた杉山らの一連の研究^{2) 3)} において副次的に橋梁内部空間についても取扱われているのみである。このように、これまで橋梁利用者の空間体験に着目した議論の蓄積がなされてきておらず、橋梁空間やその性質についての定義等 [定義後述 3 (2)], 基礎的な議論から行う必要がある。

(2) 周辺環境も含めた分析の必要性

また、豊かな空間を創造する為には橋梁構成要素の個々個別の要素に着目するだけでなく、それら要素の組み合わせ、延いては橋梁を取巻く周辺環境との関係性をも考慮して設計を行う必要がある。

上述した様な関係を詳細に記述する為には、大量の情報(要素)を必要とし、たとえ記述できたとしてもその複雑さゆえ、実用的な設計への知識獲得としては不十分なものとなる。その為、これまで橋梁の評価実験においては議論の煩雑化を避ける為に大量の要素を取扱うこと、特に周辺環境等を取扱うことは避けられてきた。

一方で、対象が複数の要素により構成されている場合、その対象を特徴づけている最小限の要素の組み合わせの抽出やそれらの効用値を算出し、設計への知識獲得を行う方法論としてラフ集合理論(Rough Sets Theory)の応用研究が感性工学分野を中心に 90 年代後半より行われてきている。本研究の様に、橋梁構成要素及び周辺環境の関係性の記述の為に大量の要素を取扱う場合、ラフ集合理論を応

用した分析方法が有用であると考ええる。

以上の背景を踏まえ、感性評価実験を行い、得られた結果にラフ集合理論を応用した分析を行うことで、橋梁利用者が橋梁空間に対する態度やイメージを判断する際の決定要因となる要素の組み合わせを定量的に導出し、空間の性質を決定づけているルールを明らかにし、設計の参考となる知見を得ることを目的とする。また、導出されたルールを視覚化し、被験者毎の評価構造にどのような傾向が見られるか、その差異を明らかにすることを目的とする。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

(1) ラフ集合理論を応用した分析を行っている既存研究

下原ら⁴⁾は、歩道空間の「幅員」や「植栽の有無」等の様々な要素の組み合わせと人の歩道空間の選好との関係を分析し、各々の被験者の選好に影響を与えている要素の組み合わせを明らかにしている。

松井ら⁵⁾は、橋梁観察者が感じる動的イメージを喚起する形態的特徴の仮説を提示し、仮説を適用した橋梁モデルと非適用の標準橋梁モデルの比較による感性評価実験を行い、知識背景の違いから被験者毎に評価傾向が異なることを明らかにしている。また形態的特徴の組み合わせと人の印象との関係を結果から考察し、階層的構造記述に基づき結果を視覚化し、結果の解釈を試みている。

上記の研究は、土木分野でラフ集合理論を応用した分析を行っているものであるが、現状、筆者のレビューの限りにおいては上記 2 編のみであり、分析方法や考察の方法論が未だ確立されていない。その為、ラフ集合理論のデザインへの応用研究が先行していたプロダクト・WEB・建築などのデザイン分野において蓄積されている研究を参考にすることとした⁶⁾。

(2) 本研究の位置づけ

本研究は、1. 橋梁利用者の空間体験に着目した議論を行う点、2. ラフ集合理論を応用した解析を導入することでこれまで議論の複雑化を回避する為に考慮され得なかった個々の橋梁構成要素間や周辺環境との組み合わせといった複雑性を保ったまま、人の感性との関係を導出・考察し

ようとする点、3. ラフ集合理論を応用した既存研究が造形物としての対象と人の感性との関係の分析に留まっているが、空間と人の感性との関係の把握へとラフ集合理論を用いた感性評価実験の枠組みを拡張しようと試みる点、以上3点に本研究の意義があると考えられる。

3. 研究の方法と基礎概念

(1) 研究の方法

まず、橋梁における空間の性質についてまとめる。次いで、空間の性質の中でも特に「囲繞性」に着眼して仮説を構築し、その仮説に基づき評価サンプルを作成する。本実験では要素の組み合わせの均一性を意図し、コンピュータグラフィクス（以下、CG）を用いて橋梁及び周辺環境の空間の評価サンプル（視覚試料）を作成することとした。作成した評価サンプルを用いて感性評価実験を行い、結果に対してラフ集合理論を応用した分析を行い、決定ルールを導出し、それらを言語化、或いは視覚化することで解釈を行い、結果の考察を行う。

(2) 着想の整理

本研究では、橋梁構成要素と周辺環境の総体としての空間（＝「橋梁空間」と定義）を考え、その「空間性」に着目する。着想の整理として、下記に橋梁空間の性質として5つ、またそれら各々の性質を得るための設計における着眼点について記す。

01. 囲繞性

架橋環境に合わせて、橋梁内部空間の囲われ具合を意図的にコントロールすることが快適な歩行空間の創出に必要であると考えられる。具体的には、吊材や主構造物、シェルター等と周辺環境の関係を操作する方法が考えられる。また、高欄や舗装等と主構造体の組み合わせでその性質を変化させることも可能であると考えられる。

02. 領域性

周辺環境と一体的、或いは独立的な領域感を持った空間を橋梁に生み出すことが必要な場合がある。線形と周辺環境との関係性の操作（橋軸と軸受となる周辺環境の関係を調べる、煩雑な架橋環境下に幾何学平面を挿入する等）、或いは舗装パターンによる線形強調、舗装の素材・モジュール・色彩を周辺環境と調和させる方法等があると考えられる。

03. 行為可能性

橋梁を空間として捉える時、そこに橋梁利用者の滞留等の行為の可能性を持たせることが必要な場合がある。平面・縦断線形を意図的に操作し、橋梁利用者の視点をシークエンシャルに変化させる空間の構成をとることで滞留等の行為を橋梁利用者にアフォード^(注1)することができると考える。

04. 調和性

快適な橋梁空間の創出には基本的な事項であるが、調和（Internal Harmony）⁷⁾がある状況が望ましい。橋梁構成要素の形態統一（モチーフとして幾何学形態を反復的に用いる）、或いは要素同士（高欄支柱・照明柱・吊材・舗装

パターン等々）の組合せを秩序立てることが考えられる。

05. 触覚性^(注2)

人の手が加わっている印象（＝被人為感）や触れてみたいと思う印象（＝親触感）を持った構造物・空間を創出することが重要であると考えられる。具体的には、構造物全体の部材密度や部材配置、スケールの操作によって視覚的複雑性を創出する、各橋梁構成要素の素材やテクスチャー操作を行うことによって肌理を創出することが触覚性を持った構造物・空間を創出する方法として考えられる。



Fig. 3-1 ~ 3-6

上左：囲繞性（シェルターによる） 上右：領域性（幾何学形態の挿入）
 中左：囲繞性（アーチ構造による） / 行為可能性（平面縦断線形変化）
 中右：行為可能性（平面縦断線形変化）
 下左：調和性（モチーフ反復、要素の秩序化） 下右：触覚性（視覚的複雑性 / 素材）

(3) ラフ集合理論の概要

a) ラフ集合

ラフ集合は1982年にポーランドの数学者 Zdzislaw Pawlak により提案され、当初は医療データから病気と症状の因果関係を抽出し、症状の原因となる病気を特定するといった研究に用いられていた。現在では感性工学やデザイン学分野での応用が進んでいる。

