

桁橋の最適景観案探索への免疫アルゴリズムの適用

APPLICATION OF IMMUNE ALGORITHM TO DECISION SUPPORTING SYSTEM FOR OPTIMAL AESTHETIC DESIGN OF GIRDER BRIDGES

鳴尾友紀子*, 古田 均**, 堂垣正博***

Yukiko NARUO, Hitoshi FURUTA, and Masahiro DOGAKI

- | | | | |
|-----|---------|--------------------|---------------------------|
| * | 学士 (工学) | 関西大学大学院工学研究科土木工学専攻 | (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35) |
| ** | 工博 | 関西大学教授 総合情報学部 | (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1) |
| *** | 工博 | 関西大学教授 工学部土木工学科 | (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35) |

This paper is to describe the application of Immune algorithm to the decision supporting system of the aesthetic design of girder type bridges with small or medium span. As this system is appraised the aesthetic design for concept, items image which compose the aesthetic design of girder type bridges are evaluated by contradistinction of adjective and fuzzy deduction. In color harmony valuation, this system uses the theory of Moon-Spencer's color harmony, calculation of Birkhoff's aesthetic measure. It can be obtained plural semi-optimum solutions that allow the designers to select an adequate aesthetic suggestion. The numerical computation shows the availability of the decision supporting system developed for designing girder type bridges aesthetically.

Key words: aesthetic design, girder bridges, immune algorithm, fuzzy deduction, color harmony theory

1. まえがき

わが国は、社会の成熟によって、社会資本の整備を量から質へと転換すべき時期にきた。これは橋梁の分野にも当てはまり、その景観に関心が向けられつつある。

ところで、美の認識は、個人の感性と密接な関係にある。それは時代によっても異なる。多くを占める中小桁橋の場合、その美は、単調な形式がゆえに、色彩によるところが大きい。色彩の定量的な景観評価は形状のそれより難しい。それゆえ、景観に関する感性情報が可能な限り定量化され、設計コンセプトに合致した橋梁が自在に得られるようになれば、設計の省力化が図れる。このような視点に立って、筆者らは周辺環境に調和した中小桁橋の景観設計を支援するシステムを構築してきた^{1), 2)}。

さきの研究^{1), 2)}では、設計コンセプトに合致する景観設計問題を組合せ最適化問題として捉え、その解をパレート保存戦略に基づいた遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) で導出した。しかし、美の評価に多くの曖昧さを含む景観設計の場合、ある景観基準に則って求めた解を最適解とするようでは十分な景観設計とは決して言えない。

ここでは、景観に多少劣るような解も探索できる免疫アルゴリズム (Immune Algorithm : IA) を組合せ最適化

問題の最適化手法に採用し、ユーザーが景観案の候補の中から一つの設計案を自由に選択できる景観設計支援システムに改良した。ただし、設計案の景観評価は、文献 1), 2) と同様の方法で行った。

2. 組合せ最適化問題の最適解を導出するための免疫アルゴリズムについて

2.1 組合せ最適化問題の解法 GA について

離散変数で表された組合せ最適化問題の解法には、しばしば GA が用いられる。これは、GA が

- ①最適化問題における目的関数の微分値が不必要で、不連続な関数にも適用可能なこと
- ②最適化問題の候補解が集団的に適応度を高めるように動作するため、局所解に陥る確率が一つの解をもとに探索する場合よりも少ないと期待されること
- ③プログラミングが容易なこと

などの特徴を有していることに起因する。

GA は、生物の進化過程にヒントを得て、ホーランドが 1975 年に提案した最適化手法で、ダーウィンの自然淘汰論に立脚している。GA では、多様な性質を示す遺伝子で構成される仮想の生物集団を計算機内に誕生させ、設定した環境に適応する個体が残る確率が高くなるよう

