ラフ集合による橋梁の飽きに影響する デザイン要素に関する一考察

保田 敬一¹・白木 渡²・井面 仁志³

¹正会員 株式会社ニュージェック 道路グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

E-mail: yasudakc@newjec.co.jp

²正会員 香川大学教授 工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)

E-mail: shiraki@eng.kagawa-u.ac.jp

³正会員 香川大学教授 工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)

E-mail: inomo@eng.kagawa-u.ac.jp

土木構造物は単品受注生産で、かつ耐用年数も50年以上と家電や携帯電話等の商品とはかなり特徴を異にするが、近年は両者とも飽きのこないイメージが要求されるようになってきている。本研究では、架橋数の大半を占める桁橋を対象に、飽きのこない橋梁とはどのようなデザイン上の特徴をもっているのかをラフ集合を用いて検討した。被験者は橋梁技術者、女子学生および男子学生である。本論では、ラフ集合の中でも決定ルールの考え方が最も多く使われており、求められた複数の決定ルール条件部のどの要素がどの程度決定表の結論に寄与しているかを示す指標として、C.I. (Covering Index) という考え方をを用いている。飽きのこないデザイン要素、および飽きのくるデザイン要素をC.I.値を基に考察する。

Key Words : Kansei evaluation, bridge design, tiresomeness, rough sets

1. はじめに

道路や橋、トンネル、河川、港湾といった土木構造物は長寿命化修繕計画が策定されるようになり、これまで以上の耐用年数が求められるようになった。結果、長期間“飽きのこない”イメージが要求されるようになってきている。

一方、家電やスマートフォンなどの商品は土木構造物とは異なり、多品種・大量生産、数年程度の寿命と土木構造物とは設定がかなり異なるが、こちらも近年は“飽きのこない”商品開発に力をいれつつある。顧客の囲い込みや販売促進などにつながるためである。このように、商品も土木構造物も両方共に飽きのこないイメージが求められる時代になってきている。

しかし、過去の橋梁景観設計をみても長期間飽きのこないイメージというのはデザインコンセプトでもあまり設定されてこなかったように見受けられる。また、飽きのこない土木構造物とはどのようなデザインになっているのか、どのデザイン要素が飽きのこないイメージに影響しているのかという基本的な知見がこれまで不足していたのも事実である。今後、長寿命化される土木構造物にとって飽きのこないデザインは重要であるといえる。

主観的な評価が多いという景観設計の問題点に関しては、評価を定量的に取り扱えるようにするために、これまでの様々な試みがなされてきた。これらの研究^{1)~5)}の多くは、複数の被験者を対象にアンケート調査を行い、サイコベクトル、ニューラルネットワーク、エキスパートシステム、主成分分析や数量化理論などの概念や手法を用いている。景観設計および合意形成段階では、デザイン要素の変更とそれらの変更に伴う評価の違いを把握する必要があり、そのために数量化理論などに代表される項目間が独立している（無関係）という線形式の多変量解析がよく用いられてきた。しかし、数量化理論では多重共線性の問題とカテゴリ数がサンプル数以下という制約がある。

以上の背景より、本研究では、架橋数の大半を占める桁橋を対象にして、飽きのこない橋梁とはどのようなデザイン上の特徴をもっているのかをラフ集合を用いて検討した。被験者は橋梁技術者、女子学生および男子学生である。

ラフ集合の概念は1982年にポーランドのZ. Pawlak教授によって提案された⁶⁾。この論文では、その提案の考え方を数学的な証明を中心に書かれているが、この論文の応用として、ルール抽出が同教授により1984年に提案さ

れている。本研究でラフ集合を適用した理由は、ラフ集合の特徴は多重共線性の問題を気にすることもなく、さらに、カテゴリ数がサンプル数よりも少なくはならないという制約がないことである。

景観に対する評価をよくするために効率よくデザイン要素を変更するためには、ラフ集合により抽出された沢山の決定ルールの中でどの属性値の組み合わせが重要かを把握しなければならない。決定ルールの考え方はラフ集合の中でも最も多く使われている。本研究では、その目安になる指標として、C.I. (Covering Index) 値⁷⁾は決定クラスに寄与している貢献度合いを示すものであり、有益な情報になると考えた。C.I.値の高い決定ルール条件部を考察することで、被験者が飽きのこない橋梁に対して抱いているデザイン要素を抽出する。また、飽きのくる橋梁とはどういったデザインになっているのかもあわせて検討することにより、異なる被験者の評価の違いなども検討する。

以下、本論の構成を述べる。1章では背景と本研究の位置づけを述べ、2章では商品と土木構造物との違いを、3章では飽きのこないイメージを説明する。4章ではラフ集合の概要を、5章ではラフ集合を用いた桁橋の評価として、感性アンケート調査、決定表の作成、選考の決定ルール導出と結果の考察、数量化理論Ⅰ類による分析結果とラフ集合との比較を行う。最後に、6章ではまとめと今後の課題について述べる。

2. 商品と土木構造物の違い

商品と土木構造物とでは違いがある(表-1 参照)。一つ目の違いは、生産方式である。商品は売上・粗利増を目指して、少しでも原価を下げるため大量生産を行う。一方、土木構造物は設計条件が同じということはほぼ皆無であるため、一つ一つ個別で計画・設計・施工がなされる。もう一つの違いは、対象物が移動できるか否かである。商品は使用する人が持ち運びできることが基本であり、移動した先で使用する。一方、土木構造物は基本、計画・設計した地点に建造されるため、時間が経過すれば移動する、あるいは、簡単に移動できるようには設計していない。耐用年数にも違いがある。自動車や家電は7~8年、スマートフォンは2~3年、PCでも4~6年程度と商品のサイクルは非常に早い。土木構造物は耐用年数を50~100年以上と想定している。

商品は毎日のように使用するので、ある程度時間が経つと慣れとともに飽きが発生してくる。なぜなら、人間は常に新しい刺激を求めているためである。飽きが生じると商品の買い替えにつながる。飽きを解消するには商品が備えている様々な機能を新しく使ってみることが一

表-1 商品と土木構造物の違い

	商品	土木構造物
品目	家電, スマートフォン, PC, 自動車, 下着, 文具など	橋梁, トンネル, ダム, 道路, 河川, 公園など
生産方式	多品種・大量生産	単品受注生産
場所	移動する	移動しない
耐用年数	2~10年	50~100年

つの方法であり、メーカーも飽きを少しでも解消するために多くの、例えばあまり使われないと思われるような機能を付加しているといえる。もう一つの方法は、ユーザーの自由なカスタマイズを可能にしている点である。PC やスマートフォンで言うと壁紙を変えたり、着信音やパイプリータパターンを変えたり、アイコンの配置を変えたりと、飽きてきたと感じるようになれば好きなようにカスタマイズして興味の低下を防ぐような仕組みをとっている点が成功しているといえる。さらに、携帯電話などは外観をカバーで変更できるという点が飽きを防止する方法の一つになっている。

商品の場合、「飽き」という感性が顕在化すると使用されなくなる、あるいは、買い替え対象となるなどの弊害が生じるため、設計段階から「飽き」が生じないように心がけていることが多いといえる。

一方、土木構造物の場合は商品とは少し異なる。商品は触って、操作して、自分の使いやすいようにカスタマイズしてということが出来るが、土木構造物では、見て、少し触れてみるぐらいのことしかできない。したがって、見るということは土木構造物の場合、非常に大きなウェートを占めている。長く見続けていると商品と同じように「飽き」が生じてくることも事実であるが、その後は商品とは違ったシナリオに移行する。土木構造物の場合、「飽き」が生じた後はそれが風景の一部として認識されるようになってくると考えられる。これが商品と決定的に異なる点である。

社会インフラのように、寿命の長い構造物では、その非常に長い時間軸(50~100年)で「飽きがこない」デザインというのは考えられてこなかった。この理由として、「飽きのこない」という感性が前述のように、見慣れてきてある期間が経過すると風景の一部と認識されるようになり、「飽き」の状態から「調和した」あるいは「溶け込んだ」という感性に移行していくためと推察される。もう一つ、構造物の計画・設計を行う際に、最初デザインコンセプトを設定するが、コンセプトの中に「飽きがこない」という感性が含まれている事例をほとんど見たことがないことも理由の一つである。すなわち、「飽きがこない」という感性はコンセプトの中に当然のように(暗黙に)含まれていると考えられる。「飽きの

こない」デザインは土木ではこれまで直接的には考えられたこともないと思われるので、「飽きのこない」デザインの特性を把握することは今後のデザインの参考になると考えられるし、新たなデザインの創造にも繋がると推察される。

