

## II-26 土木構造物のエコ・フレンドリー設計のための基本構想

関西大学 古田 均 関西大学 広兼道幸  
 関西大学 田中成典 関西大学 小林孝史  
 東洋情報システム 三雲是宏

## 1. まえがき

最近、モニュメント性を重要視した大規模な土木構造物が注目されている。しかし、社会のインフラストラクチャである土木構造物は、モニュメント性を度外視した中小規模のものがほとんどである。そのため、中小規模な土木構造物は、人間が生活する周辺の環境と調和するように設計されることが望ましい。そこで、本研究では、人間が生活する周辺の環境に土木構造物が調和するといった様相として、エコ・フレンドリー(Eco-Friendly)という概念について議論する。

まず、第2章では、鋼橋の上部構造の色を例として、エコ・フレンドリーという概念を明確にするために評価項目を検討する。エコ・フレンドリー度の概念を表す評価項目を把握するために、ラフ集合(Rough Sets)理論<sup>1)</sup>と遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)手法<sup>2) 3)</sup>を適用する。

次に、第3章では、評価項目と色の関係を明らかにし、鋼橋の上部構造のエコ・フレンドリーな色を決定する手法を検討する。絞り込まれた評価項目と色の関係にファジィ(Fuzzy)理論を適用する。

最後に、本研究の成果と今後の研究課題について検討する。

## 2. エコ・フレンドリーの概念評価

本研究では、中小規模な土木構造物のエコ・フレンドリーという概念をモニュメント性ではなく、人間が実際に生活する場における環境との調和であると規定する。しかし、エコ・フレンドリーという概念を具体的にイメージし、それを定義付けることは難しい。そこで、本研究では、鋼橋の上部構造の色を例として、エコ・フレンドリーという概念を大雑把な評価項目で定義した。そして、上部構造の色と評価項目についてのアンケート結果に対して、ラフ集合理論と遺伝的アルゴリズム手法を駆使して評価項目を洗練すると同時に、エコ・フレンドリー度を把握する方法について考案した。

## 2. 1 評価項目の設定

鋼橋の上部構造に関するエコ・フレンドリー

な色を定義する上で、次の事項を勘案しながら表1に示す大雑把な評価項目<sup>4) 5)</sup>を考えた。

- ・構造形式：桁橋、トラス橋、アーチ橋、ラーメン橋、斜張橋、吊橋<sup>6)</sup>
- ・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、商業地など)

## 2. 2 アンケートの実施

設計者の感性を抽出するために熟練した橋梁設計技術者を対象に、鋼橋上部構造の色と評価項目(表1)に関するアンケート調査を行う。アンケートには、評価項目ごとに5段階のポイントで回答してもらう。アンケートで用いる橋梁は、文献<sup>7)</sup>の事例と実際に観察した事例を用いる。

表1 評価項目と尺度

| 項目 | 尺度        |       |            |
|----|-----------|-------|------------|
|    | 5 ←       | 4     | 3 2 → 1    |
| 1  | 個性        | _____ | 平凡         |
| 2  | 鋭利        | _____ | 鈍重         |
| 3  | 安定        | _____ | 不安定        |
| 4  | 動的        | _____ | 静的         |
| 5  | 力強い       | _____ | 弱々しい       |
| 6  | 単純        | _____ | 複雑         |
| 7  | バランスがよい   | _____ | バランスが悪い    |
| 8  | スマート      | _____ | 野暮ったい      |
| 9  | 自然的       | _____ | 人工的        |
| 10 | 解放        | _____ | 圧迫         |
| 11 | 親しみやすい    | _____ | 親みにくい      |
| 12 | 美しい       | _____ | 美しくない      |
| 13 | 好感がもてる    | _____ | 好感がもてない    |
| 14 | 背景と調和している | _____ | 背景と調和していない |
| 15 | 目立つ       | _____ | 目立たない      |
| 16 | 派手        | _____ | 地味         |
| 17 | 落ち離く      | _____ | 落ち離かない     |
| 18 | 明るい       | _____ | 暗い         |
| 19 | 気になる      | _____ | 気にならない     |

2. 3 GAIによる評価項目の最適自動抽出方法

評価項目の決定フローチャートを図1に示す。まず、全評価項目の中から  $n$  個 ( $n \geq 2$ ) の評価項目を任意に抽出する。具体的には、各々の評価項目をGAで用いる遺伝子に対応させ、ランダムに「0」か「1」の値を振り遺伝子配列0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、抽出した評価項目のポイントからエコ・フレンドリー度を決定し、その大・中・小に応じて3つのグループに分類する。この分類から、エコ・フレンドリー度が大きいグループの事例を抽出し、この事例を対象にした評価項目の絞り込みを行う。そして、絞り込まれた評価項目から再度エコ・フレンドリー度を決定する。この値と評価項目の個数から評価関数を決定し、遺伝子配列0の優劣を表す指標である適応度0を求める。

