

ネオ 新機能主義橋梁の形態的特徴と印象に関する研究

松井 哲平

Teppei MATSUI

近年、橋のデザインは多様化し様々な構造の橋が見られるようになってきた。そこには、構造の力学的合理性を追い求める機能主義の時代から、新しい表現形式として構造自身を創造することへ設計思想が変化してきたことが見られる。そこで本研究では、橋梁観察者が感じる力の流れや動きの可能性を動的イメージと定義し、感性評価実験を行い、ラフ集合理論を用いその形態的特徴の組み合わせと印象の関係を抽出した。その結果、評価の傾向とその特徴を明らかにすると共に、動的イメージを喚起させていると考えられる新機能主義橋梁の形態的特徴を把握した。

Key Words : 橋梁デザイン、新機能主義、動的イメージ、感性工学、ラフ集合理論

1. はじめに

建築物や橋梁のような構造物を対象とした構造デザインの分野においては、その構造物の形態に内在する力の流れや動きのイメージが視覚的に表現されているかどうか、一つのデザインの評価基準となる事が多い。特に近年では、田村が新機能主義¹⁾と呼ぶように、『単に機能即美ではなく、用強美のすべてを備えたものを機能として捉え、構造から決まる形をいかに洗練された形に仕上げるのか²⁾』という傾向が強まってきている。

しかし、現在までの橋梁設計思想に関する研究は設計者個人の設計手法や考え方には言及しているが、デザインの面において、その時代の特徴を明らかにするまでには至っていない。特に現代の新機能主義においては、常に新しい構造形式を提案してきたわけでないにも拘らず、これまでの橋梁とは明らかに違う印象を与えていると感じられる。

また、デザインにおける特徴とは個別の子細な規則ではなく、それらの規則の組み合わせによるものが重要であると考えられる。そして、その構成要素の組み合わせと人間の直感的な感覚との結びつきを求める方法論があれば有効である。

一方、対象が複数の要素により表現されている場合に、その対象を特徴付けている少数の要素の組み合わせを知るものとして、ラフ集合理論 (Rough set theory)³⁾がある。橋梁のような複雑な対象を出来るだけ詳細に記述するには、多大な量の語彙を必要とする。たとえ記述できたとしても、そこからその意味や本質（どの部材を同時にどう変化させれば印象がどう変化するか等）を理解する事は容易ではなく、設計に役立てるには煩雑な手続きを有すると考えられる。しかしながら、そのような複雑な概念のうち、一般性のある中枢を捉えるには、ラフ集合理論を援用する事が有効である。

人が橋梁を観察する際に直感的に感じる印象の要因をその構成要素の組み合わせとして得る事が出来れば有用な知見となり、設計の為に一定の基準を与え得るものとして、設計の実用に資するものと考えられる。

2. 研究の概要

(1) 目的と方法

本研究では、橋梁デザインの直感的な印象の要因を形態要素の組み合わせとして把握することを目的とする。

そこで、本研究では対象を新機能主義の橋梁とし、その設計思想の整理、形態的特徴と印象に関する仮説の構築を行い、仮説に基づいて作成した Computer Graphics (以下、略称 CG) を用いた感性評価実験を行う。感性評価実験の結果にラフ集合理論を適用する事により、感性評価の要因となる形態要素の組み合わせを抽出し、分析・考察を行なう。

(2) 新機能主義の位置づけ

1. で示したような現代の設計思想については、中村は構造生成主義²⁾と呼んでおり、また建築の分野ではニューモダニズム³⁾や構造形態創生³⁾等と呼ばれているが、本論では田村の新機能主義を用いることとする。

(3) 既往研究

橋梁形態と感覚に関する研究として、石井⁴⁾は力のイメージが形成されるメカニズムの仮説を認知科学の枠組みの中で構築した。さらにその仮説が彫刻や橋梁に対して、観察者が抱く印象を統一的に解釈できる事を示した。永見ら⁵⁾は、桁橋に着目し、デザイン事例を収集し、各々のデザイン案を SD 法によって印象評価を行った。また、杉山⁶⁾は、鑑賞行動をアイマークレコーダーによって、印象評価を SD 法によって抽出し、各知覚パターンは特定のパターンと高い相関があるとした。

人間の感性をデザインに結びつけている研究は、主にプロダクトデザインの分野で成果が上げられている。田川、河村、谷、籠澤⁷⁾は、遺伝的アルゴリズムを用いて、家具のデザインにおいて個人の嗜好の定量化を行っている。広川、井上⁸⁾は印象評価実験によって携帯電話機における認知部位と評価用語の関係を把握した。また森、高梨⁹⁾は自動車デザインにおける人間の感性評価に対して、非線形性を有するラフ集合理論が有用である事を示している。

このように、形態と感覚に関する研究は数多く見受けられる。しかし、橋梁デザインの分野では、対象を単純化した事で設計論まで発展しないものや、複雑なまま扱う事で分析に研究者の主観が入り込んでしまうものが多く見受けられる。

本論の特色は、複雑な対象に対して、直感的な評価の際に、人が無意識のうちに用いている評価決定ルールをラフ集合理論を適用して、記述しようとする点にある。

3. 構造生成主義の設計思想

(1) Santiago Calatraba の造形

サンチャゴ・カラトラバの作品には、常に造形的な議論が伴ってきた。新機能主義の立役者とも言える氏の思想を、既存の文献から整理する。

1) 形態の創造

カラトラバは、形態の創造において人間や生物の骨格をしばしばモチーフとして用いている⁴⁾(図-1)。

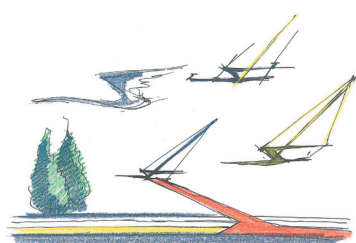


図-1 カラトラバのスケッチ
飛び立つ鳥と斜張橋のタワー



図-2 カラトラバの彫刻

このことに関して、アレキサンダー・ツォニス『カラトラバの形態が、動きを有した有機体との外見的な類似性を超えて、本来的な動きを象徴している』¹⁰⁾と捉えている。また、そのモチーフから形態へと昇華するプロセスは、より純粋な形態表現が可能となる彫刻で表現される場合がある(図-2)。つまり、カラトラバは、生物の様に元来動きを有しているものと外見を同じくしているだけでなく、そこからその生物が有する構造や力、動きを捉え、形態に昇華させていると考えられる。

2) 位置エネルギー

ツォニスは、形態要素同士の間にはカラトラバが見出したものを位置エネルギーと捉えている。つまり『形態は力の作用、反作用だけでなく、構造物が運動する可能性を有していることを示す図式である』¹¹⁾と説明する。またカラトラバ自身も『力は、建築においても、機械においても、質量と加速度の積に等しい。可動性は力の概念に内在しており、力は結晶化された運動であると捉えられる』¹¹⁾と語っている。

3) 構造システム

ウェブスターはカラトラバの作品における構造システムについて、『カラトラバの作品で典型的なことは、力を遠回りさせるような部材配置の削除である』¹¹⁾としている。つまり、この操作によって力の流れをより明快に知覚させようとしていると考えられる。