3. 飽きのこないイメージとは

飽きのこないとは、どれほど楽しんでも尽きることはない、あるいは、どこまでいっても面白い、あるいは、関心が次からつぎへと湧き上がるなどの意味があるとされる。また、別の見方をすると、飽きるとは、刺激に慣れることと言い換えることができる。つまり、人間の精神的な欲求である物欲や自己顕示欲などは、満足となる基準が存在しないため、さらに強い刺激を求め、そこで飽きることが生じるサイクルを繰り返すといわれている。飽きは心理学用語では「心的飽和」と言われ、古くから研究されている。心的飽和とは「特定の同一行為を反復継続して遂行する場合、疲労や単調感などと異なって、継続の努力にもかかわらず、その行為をそれ以上続けることができず、打ち切ってしまうような心的状態」とされ、A.Karstenによって実験的に明らかにされている⁹⁾。

土木構造物で心的飽和を考えた場合、よほど見るに堪えない構造物でない限り、見ることを避けるという心的な状態は発生しにくいと考えられる。同じ風景を見続けていると慣れが発生し、構造物が景観の一部として存在するように意識され、全体として風景が構成されるようになることから、心的飽和以外の面も存在すると考えられる。

ここで、既往の研究⁹⁾により、飽きに対する印象をアンケート調査した結果を引用する。飽きに対する印象は、「同じことを繰り返し行う」、「繰り返しの結果変化がない」、「興味がなくなる」、「いつの間にか忘れている」、「流行でなくなった」、「つまらない」、「ありきたり」、「単調」、「慣れ」という表現が多かった。アンケートの回答の類似度に基づいて分類する主観分析を行い、意味合いの近い語を集めてカテゴライズした結果を表-2に再掲する。結果、飽きの生じる要因として「行動」、「興味」、「対象物の性質」、「時間」などから、不満や欲求などの心理的な変化が発生し、「飽き」が生じるというメカニズムが推察できるとしている⁹⁾。

一方、インフラ構造物において飽きのこないとはどういった現象をさすのであろうか。本来、インフラ構造物は50年～100年の間、人々の使用に対して飽きがくるようなデザインであってはならないが、どのようなデザインであっても毎日、あるいは毎週同じものを見ていれば

表-2 主観分析によるカテゴライズ⁹⁾

要因	主な回答例
行動	同じことを繰り返し行うこと/慣れ/マンネリ
興味	興味がなくなる/関心が薄れていく/好き嫌い
対象物の性質	単調/思い入れがない/流行でなくなった
心理	めんどくさくなる/気持ちさがめる/退屈
時間	いつの間にか忘れていく/一時的なもの/徐々に感じてくるもの

飽きるという感覚が生じるのはやむを得ない。しかし、さらに同じものを見続ければ見慣れてくる、周辺と一体化した風景として認識されるという心理的な変化が生じてくる方が的を得ているといえる。最初は飽きが生じるが、時間的な変化とともに、徐々に「見慣れてくること」、「溶け込んでいること」、あるいは、「調和していること」、すなわち、「飽きがこない」に変化していくことになる。インフラ構造物は飽きがきたからといって個人レベルでは改築等はできないため、寿命が来るまで長期間使用することになる点が特徴で、この長期間（50年～100年）の使用時間が「飽き」を「飽きがこない」に徐々に変化させていく最大の要因になっていると考える。

このように、商品では「飽き」を興味がなくなる、マンネリなどのネガティブなイメージに捉えているのに対し、インフラ構造物では調和あるいは溶け込んでいるなど、ポジティブなイメージに捉えていることに特徴がある。

4. ラフ集合とは

(1) ラフ集合の概要

ラフ集合の特徴は、ある対象を特定する際に、その特徴が属する集合の範囲の情報を正確に記述するのではなく、大まかに分類・設定することにより、対象の集合の適度な情報の記述を求めるところにある。すなわち、分析対象の特徴が把握できることになる。

例えば、人間はあるモノや人を特定する際に、全ての特徴や要素、属性をみて判断するのではなく、その対象の主な特徴だけを把握して特定につながっていると考えられる。外見上のある要素から端的に説明できる要素を探そうとする。しかし、一つの要素だけで説明出来ない場合は複数の要素、「長身で、メガネをかけていて、体格が良く・・・」という属性値の組合せを探すことで多くの人の中から目的の人を特定することになる。待ち合わせの場所にいる多くの人の中から A さんを探してもらう際は、「長身で、メガネをかけていて、体格が良い人」

といった性質を列挙することがよく行われている. このように, 日常では「メガネをかけている」や「背が高い」というように, ある属性に関して対象を大まかに分類することが一般的である. 正確に説明するには, 身長180cm, 黒縁のメガネをかけている人, BMIが28以上というように, より詳しい情報を提供しなければならないが, 正確な計測が伴うためこれでは対象を特定することは難しい. 荒い記述は対象を十分に特定できないデメリットはあるが, 対象を大まかに分類することができる. 一方で細かい記述は対象をより精密に特定することができるが, 本質が見極め難くなるという欠点も持つ. したがって, 現実的にはほどよい記述の仕方が望ましいと考えられる. つまり, ラフ集合はラフな記述の極少の属性値の組み合わせ(単独も含めて)で特徴を表現することを可能とする.

(2) ラフ集合に基づく決定ルールの抽出¹⁰⁾

以下, ラフ集合に基づく決定ルール抽出について記す.

$U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ を対象の全体集合, C をすべての条件属性の集合, d を一つの決定属性, V_a を属性 a が取りうる値の集合とし, V を

$$V = \bigcup_{a \in C \cup \{d\}} V_a \quad (1)$$

と定め, $\rho: U \times C \cup \{d\} \rightarrow V$

を対象 $x \in U$ と属性 $a \in C \cup \{d\}$ に対して属性値

$\rho(x, a) \in V_a$ を与える情報関数とすると, 決定表 L は

$$L = \langle U, C \cup \{d\}, V, \rho \rangle \quad (2)$$

と定めることができる. 決定属性の値

$$v_d \in V_d = \{v_d^1, v_d^2, \dots, v_d^p\} \quad (3)$$

により,

$$D_k = \{x \in U \mid \rho(x, d) = v_d^k\} \quad (4)$$

と定めると, 対象集合 U は決定クラス $D_k, k=1, 2, \dots, p$ に分割することができる.

本研究では, 決定表に含まれる決定属性が唯一であると仮定するが, 現実問題では, 複数の決定属性を持つ場合もありうる. 複数の決定属性をもつ決定表から決定ルール抽出を行う場合には, ある決定属性の値を推論する決定ルールあるいは, いくつかの決定属性の値の組合せを推論する決定ルールを抽出することになる. 前者の場合, 推論したい決定属性のみを選び, 他の決定属性の情報を削除した決定表を考え, 決定ルールを抽出することと等価になる. 一方, 後者の場合には, 異なった組合せ

が異なった値を取るように, 決定属性の値の組合せに一つの値を割り当て, 割り当てた値をとる属性 d を考えれば, 決定表の組合せを推論する決定ルールは属性 d の値を推論する決定ルールと等価になるので, この場合にも, 決定属性が唯一の決定表からの決定ルール抽出と等価になる. したがって, 決定属性を一つと仮定した決定表のみを考えることは, 一般性を大きく損なうことはない.

条件属性集合 $A \subseteq C$ に対して, 次の同値関係を定義することができる.

$$R_A = \{(x, y) \in U \times U \mid \rho(x, a) = \rho(y, a), \forall a \in A\} \quad (5)$$

R_A は識別不能関係と呼ばれる. 一般に, 決定属性 d に関する情報は得ることが容易ではなく, 比較的容易に得られる条件属性に関する情報から, 決定属性の値を推測することになる. そこで, 条件属性の値から決定属性の値を導く決定ルールを考察する.

条件属性集合 $A \subseteq C$ を用いると, 決定クラス D_k の下近似, 上近似はそれぞれ式(6), 式(7)のように定義できる.

$$A_*(D_k) = \{x \in U \mid [x]_A \subseteq D_k\} \quad (6)$$

$$A^*(D_k) = \{x \in U \mid [x]_A \cap D_k \neq \emptyset\} \quad (7)$$

ただし, $[x]_A$ は, 同値関係 R_A による対象 x の同値類,

すなわち, $[x]_A = \{y \in U \mid (y, x) \in R_A\}$ である.

