

(2) ラフ集合と遺伝的アルゴリズムを用いた桁橋の景観評価に関する研究

A STUDY FOR SCENERY EVALUATION OF STEEL BRIDGE BY USING ROUGH SETS THEORY AND GENETIC ALGORITHM

古田 均*, 広兼道幸**, 田中成典**, 保田敬一***, 三雲是宏****

Hitoshi FURUTA, Michiyuki HIROKANE, Shigenori TANAKA, Keiichi YASUDA and Yukihiko MIKUMO

*工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

**工博 関西大学助教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

***工博 (株)ニュージェック 情報技術部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

**** (株)ニュージェック 情報技術部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

Civil structures, that are infrastructure in the public, are almost medium or small-scale, and ignore the kind of monumental effects. Therefore, it is desired that the medium or small-scale civil structures are designed to harmonize with surrounding environment of human life. In this study, we take a case of bridge as one of the civil structures, and take the color of superstructure of steel bridges as an example to define the evaluation items for scenery evaluation. And we apply the theory of 'Rough Sets' and the technique of 'Genetic Algorithm' to acquire the evaluation items for scenery evaluation. In addition, we apply the 'Fuzzy Theory' on the relation concerned evaluation items and elements of color(R,G,B), and discuss the technique which determine the 'Eco-Friendly' color of the superstructure of steel bridge.

Key Words : Steel Bridge, Evaluation Items, Rough Sets, Genetic Algorithm, Fuzzy

1. はじめに

社会の重要なインフラストラクチャーである土木構造物は、今まで設計検討の際において経済性や機能性が最重要視されてきた。しかし、近年では橋梁をはじめとする景観設計の重要性が広く認識されてきており、今までのような機能一辺倒の考え方は転換が図られている。従来の社会資本整備では、高度成長期にみられる社会資本の画一的、量的整備の様相を呈していたといえる。しかし、近年では経済成長に伴って社会が成熟していき、人々の価値観も多様化してきている。いわゆる量的整備の時代から質的整備の時代へと移行しているということが出来る。このような状況を受けて、最近では建設関連の専門誌等においても構造物のデザインに関する特集が数多く組まれている。また、それらの専門誌等の中で景観設計に関するマニュアルや指針のような内容が大きく取り上げられ、建設分野での構造物の景観に関する関心が高まっていることが強く感じられるとともに、実際に構造物景観の重要性が社会全体において広く認識されつつある。

以上のような社会的ニーズなどから、最近では景観を意識して設計された橋梁、特に海岸部にかかるような巨大な吊り橋などが注目をあびてきており、例えば瀬戸大橋やレインボーブリッジなどの橋梁景観については土木技術者のみならず世間一般にも関心が高まってきている。

このような橋梁は、道路交通における渋滞の解消や自動車移動における時間短縮そして物流の大動脈といった本来の目的に加えて、経済成長に伴う豊かさの象徴であるということと新しい名所としての役割をアピールしている。

我が国においては、このようなモニュメント性を重視した長大橋がすでに3大都市圏を中心に多数建設されており、今後も全国のあらゆる地点で建設プロジェクトが展開されている。しかし、我々の居住する社会の中で身近な土木構造物は、実際のところこのようなモニュメント性を重視した長大橋のような役割が要求されているわけではなく、むしろモニュメント性を度外視した中小規模のものであることがほとんどである。このような中小規模の橋梁のほうが、実は我々の日々の生活において果たしている役割が大きい。中小規模の橋梁は、実際のところあくまでも人間の日常生活に密着したものであり、人間が日常生活の場として居住する地域の環境に調和するように設計されることが望ましいものである。

このような観点から、橋梁における設計についてその状況を振り返ってみると次のような現状が見えてくる。まず、長大橋における設計に関しては、その規模の大きさから一般不特定多数の人々からよく見られるために、景観委員会を特別に設けた共同作業形式によって景観に関するアセスメントを十分に行ってデザインを決めている。

る。一方、中小規模の橋梁における設計に関しては、設計コストと工期に関する制約から、景観について検討を行ったりする時間や経済的余裕がほとんどないというのが実状である。そのため、景観上における決定事項は実際にはデザイン教育をほとんど受けていない橋梁技術者や設計者に一任されているケースが多い。前述のとおり、我々にとって身近な土木構造物として建造される橋梁の大多数は中小規模の橋梁であり、これらの中小規模レベルの橋梁における景観レベルを向上させることは大変重要な問題となっている。