ラフ集合では、全体集合として多くの対象の集合を考える。これらの対象を同等とみなせるグループ（同値類）に分割したとき、任意の部分集合は、それに含まれるグループの和集合（下近似）と、それと共通部分をもつグループの和集合（上近似）により近似することができる。この、下近似と上近似とのペアをラフ集合という。例えば、2次元の同値関係で区分された K1 ~ K30 を基本集合と考える。X という集合が与えられた場合、上近似及び下近似は Fig.3-7 に示すように理解できる⁶⁾。

集合 X					
K1	K2	K3	K4	K5	K6
K7	K8	K9	K10	K11	K12
K13	K14	K15	K16	K17	K18
K19	K20	K21	K22	K23	K24
K25	K26	K27	K28	K29	K30

Fig. 3-7 下近似 / 上近似の図形的意味

下近似： $A_*(X) = \{K15, K16\}$

上近似： $A^*(X) = \{K8, K9, K10, K11, K14, K15, K16, K17, K20, K21, K22, K23\}$

b) ラフ集合理論 (Rough sets theory)

ラフ集合理論は、対象を表現する要素の線形 / 非線形によらず、対象の分類・近似をできるだけ少数要素の組合せの集合で表現しようとするものである。ラフ集合理論では、対象は全て何らかの属性情報の組合せで表現されていると仮定され、情報に内在する識別不能性に起因する曖昧さが数学的に扱われる。

ラフ集合理論の基本概念では情報の価値は対象を識別する能力として捉えられる。対象をより詳細に識別するためにはより多くの情報を集めれば良いが、逆に少ない情報を用いても、多くの情報を用いた場合と同等の識別能力が得られるならば、それらの情報は等価であると考えられる。すなわち、識別に用いられる属性情報をその識別能力を損なう事なく簡略化し、要約できる (縮約化) ⁸⁾。

c) 決定ルール (DR) と Covering Index (C.I 値)

上述のラフ集合の縮約化の考え方で、識別を行う行列を情報表と言う。この情報表に目的変数 (決定属性集合) を追加したものが決定表である。この決定表より求められる最小の条件属性値の組合せが決定ルール (以下、DR) である。また、求められた複数の決定ルール条件部がどれだけ決定表の結論に寄与しているかを相対的に示す尺度として Covering Index (以下、C.I. 値) がある ⁸⁾。本研究ではこの DR と C.I. 値を分析において用いる。

4. 仮説及び評価サンプルの作成

(1) 評価サンプルのモデルとする橋梁

本研究では「囲繞性」に着眼することから、今後も種々の事業に伴って架橋が予想される屋根付きの人道橋 (以降、シェルター橋) を評価サンプルとする。今回は、土木学会



Fig.4-1 川崎ミュージアデッキ

デザイン賞を受賞するなど評価の高い、2003 年竣工の「川崎ミュージアデッキ」をモデルとし、設計図面 ⁹⁾ を参照して CG を用いて橋梁空間の評価サンプルを作成した。

(2) 仮説構築と属性及び属性値 (パラメーター) の設定

仮説として、橋梁構成要素及び周辺環境 (属性) の関係によって空間性、橋梁空間の性質 (本実験では囲繞性) は決定されているとする。すなわち、橋梁構成要素と周辺環境に設定する属性値の組合せが、決定ルールとして抽出されるとする。そこで今回は周辺環境もパラメーターとして橋梁構成要素と共に取扱うこととする。

橋梁内部空間を構成する要素としては今回は Fig.4-2 に示すように「平面線形」「高欄」「シェルター」の形態を属性として選定した。

「肌理」や「色彩」は、人間の空間の認知においては形態に比べ、下位の要素であると考えられること、また選好に個人的差異があると考えられることから本実験では取扱わないこととした。

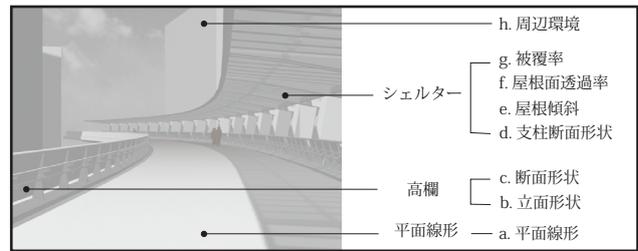


Fig. 4-2 属性の設定

また、設定した属性に対して下記に示すように a1 ~ h3 まで全 21 の属性値を設定した。それらを順に示す。

a : 平面線形

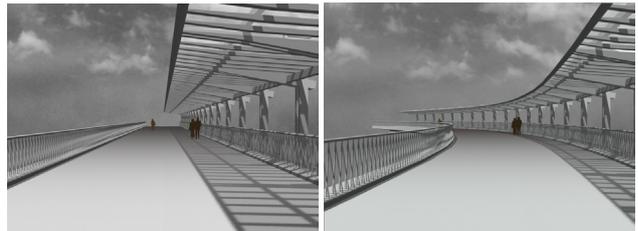


Fig.4-3 ~ 4-4 平面線形 (左) a1. 直線 (右) a2. 曲線

b : 高欄立面形状

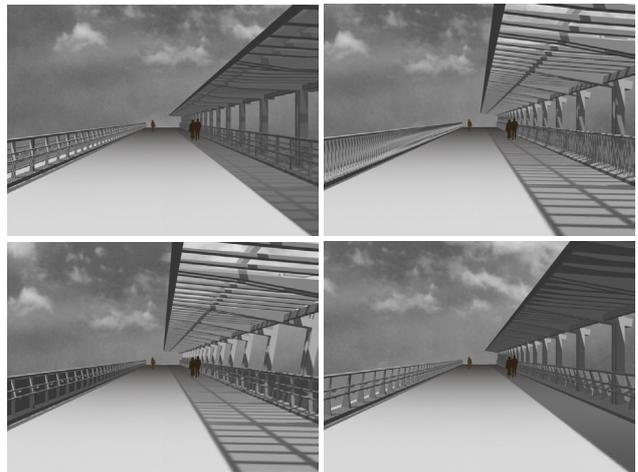


Fig.4-5 ~ 4-8 高欄立面形状

上 : b1. 横棧型 b2. 多欄型 下 : b3. 壁式 (透過率 0%) b4. 壁式 (透過率 100%)

c : 高欄断面形状

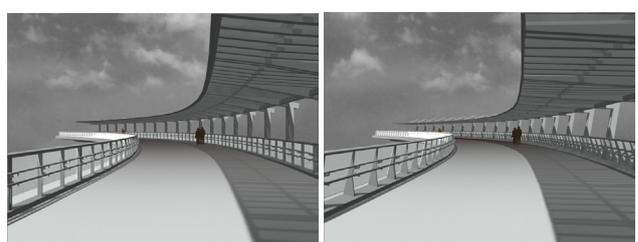


Fig.4-9 ~ 4-10 高欄断面形状 (左) c1. 直立型 (右) c2. 内傾斜型

d : シェルター支柱の断面形状



Fig.4-11 ~ 4-12 支柱断面形状 (左) d1. 直角型 (右) d2. 外傾斜型

e: シェルター屋根面の傾斜

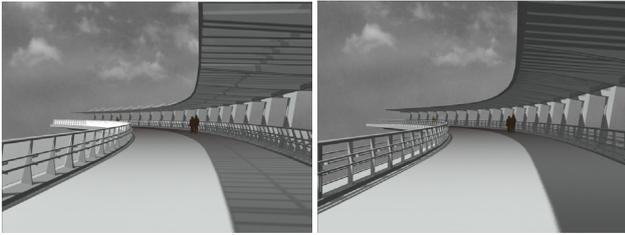


Fig.4-13 ~ 4-14 屋根面形状 (左) e1. 水平型 (右) e2. 傾斜型

f: シェルター屋根面の透過率



Fig.4-15 ~ 4-17 屋根面透過率
(左) f1. 透過率 0% (中) f2. 透過率 50% (右) f3. 透過率 100%

g: シェルターの屋根面の被覆率 (屋根面長さ)