(2) 構造生成主義の設計思想

以上の様に、カラトラバの設計思想においては、彼にとって構造物の形態は力のシステムであり、構造物を設計することは、力のシステムを構築することであり、同時に力を視覚化する創造行為であると言える。

また、このことは他の構造デザイナーにおいても当てはまることが多い。例えば、ローラン・ネイは自身で設計を行う際の評価基準として『力学的成り立ちが明確で、誰もが直感的に構造原理を理解できるもの』¹²⁾としており、さらにマイク・シュライヒにおいてもハイブリッド橋梁やダイナミックなバランスを持つ橋梁を数多く生み出している¹³⁾。

デザイナー個々人においては、さらに細かい思想があると考えられるが、力の流れや動きを形態として視覚的に表現することは、構造生成主義の設計思想において、大きな主眼になっていると考えられる。

4. 仮説の構築とパラメータの設定

(1) 標準橋梁形態モデルの作成

本章では、仮説の構築及びパラメータの設定を行なう。

仮説の提示・パラメータの設定に関しては、実際の橋梁デザイン及び形態を認知科学的に解釈した研究¹³⁾を参考に、各種部材の形状や大きさを変化させることで生じる印象の変化を、モデルとする橋梁のCGを作成し観察することとした。

モデルとする橋梁として、Alameda Beidge と新都心大橋を参考に、部材数やスパン長をそろえた標準橋梁形態モデルを作成した。

尚、作成した標準橋梁形態モデルは、第5章の感性評価実験でも用いる事とする。

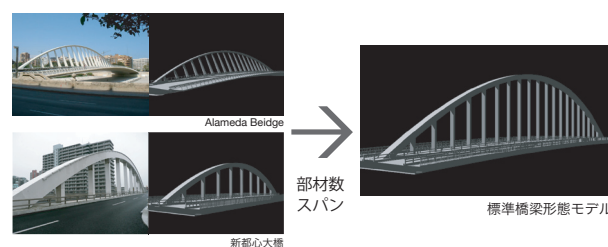


図-3 標準橋梁形態モデル作成プロセス

(2) 仮説の構築

構造物において形態的特徴により喚起される動的イメージとその要因についての仮説を構築する。

仮説の構築にあたっては、①新機能主義の橋梁を観察し、経験的に法則を発見すること、②認知科学の研究^{4,14)}を参考に、その形態的特徴を認知科学的に解釈すること、③その形態的特徴を標準橋梁形態モデルに適用し観察することの3点から仮説を構築する事とした。また、人間が構造物から得ている視覚情報としては構造物に関する情報を与える周辺状況も視野に入っているが、ここでは議論が複雑になりすぎる為扱わない事とする。

仮説① 鉛直からの傾斜

海外事例において多く見られるが、本来鉛直に保たれているべき部材が角度的にズレている場合、そのズレが重力方向である場合には、観察者はそこに力の流れをイメージすると考えられる。このことは、建築の形態においてもルドルフ・アルンハルムが、『重力空間において、水平線と垂直面を基準として、垂直軸からの逸脱の程度、水平面からの離れが、視覚的なダイナミクスを与えている』¹⁸⁾と捉えている。

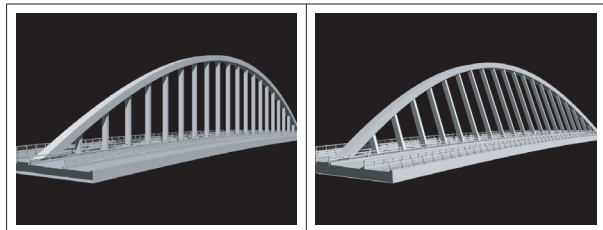


図-4 アーチリブ傾斜角 0°

図-5 アーチリブ傾斜角 20°

また、この鉛直からの傾斜による動的イメージはアーチリブのみならず、高欄等のディテールにおいても現れてくると考えられる（図-6、図-7）。

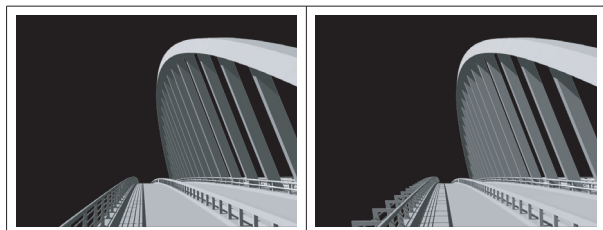


図-6 高欄傾斜無し

図-7 高欄傾斜有り

なお、これらの操作を行った際カトラバなどにおいては、傾けたアーチリブの天板を水平に切るという操作や、傾けた高欄に水平部材を付ける等の操作が見られる。これらの操作によって不安定に感じられる鉛直からの傾斜に安定感を付与していると考えられる。

仮説② 構造体の持つ視覚的量感

人の認知は動的イメージを喚起させるような斜め方向に比べ、水平・垂直方向に強く働く¹³⁾。そのため、斜め方向を持つ構造体に関しては、ある程度量感を持つ必要があると考えられる。しかし、その量感はある閾値を超えて大きくなると不安定という印象を与えると考えられる（図-8、図-9）。

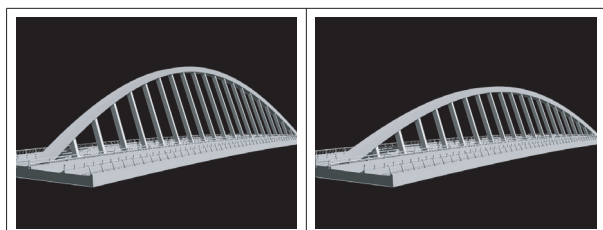


図-8 量感大

図-9 量感小

仮説③ 薄く見せる橋桁

近年の橋梁では、極力桁高を押さえたり、桁側面を薄く見せる操作が見受けられる。これによって桁の存在感を少なくし、構造体が強調され、力のイメージがより鮮

明になると考えられる（図-10、図-11）。

この事は、視覚心理学における視空間の異方向やゲシュタルト心理学における空間方向性¹²⁾によって説明がつくと考えられる。

つまり、『水平方向と斜め方向では異なった性質を持つ』¹¹⁾であり、『水平・垂直に広がる領域は、斜め方向に広がる領域よりも図になり易い』¹¹⁾のである。簡単に言えば、人の認知は空間の主方向である水平・垂直方向に強く働くという事である。

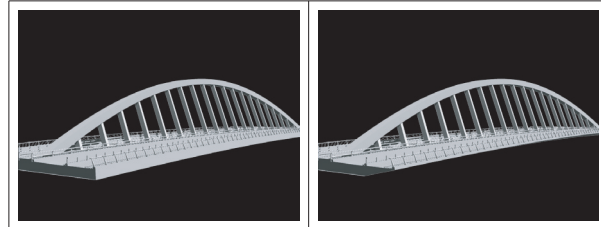


図-10 厚い桁高

図-11 薄い桁高

仮説④ 非対称性

カトラバの作品の中でもよく見られる特徴として、非対称性が挙げられる。アルンハイムによると『垂直方向にシンメトリーを持つ構造物は、安定感や普遍性を感じさせ、アシンメトリーであるものは、動的要素があり視覚的なダイナミクスを感じさせる』¹³⁾のである。