このような現状の問題点は、今までの景観設計においては設計コストと検討のために多くの時間がかかるという状況である。この問題の解決には、近年普及の進んでいるコンピュータのパワーをうまく利用することにより、景観に関する設計工程を効率化することが重要である。その実現のためには多くの研究がなされており、コンピュータグラフィックス (CG: Computer Graphics) を用いて景観設計作業の省力化を目指す研究、人の美的感覚に左右される橋梁景観の定量的評価に関する研究、背景との調和に関する研究、など広範囲にわたってアプローチがはかられている。

橋梁の景観を評価する場合、高欄などの細部のデザイン、橋梁の骨格をなす橋梁形式、橋梁の持つ色彩などを総合的に評価していく必要がある。通常は、まず橋梁形式を絞り込み、その後に色彩や橋梁細部のデザイン処理を行っていく。橋梁形式の選定作業の際には、経済性、施工性、走行性などの要素も取り入れて土木技術者が検討を行っており、この部分については作業がルーチン化されており土木技術者を悩ますような部分は大幅に減少してきているといえる。しかし、景観を重視する色彩決定や細部のデザイン処理には、熟練した技術者といえども、まして初心者に至っては作業を簡単に進めることは非常に困難である。一方、最近では熟練した技術者でなくとも活用が可能となる人工知能的アプローチによる作業の省力化が注目されてきており、景観設計における問題の解決にも適用の可能性があると考えられている。

本研究では、このような人工知能的アプローチとしてラフ集合と遺伝的アルゴリズムを用い、利用者が橋に対して要求している感性を分析・抽出することによって景観設計にたずさわる技術者を支援する一手法として、最適な鋼橋の上部構造の色を自動的に生成させる方法を検討した。

2. 研究のコンセプト

本研究では、景観設計の一部分として、「人々が居住する環境にやさしい」という面で最適な中小規模鋼橋の上部構造の色を自動的に生成させる方法を検討する。それには、人間が生活する場とその周辺の環境に、土木構

造物が調和している様相をイメージする必要がある。

このような様相は、感じる人の個人差や季節など、いろいろな条件によって微妙に変化することが考えられるあいまいなものであり、明確に定義付けすることは困難である。しかし、一定の一般性があるものと考えられ、この様相をよりの確に解釈することを検討した。そこでは、実際の橋梁をモデルとして設定し、その最適な色彩を決定する方法を考案することにした。

具体的には、鋼橋の上部構造を例として、最適な色を評価するための評価項目を検討する。評価項目は多数考えられるが、鋼橋の上部構造の色彩決定に関して重要なものとそうでないものが混在していると考えられる。そこで、鋼橋の上部構造の色彩決定に重要で最適な評価項目を把握するために、ラフ集合論 (Rough Sets)¹⁾²⁾と遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) 手法³⁾⁴⁾を適用することによって最適な評価項目を自動抽出を行うシミュレーション方法を考案する。なお、これらの手法を適用するにあたって、分析のための基礎データを得るためアンケートを実施する。

前述の評価項目のうち、色彩決定要因として抽出された項目と鋼橋の上部構造の色との関係にファジィ (Fuzzy) 理論を適用し、橋梁の上部構造の色と評価項目の評点の関係を関数化することによって、評価項目について与えた評点から橋梁の上部構造の色を導出する方法を考案する。

まず、第3章では、アンケート調査の実施方法について述べる。

第4章では、橋梁の色彩決定要因抽出への適用方法について考察し、ラフ集合論と遺伝的アルゴリズム手法をハイブリッドさせて鋼橋の上部構造の色彩決定要因を抽出する方法について述べる。

第5章では、色彩決定要因として抽出された評価項目と鋼橋の上部構造の色との関係にファジィ (Fuzzy) 理論を適用することを考え、橋梁の上部構造の色 (R, G, B 値) と評価項目の評点の関係を表す帰属度関数 (メンバーシップ関数) の決定方法について述べる。また、評価項目について任意に与えた評点から橋梁の上部構造の色を導出する方法を考案する。