次に、遺伝子配列0を突然変異させ、遺伝子配列1を作成する。ここで、上記の評価関数により遺伝子配列1の適応度1を求め、判定1を行う。適応度1が適応度0より大きい場合は、遺伝子配列0と遺伝子配列1を1点交叉させ、再度、評価過程を実施する。一方、適応度1が適応度0より小さい場合は、遺伝子配列0を作り直し評価過程から判定1までを実施し1点交叉ができるまで繰り返す。1点交叉、評価過程を経るとルーレット選択によって適応度の高い遺伝子配列を選別し、遺伝子配列2を作成する。続いて、その適応度2を適応度0、適応度1各々と大小比較する判定2を行い、世代交代を繰り返してエコ・フレンドリー度を決定付けるのに最適な評価項目を自動抽出する。

2. 4 エコ・フレンドリー度とグループ分けの決定方法

2.3 節の操作で、任意に抽出した評価項目のポイントを合計したものをエコ・フレンドリー度 ( $m$ ) とする。エコ・フレンドリー度 ( $m$ ) を用いて、各事例を次の3つのグループに分類する。

- ・グループ1 [エコ・フレンドリーでない] ;  $0 < m \leq 5n/3$
- ・グループ2 [どちらともいえない] ;  $5n/3 < m \leq 10n/3$
- ・グループ3 [エコ・フレンドリーである] ;  $10n/3 < m \leq 5n$

2. 5 ラフ集合による最適な評価項目の抽出

2.3 節の操作の中で行なう「評価項目の絞り込み」過程で、最適な評価項目を抽出するためにラフ集合理論を用いる。ここでは、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、矛盾が生じなかった場合は、エコ・フレンドリー度を決定するための評価項目の組み合

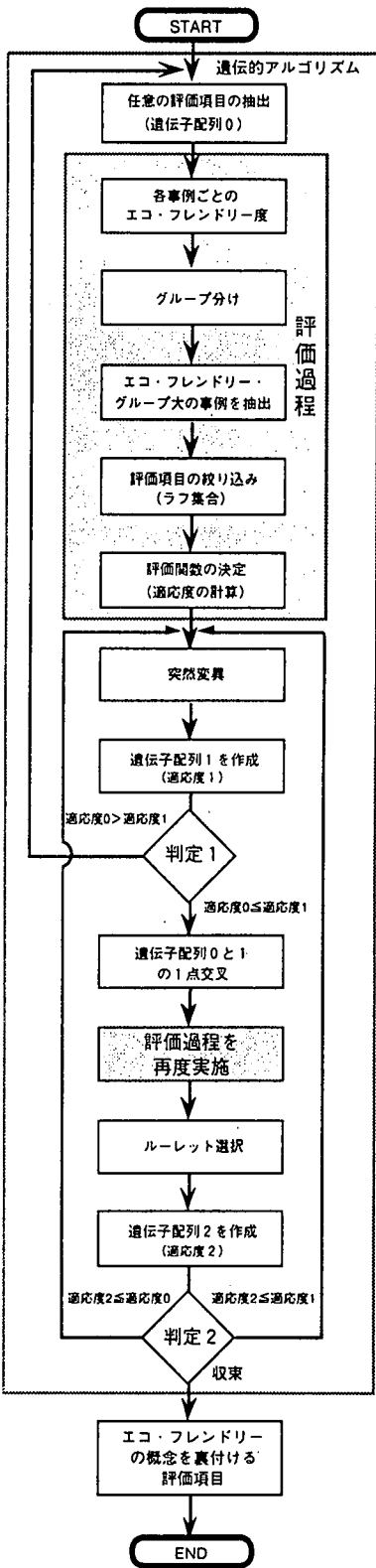


図1 評価項目の決定フローチャート

わせが適切でなかったと判断し、再度、2.3節のエコ・フレンドリー度の決定から最適と思われる評価項目の抽出を試みる。

具体的には、まず、景観事例と評価項目別のポイントとエコ・フレンドリー・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, 7がエコ・フレンドリー・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7のポイントは同一となっているが、異なったエコ・フレンドリー・グループに属している。このことより、評価項目1がエコ・フレンドリー・グループを決定するため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7についてもそれぞれを取り除き矛盾の有無を調べる。

このように、各評価項目を取り除き、矛盾が生じた場合は、エコ・フレンドリー・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なう。逆に、矛盾が生じなかった場合は、エコ・フレンドリー・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、2.3節のエコ・フレンドリー度の決定から最適と思われる評価項目の抽出を試みる。