決定クラス D_k の下近似, 上近似から, それぞれ, 確実性ルール, 可能性ルールを抽出することができる. 決定ルールの抽出法として, 種々のアルゴリズムが提案されている. 本研究では, 抽出したい決定ルールの意味が陽に表れる決定行列に基づく方法を用いる. 決定行列に基づいた確実性ルールの抽出法は以下ようになる.

$$K_k^+ = \{i \mid x_i \in C_*(D_k)\}, \quad K_k^- = \{j \mid x_j \notin D_k\} \quad (8)$$

で定められる二つの添字集合を用いると, 決定クラス D_k に関する確実性ルールの抽出に用いられる決定行列の (i, j) 成分 M_{ij}^k は式(9)のように定義できる.

$$M_{ij}^k = \{(a, \rho(x_i, a)) \mid \rho(x_i, a) \neq \rho(x_j, a)\}, i \in K_k^+, j \in K_k^- \quad (9)$$

記号 (a, v) を命題「属性 a の値は v である」とみなすと, 確実性ルールの極小条件は次の論理式の最簡加法形の各理論積項として求められる.

$$\bigvee_{i \in K_k^+} \bigwedge_{j \in K_k^-} \vee M_{ij}^k \quad (10)$$

可能性ルールを抽出するには、 K_k^+ と K_k^- の定義をそれぞれ、

$$K_k^+ = \{i | x_i \in C^*(D_k)\}, K_k^- = \{j | x_j \notin C^*(D_k)\}$$

(11)

に変更すれば、同様な方法で求められる。

正事例と負事例に対応する二つの集合 K_k^+ , K_k^- を用いていることから、事例の集合のペア (Y, N) を与えることにより、決定ルール抽出が行えることがわかる。 Y は正事例の集合で、Target 集合と呼ばれる。また、 N は負事例の集合で、Block 集合と呼ばれる。例えば、集合のペアに対して、決定クラス D_k に関する確実性ルールが抽出でき、集合のペア $(C^*(D_k), U-C^*(D_k))$ に対して、決定クラス D_k に関する可能性ルールが抽出できる。決定行列に基づくルール抽出法では、添え字 $i \in K_k^+$ をもつ対象 x_i は満たし、 K_k^- 内の任意の添え字 $j \in K_k^-$ をもつ対象 x_j は満たさないすべての極小条件を求めることにより、対象 x_i に関する決定ルールが得られていることがわかる。 $i \in K_k^+$ するすべての x_i を考えることにより、求めたいすべての決定ルールを抽出している。

$D_k, k=1, 2, \dots, p$ に対する確実性ルールを集めることにより、種々の決定クラスを導く確実性ルール群を得ることができ、 $D_k, k=1, 2, \dots, p$ に対する可能性ルールを集めることにより、種々の決定クラスを導く可能性ルール群を得ることができる。

(3) 橋梁景観にラフ集合を適用することの意義

ラフ集合の適用例としては、商品を対象にしたものが多く^{11)~13)}、特に文献¹⁴⁾に詳しく記載されている。文献^{11)~14)}では主に商品を対象にしており、アイテム数も10以下、同様にサンプル数も10以下のケースが多い。商品では事前にデザイン要素となるアイテム数を検討し、できるだけそれらを少なくなるようにしていると想定される。あまりアイテム数やサンプル数が多くなると、ラフ集合による分析に時間がかかるか、あるいは分析不能になる可能性を排除していると考えられる。

一方、橋の景観設計では、要素還元主義を前提とした考え方に従って、桁の形状や色、下部工や付属物の形状や色など細かいデザイン要素に分割して設計・評価を行っている。デザイン要素の数は商品に比べて格段に多い。しかし、各デザイン要素は設計を行う際に他のデザイン要素と何らかの関係があることが多く、各デザイン要素が全て独立したものと考えerることには無理がある。すなわち、各デザイン要素は独立して設計しているにもかかわらず、隣接するデザイン要素や全体的なバランスや評価などが最終的に求められるため、必ずしも各デザイン

要素が独立となっているとは言い難いのが現状である。人のもつ感性は従来の工学的な分野と異なって、どうしても説明しようとする項目間(変数または属性)が少なからず関係のあるものになってしまうことが多い。しかし、このような多くの細かいデザイン要素に分割して設計・評価を行うことが有効かどうかは常に疑問が付きまとう。人は評価する際に本当に20以上のアイテムを全て考えて評価しているかどうかという疑問である。もっと大まかな区分けによる、少ないアイテム/カテゴリの組合せにて評価する方が実際に適合しているのではないか、すなわち、ラフ集合を適用する方が利点が多いと考えた。ラフ集合の利点は1章でも述べたように、多重共線性の問題を気にすることがないこと、さらに、カテゴリ数がサンプル数よりも少なくても構わないという制約がないことがあるが、数個という少ないカテゴリ組合せによる決定ルールで景観を評価する方が人間の試行判断に合致していると考えた。

5. ラフ集合を用いた桁橋の評価

(1) 感性アンケート調査

評価者は、関西大学工学部土木工学科の学生で、男子学生 20 名および女子学生 20 名の合計 40 名、および橋梁設計技術者 15 名を対象にした。評価対象となる橋梁は、橋梁雑誌として橋梁年鑑¹⁵⁾を選定した。なお、橋梁年鑑は視点場が統一されていないなど、評価用あるいはデザイン検討用の写真としては問題がある。その対策としてできるだけ多くの写真を収集し、その中から、橋梁色や下部工形式、周りの風景のバリエーション等がバランス良く含まれる写真だけを選定し、最終的に 90 枚の橋梁写真にまとめた。桁橋の景観に対するイメージを表現する形容詞としては 43 個の形容詞対を用いた¹⁶⁾。アンケートを実施するにあたっては、5 段階の SD (Semantic Differential) 尺度を用いた。

(2) 決定表の作成

ラフ集合を用いて解析するためには、まず決定表を作成する必要がある。決定表は数量化理論での分析におけるアイテム/カテゴリ表と同類であり、既往の研究¹⁶⁾で作成した数量化理論による分析で用いたアイテム/カテゴリ表(表-3, 表-4 参照)を決定表として表-5 のように置き換えて作成した。

表-5 は「飽きのこない」の決定表の例である。ここで、Y は決定クラス(飽きのこない)を指す。U01, U02, U03 はサンプルであり、S1, S2, S3, ..., S19, S20 (abc, ..., st) は表-3 のアイテム数と対応している。決定表に示す a1, c2 など、英字+数字の形式をとっており、S1 列の a1 は主桁形状/等断面を、S3 列の c5 は桁の色彩/灰色を表現している。

ここで、既往の研究¹⁶⁾では、表-4 に示すように 20 ア

表-3 アイテム／カテゴリ表の一部

アンケート No.	解析 No.	年 度	頁	橋 名	主桁形状平面形状				桁の色彩						
					等 断面	変 断面	直 線 桁	曲 線 桁	赤	青	アイ ボ ー リ	茶	灰	緑	
1	1	S63	134	新浜厚真橋	●		●								●
2	2	S63	137	新川黒部大橋	●		●			●					
3	3	S63	139	北川5号橋	●		●			●					
4	4	S63	140	大森沢橋	●			●		●					
5	5	S63	141	崎田大橋		●	●			●					
6	6	S63	143	御蔵橋	●		●		●						
7	7	S63	144	司野橋	●		●			●					
8	8	S63	147	町屋橋	●		●			●					
9	9	S63	149	武雄高架橋	●		●								●
10	10	S63	151	山賀高架橋西	●		●							●	
11	11	S63	159	小瀬川橋		●		●			●				
12	12	S63	161	笹目橋	●		●		●						
13	13	S63	162	小梁川橋	●		●		●						
14	14	S63	163	東鷹ノ巣橋		●		●						●	
15	15	S63	165	新吉野川大橋	●		●			●					
16	16	S63	166	中島大橋	●		●		●						
17	17	S63	170	備作大橋	●			●	●						

の対象を抽出した。よって、表-5 で S12 (視距離) ,

表-4 アイテム／カテゴリの一覧表

アイテム		カテゴリ					
名称	記号	1	2	3	4	5	6
1 主桁形状	a	等断面	変断面				
2 平面形状	b	直線桁	曲線桁				
3 桁の色彩	c	赤	青	アイボリー	茶	灰	緑
4 高欄の色彩	d	灰	茶	白	緑		
5 下部工形状	e	張出式	柱式	長方形	逆台形		
6 下部工断面	f	円形	縦形	小判			
7 橋脚数	g	1	2	3	4	5~	
8 高欄形式	h	壁	縦棧	横棧			
9 排水管	i	有り	無し				
10 照明柱	j	有り	無し				
11 検査路、添架物	k	有り	無し				
12 視距離	l	近景	中景				
13 視線入射角	m	側面	斜側方				
14 視点高さ	n	上	水平	下			
15 風景	o	山岳	平地	河川			
16 背景(上層)の色彩	p	白	緑	青	茶		
17 背景(下層)の色彩	q	緑	黒茶	青	灰白		
18 クリアランス	r	大	中	小			
19 並列橋	s	有り	無し				
20 障害物の有無	t	有り	無し				