に世代交代シミュレーションを実行し、淘汰、交叉、突然変異などの進化過程を経て、生物群を進化させ、環境に適応した遺伝子からなる生物を探索する手法である。

2.2 GA 手法の橋梁景観設計への試み

筆者らは、橋梁の景観設計支援システムの構築に力を注いできた。橋梁景観の最適化問題は多目的の大規模組合せ最適化問題に帰着でき、その解法に上述の特徴を備える GA の適用は極めて有用であった。たとえば、文献 1) の研究では、パレート保存戦略を取り入れた多目的 GA 手法を用い、周辺環境を考慮に入れた橋梁景観設計支援システムとした。GA 手法によって橋梁景観に優れた解候補が効率的に探索できた。しかし、個人の感性と密接な関係にある橋梁景観の場合、ある種の考えのもとに作成された評価基準のもとに優れた解として探索された解が必ずしも最適な解とはかぎらない。このような観点から、橋梁の景観評価に多少劣っている解候補もユーザーに提示できるほうがよいように思われる。

2.3 IA 手法の景観最適化問題への適用

そこで、多様な解が求められる免疫アルゴリズム (Immune Algorithm : IA) ³⁾ の大規模組合せ最適化問題への適用性について検討する。ただし、複数の目的関数すなわち設計コンセプトの組合せを考えるため、IA 手法を多目的 IA 手法に改良する。

IA 手法には、抗原と抗体の概念がある。橋梁景観の最適化問題の場合には、抗原が目的関数と制約条件に、抗体が最適解に対応する。すなわち、

- ①抗原＝目的関数：設計コンセプト
- ②抗原＝制約条件：パークホフの美度が 0.5 以上
- ③抗体＝最適解：景観案

となる。また、抗体と抗原との親和度は、景観案の設計コンセプトに対する適応度を示す。ここに、パークホフの美度とは、被写体とそれを囲む周辺環境との調和を勘案した美の評価尺度で、彼はそれが

$$M = \frac{O}{C_x} \tag{1}$$

で計算されるものとした。ここに、 O は秩序の要素数、 C_x は複雑さの要素数である。なお、美度 M が大きいほど一般に美しく、0.5 以上であれば、周辺と調和しているとされる。

多目的 IA 手法による橋梁景観の最適化のフローチャートは図-1 のようで、その内容を以下に示す。

Step 1：抗原の認識

システムに侵入する抗原を入力情報として認識する。

Step 2：抗体の遺伝子型の決定（コーディング）

一つひとつの抗体は、一般に一次元配列で表記された遺伝子で識別される。各要素は2進（0または1）で与えられる。ここでは5つの景観構成アイテム（主桁・高欄・橋脚の形状ならびに主桁・高欄の色彩）の組合せからなる

一つ的设计案を、図-2に示すように、24ビットの遺伝子列で表現する。

Step 3：抗体群の初期生成

解析に必要な数の抗体をランダムに発生させ、抗体群を形成させる。ただし、有効な抗体群が記憶細胞の中にあれば、それも活用して抗体群を形成する。ここでは、抗体の数を100とした。

Step 4：抗体と抗体との親和度の計算

免疫システムには、抗体と抗体の結合反応によって、抗体の産生を自己調節しながら多様な抗体を生成する機能がある。ここに、抗体と抗体の結合力は、親和性の尺度である親和度（抗体の類似度を測る尺度）によって測られる。

抗体 v と抗体 w との親和度 $ay_{v,w}$ は

$$ay_{v,w} = \frac{1}{1 + H_{v,w}} \tag{2}$$

で求められる。ここに、 $H_{v,w}$ は抗体 v と抗体 w との類似度を測る尺度で、“ハミング距離”と呼ばれる。ちなみに、 $H_{v,w}=0$ のとき、抗体 v と抗体 w は同じ遺伝子からなる。この場合、 $ay_{v,w}=1$ で、式 (2) は最大の値をとる。