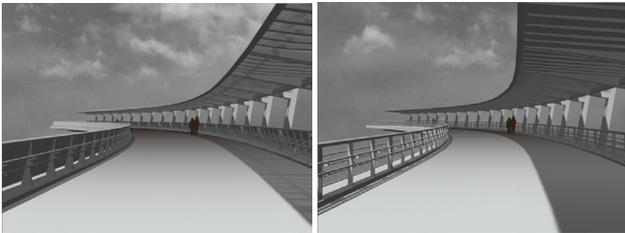


Fig.4-18 ~ 4-19 (右) g1. 大 (3750mm) (左) g2. 小 (2500mm)

h: 周辺環境



Fig.4-20 ~ 4-22 周辺環境
(左) h1. 都市的な環境 (中) h2. 緑豊かな環境 (右) h3. 開放的な環境

例えば仮説として、建物からの圧迫感をシェルター性状等の組み合わせで和らげるなど、橋梁内部空間の圍繞性が高いことが豊かな空間体験をもたらす場合もある。逆に、開放的な空間においては、圍繞性が低いことが周辺環境と相まって豊かな空間体験をもたらす場合もある。すなわち、周辺環境によって橋梁内部空間に求められる圍繞性の高低は変化すると考えられる。

(3) パラメーターの組合せ

属性及び属性値 (パラメーター) の組合せを、Table.4-1 に示す 5 つのルールに基づいて、計 48 通りのパラメーターの組合せに決定した。その組合せに基づいて評価サンプルとなる視覚資料の作成を行った。次頁 Fig.4-23 ~ 4-24 にパラメーターの組合せ一覧と作成した評価サンプルの一覧を示す。

Table. 4-1 パラメーターの組合せ決定ルール

ルール 1: b. 多層型は直立型のみと組み合わせることとする
ルール 2: a. 平面線形と b.c. 高欄形状は全ての組合せを行う
ルール 3: シェルターの d. 支柱断面形状 e. 屋根傾斜 g. 被覆率については全ての組合せを行う
ルール 4: ルール 2 及び 3 と f. 屋根面透過率についてはバランスよく選定する
ルール 5: h. 周辺環境の 3 通りについては、各々他のパラメーターは統一し、同じ 16 パターンに統一する

5. 感性評価実験

(1) 実験の概要

感性評価実験の概要を下記 Table.5-1 に示した。

実験方法は、Microsoft PowerPoint 2008 を利用して作成した実験スライドを用い、PC 画面による個別実験で行った。視野 60° コーン視¹⁰⁾ に合致するようにパソコン画面と正面して着座してもらい被験者とモニターとの距離を調整し、実験環境を可能な限り一定にするように配慮した。提示時間は空間を感じ取ってもらうために評価サンプルを 10 秒間提示とし、評価サンプル間には残像除去及び回答猶予を意図して 5 秒間の黒背景画像を提示し、合わせて計 15 秒の 1 セットとし、16 セットを 1 クールとして続提示とし、合計 3 クールで計 48 サンプルの評価をしてもらった¹¹⁾。評価サンプルの提示順序は、乱数を基にしたランダム提示とし、被験者にパラメーター設定の意図が悟られないように配慮した。

Table. 5-1 感性評価実験の概要

実験日	2011 年 12 月 13 日 ~ 12 月 22 日
被験者属性	土木・建築系の学生 及び 景観デザイン系の講義の受講者
被験者数	合計 81 名 (有効回答数 80 名)
実験方式	PC 画面を用いた個別実験
提示方法	48 サンプルをランダムに連続提示 評価サンプル間は黒背景を提示
提示時間	評価サンプル: 10 秒 + 黒背景: 5 秒 = 1 セット: 15 秒

(2) 感性ワードの設定

人間の評価構造に関して認知心理学の原型ともいえるべきパーソナル・コンストラクト理論によると、人の行為は各人の認知単位が階層構造を持ち、下位から上位に情報が加工されて、行動が決定するという考え方がある。感性工学分野においてラフ集合理論の応用した分析を行う場合は Fig.5-1 に示すように、「態度」と「イメージ」の相関関係が担保されていることを前提として「態度」と「認知部位」

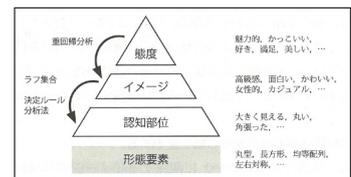


Fig. 5-1 感性工学の推奨する理論

の関係を考察することが推奨されている⁸⁾。まず、この理論に沿って研究を進める。しかし、本実験では空間を取扱い、評価対象が感性工学が通常取扱う対象に比べ、「態度」と「イメージ」の関係が複雑であると考えられ、単純な相関関係にはないと予想される。そこで本研究では、実験・分析においては相関関係の有無に関わらず感性ワードを等価に取扱い、考察の段階で改めてその関係を考察することとする。本研究では、空間の評価言語 (態度言語) として「心地よい」を選定した。また、「イメージ」を表す感性ワードについては Table.5-2 に示す評価グリッド法のラダーリング法を用いたイメージ

Table. 5-2 ラダーリング法を用いたイメージ言語抽出実験の概要

調査実施日	2011 年 12 月 12 日
調査資料	実験で用いる 48 枚の評価サンプルの一覧
被験者	景観・デザインを専攻する学生: 計 10 名 (予備実験の被験者)
調査方法	1 対 1 のヒアリング形式 (自由回答)