表-5 決定表の例示

技術者：飽きのこない(21)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S15	S16	S17	S18	S19	S20	Y
U02	a1	b1	c2	d3	e1	f3	g5	h3	i1	j1	k2	o2	p3	q2	r3	s2	t2	2
U04	a1	b2	c2	d1	e2	f2	g2	h3	i2	j2	k2	o1	p2	q1	r1	s2	t1	3
U08	a1	b1	c2	d1	e1	f3	g5	h1	i2	j2	k2	o3	p3	q4	r2	s1	t2	3
U12	a1	b1	c1	d1	e2	f3	g5	h2	i1	j1	k2	o2	p3	q1	r2	s1	t2	3
U15	a1	b1	c2	d3	e1	f3	g5	h3	i1	j1	k1	o3	p3	q4	r2	s1	t2	3
U25	a1	b1	c1	d3	e1	f3	g5	h2	i2	j1	k2	o2	p3	q1	r3	s2	t2	1
U28	a2	b1	c6	d3	e3	f3	g4	h2	i2	j1	k2	o3	p1	q4	r2	s2	t2	1
U36	a1	b1	c2	d1	e1	f2	g5	h1	i1	j1	k2	o2	p3	q3	r2	s2	t1	2
U46	a1	b1	c3	d1	e2	f3	g3	h1	i1	j2	k1	o2	p3	q2	r2	s1	t1	2
U47	a2	b2	c4	d1	e2	f2	g1	h1	i1	j1	k2	o2	p1	q1	r3	s2	t1	3
U53	a2	b1	c3	d3	e1	f2	g2	h1	i2	j2	k1	o2	p1	q1	r3	s2	t2	2
U54	a1	b1	c4	d3	e1	f2	g4	h3	i1	j1	k2	o1	p4	q2	r1	s2	t2	2
U55	a1	b1	c6	d3	e1	f3	g4	h2	i2	j1	k2	o2	p3	q2	r3	s2	t2	2
U61	a1	b1	c2	d2	e1	f3	g3	h2	i2	j1	k2	o2	p1	q2	r2	s2	t1	3
U62	a1	b2	c1	d3	e1	f2	g5	h1	i1	j2	k2	o2	p3	q2	r2	s2	t2	2
U68	a1	b1	c2	d3	e3	f3	g5	h3	i2	j1	k2	o3	p1	q3	r2	s2	t2	1
U72	a1	b2	c1	d3	e2	f2	g2	h2	i1	j2	k1	o1	p2	q1	r1	s2	t2	1
U76	a1	b2	c6	d3	e1	f2	g5	h1	i1	j2	k2	o2	p1	q1	r2	s2	t2	3
U77	a1	b1	c3	d1	e4	f3	g3	h1	i2	j2	k2	o2	p3	q1	r2	s2	t2	2
U85	a2	b2	c1	d2	e3	f3	g1	h2	i2	j1	k2	o2	p3	q2	r3	s2	t2	3
U86	a2	b1	c2	d1	e1	f3	g4	h2	i2	j2	k2	o2	p3	q3	r2	s2	t2	1
U90	a2	b1	c2	d3	e2	f3	g5	h3	i2	j2	k2	o2	p3	q1	r2	s2	t2	1

アイテムの中に視距離、視線入射角、視点高さというデザイン要素とは異なる視点場情報が含まれている。本研究では、評価対象となる橋梁の写真を橋梁年鑑から抽出している。理由は前節に記載しているが、視点場が統一されていないという問題に対処するために、同じ視点場からの写真がある程度まとまった数量になるように選定している。視点場は景観設計において事前に設定されるべきものであり、形式や色彩など変更できるデザイン要素とは別に考えるものであることから、視点場を統一して分析することを試みた。本研究では視距離が近景、視線入射角が斜側方、視点高さが下からという条件で 90 橋

S13 (視線入射角) , S14 (視点高さ) が欠落しているのは前述の理由による。

ラフ集合による具体的な分析方法は、まず、説明変数と目的変数とをカテゴリカルデータに変換する。男子学生、女子学生および橋梁技術者の「飽きのこない」に対するアンケート結果の平均値を 3 つの決定クラス (飽きのこない、どちらでもない、飽きのくる) に分類した。

ここで、目的変数に被験者毎の平均値を用いている理由を説明する。様々な価値観を持つ利用者を一つの集団として捉えることは難しく、10 人いけば 10 通りの景観評価パターンが存在する。橋梁を含むインフラ構造物は

多くの利用者を対象に計画を行わなければならないので、多人数の選好をできる限り満たす形状寸法や形態要素の決定が求められる。既往の研究¹⁶⁾では、利用者を学生や橋梁技術者など大まかな属性に分類し、同じ属性の対象者は価値観も大きく変わらないという考えのもと、属性ごとの平均値を用いて評価分析を行っている。既往の研究¹⁶⁾でも学生と橋梁技術者とでは異なった評価結果が得られていることから、属性による分類は必要と考えられる。しかし、同じ属性であっても評価は一人ひとり異なるため、個々の人の決定ルールを多人数で統合して共通のルール条件部を求める提案がなされている¹⁷⁾。この方法は、各被験者個人から得られた先行ルール条件部を多人数間において総当たりで併合することにより、多人数の選好を満たすルール条件部を得ることができるというものである。詳しくは、文献¹⁷⁾を参照のこと。この多人数ルール条件部併合の考え方と本研究で用いた各属性の評価に平均値を用いる方法との差は検証できていないが、今後の検討課題としたい。その際、平均値を用いることにより抽出された決定ルールが各属性間でどの程度有効なのか、得られた結締ルールが何名の人に利用されているか、有効な人数は全体のどの程度の割合なのかについても検討したい。

SD アンケートが5ランクであるのに対し、3つに分類した理由は、商品のラフ集合分析などでは選好がある、なしどちらでもないの3つにして扱うことが多いことと、5ランクにすると1つのランクの数が極端に少なくなることを避けるためである。決定クラス3が飽きのくる、決定クラス1が飽きのこない、決定クラス2がどちらでもないというように設定した。

(3) 選考の決定ルール

1章でも述べたように、求められた複数の決定ルール条件部のどれがどの程度決定表の結論に寄与しているかを示す指標として、CI値という考え方をを用いる。決定ルール条件部のCIとは、そのルールの結論と同じ決定クラスの対象数のうちで、そのルールに当てはまる対象数の占める割合をさす。言い換えると、そのルールに当てはまる対象数をそのルールの結論と同じ決定クラスの対象数でわったものとなる。高い値のCIは決定ルール条件部が決定表の結論に寄与している割合が高いことを示している。すなわち、CI値が1に近いほどその決定ルールは選好に大きく影響していることになる。このCI値は決定クラスに寄与している貢献度合いを示す指標であり、たくさんの決定ルールの中でどの属性値の組み合わせが重要かの目安になるのでとても有益であるといえる。

表-5 で作成した「飽きのこない」の決定表を用いて、技術者、女子学生および男子学生のラフ集合による分析結果を表-6 に示す。ルール条件部の数は Y=1, Y=2, Y=3 それぞれで数十～数百となっており、表-6 では CI 値の降順に並べ直している。

橋梁技術者にとって「飽きのこない」と評価できるルールは、CI値が高く、かつ、組合せるカテゴリ数が2と最も少ない「a2r2」が該当する。a2 は主桁形状が変断面で、r2 はクリアランスが中程度というアイテム/カテゴリの組合せになる。この a2r2 というルールからすると、橋梁技術者の評価は既往の研究で指摘されている色彩や形状に重点を置いたものではなく、構造スケルトンや桁下空間に「飽きのこない」という評価をしていることになる。一方、逆の「飽きのくる」と評価されるルールは、CI値が高く、かつ、組合せるカテゴリ数が2と最も少ない「slg5」、「slt2」が該当する。sl は並列橋が有り、g5 は橋脚数が5以上、t2 は障害物がないという組み合わせになる。

「飽きのこない」と「飽きのくる」を比較した場合、主桁形状は a2 が「飽きのこない」、a1 が「飽きのくる」というように、うまくカテゴリごとに分離しているのに対し、k2 (検査路・添架物なし) や r2 (クリアランス中) などのカテゴリは「飽きのくる」と「飽きのこない」の両方に含まれているのが特徴である。橋梁技術者の評価では、a2, すなわち、主桁形状が変断面、r2, すなわち、クリアランスが中程度という要素は CI 値の高い条件の中に多く含まれており、女子学生や男子学生の Y=1 の条件部には {slg5} がないことから、橋梁技術者の感覚や経験は一般の人とは異なり、技術者の特性がより反映された判断基準になっているといえる。

一方、{c2}, すなわち、桁の色彩が青という条件は橋梁技術者、女子学生、男子学生の Y=1 条件部に共通の要素となっており、{B}, すなわち、下部工断面が小判型という要素も同様である。

飽きがくる (Y=3) に関係する条件を考えた場合、桁の色彩、すなわち、{c1,c2,c3,c4,c5,c6} が橋梁技術者、女子学生および男子学生で CI 値の高いルール条件部に全く含まれていないことは解釈が難しい。既往の研究成果⁴⁾でも一般的に美しいとか、調和のとれた、個性的ななどの評価では色彩の要素が必ずと言っていいほど含まれていたにもかかわらず、ラフ集合による分析では主桁の色彩の要素は「飽きのくる」に対しては影響していないようである。逆に高欄の色彩 {dl, d3} は影響がある。

a2r2 が飽きのこないデザイン要素の組合せ、slg5, slt2 が飽きのくるデザイン要素の組合せという結果に対しては直ぐに納得できない技術者も存在するであろう。技術者は色彩や形状よりもスケルトンや橋の背景へのおさまり、橋以外の要素 (並列橋や障害物の有無) なども評価には考慮していることの表ではないかと推察される。技術者は一般の人に比べて構造詳細がより気になることの説明になっていると思われる。

この CI 値の表の見方として、ルールの組合せも重要であるが、もう一つ、CI 値の高くなるルールに含まれる特定のカテゴリの存在を抽出することも必要であると考えられる。すなわち、a2, s2, r2 などのカテゴリは CI 値の高いルールには多く含まれているため、デザインを

検討する際には特に留意する必要があるといえる。

男子学生では、「飽きのこない」で一つだけのカテゴ

表6 決定ルール条件部とCI.