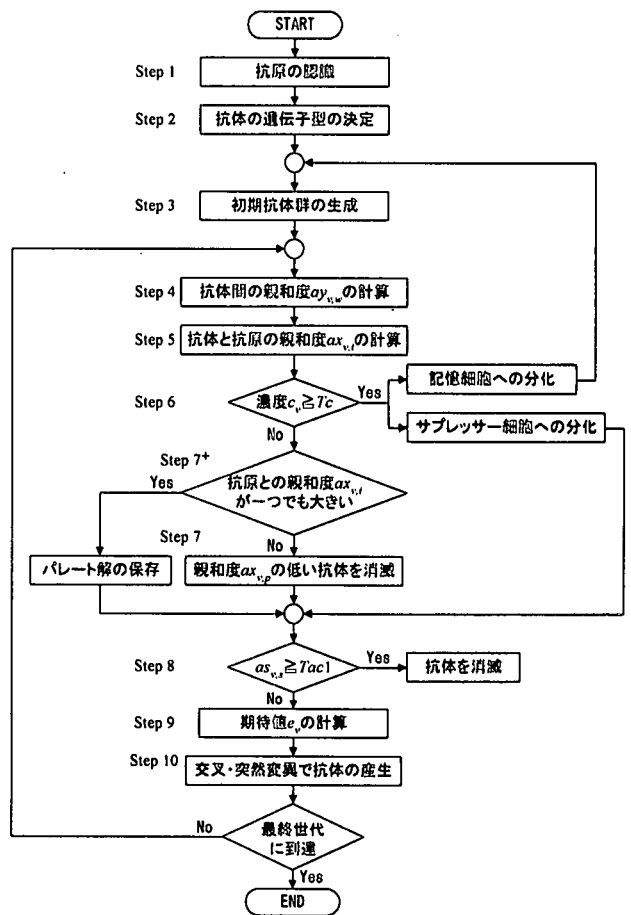


図-1 多目的 IA の流れ図

0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
主桁						高欄						橋脚				主桁				高欄			
色彩												形状											

図-2 景観案を表す遺伝子列

設計案である遺伝子列には、規則的な類似性が存在しない。それゆえ、遺伝子列が類似していても、設計案が似かよっているとは一概に言えない。一般に、式 (2) の親和度いわゆる設計案の類似度は、遺伝子ごとに異なり、さまざまな値となる。したがって、2 抗体間での遺伝子列の異なる数には関係なく、5 つのうち、いずれか一つでも景観構成アイテムが異なれば、そのハミング距離を 1 とする。それゆえ、5 つの景観構成アイテムすべてが異なれば、ハミング距離は最大値 5 となる。

Step 5: 抗体と抗原との親和度の計算

抗体 v と抗原 i の親和度 $ax_{v,i}$ は、ファジィ推論で計算した設計案の設計コンセプト i への適応度 $\overline{F}_i$ と同値で、

$$ax_{v,i} = opt_{v,i} \quad (0 \leq opt_{v,i} \leq 1)$$

のように定義される。ここに、 $opt_{v,i}$ は抗体 v と抗原 i との結合力の強さを表す。親和度 $ax_{v,i}$ は、この最大値が単位の値になるように正規化される。

ここではシステムに生存するすべての抗体に対し、選択した設計コンセプトの数だけその適応度を算定する。

Step 6: 記憶細胞とサプレッサー細胞への分化

すべての抗体の濃度 c_v を

$$c_v = \frac{\sum_{w=1}^N ac_{v,w}}{N} \quad (3)$$

$$ac_{v,w} = \begin{cases} 1 & ay_{v,w} \geq Tac1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

から計算する。ここに、 $Tac1$ は類似度の閾値、 N は抗体の総数である。

たとえば、抗体 v の濃度 c_v が閾値 Tc を超えた場合には、抗体 v を記憶細胞 m に分化させる。それが設計案の解候補となる。ただし、記憶細胞の数に制限を設ける。記憶細胞の数が総数 Mc に達した場合には、親和度が最高の記憶細胞と交換する。また、新しく分化した記憶細胞と同じ遺伝子をもつサプレッサー細胞 s にも分化させる。

ここでは濃度の閾値を $Tc=0.35$ 、記憶細胞の総数を $Mc=20$ とした。また、類似度の閾値 $Tac1$ を、景観構成アイテムのうち、主桁と高欄の色彩が同じで主桁・高欄・橋脚の 3 形状のうちの一つが異なる場合の親和度とした。

Step 7 と Step 7+: 抗体産生の抑制 1

N 体の抗体のうち、乱数で選ばれた設計コンセプト p に対し、適応度の低い順に全抗体の半数 $N/2$ を消滅させる。ただし、これら $N/2$ の設計案の中に、少なくとも一つの設計コンセプトに対する適応度が他の設計案より高ものがあれば、その抗体は消滅せずパレート最適抗体として残す。