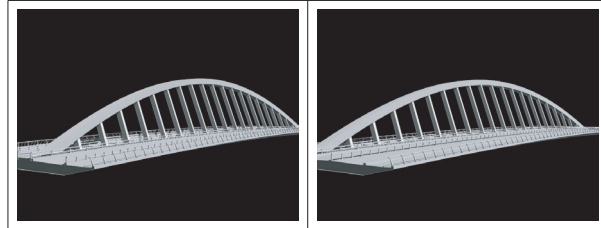


図-12 対称

図-13 非対称

図-9では、アーチリブの位置を中央から歩道側にずらしたものであるが、この操作により鉛直からの傾斜がより強調され、観察者に動的イメージをより強く喚起させると考えられる。

仮説⑤ 変断面をとる部材、有機的な部材

新機能主義においては、丸みを帯びた有機的な部材や変断面をとる部材が多く見受けられる。アルンハルムによると『有機的な部材は、その形態自体が動的な視覚的なダイナミクスを引き起こす』¹⁸⁾としており、また変断面を持つ部材に関しては、建築物の柱に着目して『古典的な柱は、一番上に向けて先細りになっていく。この形は、先の方の自由な部分に向けて上昇する推進力を表す』¹⁸⁾としている。これらの処理は、観察者の感じる動的イメージをより強くしていくと考えられる。

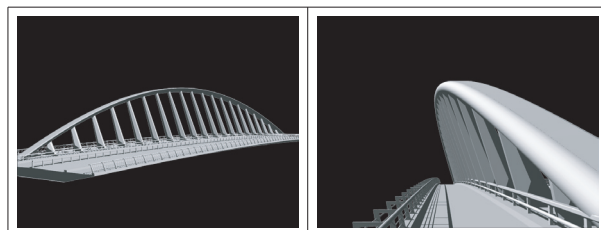


図-14 変断面

図-15 有機的

(3) パラメータの設定

上記の仮説に基づき、橋梁を構成する要素を図-16のように分割した。ここでは、橋梁形態をアーチリブ、視覚的量感、桁、アーチリブの位置、アーチリブ形状、高、斜材、アーチリブの天板、高欄水平部材の各部位に分割する。また分割した内の各形態要素の一つが各部位を構成している要素とし、部位の集合が橋梁形態を構成しているとみなす。

モデルとした Alameda Beidge と新都心大橋において、位相差の大きい部位 <a> に関しては、形態要素を3つに分類した(表-1)。

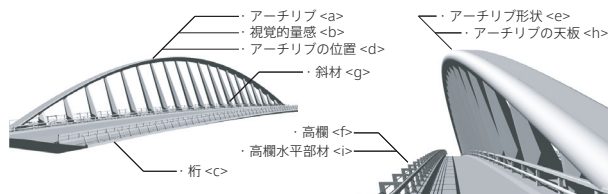


図-16 構成要素の分割

表-1 構成要素の定義と分類

項目	形態要素	略記号	項目	形態要素	略記号
アーチリブ<a>	傾斜していない	a1	アーチリブ形状<e>	無機的	e1
	10°傾斜している	a2		有機的	e2
	20°傾斜している	a3		傾斜していない	f1
視覚的量感	かなりある	b1	高欄<f>	傾斜している	f2
	ややある	b2		変断面でない	g1
	ある	b3		変断面である	g2
桁<c>	厚い桁高	c1	アーチリブの天板<h>	水平無し	h1
	薄い桁高	c2		水平有り	h2
	橋の中央	d1	高欄水平部材<i>	水平無し	i1
アーチリブの位置<d>	歩道側	d2		水平有り	i2

5. ラフ集合理論の導入

本論が目的とする、「直感的な印象の要因と形態要素の組み合わせの関係」の記述において、非線形の1つであるラフ集合理論を用いて決定ルール抽出を行う。

ラフ集合理論では、対象は全て何らかの属性情報の組み合わ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。

ラフ集合の概念を用いる事で、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、即ち本質を要約する。以下に理論的概略を述べる¹⁴⁾。

(1) ラフ集合

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と、それと共通部分をもつグループの和集合により近似することができる。前者は下近似と呼ばれ、与えられた部分集合に確実に含まれる要素から構成される。一方、後者は

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

上近似と呼ばれ、与えられた部分集合に含まれる可能性のある要素からなる。上・下近似図-17下近似と上近似の図形的意味とのペアをラフ集合という。

(2) 縮約

一般に、記述される情報はその条件属性が決定属性に対して冗長であることが多い。従って決定属性を分類するのに必要な条件属性の最小集合を求める事が出来れば、そこから分類ルールを生成できる。この決定属性を分類するのに最小な集合を縮約(Reduct)と呼ぶ。

ここでは、情報を識別行列と呼ばれる行列式の形式に書き換えて用いる。識別行列における i 行 j 列の要素を d_{ij} とするとき、縮約 Z は次式

$$Z = \bigwedge_j \bigvee_i \{d_{ij} | d_{ij} \neq \phi\}$$

より与えられる。

3) CI (Covering Index)

確実さの程度を表す指標として、CI (Covering Index) がある。CI は被覆度に対応しており次式で与えられる。

$$CI = \frac{|S \cap D|}{|D|}$$

ここで S はある属性であり、D はあるクラスに所属する対象の集合である。

6. 感性評価実験

4. では認知科学の研究を参考に、新機能主義の形態的特徴について論じた。ここでは、4. で設定したパラメータをもとに部材形状を変化させた橋梁サンプルに対して感性評価実験を行なう。

(1) 実験概要

本研究では、表-2に示すように第一回、第二回の二期に分けて実験を行った。第一回実験の結果を踏まえ第二回実験の方法を若干変更している、以下の項目では第一回実験・第二回実験の共通事項、および変更点に触れながら、本研究のねらいについて述べる。

表-2 実験概要

	第一回	第二回
被験者	属性	土木系の学生及び橋梁設計に携わる社会人
	人数	学生59名(m40・f19) 学生26名(m24・f2)、社会人16名(m14・f2)
実施時期	2009年11月	2010年1月
	方式	1回につき59名 学生は1回につき1名、社会人はweb上
写真	形式	CGで作成した画像(俯瞰してみた写真と橋上からの写真の2枚1組)をスクリーンに提示
	枚数	CGで作成した画像(俯瞰してみた写真と橋上からの写真の2枚1組)をディスプレイに提示
提示時間	標準橋梁形態及び評価画像を4秒ずつ	提示時間に制限なし

・被験者

第一回実験における被験者は早稲田大学の社会環境工学科に通う学生 59 名である。第一回実験においては、属性を限定したが、属性の違いによって印象の変化が起こると考えられた為、第二回実験においては、学生及び橋梁設計に携わる社会人を被験者に選んだ。第二回実験における被験者は学生 27 名、社会人 16 名である。尚、第一回の実験においては有効回答数は 49 であった。

・評価対象

評価対象とする橋梁形態は、4. で用いた標準橋梁形態モデルから各部材を表-1に基づいて変形させたものを用いた。また、各属性の組み合わせは無数にある為、以下2つのルールに基づいて実験試料の作成を行った。