第6章では、本研究の結論について述べ、今後の研究課題を明らかにする。

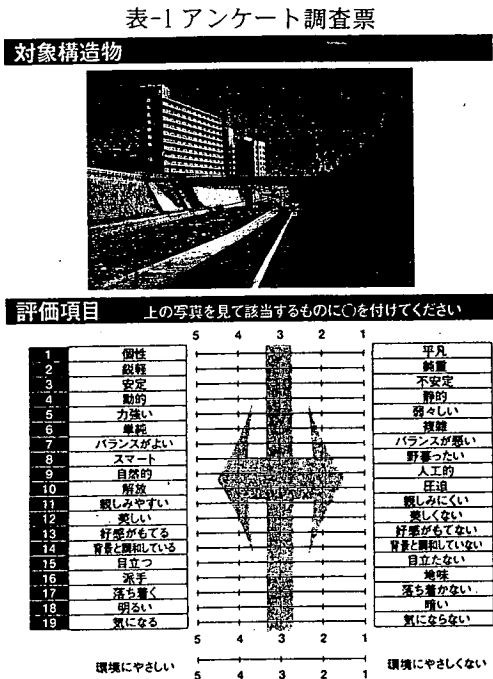
3. アンケート調査の実施方法

本研究では、鋼橋の上部構造の最適な色を規定するため、橋梁の上部構造の色に対して人間がどう評価するかを考察するためのアンケートを行う。

アンケートでは、いくつかの評価項目を設定し、上部構造の色と評価項目との関係について両者の関連性を見ながら、最適な上部構造の色を規定するのに関連性の高

い評価項目を抽出することをねらった。鋼橋の上部構造に関する色を定義する上で、次の項目を勘案しながら表-1に示すような対になる形容詞で構成されるいくつかの評価項目を考え、1~5の評点を与えることによって評価できるような調査票を作成した。

- ・構造形式：桁橋、トラス橋、アーチ橋、ラーメン橋、斜張橋、吊橋
- ・周辺環境：山間部、平野部、河川部、海岸部、都市部（住宅地、市街地、商工業地など）



アンケートは、回答者が前述の19個の評価項目ごとに5段階の評点で回答するようになっており、アンケート調査票に印刷された鋼橋の写真を見て、その上部構造の色について回答者の感じる評価結果を各評価項目毎に回答するようになっている。なお、アンケートで用いる橋梁写真は、実際に観察した事例を用いている。

4. 橋梁の色彩決定要因抽出方法

評価項目の決定フローチャートを図-1に示す。

4.1 最適な評価項目の抽出手順

最適な評価項目の抽出は、ラフ集合の考え方を基本にして行う。ラフ集合では、任意の評価項目を取り除くことで矛盾が生じるか否かを判定しながら最適な評価項目を抽出していく。まず、観察対象とした橋梁とその評価結果をグループ分けしておく。そこでは、任意に抽出した評価項目の評点を合計した値を(m)として設定する。これらの値(m)を用いて、各事例を次の3つのグループに分類することができる。

- ・グループ1； $0 < m \leq 5n/3$
- ・グループ2； $5n/3 < m \leq 10n/3$
- ・グループ3； $10n/3 < m \leq 5n$

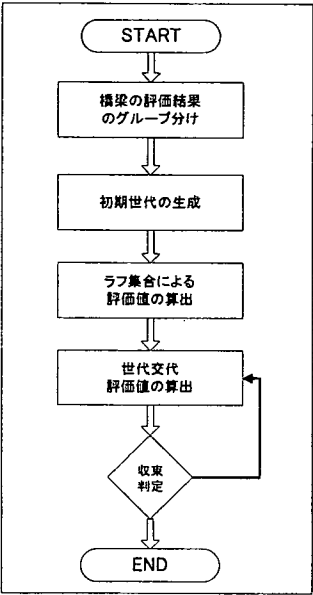


図-1 評価項目の決定フローチャート

具体的には、まず、橋梁の事例と評価項目別の評点とグループを表-2のような一覧にする。この表は、評価項目1, 2, 6がグループを決定するための評価項目として抽出された例である。例えば、この表から評価項目1を取り除いた場合、事例(i)と事例(i+1)に対する評価項目2と6の評点は同一となっているが、異なったグループに属している。このことより、評価項目1がグループを決定づけるに必要な評価項目であると判断することができる。同様に、評価項目2と6についてもそれぞれ取り除き矛盾の有無を調べる。