Step 8: 抗体産生の抑制 2

同一あるいは類似な記憶細胞が産生されないようにするため、抗体 v とサプレッサー細胞 s との親和度 $as_{v,s}$ が類似度の閾値 $Tac1$ より大きい抗体を消滅させる。Step 7+ で選んだパレート最適抗体も、サプレッサー細胞との親和度 $as_{v,s}$ が閾値 $Tac1$ 以上であれば、消滅させる。

Step 9: 期待値の計算

Step 7 と Step 8 で残った抗体 v が次世代に残る期待値 e_v は、

$$e_v = \frac{ax_{v,p} \prod_{s=1}^S (1 - ae_{v,s})}{c_v \sum_{n=1}^N ax_{n,p}} \quad (5)$$

$$ae_{v,s} = \begin{cases} as_{v,s} & as_{v,s} \geq Tac2 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

から決定される。ここに、 S はサプレッサー細胞の総数、 K は産生抑制力、 $Tac2$ は類似度の閾値である。式 (5) は、抗原 p との親和度 $ax_{v,p}$ が大きい抗体ほどつぎの世代に生き残る確率の高いことを意味している。

ここでは類似度の閾値 $Tac2$ は、5 つの景観構成アイテムのうちの一つだけ異なる場合の親和度とした。

Step 10: 抗体の産生

Step 8 におけるサプレッサー細胞の抑制機能によって消滅した抗体に代わる新しい抗体を乱数で産生する。つぎに、Step 7 で残った抗体と新しく産生した抗体に対して、重複を許容し $N/4$ 組のペアを選ぶ。ただし、期待値 e_v が高い抗体ほど確率的に選択されやすい。ペアの抗体に対して、交叉を施し、新しい $N/2$ 個の抗体を産生する。産生した抗体に対し、設定した突然変異率で遺伝子を変化させる。ここでは突然変異率を 0.05 とした。

最終的には、1,000 世代で演算を終えるが、それまでの間、Step 4 から Step 10 の手順を繰り返す。

3. IA 手法を取り入れた橋梁の景観設計支援システム

3.1 景観設計支援システムの概要

本システムでは、新設および既設の橋梁を対象とする。新設橋と既設橋では景観設計に必要なデータが異なる。すなわち、新設橋の場合、①設計コンセプト、②路面高、③周辺環境と主桁との割合、が入力データである。一方、既設橋の場合、新設橋を対象とした場合のデータに、④主桁・高欄の色彩、⑤主桁・高欄・橋脚の形状、⑥周辺環境のマンセル値を加える。これらをもとに、設計コンセプトに合致した景観案が IA 手法によって求められる。設計者はシステムによって推奨された景観案の中から最終案を決定する。

橋梁の景観設計で重要なことは、つぎの点である。第 1 に、「どんな橋を設計したいか」という設計コンセプトである。これが決まれば、これに合致した景観案は探索できる。ここでは桁橋の設計コンセプトを表-1 のように設定し、その中から目標とする景観設計にマッチしたものを選び、それを満たすように景観案を探索する。

表-1 設定した設計コンセプト

	コンセプト
1	周辺環境との調和
2	シンボル性
3	個性的
4	信頼感
5	親しみやすさ
6	風格のある
7	地域性

第2に、橋梁とその建設地点の環境との調和である。周辺環境との調和を評価するため、橋梁が周辺に占める割合と周辺環境のマンセル値を入力する。

3.2 橋梁景観を構成する要素

景観案は、橋梁を構成する主桁・高欄・橋脚の3形状、ならびに、主桁と高欄の2色彩からなる5つの景観構成アイテムの組合せで表現される。

主桁、高欄、橋脚の形状は、文献4)を参考に、斬新で奇抜な形状を除き、それぞれ5種類、5種類、13種類を設定した。主桁と高欄の色彩は、無数の色彩の中からできるだけ偏りのないように、120種類(10色相×12トーン)の有彩色と8種類の無彩色を設定した。

3.3 景観構成アイテムの橋梁景観評価

構造美の認知は人の感性と密接に関係し、その定量化は極めて難しい。ここでは橋梁を景観構成アイテムに分解し、その景観イメージを表-2に示す16種類の形容詞対との関係から-1~1の得点で定量化する。

(1) 主桁と高欄の色彩に対する景観評価

表-2に挙げた1~10の形容詞対は色彩に関わる形容詞である。主桁と高欄に適用される色彩の固有なイメージを個々の形容詞との関係で得点づける。また、塗装の耐久性も色彩との関係で評価する。