橋梁技術者				女子学生				男子学生			
●決定ルール／Covering Index (CI)		CI降順に並べ替えOK		●決定ルール／Covering Index (CI)		CI降順に並べ替えOK		●決定ルール／Covering Index (CI)		CI降順に並べ替えOK	
Y= 1	Y= 2	Y= 3		Y= 1	Y= 2	Y= 3		Y= 1	Y= 2	Y= 3	
飽きのこない	どちらでもない	飽きのくる		飽きのこない	どちらでもない	飽きのくる		飽きのこない	どちらでもない	飽きのくる	
i2d3g5	0.5	q2d3	0.5	b2q1k2	0.375	c2k2t2	0.714	k1d3b1	0.4	q1i1	0.4
i2g5s2	0.5	q2i1	0.5	d1q1e2	0.375	c2k2f3g5	0.571	k1e1	0.4	r2o2t2a1	0.4
a2b1k2	0.5	q2p3a1	0.5	e2k2d1	0.375	c2k2f3p3	0.571	k1t2b1	0.4	b2i1	0.4
a2f3b1	0.5	q2t2a1	0.5	f2q1k2	0.375	h3k2c2	0.571	q4d3	0.4	b2o2	0.4
a2r2	0.5	q2t2e1	0.5	r2e1f3a1	0.375	s2c2t2	0.571	q4i1	0.4	f2d3a1	0.4
i2d3r2	0.5	o2h1b1	0.5	r2g5f3p3a1	0.375	s2h3c2	0.571	r2i1c2	0.4	f2d3i1	0.4
r2d3k2b1	0.5	o2h1p3	0.5	r2p3t2b1g5a1	0.375	j2c2	0.571	r2i1e1b1	0.4	f2t2a1	0.4
r2d3k2f3	0.5	i1e1k2b1	0.375	s1g5	0.375	i2c2t2	0.571	r2i1e1j1	0.4	f2t2i1	0.4
r2s2d3b1	0.5	i1e1k2j1	0.375	s1t2	0.375	c2k2d3	0.429	r2i1c2p3	0.4	b2t2	0.4
r2s2d3f3	0.5	i1e1k2p3	0.375	q1i1k2	0.375	c2o2f3p3	0.429	r2i1e1g5	0.4	j2t2s2a1	0.4
i2t2s2c2	0.5	i1s2a1j1	0.375	q1i1o2	0.375	c2o2t2	0.429	r2i1e1p3	0.4	c1i1	0.3
r2s2t2c2	0.5	i1s2b1	0.375	p1o2k2	0.375	h3k2f3	0.429	i2r3a1	0.4	h1b2	0.3
e3b1	0.333	c3	0.375	b2d1	0.25	h3k2g5	0.429	q1d3r3	0.4	h2a2	0.3
e3d3	0.333	b1f2	0.375	b2i2	0.25	s2c2d3	0.429	q1e1b1	0.4	i2a2	0.3
e3o3	0.333	q2g5	0.25	b2t1	0.25	s2c2f3g5	0.429	q1e1i2	0.4	b2d3	0.3
e3p1	0.333	q2h3	0.25	d1i2c2a1	0.25	s2c2f3p3	0.429	q1e1f3	0.4	c1b2	0.3
e3r2	0.333	p3f2	0.25	d1q1f2	0.25	s2h3f3	0.429	q1r3b1	0.4	d1o2q1	0.3
e4a2	0.333	p3t1	0.25	e2f2d1	0.25	s2h3g5	0.429	q1r3t2	0.4	r2q1a1	0.3
e4r2	0.333	g3d1	0.25	e2f2t1	0.25	i2d1c2	0.429	a2b1p1	0.4	h1q1k2	0.3
o3s2	0.333	g3h1	0.25	e2k2a1	0.25	i2h3	0.429	a2d3p1	0.4	p1o2k2	0.3
p1o3	0.333	g3j2	0.25	e2k2b2	0.25	i2c2g5	0.429	a2i2p1	0.4	f2d3k2	0.3
q3f3	0.333	g3p3	0.25	e2k2f2	0.25	i2c2p3	0.429	a2t2p1	0.4	f2t2k2	0.3
q3i2	0.333	k1h1	0.25	e2k2t1	0.25	i2r2g5	0.429	f2b1h1	0.4	i2a2a1	0.3
q3t2	0.333	k1o2	0.25	e2s2d1	0.25	h3o2	0.286	f2b1o2	0.4	i2d3i1	0.3
e2d3	0.333	q2h1	0.25	e2s2t1	0.25	c2e2	0.286	h1o2e1b1	0.4	i2i1f2	0.3
h2j2	0.333	q2j2	0.25	j2c2a1	0.25	c2q1	0.286	h1s2b1e1	0.4	i2i1s2	0.3
a2c2	0.333	i1s2p3	0.375	t1i2	0.25	h3e2	0.286	k1e2	0.2	j2i1t2	0.3
c1d3h2	0.333	q2p3b1	0.375	t1q1	0.25	h3g1	0.286	k1g5	0.2	r2i1k2t2	0.3
c1d3q1	0.333	q2p3e1	0.375	d1f3g5	0.25	i2e2	0.286	k1h3	0.2	r2o2t2i1	0.3
c1s2q1	0.333	q2t2b1	0.375	d1t2g5	0.25	j2h3	0.286	k1i1	0.2	h1o2t2a1	0.3
h2d3q1	0.333	h1s2b1	0.375	i2c2e1a1	0.25	j2t1	0.286	k1o3	0.2	h1o2t2k2	0.3
h2s2q1	0.333	h1s2p3	0.375	o3e1	0.25	h1s1	0.286	k1q4	0.2	h1s2j2a1	0.3
i2j1g5	0.333	i1h1p3	0.375	o3p3	0.25	j2s1	0.286	o3i1	0.2	h1s2j2k2	0.3
i2o2g5	0.333	e1h3k2	0.25	q4a1	0.25	q3f3	0.286	q4h3	0.2	h1s2t2a1	0.3
q1d3f3	0.333	e1s2h3	0.25	q4c2	0.25	q3i2	0.286	q4i1	0.2	h1s2t2k2	0.3
q1d3p3	0.333	i1c2k2	0.25	q4e1	0.25	q3t2	0.286	s1d3	0.2	h1s2t2r2	0.3
q1g5i2	0.333	i1h3k2	0.25	q4g5	0.25	a2c2	0.286	s1h3	0.2	j2o2k2a1	0.3
a2d3k2	0.333	i1s2c2	0.25	q4p3	0.25	c2o2d3	0.286	k1d3f3	0.2	j2o2k2h1	0.3
a2f3d3	0.333	i1s2h3	0.25	r2c2f3p3a1	0.25	h3k2p3	0.286	k1d3p3	0.2	j2o2s2a1	0.3
a2h2b1	0.333	o2c2i1	0.25	r2c2t2e1a1	0.25	q2f3i1	0.286	k1d3r2	0.2	j2o2t2a1	0.3
i2d3o3	0.333	q2r3a1	0.25	r2c2t2e1g5	0.25	s2h3p3	0.286	k1t2f3	0.2	r2o2t2h1	0.3
i2j1o3	0.333	q2r3b1	0.25	r2c2t2p3a1	0.25	i2d1e2	0.286	k1t2b3	0.2	r2s2j2a1	0.3
o3d3k2	0.333	q2r3e1	0.25	r2e1f3g5	0.25	j2e2k2	0.286	k1t2r2	0.2	r2s2j2h1	0.3
o3j1k2	0.333	b1t1d1	0.25	r2e1i2a1	0.25	t1e2a1	0.286	k1t2s1	0.2	q1t2j2a1	0.3
p1d3j1	0.333	b1t1h1	0.25	r2e1t2b1a1	0.25	c2d1f3	0.286	o3d3e1	0.2	r2o2f3k2	0.3
p1f3d3	0.333	b1t1i1	0.25	r2e1t2b1g5	0.25	c2d1t2	0.286	o3d3p3	0.2	c4	0.2
p1f3t2	0.333	e1f2j1	0.25	s1c2	0.25	c2k2o3	0.286	o3h3e1	0.2	g1	0.2
p1t2j1	0.333	h1t1a1	0.25	s1e1	0.25	e1d1f3	0.286	o3h3p3	0.2	c1e2	0.2
i2b1h3	0.333	i1h1b1	0.25	s1k2	0.25	e1d1t2	0.286	o3i1e1	0.2	c1r2	0.2
i2d3c2	0.333	i1t1a1	0.25	s1o3	0.25	i2c2o3	0.286	o3i1p3	0.2	e2j1	0.2
i2d3h3	0.333	j1f2a1	0.25	s1q4	0.25	i2d1e1	0.286	o3i1s1	0.2	h2e2	0.2
i2f3h3	0.333	r2t1d1	0.25	d1q1i1	0.25	i2o3a1	0.286	r2h3e1	0.2	h2i1	0.2
i2g5h3	0.333	r2t1h1	0.25	d1q1j1	0.25	i2o3g5	0.286	r2h3i1	0.2	a2b2	0.2
i2t2h3	0.333	r2t1i1	0.25	e2j1	0.25	j2d1e1	0.286	s1i1c2	0.2	b2j1	0.2