ルール 1 : アーチリブや視覚的量感、桁等、橋梁形態のプロポーションに影響を与えると考えられるものはこの 3 つで全ての組み合わせを行う。

ルール 2 : アーチリブの位置やその形状等の関係の深い形態に関してはすべての組み合わせを行う。

それ以外の形態要素については、それらの組み合わせが均等になるよう調整し、計 28 橋のサンプルを作成した (表 -3)。

また、実験に用いる写真は全体を俯瞰した写真及び橋上からの写真を用いた。これは、全体形状の印象と歩行の際の印象を同時に判断して評価を行なう為である。被験者に提示した写真を表 -4 に示す。

表 -3 形態の条件項目とその組み合わせ

形態の条件項目/サンプルNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
アーチリブ																												
a1 橋脚にない																												
a2 1/2 橋脚にない																												
a3 2/3 橋脚にない																												
視覚的量感																												
b1 かなりある																												
b2 ややある																												
b3 ある																												
桁																												
c1 厚い桁																												
c2 薄い桁																												
アーチリブの位置																												
d1 橋の中央																												
d2 手前側																												
アーチリブ形状																												
e1 複雑的																												
e2 単純的																												
高橋																												
f1 橋脚にない																												
f2 橋脚にない																												
材料																												
g1 支那産でない																												
g2 支那産である																												
アーチリブの文様																												
h1 水平筋																												
h2 水平筋																												
高橋部材																												
i1 水平筋																												
i2 水平筋																												

・感性ワード

人の評価構造に関して、認知心理学の原型ともいえるべき理論であるパーソナル・コンストラクト理論¹⁶⁾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 (図 -18)。本研究では、各個人毎にその異なった評価構造を記述する事を目的とするため、感性ワードについては、最上位の態度から「好き」を、中位のイメージから「格好良い」、さらに新機能主義の橋梁デザインに対して書かれた評論を参考に、下位の認知評価から「ダイナミック」をそれぞれ採用することとした。

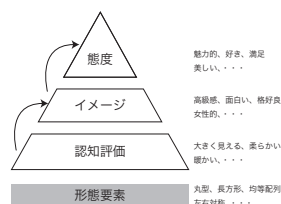


図 -18 人の認知評価構造

・実験手順

第一回実験においては、標準橋梁形態モデルを 4 秒提示した後、各々のサンプルを 4 秒スクリーン上に提示した。そして提示したサンプルが標準橋梁形態に対して 3 つの感性ワードについて「そう思う」「どちらでもない」「そう思わない」として、直感的評価の実験を行った。

第二回実験においては標準橋梁形態サンプル、及び各々のサンプルの提示時間に制限を設けず、被験者が印象の評価を十分に行える時間を設けた。また、第二回実験においては、被験者が PC 上で一人で実験を行えるプログラムを作成した。社会人に対しては、web 上にアップロードした本プログラムを用い、実験を行った。尚、第二回実験では、被験者の評価及び反応時間を計測した。

なお、第一回実験においては、4 秒間の提示という短い時間を設けたため、細かい部材の形状まで観察できないという意見があった。その為、第二回実験においては時間の制限を設けない事としたが、第二回実験における各被験者の反応時間はそれぞれ 4 秒前後のものとなったため、結果として本質的な相違のないものと判断し、第一回実験の被験者と第二回実験の学生被験者は双方区別なく分析に用いることとした。

(2) 実験結果

28 サンプルに対する、学生・社会人の各属性における平均得点、標準偏差を図 -19、図 -20 に示す。

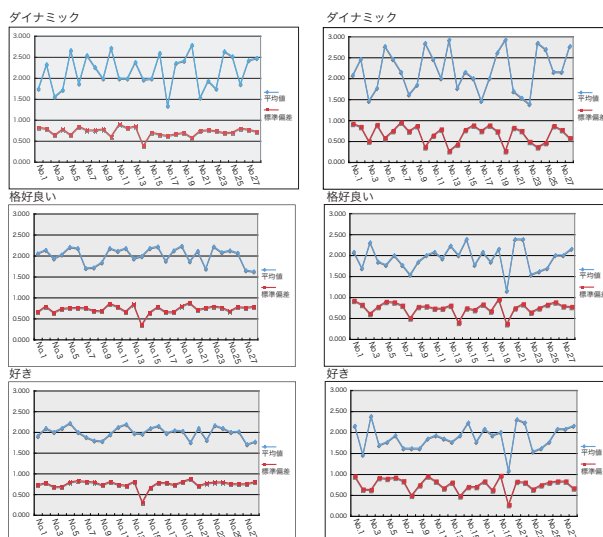


図 -19 平均値と標準偏差 (学生) 図 -20 平均値と標準偏差 (社会人)

・学生

学生を被験者とした実験においては、それぞれの感性ワードにおいてほとんどのサンプルが高い標準偏差を持つ事となった。図 -19 から、標準橋梁形態サンプルと同じものを提示した No.14 以外において大きいバラつきがあることが分かる。また特に、「格好良い」「好き」の感性ワードについては、標準偏差も高く、中央値 2 付近に全てのサンプルの評価が集中している。

このように大きなバラつきが現れた理由としては、被験者個人の評価傾向に相違があるためと考えられる。

・社会人

社会人を被験者とした実験においても学生への場合と同様に、多くのサンプルで標準偏差が高くなった。しかし、学生の場合とは異なり、No.14 以外にも、「ダイナミック」では No.5、No.10、No.13、No.20 が「格好良い」では No.8、No.20 が、「好き」では No.2、No.3、No.8、No.20 の標準偏差が低く、被験者の評価の傾向が一致しているものが見られた。このことから、社会人のなかにも複数の評価の傾向があると考えられるが、それはある程度安定しているものと考えられる。

次章では、以上の点に留意し、分析を行なう。

表-4 実験写真と属性値 (但し <> 内数値は表 3 の番号)

No.1 (a2 b3 c1 d1 e2 f2 g2 h1 i1) <12>	No.2 (a2 b2 c1 d2 e2 f2 g1 h2 i2) <16>	No.3 (a1 b2 c2 d1 e1 f2 g1 h1 i2) <3>	No.4 (a1 b2 c2 d2 e2 f2 g2 h1 i2) <8>
No.5 (a3 b1 c1 d1 e1 f1 g2 h2 i1) <20>	No.6 (a2 b2 c1 d1 e2 f2 g2 h1 i1) <22>	No.7 (a2 b1 c1 d2 e1 f1 g1 h1 i1) <14>	No.8 (a1 b1 c1 d2 e1 f1 g1 h1 i1) <5>
No.9 (a1 b2 c2 d2 e1 f2 g1 h1 i2) <7>	No.10 (a3 b1 c2 d2 e2 f2 g2 h2 i2) <27>	No.11 (a2 b3 c2 d2 e2 f2 g2 h2 i2) <18>	No.12 (a2 b1 c1 d1 e1 f1 g2 h2 i1) <10>
No.13 (a3 b3 c2 d2 e2 f2 g2 h2 i2) <28>	No.14 (a1 b1 c1 d1 e1 f1 g1 h1 i1) <1>	No.15 (a2 b2 c2 d1 e1 f2 g1 h2 i2) <11>	No.16 (a2 b1 c2 d2 e2 f1 g2 h1 i1) <17>
No.17 (a1 b3 c2 d1 e2 f2 g2 h1 i2) <4>	No.18 (a2 b1 c1 d2 e1 f1 g1 h1 i1) <9>	No.19 (a3 b2 c2 d1 e1 f2 g1 h2 i2) <21>	No.20 (a3 b1 c1 d2 e1 f1 g1 h1 i1) <24>
No.21 (a2 b3 c2 d1 e2 f2 g2 h2 i2) <13>	No.22 (a1 b3 c1 d2 e1 f1 g2 h1 i1) <6>	No.23 (a1 b1 c1 d1 e2 f1 g2 h1 i1) <2>	No.24 (a3 b2 c1 d2 e2 f2 g1 h2 i2) <26>
No.25 (a3 b1 c1 d1 e1 f1 g1 h1 i1) <19>	No.26 (a3 b3 c2 d1 e2 f2 g2 h2 i2) <23>	No.27 (a2 b3 c2 d2 e1 f1 g2 h2 i1) <15>	No.28 (a3 b3 c2 d2 e1 f1 g2 h2 i1) <25>