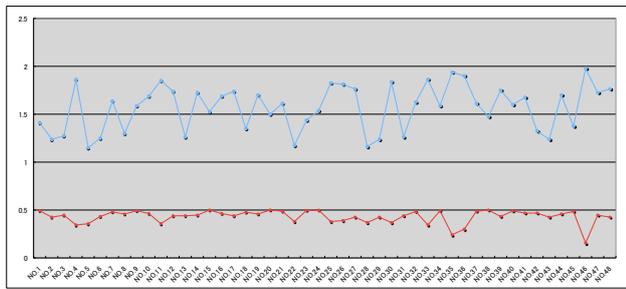


Fig. 5-3 「安心感があるー安心感がない」 青：平均値 / 赤：標準偏差

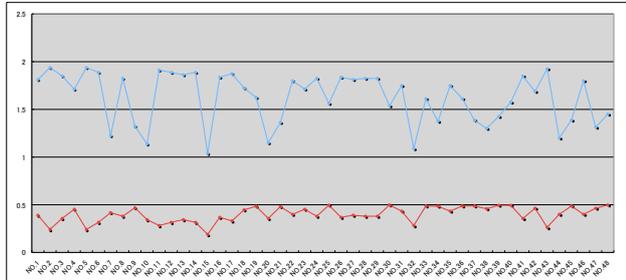


Fig. 5-4 「開放的であるー開放的でない」 青：平均値 / 赤：標準偏差

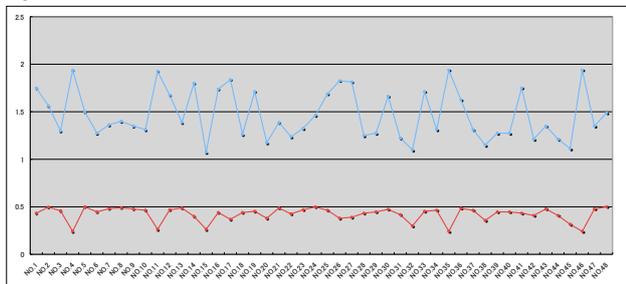


Fig. 5-5 「心地よいー心地よくない」 青：平均値 / 赤：標準偏差

6. ラフ集合理論による分析

(1) 被験者の分類

基礎集計の結果、解答傾向にばらつきがあったため、被験者毎の各感性ワードに対する評価をデータとして、クラスター分析を行い、被験者の分類を行った。原データの距離計算はユークリッド距離を、合併後の距離計算はウィード法を用いた。結果は Fig.6-1 に示す通りとなった。

各クラスター毎の被験者属性の傾向を下記 Table.6-1 にまとめた。クラスター毎に明確な被験者属性の傾向は見られなかった。

(2) 各クラスター毎の感性ワード間の相関関係の把握

また、各クラスター毎で感性ワードの相関分析を行った。相関係数 R の値を Table.6-2 に示す。

結果を見ると、いずれのクラスターにおいても「安心感があるーない」と「開放感があるーない」の感性ワード間には有意な相関関係は見られなかった。クラスター毎に見ていくと、C1 と C2 では明確な差が見られた。また、C3 及び C4 は相関係数に多少の差はあるが、明確な差は見られなかったが、C4 の「安心感があるーない」と「開放的であるーない」の感性ワード間は唯一、正側の相関になっている。

(3) 各クラスター毎の決定ルール (DR) /C.I. 値の算出

まず、ラフ集合理論を用いた解析を行う為に、各クラスター毎に感性ワードの平均値を再度算出した (Fig.6-2)。

属性集合 (a1~h3 の組合せ) と決定属性集合 (感性ワ

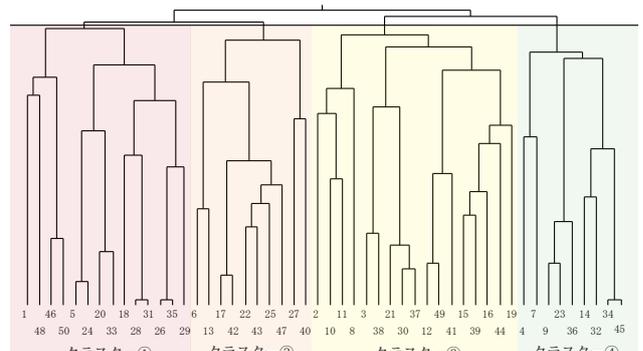


Fig. 6-1 被験者のクラスター分析結果

Table.6-1 各クラスターの被験者属性の内訳

クラスター (C)	土木学生 B1-B3	土木学生 B4-M2	建築学生	その他	計
C1	10	4	7	4	25
C2	8	5	7	3	23
C3	10	4	6	2	22
C4	4	2	2	2	1
計	32	15	22	11	80

Table.6-2 各クラスター別感性ワード毎の相関

クラスター (C)	安心感があるー開放的である	安心感があるー心地よい	開放的であるー心地よい
1	× : 0.07265 (ー)	◎ : 0.7370	× : 0.2945
2	× : 0.15449 (ー)	× : 0.2721	○ : 0.6983
3	× : 0.02607 (ー)	○ : 0.6692	△ : 0.4857
4	× : 0.00983	○ : 0.6454	○ : 0.5288

◎強い相関あり ○やや強い相関あり
△やや弱い相関あり ×弱い相関あり (ー) 負の相関

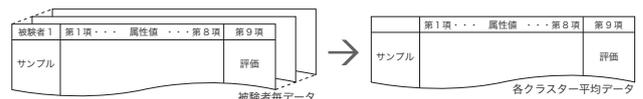


Fig. 6-2 各クラスター毎のデータ変換：決定行列の作成

ドに対する評価) より作成した決定表 (48 行 10 列からなる行列式) から下近似の算出方法を用いて決定ルール (以降、DR) 及び C.I. 値の算出を行った。

得られた DR 及び C.I. 値の内、クラスター C2 の結果を例として次頁 Fig.6-3 に示す。ここでは、C.I. 値が 0.25 以上を抽出した。ただし DR 数が極端に少ない場合は、C.I. 値がその 1 つ下の属性値の組合せまで抽出することとした。また、10 以上同じ C.I. 値の DR が続く場合、或は DR の組合せ属性値数が 1 つ増えた時点で抽出をやめることとする。

(4) カテゴリカルスコアの算出

ここで DR 分析の結果とカテゴリカルスコアとの比較を行うため、数量化Ⅱ類を用いてカテゴリカルスコアを算出した。結果は DR 分析の結果と合わせて次頁 Fig.6-4 に示す。

(5) 階層的構造記述

各クラスターの評価構造を明らかにする為に、決定ルール及びカテゴリカルスコアを階層的構造記述を参考にし、視覚化を行う。階層的構造記述は認知科学の分野で用いられる理論であり、人間が 1 度に無理なく知覚できる階層数は 2 つであるとされる¹²⁾。また、人の認知は大域優先の原則に従い、全体から細部へと段階的に認知が進むとされている。そこで本研究では既往研究^{13) 14)}を参考にし、橋梁空間の認知を「周辺環境」「橋梁内部空間の見える形」「橋梁内部空間のディテール」という 3 層の階層構造の認知のプロセスとして捉えることとし、DR の表れ方とイメー

決定ルール (DR) 分析：クラスター C2 ※凡例 決定ルール C.I. 値 [決定ルールを含むサンプル]

安心感がない			安心感がある		
e2h3	CI = 0.6153846	[2,3,8,13,18,22,28,43]	h1	CI = 0.4571429	[1,7,9,10,15,20,21,32,34,37,38,39,40,44,47,48]
f3h3	CI = 0.3846154	[5,6,18,22,43]	h2	CI = 0.4571429	[4,11,12,14,16,17,19,25,26,27,30,33,35,36,41,46]
c1g1h3	CI = 0.3846154	[8,13,18,22,42]	b3f1	CI = 0.1714286	[4,15,23,30,39,45]
a1c1h3	CI = 0.3846154	[6,18,22,31,42]	b3d1	CI = 0.1714286	[4,15,23,30,39,45]
c1d2h3	CI = 0.3846154	[6,8,18,29,42]	b3e1	CI = 0.1714286	[4,15,23,30,39,45]
b1h3	CI = 0.3076923	[5,8,28,31]	d1e1f1	CI = 0.1714286	[4,15,23,30,39,45]
b2h3	CI = 0.3076923	[22,29,42,43]			
a1g2h3	CI = 0.3076923	[3,6,28,31]			
a1d2h3	CI = 0.3076923	[6,18,28,42]			
d2g2h3	CI = 0.3076923	[2,6,28,29]			