表-2 評価項目別の評点とグループ

事例	評価項目	1	2	3	4	5	6	19	グループ
事例 1		4	4	2	3	2	4	3	3
事例 (i)		1	3	4	2	1	4	3	2
事例 (i+1)		5	3	4	2	1	4	3	3

このように、各評価項目を取り除き、矛盾が生じた場合は、グループを決定するための評価項目の組み合わせが適切であったと判断し次の処理を行う。逆に、矛盾が

生じなかった場合は、グループを決定するための評価項目の組み合わせが適切でなかったと判断し、再度、最適と思われる評価項目の抽出を試みる。

通常のラフ集合による評価項目の絞り込み過程では、削除しようとする評価項目の組合せすべてにおいてに試行し判定を行っている。本研究では、遺伝的アルゴリズムの持つ特長を効果的に用い、評価項目の組合せすべてにおいて試行・判定を行うことなく最適な評価項目を抽出する。

4.2 遺伝的アルゴリズムの適用方法

遺伝的アルゴリズムを適用するには、初期遺伝子を作成し、遺伝子の優劣を判定する評価関数を設定する必要がある。

まず、各々の評価項目を遺伝子に対応させ、ランダムに「0」か「1」の値を振り遺伝子配列群を作成する。ここでは、「1」がたった遺伝子に対応する評価項目を抽出する。そして、ラフ集合の考え方によって、各々の遺伝子に矛盾の発生する数と抽出される評価項目数をカウントする。ここで、矛盾の発生する数をJ、抽出される評価項目数をKとすると、評価関数fは次式で与えることができる。a、bはキャリブレーションによって決定する係数である。

$$f = a/J + b/K \quad \dots (1)$$

このようにして生成された遺伝子配列を交叉・突然変異によって交配させ、遺伝子配列群を作成し次々と世代交代をさせる。遺伝子の評価過程を経るとルーレット選択によって評価値の高い遺伝子配列を選別していく。このような世代交代を繰り返して最適な評価項目を自動抽出していく。

5. ファジィ理論を用いた最適な色の決定方法

ここでは、抽出された評価項目の評点と鋼橋の上部構造の色との関係に対して、ファジィ理論を適用して最適な色を決定する方法を提案する。

まず、最適な評価項目を自動抽出し、橋梁景観の事例毎に上部構造の色（R、G、B値）と評価項目の評点の関係を表す帰属度関数（メンバーシップ関数）を決定する。そして、評価項目別の評点を入力して、得られた帰属度をもとに鋼橋の上部構造の色を決定する。

以下に、帰属度関数の決定方法と、帰属度関数により得られた帰属度による色の決定方法について示す。

5.1 帰属度関数の決定方法

ここでは、抽出された評価項目から帰属度関数を誘導する方法を提案する。この方法は、R、G、B値のレベ

ル（大、中、小）に対する評価項目の評点別の帰属度関数を誘導するものであり、横軸に評点をとるようになっている。

各評価項目に対する評点とR、G、B値のレベル（大、中、小）の関係から誘導するため、まず、各評価項目に対する評点別のR、G、B値のレベル（大、中、小）の度数を一覧にしておく。

具体的には、これをもとに評価項目に対する評点別の帰属度関数を誘導する。横軸には、1～5の5段階の評点を、縦軸にはその評点に対する度数を正規化して得られる帰属度を取り、帰属度を直線または3角形型の関数で設定する方法である。各々の評価項目に対するR、G、B値のレベル（大、中、小）別の帰属度関数の例を図-2に示す。