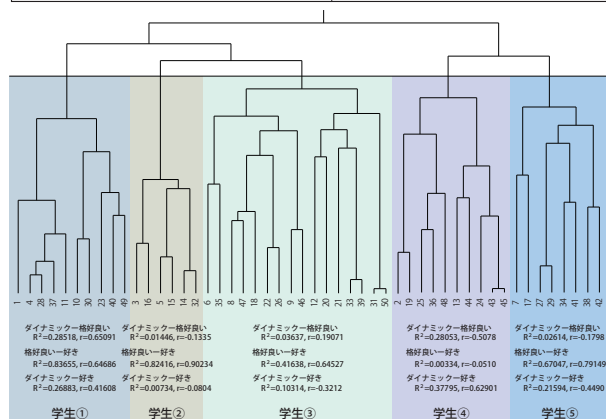


図-21 クラスター樹形図 (学生)

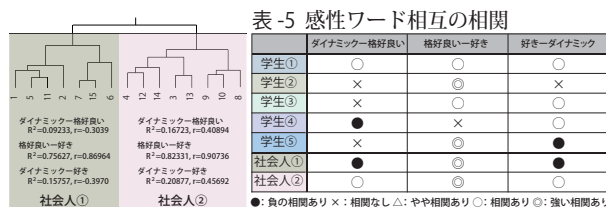


図-22 クラスター樹形図 (社会人)

6. 分析

(1) 被験者の分類

前章より被験者を分類して実験を行なう事が妥当であると考えられる為、属性毎に被験者の各サンプルの感性ワード毎の評価をデータとしてクラスター分析を行った。原データの距離計算にはユークリッド距離を合併後の距離計算にはワード法を用いた。

クラスター分析の結果及び各クラスターの感性ワード相互の相関性について決定係数 R^2 、相関係数 r を図-21、図-22 に相関の有無については表-5 に示す。

クラスター分析の結果から学生は5つのクラスターに社会人は2つのクラスターに分かれた。

各々のクラスターについて感性ワード毎の相関に明確な差異が確認できたことから、評価傾向には複数の傾向があり、それによって被験者が形態を評価していると考えられる。なお学生⑤のクラスターは格好良い、好きの設問に対してはほとんど「該当しない」と答えた被験者のクラスターであった為、分析の対象としない。

(2) ラフ集合理論の適用

・入力データの形式

ラフ集合理論を適用し、縮約、CI 値を求める為に入力データセットを作成した。作成にあたり各評価サンプルの感性ワード毎に「そう思う」を3、「どちらでもない」を2、「そう思わない」を1として感性評価実験によって得られた各クラスターのデータの平均値を得た。得られた平均値を用い、3段階評価の中央値である2を境に、「格好良い」「ダイナミック」「好き」に対して「該当する」と「該当しない」の2つのクラスに分けた。データは28行10列の行列式で記述される(図-23)。

・縮約・CI 値の算出

ラフ集合理論を用いて、各クラスター毎の「ダイナミック」「格好良い」「好き」と判断される形態要素の組合

表-6 得られた縮約と CI 値 (学生①)

「ダイナミック」とする縮約			「格好良い」とする縮約			「好き」とする縮約		
縮約	CI 値	縮約を含むサンプル No.	縮約	CI 値	縮約を含むサンプル No.	縮約	CI 値	縮約を含むサンプル No.
b1	0.667	(5,7,8,16,18,20,23,25)	a3h2	0.667	(2,5,11,19,21,24,26,27,28)	a3h2	0.706	(2,5,11,19,21,24,26,27,28)
c1g1	0.467	(2,7,8,18,20,24,25)	b1d1	0.278	(5,12,18,23,25)	a2c2	0.294	(11,15,16,21,27)
a3e1	0.333	(5,19,20,25,28)	d1f1	0.278	(5,12,18,23,25)	a2i2	0.235	(2,11,15,21)
d1f1	0.333	(5,12,18,23,25)	b1g2	0.278	(5,10,12,16,23)	b1d1e1	0.235	(5,12,18,25)
a2f1	0.333	(7,12,16,18,27)	a2c2	0.278	(11,15,16,21,27)	c1d1e1	0.235	(5,12,18,25)
f1g1	0.333	(7,8,18,20,25)	a2i2	0.222	(2,11,15,21)	d1e1f1	0.235	(5,12,18,25)
g1i1	0.333	(7,8,18,20,25)	d1e1i1	0.222	(5,12,18,25)	d1e1i1	0.235	(5,12,18,25)
c1h2	0.267	(2,5,12,24)	c1d1e1	0.222	(5,12,18,25)	c2f1	0.176	(16,27,28)
a3c1	0.267	(5,20,24,25)	b1e2	0.167	(10,16,23)	c2i1	0.176	(16,27,28)
a3i1	0.267	(5,20,25,28)	c2f1	0.167	(16,27,28)	a2d2g2	0.176	(11,16,27)
a3f1	0.267	(5,20,25,28)	c2i1	0.167	(16,27,28)	a2d1e1	0.176	(12,15,18)
f1h2	0.267	(5,12,27,28)	a2d2g2	0.167	(11,16,27)	a2e1g2	0.176	(12,15,27)
h2i1	0.267	(5,12,27,28)	a2d1e1	0.167	(12,15,18)	a2f1g2	0.176	(12,16,27)
a3g1	0.267	(19,20,24,25)	a2e1g2	0.167	(12,15,27)	c2e1g2	0.176	(15,27,28)
c1d1e1	0.267	(5,12,18,25)	a2f1g2	0.167	(12,16,27)	a2d2e2	0.176	(2,11,16)
a2e1i1	0.267	(7,12,18,27)	c2e1g2	0.167	(15,27,28)	d1e1g2	0.176	(5,12,15)
d1e1i1	0.267	(5,12,18,25)	d1e1g2	0.167	(5,12,15)	b1c2	0.118	(10,16)
「ダイナミックではない」とする縮約			「格好良くはない」とする縮約			「好きではない」とする縮約		
縮約	CI 値	縮約を含むサンプル No.	縮約	CI 値	縮約を含むサンプル No.	縮約	CI 値	縮約を含むサンプル No.
b3e2	0.889	(1,4,6,11,13,17,21,26)	a1d2e1	0.750	(8,9,17,22)	a1c1	0.600	(8,22,23)
b3f2	0.889	(1,4,6,11,13,17,21,26)	a1c1d2	0.500	(8,17,22)	a1f1	0.600	(8,22,23)
b3i2	0.667	(4,11,13,17,21,26)	a1d2f1	0.500	(8,17,22)	a1i1	0.600	(8,22,23)
b3d1	0.556	(1,6,17,21,26)	a1d2g1	0.500	(8,9,22)	a1d2e1	0.600	(8,9,22)
d1e2f2	0.556	(1,6,17,21,26)	a1d2i1	0.500	(8,9,22)	a1b1	0.400	(8,22,23)
d1f2h1	0.444	(1,3,6,17)	a1c1e1	0.500	(8,9,22)	a1d2g1	0.400	(8,9,22)
c2e2h2	0.444	(11,13,21,26)	a1e1f1	0.500	(8,9,22)	a1d1e2	0.400	(17,22,23)
e2g2h2	0.444	(11,13,21,26)	a1e1i1	0.500	(8,9,22)	a1d1g2	0.400	(17,22,23)
a2e2f2g2	0.444	(1,6,11,21)	a1b1e1	0.250	(8,9)	c1f1g2h1	0.400	(8,22,23)
a2d1e2	0.333	(1,6,21)	a1b1d2	0.250	(8,9)	b2d2e1	0.200	(8,9)
c2d1e2	0.333	(17,21,26)	a1b1g1	0.250	(8,9)	d2e1f2	0.200	(8,9)
d1e2i2	0.333	(17,21,26)	a1c1g1	0.250	(8,17)	d2e1i2	0.200	(9,17)
f2i1	0.222	(1,6)	a1f1g1	0.250	(8,22)	b2d2h1	0.200	(9,17)
a2f2h1	0.222	(1,6)	a1g1i1	0.250	(17,22)	c2d2e1h1	0.200	(9,22)