(2) 主桁、高欄、橋脚における形状の景観評価

表-2に挙げた11~16の形容詞対はものの形をイメージする形容詞である。構造美を醸し出す主桁・高欄・橋脚の形状と路面高がもつ景観イメージを形容詞との関係で得点づける。

3.4 景観案の設計コンセプトに対する適応性のファジィ推論による評価

橋梁景観案が設計コンセプトにどれだけ適応しているかの評価と景観構成アイテムの形容詞対による景観評価とを結びつけるルールに後件部が実数値である簡略化ファジィ推論を適用する。

まず、前件部のメンバシップ関数には、図-3に示す直線で与えられる k 個のファジィ変数を採用する。ここに、 $k=1, 2, \dots, 5$ である。すなわち、3.3で示した5つの景観構成アイテムの景観イメージが形容詞対 j ($j=1\sim16$)に対して x_j のように得点づけられているとき、前件部の適合度 $\phi_{j,k}(x_j)$ が図-3のメンバシップ関数から求められる。

つぎに、簡略化ファジィ推論に基づいて、設計コンセプト i に対する後件部の実数値が $C_{i,j,k}$ のように得点づけされているものとする。その結果、メンバシップ関数 k で導かれる適応度 $f_{i,j,k}$ が

$$f_{i,j,k} = C_{i,j,k} \phi_{j,k}(x_j) \quad (7)$$

のように求められる。ここに、設計コンセプト i は表-1に示す7個($i=1, 2, \dots, 7$)である。

ある景観案の設計コンセプト i に対する形容詞対 j の適応度 $F_{i,j}$ は、式(7)から求められるメンバシップ関数 k に対する適応度 $f_{i,j,k}$ を $k=1\sim5$ に対してそれぞれ求め、それらの総和をとれば、

$$F_{i,j} = \sum_{k=1}^5 f_{i,j,k} \quad (8)$$

のように求められる。

したがって、ある景観案の設計コンセプト i に対する適応度 F_i は、16個の形容詞対に対する適応度を式(8)からそれぞれ求め、それらの総和をとれば、

$$F_i = \sum_{j=1}^{16} F_{i,j} \quad (9)$$

のように求められる。ちなみに、式(9)の値が大きいほど設計コンセプトを満たす度合いが強いことを意味する。

最終的には、ある設計案に対して求められた設計コンセプト i に対する適応度 F_i をそれらの最大値 $F_{i,max}$ で除した

$$\bar{F}_i = \frac{F_i}{F_{i,max}} \quad (10)$$

をある景観案の設計コンセプト i への適応度すなわち景観評価値とする。

3.5 周辺環境との調和の評価

橋梁と周辺環境の色彩を定量的に評価するため、ムーン・スペンサーの色彩調和論と前述のパークホフの美度を用いる。以下、ムーン・スペンサーの色彩調和論について述べる。

ムーンとスペンサーによる色彩調和論には、2色配色での色彩調和が述べられている。これによれば、色彩の組合せは調和と不調和に大別される。また、調和と不調和がそれぞれ3区分され、いずれもマンセル表色系で表される。調和には、①同等、②類似、③対照が、不調和には①第一不明瞭、②第二不明瞭、③眩暈がある。

表-2 16種類の形容詞対

形容詞対	形容詞対
1 派手な⇔地味な	9 軽快な⇔重厚な
2 刺激的な⇔温和な	10 調和した⇔調和していない
3 ソフトな⇔ハードな	11 安定感のある⇔安定感のない
4 動的な⇔静的な	12 シンプルな⇔複雑な
5 モダンな⇔アンティークな	13 力強い⇔弱い
6 明るい⇔暗い	14 固い⇔柔らかい
7 暖かい⇔涼しい	15 開放的な⇔圧迫感のある
8 華やか⇔渋い	16 連続感のある⇔連続感のない