女子学生も同様に考察する。女子学生にとって「飽きのこない」と評価できるルールは、CI値が高く、かつ、組合せるカテゴリ数が2と最も少ない「j2c2」が該当する。j2は照明柱なしで、c2は桁の色彩が青というアイテム／カテゴリの組合せになる。c2は他の飽きのこないルールの中にも数多く含まれており、女子学生にとっては桁の色彩が青というカテゴリは重要であるといえる。また、i2h3という組み合わせもCI値が高い。i2は排水管なし、h3は高欄形式が横桟という組み合わせである。カテゴリj2(照明柱なし)は「飽きのこない」と「飽きのくる」の両方に出現しているが、i1(排水管あり)は「飽きのくる」、i2(排水管なし)は「飽きのこない」と分離している。CI値の高いルールの中に含まれているカテゴリとして、前述のc2の他に、b2(平面形状が曲線)、a1(主桁形状が等断面)、i1(排水管あり)、f2(下部工断面が矩形)などがある。

リ(o3)が抽出された。o3は風景が河川である。また、CI値は低い、「飽きのこない」ではq4(背景下層の色彩が灰白)、e3(下部工形状が長方形)が、「飽きのくる」ではc4(桁の色彩が茶色)も抽出されている。男子学生は橋梁技術者や女子学生よりも評価するためのルール数が少なく、特定のデザイン要素と評価とが直結しているケースがあると推察できる。男子学生でも女子学生と同様に、c2(桁の色彩が青色)が他の「飽きのこない」ルールの中にも数多く含まれており、男子学生にとっては桁の色彩が青というカテゴリは重要であるといえる。

3被験者をCI値の高いルールを見て比べてみると、「飽きのこない」では、技術者がa2r2、女子学生がj2c2、男子学生がo3と全て異なっている。また、「飽きのくる」では、技術者がslg5、slt2、女子学生がb2j1、b2o2、qlil、b2t2、男子学生では、e2j1、c4とこちらも全て異な

っている。「飽きのこない」に影響しているルールに被り、偏相関係数の値が大きい方が評価に大きな影響を与

表-7 数量化理論Ⅰ類による解析結果

No	アイテム		カテゴリ	橋梁技術者			女子学生			男子学生			
	名称	記号		偏相関係数	レンジ	スコア	偏相関係数	レンジ	スコア	偏相関係数	レンジ	スコア	
1	主桁形状	a	等断面	0.30270	0.21434	-0.05001	0.09817	0.05195	-0.01212	0.07650	0.05169	-0.01206	
			変断面			0.16432			0.03983			0.03963	
2	平面形状	b	直線桁	0.05725	0.05293	0.00941	0.06935	0.04661	0.00829	0.05435	0.04712	-0.00838	
			曲線桁			-0.04352			-0.03833			0.03875	
3	桁の色彩	c	赤	0.22939	0.23004	-0.08462	0.42265	0.31714	-0.18230	0.24878	0.25843	-0.06157	
			青			0.03663			0.07838			-0.00056	
			7休リ			-0.08069			0.09495			-0.06586	
			茶			0.14542			0.02372			0.19256	
			灰			-0.02973			0.13484			0.09949	
			緑			0.00161			0.02252			-0.03720	
4	高欄の色彩	d	灰	0.22375	0.24872	-0.05453	0.40998	0.42754	0.02380	0.26079	0.18724	-0.06667	
			茶			0.04419			-0.03468			-0.09728	
			白			0.04487			0.04580			0.08996	
			緑			-0.20385			-0.38174			-0.01557	
5	下部工形状	e	張出式	0.17025	0.14623	-0.02338	0.19805	0.19054	-0.02042	0.26857	0.25308	-0.03075	
			柱式			-0.03893			0.06312			-0.04353	
			長方形			0.07450			0.01858			0.15571	
			逆台形			0.10730			-0.12741			-0.09737	
6	下部工断面	f	円形	0.26431	0.29586	0.21083	0.20201	0.14894	0.12476	0.35246	0.39175	0.33573	
			躯体			-0.08503			-0.02418			-0.04053	
			小判			-0.01177			-0.01724			-0.05602	
7	橋脚数	g	1	0.36421	0.45604	-0.34517	0.34489	0.21834	-0.12154	0.11377	0.11257	-0.06823	
			2			-0.07836			-0.05568			0.04433	
			3			0.08693			0.03995			-0.03923	
			4			0.11087			-0.09146			0.01580	
			5～			0.02406			0.09679			0.00129	
8	高欄形式	h	壁	0.07741	0.07004	0.04298	0.24953	0.13976	-0.06939	0.19372	0.16821	0.09832	
			縦棧			0.00385			-0.03009			0.01596	
			横棧			-0.02706			0.07037			-0.06989	
9	排水管	i	有り	0.12349	0.07651	-0.04590	0.20981	0.09693	-0.05816	0.20888	0.12611	-0.07566	
			無し			0.03060			0.03877			0.05044	
10	照明柱	j	有り	0.02286	0.01630	0.00471	0.09254	0.05118	0.01479	0.04026	0.02971	0.00858	
			無し			-0.01159			-0.03640			-0.02113	
11	検査路、添架物	k	有り	0.07546	0.06087	-0.05072	0.04392	0.02616	-0.02180	0.03329	0.02655	-0.02212	
			無し			0.01014			0.00436			0.00442	
15	風景	o	山岳	0.17639	0.12216	0.02151	0.10944	0.05494	0.01763	0.36137	0.44576	-0.34715	
			平地			0.05356			0.02223			0.06448	
			河川			-0.06860			-0.03270			0.09861	
16	背景(上層)の色彩	p	白	0.21071	0.18268	-0.03088	0.17960	0.10276	-0.07058	0.38275	0.43764	-0.21917	
			緑			0.14472			-0.00521			0.21846	
			青			-0.03796			0.03218			0.00344	
			茶			-0.00505			-0.07052			-0.06374	
17	背景(下層)の色彩	q	緑	0.16645	0.17734	-0.00261	0.19847	0.13440	0.00126	0.12691	0.12099	-0.00643	
			黒茶			-0.02471			-0.04767			-0.02765	
			青			0.12775			0.08673			0.09334	
			灰白			-0.04959			0.05735			0.01172	
18	クリアランス	r	大	0.04508	0.03270	0.00310	0.23266	0.17025	0.07880	0.34891	0.42600	0.34151	
			中			-0.00978			0.01367			-0.06200	
			小			0.02292			-0.09145			-0.08450	
19	並列橋	s	有り	0.04249	0.03453	-0.02877	0.19120	0.12117	-0.10097	0.09594	0.07640	0.06367	
			無し			0.00575			0.02019			-0.01273	
20	障害物の有無	t	有り	0.08742	0.05304	-0.03359	0.03663	0.01683	0.01066	0.06990	0.04313	-0.02732	
			無し			0.01945			-0.00617			0.01581	
重相関係数(R) :						0.60139	重相関係数(R) :			0.70942	重相関係数(R) :		0.63042
決定係数(R^2) :						0.36167	決定係数(R^2) :			0.50328	決定係数(R^2) :		0.39743

験者ごとの共通項はほとんどないといえる。

(4) 数量化理論Ⅰ類による分析結果

表-7 に数量化理論Ⅰ類による解析結果を示す。縦軸がアイテム／カテゴリ、横軸は3被験者（橋梁技術者、女子学生、男子学生）で、それぞれ、偏相関係数、レンジ、カテゴリスコアを表示している。偏相関係数はそのアイテムが評価に及ぼしている影響の度合いを示してお

えている。表-7 でいうと、橋梁技術者の主桁形状の方が平面形状よりも評価に与える影響は大きい。レンジはアイテムごとの最小スコアと最大スコアの差（絶対値）を示している。

3被験者の偏相関係数を比較すると、各被験者がどのアイテムに重点を置いて評価しているのかがよくわかる。偏相関係数の値を降順に並べ直したのが表-8になる。橋梁技術者は色彩よりも主桁形状や下部工断面、橋脚数