図-23 入力データの作成

せの縮約、および「ダイナミックではない」「格好良くはない」「好きではない」と判断される形態要素の組合わせの縮約を得た。また、「同一の評価が与えられる事例の総数」に対する「得られた縮約が含まれる事例数」の比である CI 値を算出した。例として学生①の結果を表-6 に示す。

(3) 効用値の算出

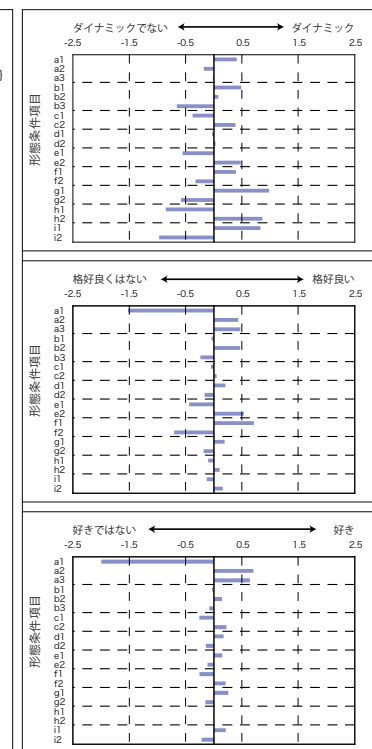
今回は、線形的な分析を行った際のデータとして数量化第Ⅱ類により、各々の形態の条件項目における効用値を算出した。例として学生①の結果を表-7 に示す。

(4) 階層的構造記述

各々のクラスターの各評価の縮約の視覚化及び、各クラスター評価傾向の把握を行なう為、階層的構造記述の理論を用いる。

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、石井⁴⁾もこの論理を適用することで、橋梁形態を認知科学的に解釈している。階層的構造記述の論理によれば、人間が一度に無理なく知覚できる階層数は2であるとされ、一つのまとまりを有する形態では全体の形態である第1層とそれを構成する第2層とが知覚され構成関係が認知されうるとされている。そして、そこから、ディテールの認知へと進むとされる。本研究では、図-24のように第1層を全体形状の認知、第2層を形態要素の認知、第3層をディテールの認知とした。さらに石井の研究⁴⁾を参考に、パラメータのうち第2層にアー

表-7 数量化Ⅱ類による効用値 (学生①)



チリブ（鉛直からの傾斜）、視覚的量感、補剛桁、アーチリブの位置、斜材があるとし、第3層にアーチリブ形状、高欄の傾斜、アーチリブの天板、高欄の水平部材があるとした。

このモデルに、ラフ集合理論によって求められた縮約と CI 値、及び数量化Ⅱ類による効用値を記述していく。

記述を行なうにあたっては特に印象に影響を与えた要素を捉える為に、既存の研究を参考に、ラフ集合理論で求めた縮約のなかで、CI 値が 0.25 以上、その縮約を含むサンプルが3つ以上の縮約に限ることとした。また、「該当する」とした縮約に関しては実線で、「該当しない」とした縮約に関しては点線で記述した。

また各々の線の太さは CI 値の大きさを表し、第2層から第3層に縮約が及ぶ際は片矢印、同じ層同士の縮約の際は両矢印とした。また、縮約として一つだけの属性値が現れた際は、モデルの該当する属性値を回帰的な両矢印で結んだ。