開放感がない			開放感がある		
c1h1	CI = 0.4761905	[7,9,10,20,21,32,37,38,39,40]	c1h3	CI = 0.3703704	[6,8,13,18,22,23,29,31,42,43]
a1h1	CI = 0.3809524	[10,15,20,32,34,37,38,44]	d2h3	CI = 0.2962963	[2,6,8,18,24,28,29,42]
e2h1	CI = 0.3809524	[7,9,10,20,21,34,44,47]	a2h3	CI = 0.2962963	[2,5,8,13,23,24,29,43]
g2h1	CI = 0.3809524	[9,34,37,38,39,40,44,47]	f2h3	CI = 0.2222222	[2,13,24,28,31,42]
d2h1	CI = 0.3809524	[10,21,32,34,37,40,47,48]			
f2h1	CI = 0.2857143	[7,32,34,38,47,48]			

心地よくない			心地よい		
c1h1	CI = 0.3846154	[7,9,10,20,21,32,37,38,39,40]	c1h2	CI = 0.4545455	[11,14,19,25,26,27,30,33,35,41]
g2h1	CI = 0.3076923	[9,34,37,38,39,40,44,47]	g1h2	CI = 0.3636364	[4,11,17,19,25,33,35,46]
d2h1	CI = 0.3076923	[10,21,32,34,37,40,47,48]	e1h2	CI = 0.3636364	[4,14,17,26,30,33,41,46]
e2h1	CI = 0.3076923	[7,9,10,20,21,34,44,47]	a1h2	CI = 0.3636364	[4,12,14,16,19,25,33,41]
a1h1	CI = 0.3076923	[10,15,20,32,34,37,38,44]			

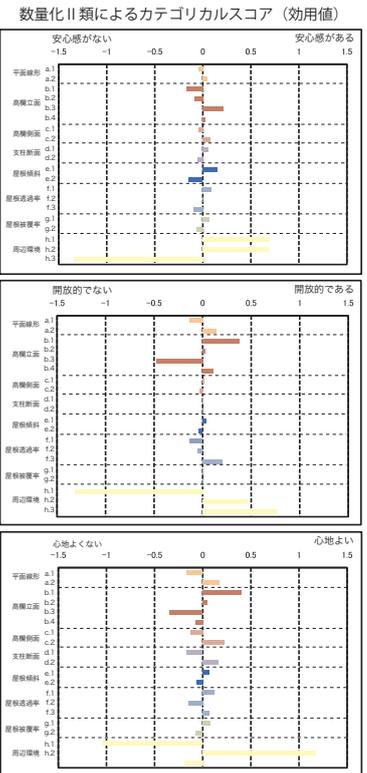


Fig. 6-3 ~ 6-4 C1の各感性ワードに対するDR及びC.I.値 (DR分析) / カテゴリカルスコア (数量化Ⅱ類)

ジの発現、態度の判断の一連のプロセスを Fig.6-5 のように仮定した。

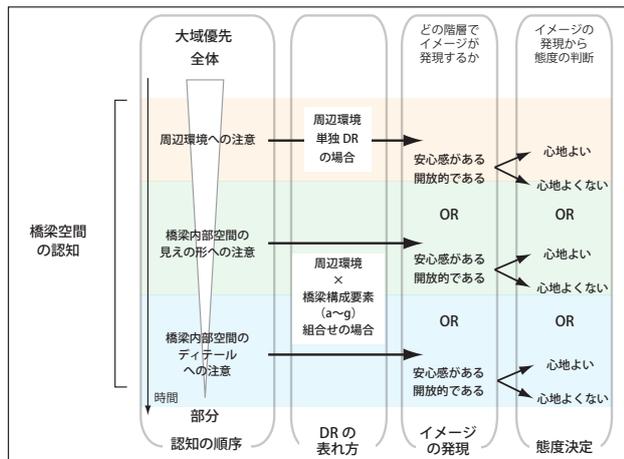


Fig. 6-5 認知 (階層) とイメージ発現から態度決定のプロセスの仮定

本研究では、第1層に「h. 周辺環境」を、第2層に橋梁内部空間の見えるの形：「a. 平面線形」「c. 高欄断面形状」「d. シェルター支柱断面形状」「e. 屋根面の傾斜」「g. 屋根面被覆率」を、第3層に橋梁内部空間のディテール：「b. 高欄立面形状」「f. 屋根面の透過率」を位置づけた。

以上の認知モデルに基づいて、DR分析で求められたDRとC.I.値を視覚化した。記述するDRについては、Fig.6-3の抽出ルールと同じとし、C.I.値の大きさをパスの太さで表現した。実線は肯定、点線は否定の評価を表す。矢印の引き方については、上位から下位の階層間の属性値の組み合わせの場合は片矢印、同じ階層間同士の属性値の組み合わせの場合は両矢印とした。

また、数量化Ⅱ類で求めたカテゴリカルスコアについて

も合わせて視覚化を行った。カテゴリカルスコアについては絶対値0.1以上のカテゴリーを抽出し、0.1以上0.3未満といった様に0.2刻みで分節し、ノードを囲む実線と点線でパスと同様に表現した。

以上のルールに基づき、各クラスターの感性ワード毎のDR及びC.I.値、カテゴリカルスコアを視覚化したものの各クラスターの感性ワード毎の一覧を次頁 Fig.6-6 に示す。また、大きな点線枠で囲っているものが態度を表すイメージ言語「心地よいー心地よくない」との相関があったイメージを表す感性ワードの決定ルールの分析結果である。

7. 考察

(1) 結果の一覧化

前章までの、感性ワード間の相関関係、DR分析の結果、階層的構造記述を通じて得た評価構造の結果の解釈をクラスター毎に表にまとめ一覧化した。次々頁 Table.7-1 にその一覧を示す。各クラスターの感性ワード毎の評価の傾向を大まかに捉え、似た傾向のものを色付けした枠や網掛けで表示した。

(2) クラスター毎の傾向

結果を見ると、C1は安心感がある空間を心地よいと判断し、橋梁内部空間に広がりのあるプロポーショナルである場合に肯定的な判断をする傾向が強いクラスターと言える。C2は開放感がある空間を心地よいと判断し、橋梁内部空間に広がりのあるプロポーショナルの場合、否定的な判断をする傾向が強いクラスターと言える。C3は、C1同様に安心感がある空間を心地よいと判断し、橋梁内部空間に広がりのあるプロポーショナルの場合に肯定的な判断をす