など橋梁の基本構造に重点を置いているのに対し、女子学生はその反対で、形式や断面形状よりも桁や高欄の色彩に重点を置いていることがわかる。特に主桁形状は橋梁技術者だけが上位アイテムになっており、学生は評価に際して主桁形状に重きをおいていない。スコアより橋梁技術者は桁の側面形状が変化している方が等断面よりも飽きがこないと認識している。逆に、学生には上位アイテムであっても橋梁技術者にとっては下位になっているものとして、クリアランスが挙げられる。スコアから学生にとって、特に男子学生がクリアランスが大きい方が「飽きがこない」と認識していることになる。橋梁技術者のクリアランスもスコアはプラスになっているが、値が小さく、評価への影響が少ないと思われる。

「飽きのこない」に対する評価の特徴を示していると思われる。この中でも3被験者ともに偏相関係数が上位に位置しているアイテムは、桁の色彩（順位1）、下部工断面と高欄の色彩（順位2）、下部工形状（順位4）、排水管（順位5）、背景（下層）の色彩（順位6）となる。既往の研究でも桁の色彩や高欄の色彩が評価に与える影響が大きかったことから同様の傾向がみとれる。下部工形状や下部工断面が上位に位置しているのは「飽きのこない」に与える影響が大きいという一つの特徴であるといえる。下部工形状や下部工断面は河川内に設置する場合は制約があるが、それ以外は制約が少なく、比較的自由度があるので「飽きのこない」設計を行う上で重要なアイテムであるといえる。また、3被験者ともにスコアがプラスの数値になっており、かつ、その値が大きいものとして、下部工断面一円形と桁の色彩一茶色が挙げられる。これらのカテゴリは「飽きのこない」構造物を設計する際や、補修あるいは大規模改修の際の合意形成時に参考になる。その逆に、3被験者ともにスコアがマイナスの数値になっており、かつ、その値が大きいものとして、橋脚数一基が挙げられる。橋脚数が1基だとバランスが悪く見えるためと思われるが、既往の研究の因子分析結果から、「飽きのこない」と「バランスのとれた」とは同じ因子軸に属することより、設計では避けた方がよいと思われる。他に、桁の色彩一赤色、高欄の色彩一緑も3被験者ともにスコアがマイナスの数値になっており、合意形成では避けた方がよい組合せといえる。

(5) ラフ集合と数量化理論Ⅰ類との結果の比較

ここでは、ラフ集合により得られた評価ルールと数量化理論Ⅰ類により得られた結果をもとに両者の差を考察する。

橋梁技術者においてラフ集合により得られた「飽きのこない」に該当するルール「a2r2」であるが、数量化理論でのスコアからすると、a2は+0.1643と評価へかなり貢献していると推察されるが、r2のスコアは-0.00978とマイナスの値で、評価への影響度合いが逆（飽きのくる）になっている。クリアランスのレンジも他のアイテ

表-8 偏相関係数の順位（降順）

順位	橋梁技術者	女子学生	男子学生
1	橋脚数	桁の色彩	背景（上層）の色彩
2	主桁形状	高欄の色彩	風景
3	下部工断面	橋脚数	下部工断面
4	桁の色彩	高欄形式	クリアランス
5	高欄の色彩	クリアランス	下部工形状
6	背景（上層）の色彩	排水管	高欄の色彩
7	風景	下部工断面	桁の色彩
8	下部工形状	背景（下層）の色彩	排水管
9	背景（下層）の色彩	下部工形状	高欄形式
10	排水管	並列橋	背景（下層）の色彩

ムに比較して値は小さく、r2がどの程度評価に貢献しているのかも不明である。ただし、a2だけだと「飽きのこない」評価にはならないので、r2との組合せによって評価が良くなる例であるといえる。数量化理論の結果だけからすると、数量化理論でのスコアが小さければ評価には無視できるカテゴリと結論づけることになるが、ラフ集合によるとr2のスコアが小さいからといって無視することは危険であり、他のカテゴリ（例えばa2）との組み合わせにより評価が良くなる可能性を示している一例といえる。

また、ラフ集合による分析で抽出したs2, r2, a2等のカテゴリはCI値の高いルールに数多く含まれているため、これらのカテゴリが数量化理論によるスコアと関連しているかどうかを検討する。s2のカテゴリスコアは+0.00575, r2のカテゴリスコアは-0.00977, a2のカテゴリスコアは+0.1643となっており、a2は数量化のスコアとラフ集合の結果ともに評価の高くなる（「飽きのこない」）カテゴリとして抽出できる。しかし、s2, r2はカテゴリスコアの値も小さく、評価への影響は小さいものと推察できる。

一方、「飽きのくる」に該当する組合せである、slg5, slt2について考察する。数量化理論の結果からslのスコアが-0.02877とマイナスになっていることは「飽きのくる」評価とは合致している。g5のスコアは+0.0241, t2のスコアは+0.01945と両者ともプラスになっていることから「飽きのこない」評価になっている。「飽きのこない」カテゴリと「飽きのくる」カテゴリの組合せにより評価されていることになる。また、sl, g5, t2全てのスコアの値が小さいことも特徴である。数量化理論ではスコアの値が小さいと評価への影響があまりないことになるが、スコアが小さいカテゴリの組合せにより「飽きのくる」評価が決定されることに注目すべきであるといえる。数量化理論によりスコアだけをみては評価のよ

くなる組合せは推計できないこともあり得るということに注目すべきである。数量化理論によるスコアの良いカテゴリだけを抽出しても評価のよくなるデザインができるかというそうではないことがラフ集合により指摘される結果となった。

女子学生における「飽きのこない」に該当するルールである, j2c2, i2h3 について検討する。数量化理論による j2 のスコアはマイナスで-0.0364, c2 のスコアはプラスで+0.0784 と, ここでもスコアのプラスとマイナスのカテゴリの組合せが抽出されている。数量化理論による i2 のスコアは+0.03877, h3 のスコアは+0.0704 とこの場合は両社ともプラスではあるが, スコアの値が小さいもの同士の組合せであり, 数量化理論ではスコアの小さいカテゴリは評価への影響は少ないと解釈するが, ラフ集合ではそうではなく, スコアの小さいカテゴリ同士の組合せやスコアがマイナスになっているカテゴリとの組み合わせも評価が良くなる可能性があるということが示されているといえる。

女子学生の「飽きのくる」において, ラフ集合では, b2il, b2l2 が抽出されている。これらは数量化理論によるスコアでは b2 が-0.0383, il が-0.0582, l2 が-0.00617 といずれもマイナスの値であり, 「飽きのくる」評価と整合しているが, この場合もスコアの値自体は非常に小さい。女子学生で「飽きのくる」評価に大きな影響を与えていると思われるカテゴリを数量化理論の結果からみると, c1 (桁の色が赤) が該当する。スコアも-0.1823 である。しかし, この c1 はラフ集合のCI値の高いルール (CI=0.4) では抽出されていない。CI=0.3 の組み合わせでは何件かのルールに c1 が出現するが, c1 がルールに含まれる組合せの数は多くはない。数量化理論の結果からは評価への影響が大きいカテゴリであっても, ラフ集合の組合せでそのカテゴリが出現するかというとそうではない。数量化理論によるスコアとラフ集合の結果とが合致していない一つの例であるといえる。

女子学生でも技術者と同様に, ラフ集合による分析で抽出した c2, b2, a1, il, l2 等のカテゴリは CI値の高いルールに数多く含まれているため, これらのカテゴリが数量化理論によるスコアと関連しているかどうかを検討する。c2 のカテゴリスコアは+0.0783, b2 のカテゴリスコアは-0.0383, a1 のカテゴリスコアは-0.0121, il のカテゴリスコアは-0.0582, l2 のカテゴリスコアは-0.0242 となっている。c2 以外のスコアは全てマイナスの値 (評価が悪くなる方向) となっている。c5 のスコアが+0.1348 と非常に高い値となっているが, ラフ集合のCI値の高いルールでは c2 はみうけられるが, c5 はない。ラフ集合は組み合わせにより評価が決定しているためである。

男子学生も同様に考察する。「飽きのこない」評価に該当する組合せはラフ集合により, o3, q4, e3 となるが, それぞれのスコアは数量化理論の結果より, o3 が 0.0986, q4 が 0.01172, e3 が 0.1557 となる。全てプラスの値であ

表-9 ラフ集合と数量化理論の比較

	ラフ集合	数量化理論
各アイテムの評価への影響度	数値としては認識できない	偏相関係数やレンジなどの値で確認できる
各カテゴリの評価への影響度	数値としては認識できない	カテゴリスコアの値で確認できる
カテゴリを組み合わせた場合の評価	CI値の大小にて評価への影響は直接的に把握できる	各スコアの単純和で評価することになるが, 組み合わせた場合の評価は想定していない

るので, 「飽きのこない」の評価とは整合している。e3 および o3 はスコアの値も小さくなく, 評価に大きな影響を与えているといえ, 数量化理論の結果とラフ集合のルールとが合致している例であるといえる。一方, c4 は「飽きのくる」評価でラフ集合により導出されたルールであるが, 数量化理論のスコアは+0.19256 と「飽きのこない」評価への影響が大きいカテゴリになっている。この理由としてデータの偏りなども影響している可能性があり, 今後精査および検討する必要があるといえる。