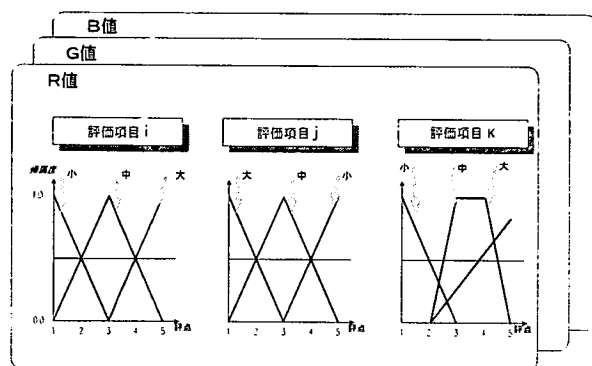


図-2 評価項目に対するR、G、B値のレベル（大、中、小）別の帰属度関数

R、G、B値のレベル大、中、小の帰属度関数が、左から評価項目i、j、kの順に示される。同様に評価項目j、kに対する評点別の帰属度関数を設定することで、中央、右端に示すような直線または3角形型の関数を誘導することができる。

5.2 帰属度関数によるR、G、B値の導出方法

前節で例示した帰属度関数のうち、図-2に示す左端の関数を具体的な例としてR値を導出する方法を説明する。

まず、R値のとり領域0～255を3等分する。レベル大、中、小の帰属度を順に、 $\mu(l)$ 、 $\mu(m)$ 、 $\mu(s)$ とすると、例えば $\mu(l)=0.00$ 、 $\mu(m)=0.25$ 、 $\mu(s)=0.75$ である場合、帰属度の最も大きなレベル小の領域にR値が属するものとし、 $\mu(s)$ に応じて暫定値を設定する。

次に、この暫定値を中心にしてある領域を設定し、3等分してレベル小小、小中、小大の領域を作成する。そして、帰属度の2番目に大きいレベルが中であることから、レベル小中の領域にR値が属するものとし、 $\mu(m)$ に応じてR値を設定する。なお、レベル大の帰属度 $\mu(l)$ は0.00であるため、この場合は考慮しない。

図-2 に示す左端の関数で、帰属度 $\mu(l)$, $\mu(m)$, $\mu(s)$ は、評点によって大小関係が変化するため、次の3 ケースにわけてR 値を導出する。

- ・ ケース1 (評点: 1~2) $\mu(l) \leq \mu(m) \leq \mu(s)$
- ・ ケース1 (評点: 2~4) $\mu(l) \leq \mu(m) \geq \mu(s)$
- ・ ケース1 (評点: 4~5) $\mu(l) \geq \mu(m) \geq \mu(s)$

なお、G 値、B 値は、R 値を導出するのと同様の方法で導出することができる。

次に、具体的な導出手法をケース1 の場合を例として説明する。評点が1~2 の範囲にある場合は、図-2 に示す手順に従ってR 値を導出する。

まず、先述と同様にR 値の取る領域0~255を3等分する。このとき、帰属度の大きさはレベル小、レベル中、レベル大の順になっていることからR 値はレベル小(0~85)の領域に属するものとしてR 値を導出していく。

以下、ステップ毎に導出方法を説明する。

・ ステップ1

前述のとおり、R 値がレベル小(0~85)の領域に属するものとし、この領域を右端から $\mu(s): 1 - \mu(s)$ の比に内分する点を暫定値R1とする。

・ ステップ2

ステップ1 で求まった暫定値R1を中心とし、レベル小の領域の右端(85)を右端とする新しい領域を作り、図-3 に示すように3等分する。

・ ステップ3

ここで、R 値はレベル小中の領域に属するものとし、レベル小(0~85)の領域に属するものとし、この領域を左端から $\mu(m): 1 - \mu(m)$ の比に内分する点を暫定値R1とする。