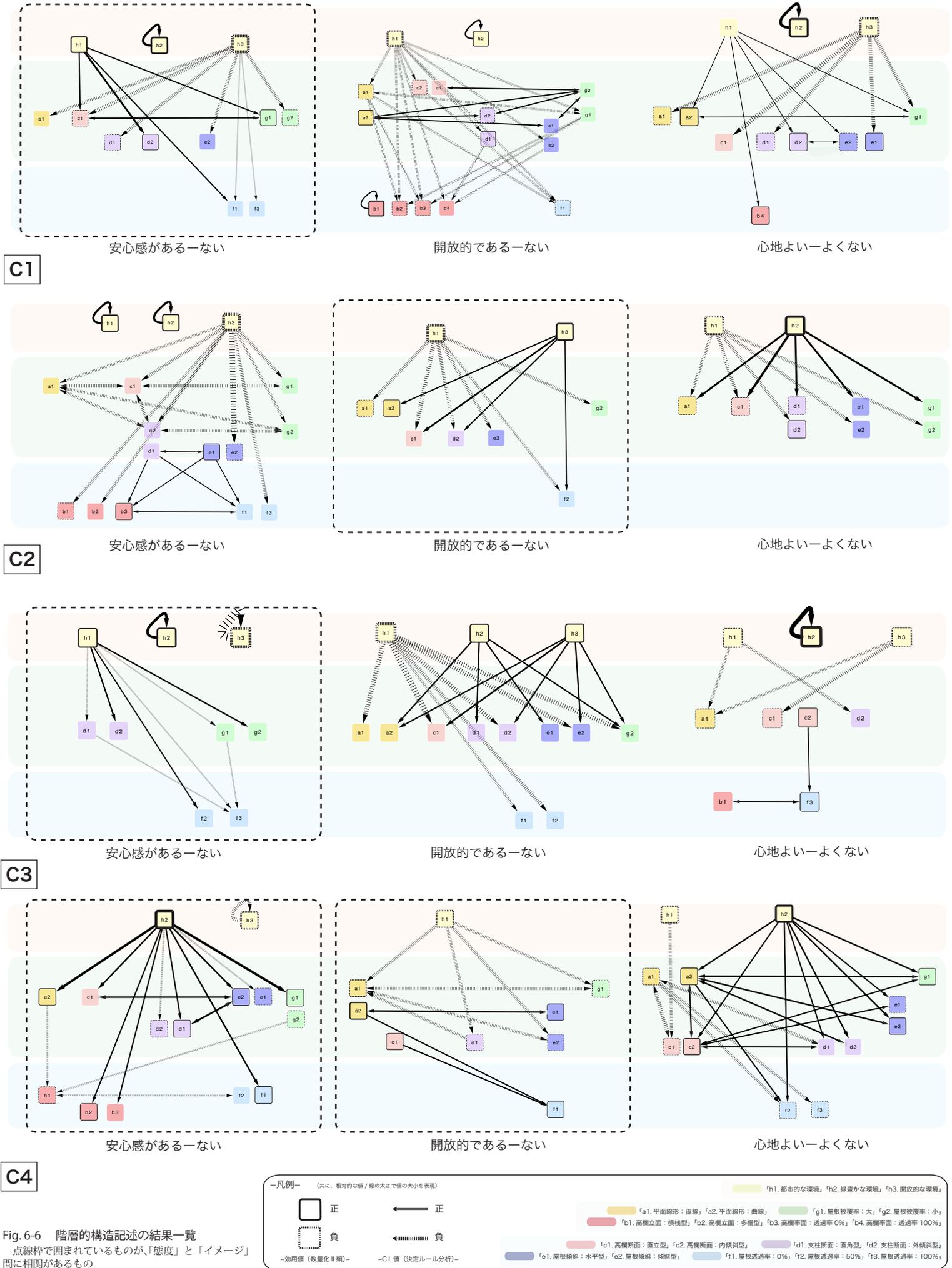


Fig. 6-6 階層的構造記述の結果一覧
点線枠で囲まれているものが、「態度」と「イメージ」間に相関があるもの

Table.7-1 各クラスターの結果の解釈一覧

		C1	C2	C3	C4
相関分析	安一開	× : 0.07265 (-)	× : 0.15449 (-)	× : 0.02607 (-)	× : 0.00983
	安一心	◎ : 0.7370	× : 0.2721	○ : 0.6692	○ : 0.6454
	開一心	× : 0.2945	○ : 0.6983	△ : 0.4857	○ : 0.5288
評価構造	<ul style="list-style-type: none"> ・「安心感がある」では、周辺環境の階層でイメージ発現。 ・肯定否定問わず周辺環境と橋梁内部の見えの形の関係でイメージが発現。一部、ディテールとの関係も。 ・また、橋梁内部空間の構成要素間の関係性によってイメージが発現。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「安心感がある」：周辺環境の階層でイメージ発現 ・「安心感がない」：橋梁内部空間の見えの形に着目している ・その他の感性ワード：周辺環境と橋梁内部空間の属性値との関係でイメージが発現するものが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「安心感があるーない」「心地よい」：周辺環境の階層でイメージ発現 ・その他の評価：周辺環境と橋梁内部空間の属性値との関係でイメージが発現。橋梁構成要素同士の関係はあまり見えていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・「安心感がない」のみ周辺環境の階層でイメージが発現 ・他のクラスターに比べて、橋梁内部空間の構成要素間の関係性によってイメージが決定されている 	
安心感がある	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) 単独 ・都市的な環境 (h1) ・建築物を隠す屋根面形状 (g1/f1) 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市的な環境 (h1) 単独 ・緑豊かな環境 (h2) 単独 →周辺環境によって何らかの形で囲まれている 	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) 単独 ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間に囲い込まれる属性値の組合せ ○屋根面が透過率 100% ○支柱外傾斜 (g2) 	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) 単独 ・緑豊かな環境 (h2) ○橋梁内部空間が囲まれつつ広がりのある属性値の組合せの場合 ○平面線形：曲線 	
安心感がない	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ○平面線形：直線 	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) 単独 ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ○建物が見える橋梁内部空間の属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) 単独 ・緑豊かな環境 (h2) ○特定のシェルタープロポーション (e1/d2) ・橋梁内部空間が広がりがある属性値の組合せの場合 	
開放的である	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) 単独 ・高欄横棧型 (b1) 単独 ・橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ・緑豊かな環境 (h2) ○橋梁内部空間が囲い込まれる属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺環境 (h) に因らない ・平面線形：曲線 ○屋根面が水平 (e1) / 透過率 0% (f1) の属性値の組合せの場合 	
開放的でない	<ul style="list-style-type: none"> ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間が囲い込まれる属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ○平面線形：直線 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間が囲い込まれる属性値の組合せの場合 ○平面線形：直線 	
心地よい	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) 単独 ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ・平面線形：曲線 ○屋根面被覆率大 	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) ○橋梁内部空間が囲い込まれる属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) 単独 ・橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・緑豊かな環境 (h2) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ○平面線形が曲線 ○橋梁内部空間が囲い込まれている属性値の組合せの場合 	
心地よくない	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) ○平面線形：直線 ○橋梁内部空間が囲い込まれる属性値の組合せの場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市的な環境 (h1) ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 ○平面線形：直線 	<ul style="list-style-type: none"> ・開放的な環境 (h3) ○平面線形：直線 ○平面線形：直線 ○支柱外傾斜 	<ul style="list-style-type: none"> ・平面線形が直線 ○高欄直立 ○橋梁内部空間に広がりのある属性値の組合せの場合 	

るが、橋梁構成要素同士の関係自体には言及せず、周辺環境と橋梁構成要素の関係で判断をしている傾向が強いクラスターと言える。最後、C4 は安心感がある、或いは開放的である空間を心地よいと判断し、他のクラスターに比べ平面線形に強く着目しているクラスターと言える。