ラフ集合と数量化理論の比較を表-9 に示す。本論ではラフ集合と数量化理論により得られた結果を比較した。ラフ集合で得られたカテゴリの組合せと数量化理論で算出した偏相関係数, カテゴリスコアなどが一致すればよかったが, 結果はそうはならず, ラフ集合での組合せルールで評価の高いカテゴリの数量化によるスコアは高くないケースが多く確認される結果となった。また, その逆もあり, 数量化のスコアが高いカテゴリはラフ集合での評価の高い組合せルールには出現しないケース, 数量化でのスコアが小さいカテゴリの組み合わせがラフ集合で評価が高くなるケースも多々確認された。表-9 の両者の得失に示すように, 数量化理論では各アイテムや各スコアの評価への影響度は数値として把握できるが, カテゴリを組合せた場合に評価がどうなるのかは不明である。すなわち, 数量化で得られたスコアの高いカテゴリばかりを組合せても評価の高いデザインが得られるとは限らないからである。ラフ集合の結果を参考にして両者を併用することが望ましいといえる。

一つの方法として, スコアの高いカテゴリとラフ集合で抽出される組合せの中に含まれるカテゴリで共通項があればそれを主にデザイン案を作成する手順が妥当であろう。一つのカテゴリで評価が決定されることは稀であるので, あと1つか2つのカテゴリの組合せを決定するために, 数量化理論における偏相関係数の高いカテゴリやラフ集合の組合せを参考にしてデザインすることが必要であろうと推察される。

合意形成に用いるのであれば、数量化理論で得られる偏相関係数の高いアイテムやカテゴリースコアの低いカテゴリを数個抽出し、それをもとにしてデザイン案を作成するプランと、ラフ集合から得られる評価の高くなるカテゴリの組合せルールを元にして作成されたデザイン案を作成し、両者をワークショップなどで議論することで、より良い案を作成することが可能になると推察される。

6. おわりに

本研究では、長期間飽きのこないイメージが求められる土木構造物の中でも、架橋数の大半を占める桁橋を対象に、ラフ集合を用いて、飽きのこないイメージに関係するデザイン要素を検討した。飽きのこない橋梁はどういったデザインになっているかをラフ集合により導出された決定ルール条件部とCI値により考察を行った。

ラフ集合は飽きのこない橋梁を特定する判断基準となっているデザイン要素の組合せをルールとして抽出してくれる。一方、デザイン要素と評価からアイテム/カテゴリを作成し、数量化理論を用いて分析した結果から得られるカテゴリースコアとラフ集合のルール条件部とを比較することで、お互いの分析手法の特徴や適用上の制限などを把握することを試みた。

得られた結果を以下に示す。

- (1) CI 値は決定クラスに寄与している貢献度合いを示す指標であり、たくさんの決定ルールの中でどの属性値の組み合わせが重要な目安になるので有益である。
- (2) 各被験者の決定ルールをCI値の高い順に並べ直すことで飽きのこない判断基準とデザイン要素との関係が把握できた。
- (3) 橋梁技術者と学生との飽きのこない判断基準には差がある。
- (4) ラフ集合のルールは人が評価する際のイメージに近いが、数量化理論の結果とは必ずしも一致しない。デザインを検討していく上で、ラフ集合のカテゴリ組み合わせと数量化理論での偏相関係数やレンジなどを併用していくことが合意形成を有効に進める上で必要になると思われる。

今後の課題は以下のとおりである。

「飽きる」という感性は、本来時間や年月を経て感じるものである。「段々飽きてくる」とか「最初はつまらないと思ったけれど、なじんでくるとすごく良くなった」という時系列を通じての変化があることが多い。本研究では、「飽きる」の評価を時系列で観察しているわけではなく、ある時点に限って飽きがくるかこないかを関係者にアンケートするアプローチをとっている。このような評価実験では同じ人に長年にわたって調査するこ

とが理想的ではあるが、実際は難しい。このような事項から、飽きという時系列で変化がありうる感性を正しく評価するには、いくつかのアプローチが考えられる。

第一に、同じ人に長年にわたって調査することが最も良い方法と考えられるが、その人の立場や周辺環境、意識や価値観の変化などにより感性は年齢とともに変わってくるため、個人を対象にした評価実験は難しいと考えられる。第二に、全体の傾向を把握することが考えられる。多くの関係者にアンケートし、その平均値を採用することで利用者全体の傾向を把握することが重要である。

評価実験のデザインや結果を取り扱う上で注意が必要な点は以下のように考えている。

ある特定の橋をみて、飽きがくるかどうかを評価することは、その人の橋に対する意識、立場、普段から見慣れているかどうか、年齢、立場などから差が発生すると考えられる。これらの要因を分析し、結果と結びつけることで有意な傾向が把握できると考えられる。今後の課題として検討したい。また、質問の仕方にも工夫が必要である。質問ではその時点での飽きの度合いを評価することになるが、前段階で、飽きというものは本来時系列で変化するものであるという前提をまず被験者に伝えてから質問すれば、認識の統一がとれた回答が得られるものと期待できる。

参考文献

- 1) 白木渡, 松保重之, 高岡宣善: ニューラルネットワークによるアーチ橋の景観評価システム, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.687-697, 1991.3.
- 2) 古田均, 大谷裕生, 中林正司, 白石成人: ニューラルネットワークの橋梁景観設計への応用, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.669-675, 1991.3.
- 3) 白木渡, 松保重之: 色彩を考慮したアーチ橋の景観設計へのニューラルネットワークの適用, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.595-606, 1993.3.
- 4) 保田敬一, 白木渡, 木村晃: 新しい情報処理手法による橋梁景観設計へのアプローチ, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.561-569, 1997.3.
- 5) 安田登, 近田康夫, 松島学, 小堀為雄: 緑化されたコンクリート擁壁の景観評価の逆解析, 土木学会論文集, No.514/V-27, pp.55-64, 1995.5.
- 6) Z. Pawlak: Rough Sets, *International journal of Information Computer Science*, 11(5), pp.341-356, 1982.
- 7) 田中博, 津本周作: ラフ集合とエキスパートシステム, 数理化学, No.383, pp.76-83, 1994.
- 8) Karsten, A.: Psychology saturation, *Psychological Research*, Vol.10, pp.612-628, 1928.
- 9) 李美龍, 田中恒也, 成田吉弘: 画像を用いた製品の「飽き」に関する感性評価 —デザインの視覚的要素を中心に—, 日本感性工学会論文誌, Vol.11, No.3, pp.407-417, 2012.
- 10) 宮島卓也, 乾口雅弘, 鶴見昌代, 谷野哲三: 複数の決定表のラフ集合解析に関する基礎的考察, 数理解

- 析研究所講究録, Vol.1409, pp.234-247, 2005.
- 11) K.Inoue, M.Hirokawa: Proposal of related analysis between Kansei words and Cognitive form, Bulletin of International Rough Set Society, Volume 7, No.1/2, pp.55-59, 2003.
 - 12) 伊藤弘樹, 井上勝雄, 中村千枝, 関口 彰: 女性向メガネデザインの調査分析, 第7回日本感性工学会大会予稿集, pp.157, 2005.
 - 13) 関口 彰, 井上勝雄, 嶋 暁人, 伊藤弘樹: 携帯音響製品デザインの調査分析, 第7回日本感性工学会大会予稿集, pp.195, 2005.
 - 14) 森典彦, 田中英夫, 井上勝雄: ラフ集合と感性, 海文堂, pp.80, 2004.3.
 - 15) (社)日本橋梁建設協会: 橋梁年鑑, 昭和62年~平成5年
 - 16) 保田敬一, 白木渡, 安達誠, 三雲是宏, 堂垣正博: 感性工学手法による桁橋の景観評価・設計に関する一考察, 土木学会論文集, No.665/VI-49, pp.103-116, 2000.
 - 17) 森典彦: ラフ集合と感性工学, 日本ファジィ学会誌, Vol.13, No.6, pp.600-607, 2002.

(2015. 10. 26受付)

CONSIDERATIONS ON DESIGN ELEMENTS INFLUENCING WEARINESS OF BRIDGES THROUGH ROUGH SETS

Keiichi YASUDA, Wataru SHIRAKI and Hitoshi INOMO

Civil engineering structures are build-to-order manufacturing single items, which differ considerably from products such as household appliances or cell-phone sin the characteristic that their service life is over 50 years. However, in recent years image wearing is becoming a common necessary requirement in both cases. In the present research, girder bridges which represents the great majority of the constructed bridges were considered to investigate which characteristics a bridge must have to be considered as not-wearisome by applying rough sets. The study subjects were bridge engineers, male and female students. In rough sets the decision rule is the most applied and uses the C.I. (Covering Index) as an index that represents the degree of contribution of each element of the rule condition part to the conclusions in the decision chart. Not-wearisome design elements or wearisome design elements are considered based on C. I. values.