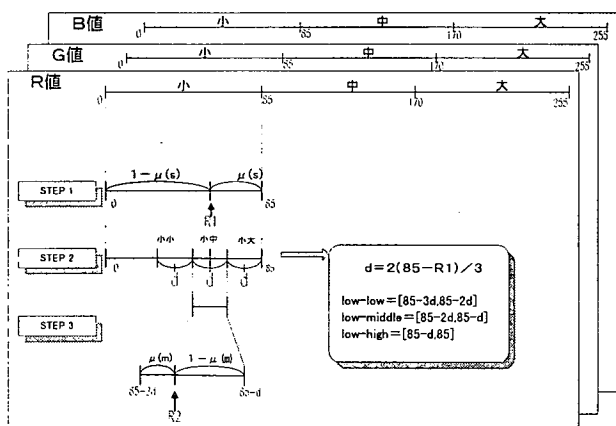


図-3 R 値の導出手法

ケース2, 3 の場合も上述と同様の手順に従ってR 値を導出することができ、また、G 値、B 値も導出される。

5.3 R, G, B 値の導出方法における課題点

前節で述べた方法でR, G, B 値を導出する場合には、より詳細に検討すべき問題が2つ考えられる。

第一に指摘される問題は、評点とR, G, B 値の連続性に関する問題である。一例として、評点とR 値の関係を表すグラフを図-4 に示す。ここでは、評点とR 値の連続性についてみるため、横軸に1~5 の評点を0.25 刻みで、縦軸にR 値をとっている。これによると、R 値がレベル小から中へ、または中から大へと変わる際にギャップの発生することが予想される。この問題についてはR, G, B 値をレベル分けする際の3段階(大, 中, 小)を5段階, 7段階というように増加させてギャップを小さくしていく必要がある。また、色の見え方とR, G, B 値の変化はリニアではないと考えられ、R 値のスケールを対数等で近似する工夫やR, G, B 値以外のパラメータを用いた検討も必要と考えられる。

R 値

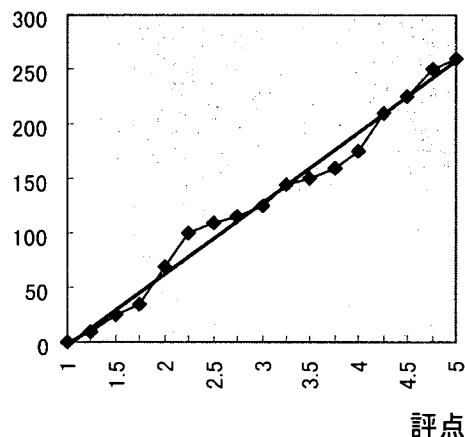


図-4 評点とR 値の関係

第二に指摘される問題は、評価項目ごとに別々に決定された帰属度関数から、最終的には一組のR, G, B 値を導出する際に考慮する帰属度関数の合成に関する問題である。帰属度関数の合成には、一般に「重心法」などの方法が提案されているため、これらの方法を試してフィット性のよい合成方法を決定する必要がある。

6. あとがき

本研究では、橋梁の最適な色彩決定について評価を支援するための1つの方法として、「鋼橋の上部構造の色」を例にラフ集合論と遺伝的アルゴリズム手法によって評価項目を自動抽出する方法を提案した。この方法により、

最適な色彩を決定付ける評価項目把握する際に想定される試行錯誤を減らすことが期待できる。

次に、洗練された評価項目の評点から「鋼橋の上部構造の色」を決定する方法を示した。この方法を用いて、「鋼橋の上部構造の色」をCG (Computer Graphics) で具体的に表現することができる。

今後は、提示した評価方法の問題を解決することによって最適な色彩を決定づける評価項目の自動抽出を行う。今回試みたアンケートでは、配布・回答・回収において作業がスムーズに進まなかったことと、思うように回答が回収できなかったという問題があった。最近普及の著しいインターネットとWeb Pageを活用することにより、多くのデータを効率よく得る方法も考えている。そして、この結果に基づいて鋼橋の上部構造の色決定について詳細なシミュレーションを行う予定である。シミュレーションと結果の分析を進めることで、将来はコンピュータ

上でユーザが任意に鋼橋の景観を作成し、その上部構造に最適な色を自動生成させるようなシステムへと発展させることができると考えられる。さらに、種々の構造物パーツの組み合わせなどを考え、構造物設計の際の膨大な試行錯誤の手間を軽減することが可能なシステムを実現させたいと考えている。

参考文献

- 1) Z, Pawlak : "Rough Sets - Theoretical Aspects of Reasoning about data", KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1991.
- 2) Rough Sets - Theory and Application, MATHEMATICS SCIENCE, No.373-378, 1994.7-1994.12.
- 3) 遺伝的アルゴリズム, 計測と制御, Vol. 32, No. 1, 計測自動制御学会, 1993.1.
- 4) 北野宏 : 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1993.