表2 項目別ポイントの一覧

| 評価項目<br>景観事例 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | ----- | 19 | エコ・フレンドリー<br>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                 |

### 3. エコ・フレンドリーな色の決定

色の決定フローチャートを図2に示す。2章で洗練された評価項目のポイントと鋼橋の上部構造の色との関係に対して、ファジ理論を適用してエコ・フレンドリーな色を決定する。そこでは、エコ・フレンドリー度を決定付けるのに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)と評価項目のポイントの関係をメンバーシップ関数で表す。そして、評価項目別のポイントを入力して、この関係をもとに鋼橋の上部構造の色を決定する。

具体的には、まず、橋梁景観の事例毎に、上部構造の色(R,G,B値)とエコ・フレンドリー度を決定する評価項目のポイントの関係(図3・(a))を作成する。

さらに、この関係をもとに、評価項目のポイントがそれぞれのR,G,B値を次の3事象に寄与する度合いを表すメンバーシップ関数(図3・(b))を作成する。

- ・R,G,Bの値を大きくする(大)
- ・R,G,Bの値を中くらいにする(中)
- ・R,G,Bの値を小さくする(小)

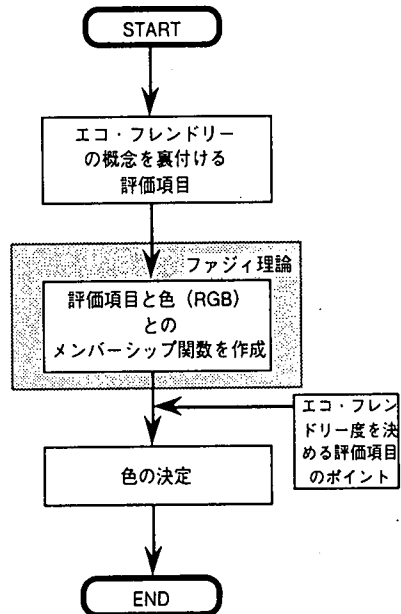


図2 色の決定フローチャート

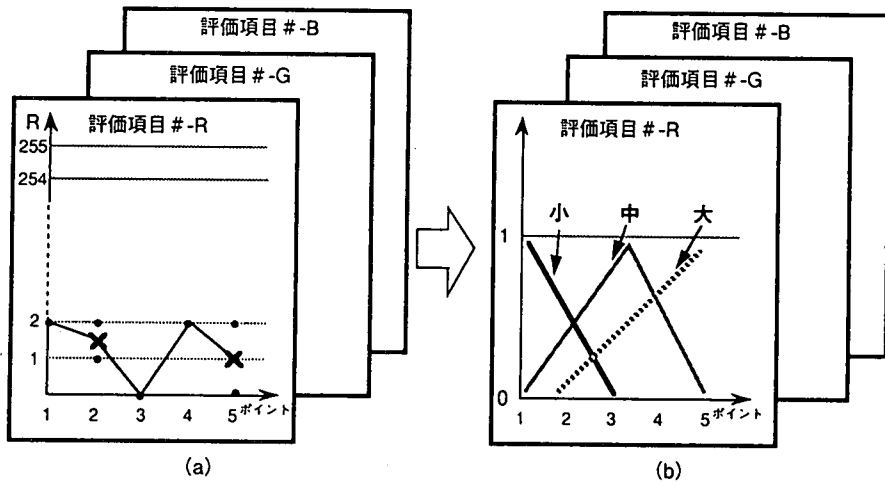


図3 評価項目のポイントと色のメンバーシップ関数

R.G.B値(0~255)は、大(171~255)、中(86~170)、小(0~85)の3つのレベルに分割し、それぞれ正規化する。

最後に、評価項目別に対するポイントを入力して、以上の操作で作成したメンバーシップ関数から鋼橋の上部構造の色を決定する。

#### 4. あとがき

本構想では、「エコ・フレンドリー」という概念を把握するための1つの方法として、「鋼橋の上部構造の色」を例にラフ集合理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。この方法では、エコ・フレンドリーの概念を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ポイントから「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、アンケートを実施し、エコ・フレンドリーの概念を表現した評価項目の自動抽出を行なう。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実験する予定である。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、その上部構造にエコ・フレンドリー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。

#### 参考文献

- 1) ラフ集合その理論と応用, 数理学, No.373~378, 1994.7~1994.12.
- 2) 遺伝的アルゴリズム, 計測と制御, Vol.32, No.1, 1993.1.
- 3) 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1993.
- 4) 山本宏: 橋梁美学, 森北出版, 1980.
- 5) 伊藤学: 橋の造形, 丸善, 1995.
- 6) 日本実業出版社編: 建築・土木のしくみ, 1993.3.
- 7) 日本橋梁建設協会: 橋梁年鑑平成5年版, 1993.