(3) 「態度」「イメージ」間の相関関係に基づいた考察

Table.7-1 の相関関係の結果を見ると、C1・C3 では「安心感があるーない」「心地よいー心地よくない」間で、C2 では「開放的であるー心地よい」間で、C4 では「安心感があるー心地よい」「開放的であるー心地よい」間で相関が見られた。すなわち、上述した決定ルールは心地よい、或は心地よくないとされる空間にみられる橋梁空間の特徴であり、得られた結果は一般性を持つとまでは言い切れないが、無数にある構成要素の組合せの中から抽出された決定ルールであり、設計の際に一定レベルの参考となる資料（設計知識）になり得る。そこで、該当する決定ルールの一覧を次頁 Fig.7-1 に示す。

ここでは得られた設計知識の内、解釈可能で興味深いものについていくつか取り出して具体的に記述する。

まず、Fig.6-6 の C1 の「安心感があるーない」に着目すると、f1. 屋根面の透過率 0% が組合わされる周辺環境

によって評価に対する振舞いを変えている。h1. 都市的な環境の場合であれば安心感があり心地よい空間と評価され、h3. 開放的な環境の場合であれば安心感がなく心地よくない空間と評価されている。屋根面によって囲い込まれることで周辺建物が隠され、圧迫感等の負の印象が減少したと考察できる。一方、開放的な環境下においてはその屋根面による囲い込まれ感が、逆に負の印象をつくり出してしまっていると考察できる。

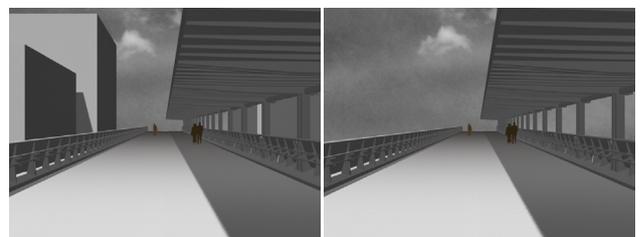


Fig.7-1 ~ 7-2 C1 の「安心感があるーない」での周辺環境と橋梁構成要素 f1 の関係による印象の変化 (左：安心感がある 右：安心感がない)

また、C3 の「安心感があるーない」では、h1. 都市的な環境と f2. 屋根面の透過率 50% の組合せの場合は、安心感があり心地よい空間であると評価され、f3. 屋根面の透過率 100% との組合せの場合は、安心感がなく心地よくない空間であると評価されている。このことから、都市



Fig.7-1 得られた設計知識の一覧

的な環境においては、囲い込まれることによって安心感があり心地よい空間であるとされる屋根面の透過率にはある閾値があると示唆された。

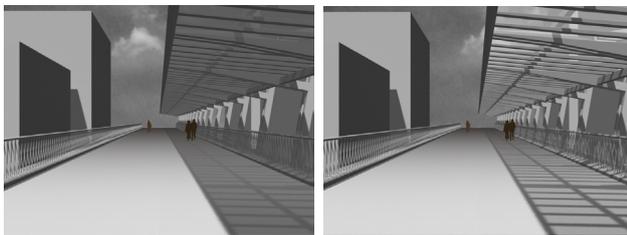


Fig.7-3 ~ 7-4 都市的な環境における屋根面の透過率の閾値 (左: 50%→安心感があり心地よい空間 右: 100%→安心感がなく心地よくない空間)

次に、C2の「開放的であるーない」について着目すると、c1. 高欄断面形状：直立型、d2. シェルター支柱断面：外傾斜型、f2. 屋根面の透過率：50%のいずれもが、周辺環境との組み合わせによって評価に対する振る舞い方を変えている。h1. 都市的な環境との組み合わせでは開放的でなく心地よくない空間として評価をされ、h3. 開放的な環境との組み合わせでは開放的で心地よい空間として評価されている。c1/d2/f2 いずれも広がりのある橋梁内部空間を形成する橋梁構成要素であり、前者ではそれが建物からの圧迫感を助長し開放的でないというイメージが発現し、後者では開放的な環境と相まって開放感があるというイメージが強く発現されたと考察できる。

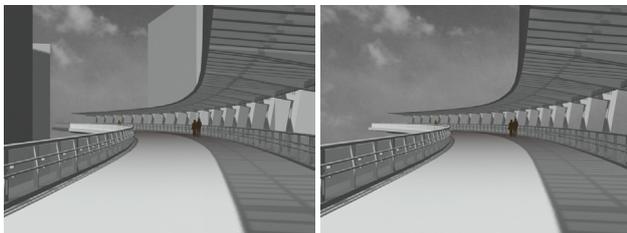


Fig.7-5 ~ 7-6 都市的な環境 / 開放的な環境における c1/d2/f2 の振る舞いの変化 (左: 開放的でなく心地よくない空間 右: 開放的で心地よい空間)

いつかの例に着目してみても、橋梁内部空間の構成要素の性状が同一であっても、周辺環境との組み合わせによっては評価は変化する、逆に周辺環境が同一であっても橋梁内部空間の構成要素の性状が変化することで異なる評価となる場合があるということが分かった。

(4) 「態度」「イメージ」言語を等価に扱った場合の考察
次に、通常であれば考察を行わない態度と相関関係のと

れていない感性ワードも等価に扱い考察を行う。

a) h. 周辺環境について

結果を概観すると、h. 周辺環境が橋梁空間の印象に大きな影響力を持っていることが分かった。これは階層的構造記述において第1層に位置づけた根拠ともなる。いずれのクラスターも、DR分析において単独DRとして高いC.I. 値で周辺環境が抽出されたこと、またほとんどのDRにおいてh. 周辺環境が組合われて抽出されていること、数量化Ⅱ類によるカテゴリカルスコアにおいても高いスコアであることから、これまで議論の複雑化を避ける為に議論の枠から外されてきた周辺環境というものが、橋梁利用者の橋梁空間のイメージ発現や態度決定に強い影響力を持っており、橋梁内部空間との関係を考慮した設計を行うことが必要であるということが示唆された。

特に、h2. 緑豊かな環境については「安心感がある」「心地よい」については、いずれのクラスターにおいても単独ないしは橋梁構成要素との組み合わせのDRとして抽出されている。このことから、一般にh2. 緑豊かな環境であることが、安心感があって心地よい橋梁空間を形成して要因であることが分かった。

また、Table.7-1を比較してみると、クラスターによってその周辺環境の持つ影響力の度合い、或いは評価そのものが異なり、評価傾向がクラスター毎に異なることが分かった。例えば「開放的である」では、C1では緑豊かな環境が単独DRで、C2やC3では開放的な環境が橋梁構成要素との組み合わせで印象が決定している。また、C4では周辺環境が決定ルールとして抽出されておらず、クラスター毎にその周辺環境の捉え方が異なることが分かる。

b) 平面線形について

平面線形は明確な評価の差が表れた。直線線形は否定的評価に、曲線線形は肯定的評価に捉えられ、多くのDRとして抽出された。特に、C4は平面線形に着目して空間の印象を判断している傾向が強かった。曲線の平面線形が三