数量化Ⅱ類における効用値については、正の方向に寄与している属性値のアルファベットを大文字表記することで記述することにした。

全てのクラスターのそれぞれの感性ワードに関する階層的構造記述を表-8 に示した。

(5) 各クラスターの評価傾向

(4) で作成した階層的構造記述をもとに各クラスターの評価傾向を分析した。ここでは学生①、社会人②について以下に述べる。

学生①ーアーチリブ着目型ー

学生①は全ての感性ワードに相関が見られた。このことから、各々の感性ワードの評価の際に同様の部材形状に

表-8 各クラスターにおける階層的構造記述

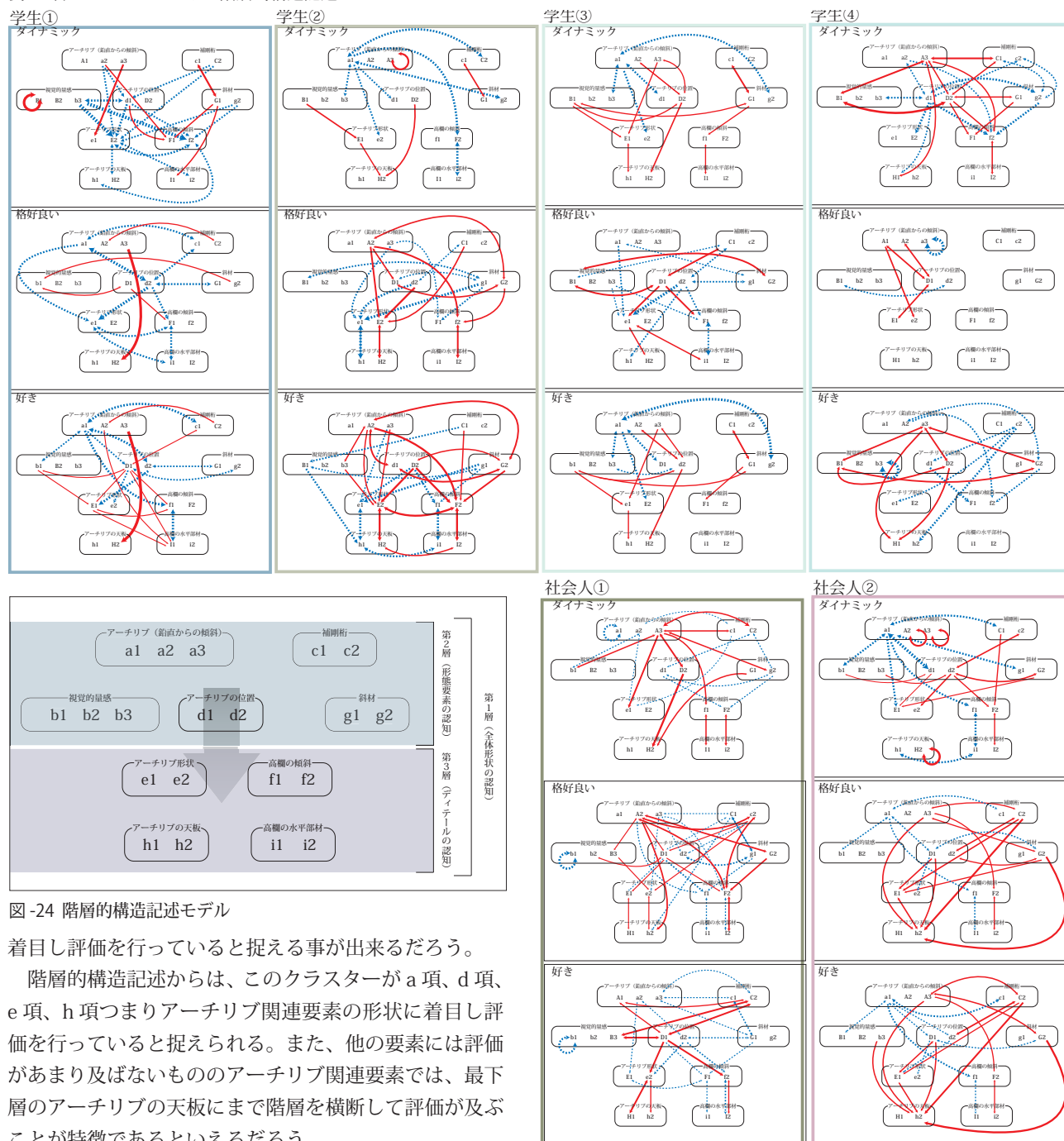


図-24 階層的構造記述モデル

着目し評価を行っている」と捉える事が出来るだろう。

階層的構造記述からは、このクラスターが a 項、d 項、e 項、h 項つまりアーチリブ関連要素の形状に着目し評価を行っている」と捉えられる。また、他の要素には評価があまり及ばないもののアーチリブ関連要素では、最下層のアーチリブの天板にまで階層を横断して評価が及ぶことが特徴であるといえるだろう。

また点線で示された「該当しない」とする縮約が目立つ。これは、このクラスターが「該当しない」とする判断に明確な評価傾向を持っているといえる。

数量化の結果と比較すると、「格好良い」「好き」において、ほとんど正への寄与が見られない h2 が a3 と組み合わせることで、最も高い CI 値をもって縮約に現れてきている。h2 がそれ単体では重要な要素とは捉えられないが、a3 と組み合わせることで非常に重要な要素になっていると考えられる。

社会人②—新機能主義許容型—

社会人②は全ての感性ワードに相関が見られるだけでなく「格好良い」と「好き」にはかなり強い相関が見られた。学生①と同様に評価の際に同じ部材形状に着目し

評価を行っている」と捉えられる。

階層構造記述からは、非常に複雑な評価傾向を持っている事が伺える、様々な要素の組み合わせで判断し、それが最下層のディテールまで及ぶ事が特徴である。

また、学生①とは異なり、実線で示された縮約が目立つ事から、「該当する」とする判断に明確な評価傾向を持っているといえる。

更に、社会人②においては、アーチの傾きや高欄の傾斜、非対称性等についても明確に「該当する」と判断しており、現在までの思想とは異なった、カラトラバなどの新機能主義の橋梁に関しても積極的に高い評価をしていると判断出来る。

7. 考察

前章では階層的構造記述を用い、各々のクラスターの評価傾向を分析した。その結果、評価傾向においていくつかの特徴的な差異が挙げられた。それらの点と、本研究で用いたラフ集合理論の有用性について以下に示す。

(1) 知識背景の相違と評価傾向

・評価構造における階層

今回、挙げられた評価傾向のタイプでは、第 3 層まで縮約が及ぶタイプと、第 2 層でほとんどの縮約が終わるタイプが見受けられた。

具体的には、第 2 層で縮約が終わるタイプは学生③、学生④であり、それ以外は、第 3 層まで縮約の結果が及んでいた。

第二層でほとんどの縮約が終わるタイプは橋梁の形態を評価する際に、全体的なプロポーションのみで判断している事が考えられ、下層まで縮約が及ぶタイプは、たとえ無意識的にしろ、細かいディテールの変化からも判断を行っていると考えられる。

特に学生②、社会人②ではアーチリブの天板や高欄の水平部材など、最下層と考えられる階層まで縮約が及び、更にその階層同士の組み合わせも縮約として抽出された。

・評価に現れる部材

評価に現れる部材の組み合わせは、個々のクラスターによって相違が見られた。特に、社会人と学生という属性で比べると桁への意識の違いが大きく現れた。学生の縮約では、どのクラスターにおいても桁と他の形態要素の結びつきは弱く、縮約としてもほとんど現れてこない。しかし、社会人の縮約では、特に「格好良い」、「好き」において桁と他の要素の組み合わせはかなり多く現れてくる。

また、学生①の評価傾向においては、最下層まで縮約が及ぶものの、ほとんどがアーチリブに関連するものであり、アーチリブの変化だけを評価の基準にしていると考えられる。

上記のように、属性の違いによって評価傾向に大きく違いが現れていると考えられる。そこでさらに学生のクラスターに含まれる被験者の属性の内訳をみると、学生②はすべて、デザイン系の研究室の学生であり、学生①、学生④、学生③は低学年の学生及びデザイン系以外の研究室の学生が多く割合を占めていた。このような知識背景の違いから、評価傾向において下層まで及ぶ判断や、意識の集中する部材に相違があったものと考えられる。

(2) 橋梁設計者の評価傾向

橋梁設計者の評価傾向は明確に 2 つのクラスターに分かれた。具体的には、先述した新機能主義を積極的に評価していると考えられる社会人②と、構造の合理性を重視するモダニズムの橋梁デザインを評価していると考え

られる社会人①である。このように明確にモダニズムの橋梁と評価が分かれた事は、新機能主義橋梁の形態的特徴がモダニズムの橋梁と明らかに異なった印象を与えている事を明示していると考えられる。

その為、次章で、デザイン系の学生だけで構成された学生②と社会人①、社会人②の縮約をより詳細に比較していくことで、新機能主義の形態的特徴と印象の関係を明らかにする。

(3) ラフ集合理論の有用性

ラフ集合理論による縮約、数量化Ⅱ類による効用値算出比較を行った結果、どのクラスターにおいても、数量化Ⅱ類では効用値が小さく無視される可能性のあるカテゴリがラフ集合理論ではむしろ重要なカテゴリとして考えられることが推測された。各カテゴリの相乗効果までは分からない手法に比べ、ラフ集合のように組み合わせによる効果を明らかにできる手法の有効性を示す事ができたと言える。