次的に空間化されやすく変化に富んでいるのに対し、直線の平面線形が2次元的で広がりがなく単調に捉えられることが要因であると考察できる。

c) 特徴的な評価傾向が見られた箇所

Fig.6-6を見ると、C2の「開放的であるーない」「心地よいーよくない」とC3「開放的であるーない」の評価傾向、特に都市的な環境との橋梁構成要素の組み合わせには類似性が認められる。Fig.7-1の水色の網掛けの部分にあたり、都市的な環境で橋梁内部空間が広がりのある属性値をとる場合に開放的ではないと判断されている。また、C2においては開放的ではないだけでなく、心地よくないの評価も類似している。これは、態度とイメージ言語間の相関関係が見られることから裏付けられる。

同様に、相関関係があるC1の「安心感があるーない」「心地よいーよくない」でも類似的な評価傾向が認められた。また、C4においては「安心感があるーない」「開放的であるーない」のそれぞれの評価構造に見られる関係性が混合されたように、「心地よいーよくない」ではその評価傾向が複雑化していることが見てとれた。C3では有意な類似性は認められなかった。

d) 相関の有無と評価構造における認知深度の関係

また、Fig.6-6を概観すると態度を表す感性ワードとの相関が見られなかったイメージを表す感性ワード（C1/C3「開放的であるーない」、C2「安心感があるーない」）の評価構造は、相関が見られたものに比べ、複雑な評価構造になっていることが分かる。これらに見られる特徴としては、橋梁内部空間の見えの形の層における橋梁構成要素同士の組み合わせ、或いはその下層のディテールとの組み合わせが多く見られることであり、相関が見られた感性ワードの評価構造よりも、より深層まで認知が進んだ段階で、イメージが発現し、態度を決定していると今回の実験結果から考察できた。

8. 総括と今後の課題

(1) 結論

本研究では橋梁空間の圍繞性に着目し、感性評価実験を行い得られた結果にラフ集合理論を応用した分析を行い、橋梁空間の印象を決定する決定ルールを抽出した。その結果、Fig.7-1に示すような設計に際して参考となる設計知識を抽出できた。

また、得られた分析結果を認知モデルに基づき、階層的構造記述を用いて視覚化することで、被験者クラスター毎の評価構造の違いについて比較を行った。その結果、これまで議論の複雑化を避ける為に議論の枠から外されてきた周辺環境というものが、橋梁空間のイメージ発現や態度決定に強い影響力を持っており、周辺環境も含めた橋梁空間という概念で橋梁利用者の空間体験を捉え、議論を行う必要性があることが示唆された。一方で、人の橋梁空間の評価構造は一部類似する傾向も見られたが、基本的には一様ではなく、被験者クラスター毎に周辺環境、或いは周辺

環境と橋梁内部空間の関係についての評価構造は異なり、複雑な評価構造を持つことが分かった。特に、態度言語との相関関係がないイメージ言語の場合、その評価構造は相関関係がある場合に比べより複雑で、深層まで認知が進んだ段階でイメージ発現、態度決定が行われていたことが分かった。

(2) 今後の展望

今回は橋梁構成要素と周辺環境の総体としての橋梁空間を考え、圍繞性に着目して研究を行い、中でもシェルター橋に評価サンプルを絞って議論を行った。橋梁空間という概念で、橋梁利用者の空間体験を捉え、議論を行う必要性があることが本実験より改めて確認された為、他橋梁形式での圍繞性の議論、延いては着想の整理で挙げた他の空間の性質についての議論へと展開していくことが、今後の展望としてあげられる。

謝辞

師走のお忙しい時期に、本実験にご協力頂きました計81名にのぼる早稲田大学の学生の皆様、出来の悪い筆者の論文を最後までご指導頂いた佐々木先生、研究の相談にのって下さった学内外の皆様、そして最後まで共に研究を行った研究室の同期のみなさんには、この場を借りて心から感謝を申し上げます。本当にありがとうございました。

9. 参考文献

- 1) 加藤誠平：橋梁美学山海堂1936
- 2) 張延杉山和雄・渡邊誠・洪高憲：内部景観評価より道路橋への入り方に関する研究デザイン学研究 研究発表大会概要集 (48) pp.168-169,2001
- 3) 張延八馬智・杉山和雄：道路内部景観における視点の違いがもたらす長大橋のもたらす印象に関する研究—多島海地域でのケーススタディー、デザイン学研究 52(6), pp.37-44, 2006
- 4) 下原祥平, 島崎敏一:ラフ集合理論を用いた歩行空間の評価, 土木計画学研究講演集, 2008
- 5) 松井哲平・佐々木葉：新機能主義橋梁デザインの評価構造に関する基礎的研究 土木学会論文集D1 (景観・デザイン) ,Vol. 68No. 1,2012
- 6) 井上勝雄, 原田利宣, 椎塚久雄, 工藤康生, 関口彰：ラフ集合の感性工学への応用, 海文堂, 2009
- 7) 杉山和雄：橋の造形学, p.117,124-125, 朝倉出版, 2001
- 8) 森典彦・田中英夫・井上勝雄：ラフ集合と感性海文堂, 2004
- 9) 川崎市：川崎駅西口歩行者専用道路8号整備その他工事設計書
- 10) 篠原修編：景観用語事典, 彰国社, 1998
- 11) 兵藤宗吉・須藤智：認知心理学基礎実験入門, 八千代出版, 2008
- 12) 石井信行：構造物の視覚的力学, 鹿島出版会, 2003
- 13) 平野勝也：街並メッセージ論とその商業地街路への適用, 東京大学博士論文, 1999
- 14) 平野勝也：街路の雰囲気を探る—街並メッセージ論という見方—, 国際交通安全学会誌Vol.28No.4, pp.42-49, 2004

【図版クレジット】

- Fig.3-1 Google mapより引用
 Fig.3-5 エムアンドエムデザイン事務所HPより引用
 Fig.3-7 参考文献6より
 Fig.5-1 参考文献8より

(注1) アフォーダンス：affordance

アフォーダンスとは、環境が物物に対して与える「意味」のことである。知覚心理学者ジェームズ・J・ギブソン（米国）による造語であり、生態学、生態心理学の基礎的概念である。デザイン分野においては、1988年にドン・ノーマン（米国）がデザインの認知心理学的研究の中で、モノに備わった、ヒトが知覚できる「行為の可能性」という意味でアフォーダンスを用いたのが始まりである。この文脈においてアフォーダンスという語義が、ユーザーインターフェースやデザインの領域において使われるようになった。本研究も後者と同じ文脈でアフォーダンスという語義を用いる。

(注2) “触覚的な設計”

“エンジニアの才能と技を發揮する積極的な役割はここにある。建物に使われた素材の本当の存在感を見せる為に、素材や構造の知識を使うのだ。そうすることによって、人々はその建物に親近感を持ち、触れたくなり、素材の感覚を味わったり、それを建て設計した人物のありさまを感じたくなる。[中略]デザイナーが建物を作ったという雰囲気を残すことが、人間味のある触覚的な設計への道だ。”

“デザインというのは、単に手に触れる物でなくともかまわない。素材がその内なる本質を表現するように感覚的に用いられ、素材に意識的なデザイナーが、ある素材をリアルに感じられるように使っていれば、それで十分感覚的なものとなる。”
 (ピーター・ライス：ピーター・ライス自伝, pp.83-86, 鹿島出版会より)