8. 新機能主義橋梁の形態的特徴と印象

ここでは、学生②、社会人①、社会人②の階層的構造記述の結果から、新機能主義橋梁の形態的特徴と印象の関係性について論ずる。なお本章では分かりやすさの為、学生②をデザイン系学生、社会人①をモダニズム橋梁支持型、社会人②を新機能主義許容型と呼ぶこととする。

(1) 動的イメージの喚起

各クラスターの「ダイナミック」に関する縮約について確認する。「ダイナミック」に関する評価の判断については、各クラスターがほぼ仮説①「アーチリブの鉛直からの傾斜」に評価の軸を置いていることが分かる。

具体的には、デザイン系学生では「該当する」に a3 が単独で現れ、a1 を中心に他の要素と結びついて「該当しない」に現れる。モダニズム橋梁支持型では a3 が他の要素と結びついて「該当する」に現れ、「該当しない」に a1 が単独で現れる。新機能主義支持型においては a2、a3 が単独で「該当する」に現れる。

単独で現れてくる属性値も多くみられたことから、「アーチリブの鉛直からの傾斜」は他の要素と結びついてというよりは、それだけによってダイナミックさを喚起させる形態的特徴であると言えるだろう。

また、どのクラスターによっても第 2 層でダイナミックの判断を終えている事は、アーチリブの傾斜が「ダイナミック」に多大な影響を与えている事を裏付ける結果であると捉えられる。

(2) 動的イメージを強調させる要素、緩和させる要素

動的イメージは、各クラスターの共通した結果からアーチリブの鉛直からの傾斜によって喚起されていると考えられた。その為、「格好良い」「好き」の判断の共通点や差異を挙げると、動的イメージを強調させると考えられる形態的特徴と動的イメージを緩和させると考えられる形態的特徴の 2 つが見出された。

a) 動的イメージを強調させる形態的特徴

動的イメージを強調させると考えられる形態的特徴として、c2、d2が見出された。これらはアーチリブの鉛直からの傾斜との組み合わせで縮約として現れ、各クラスターにダイナミックや格好良いの縮約で現れるが、モダニズム橋梁支持型においては好きの縮約で該当しないに多く現れる形態要素である。つまり、c2やd2は鉛直からの傾斜と伴って、強く印象に影響を与える要素であると考えられる。

b) 動的イメージを緩和させる形態的特徴

動的イメージを緩和させると考えられる形態的特徴としてg2、h2が見出された。これらは、アーチリブの傾斜と組み合わせられて、「格好良い」「好き」の評価項目でも「該当する」の縮約に現れたものである。変断面をとる部材やアーチリブの天板を切る操作等は、動的イメージを遮るものではなく、ある程度緩和する事によって、モダニズム橋梁支持型の被験者にも、バランスの良いものとして評価されたと考えられる。

9. 総括

(1) 結論

本研究では、新機能主義橋梁に着目し、心理学的実験を行い、ラフ集合理論を用いてその形態的特徴をパラメータの組み合わせとして記述することを試みた。その結果、各々の被験者によって、共通した評価傾向を有しているわけではなく、知識背景によって、その評価には複数の傾向がある事を見出した。各評価傾向の特徴を階層的構造記述によって視覚化することで、その特徴を抽出した。さらに、明確に異なった橋梁設計者の評価傾向を比較、分析することで新機能主義橋梁の形態的特徴と動的イメージの関係を抽出した。

(2) 今後の課題

本研究の課題、今後の展開を以下に示す。

第一に評価傾向の相違を複数の傾向に分類し記述したが、更に個々の被験者ではそれぞれの実験写真において、異なった評価傾向を有している可能性がある。特に、橋梁計画者に対してのさらなる聞き取り調査を行い、新機能主義橋梁の形態的特徴と印象の関係について、分析が深められると考えられる。

第二に今回の研究では、単弦アーチといった一般的には珍しい構造形式の橋梁を扱った為、結果や考察が常に一般性を持つ議論にはなっていない。他の構造形式においても、さらなる実験を行なうことで、普遍的な評価傾向の把握や、より設計の実用に資する知見が得られることと思う。

今後の課題とすると共に、展開に期待したい。

謝辞

早稲田大学創造理工学部社会環境工学科、建設工学専攻、及び橋梁計画に携わる社会人の皆様にはお忙しい中、実験に御協力頂きました。皆様のおかげで非常に有意義なデータが収集でき、ここまでたどり着く事ができました。この場を借りて感謝致します。ありがとうございました。

【補注】

- (1) ラフ集合は、1982年にポーランドの数学者 Zdzislaw Pawlak 教授により提案された。当初この理論によって、医療データから病気と症状の因果関係を抜き出し、症状の原因となる病気を特定するといった研究が行われていたが、現在、感性工学やデザイン学分野で自動車のデザインや携帯電話のイメージ評価、パッケージデザインなどで研究が行われている。
- (2) 空間方向性とは「水平・垂直に広がる領域は、斜め方向に広がる領域よりも図になり易い」というゲシュタルト心理学の概念である。簡単に言えば、人の認知は空間の主方向である水平・垂直方向に強く働くという事である。

【参考文献・資料】

- 1) 田村 幸久：新機能主義のすすめ、土木学会誌、Vol.77-5 Page.46-49、1992
- 2) 中村 良夫：橋梁アーキテクチャに関する研究、橋梁景観研究小委員会、2002
- 3) 大森 博司：空間構造の形態創生、別冊 建築画報、Page.140-145、2002
- 4) 石井 信行：構造物の視覚的力学、鹿島出版会、2003
- 5) 永見 豊等：桁橋の景観デザイン研究、橋梁デザインにおける3Eに関する研究部会(2) 報告書、Page.1-77、2009
- 6) 杉山 和雄：橋梁に関する鑑賞行動と評価に関する研究、東京大学学位論文、1998 8)
- 7) 籠澤重志、河村廣、谷明勲：対話型進化計算法による家具デザイン - 遺伝的プログラミングによるユーザーの嗜好の定量化と予測 -、日本建築学会システム技術委員会、第23回情報システム利用シンポジウム、Page.175、2000
- 8) 広川美津雄、井上勝雄：デザイン評価用語と形態要素の関係分析、デザイン学研究、Page.134-135、2000
- 9) 森典彦、高梨令：ラフ集合の概念による推論を用いた設計支援、東京工芸大学紀要、Vol.3、Page.35-38、1997
- 10) Tzonis.A : Santiago Calatrava The Complete Works-Expanded Edition、Rizzoli、2007
- 11) Tzonis.A : Movement, Structure and the Work of Santiago Calatrava、Birkhauser、1995
- 12) 渡邊 竜一等：Freedom of Form Finding - ローラン・ネイの思考、橋梁と基礎、Vol.43 No.4 Page.35-39、2009
- 13) Schlaich Bergermann Und Partner HP : <http://www.sbp.de/de/fla/mittig.html>
- 14) R・アルンハイム：建築形態のダイナミクス(上)(下)、鹿島出版会、1980
- 15) 森典彦、田中英夫、井上勝雄：ラフ集合と感性、海文堂出版株式会社、2004
- 16) 日本建築学会編：環境心理調査手法入門、技報堂出版 page.13、2000