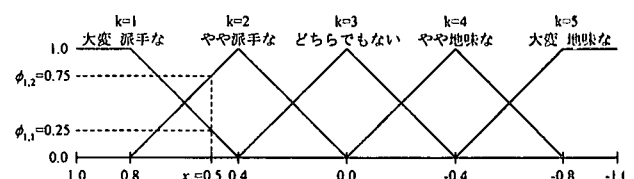


図-3 形容詞対「派手な⇔地味な」のメンバシップ関数

4. 景観設計支援システムの適用例

構築した景観設計支援システムを稼働し、本システムの有用性を検討する。前述したように、本研究では設計案は景観構成アイテムの組合せで与えられる。その数は

$$128 \times 128 \times 5 \times 5 \times 13 = 5,324,800$$

で、すべての景観を評価することは極めて難しい。IAの適用の有効性がここにある。

4.1 新設時に検討する景観設計の例

新設橋の景観性を検討する場合、建設される地点の写真から周辺の環境を認知し、①設計コンセプト、②路面高、③周辺環境と橋梁との割合を入力データとする。ここでは②と③に柴原橋（橋梁年鑑、平成4年版）の現況データを用いた。入力データのうち、周辺環境と橋梁との割合およびマンセル値を表-3に示す。設計コンセプトに「周辺環境との調和」と「シンボル性」を選び、これらに合致した景観案を求める。

4.2 設計案の提示

IA手法によるシステムで得られた20ケースの設計案を図-4に△印で示す。その内の11個の設計案を表-4に示す。また、GA手法で得られた100個の設計案も図-4に●印で示す。図から明らかなように、IA手法によれば、GA手法と同程度の評価値を持つ設計案や多少劣る設計案など、多様な解が求められる。

表-3 周辺環境の入力データ

周辺環境	面積比	マンセル値
空	6.96	5B9/2
山（近景）	1.67	5G2/6
山（中景）	3.49	2.5Y8/2
川	0.46	10G7/1
草（緑）	1.83	10GY5/10
草（黄緑）	0.56	2.5GY6/8
土	0.32	5YR4/6
砂・石	0.65	5Y7/3
コンクリート	3.49	2.5Y8/2

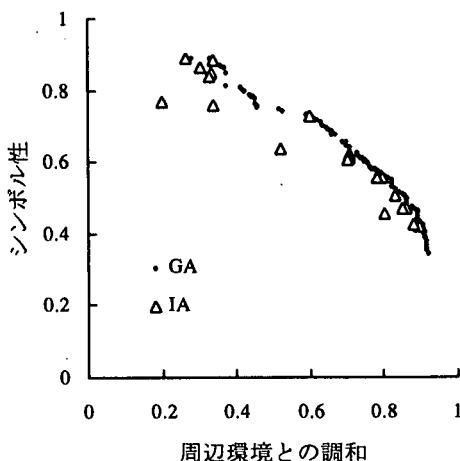


図-4 IAとGAによる設計案の分布

4.3 IA手法固有のパラメータについて

つぎに、記憶細胞数と多様度について検討する。

(1) 記憶細胞の数

IA手法によるシステムでは、景観案となる解候補が記憶細胞内に留められる。これは、ある抗体の濃度が閾値 T_c を越えたときに、その抗体が記憶細胞に分化することでなされる。ただし、記憶細胞の数に制限を設け、ここでは20とした。

設計コンセプトに「周辺環境との調和」と「シンボル性」の2つを選択し、システムを稼働し、記憶細胞の数と世代数との関係を検討した。

新設橋と既設橋に対して、記憶細胞の数と世代数の関係を求めれば、図-5を得る。記憶細胞の数が上限の20個に達したのは、新設橋の場合には401世代、既設橋の場合には386世代であった。また、システムを終了した1,000世代までの間に記憶細胞に分化した総数は、新設橋の場合には55個、既設橋の場合には64個であった。既設橋の場合に記憶細胞が多く生成されたのは、5つの景観構成アイテムのうち、形状の3つが固定されていたため、濃度が上昇しやすく、記憶細胞になりやすかったことが原因であろう。

(2) 抗体群の多様度

IA手法によるシステムで用いるサプレッサー細胞の効果を検証するため、抗体群の多様性を測定する尺度すなわち多様度を求めた。

抗体群の多様度は、つぎのように求められる。すなわち、 P 個の遺伝子をもつ N 個の抗体により抗体群が構成されており、抗体のとりうる記号が R 個存在する。このとき、抗体の遺伝子座 y の情報エントロピー $H_y(N)$ は

$$H_y(n) = - \sum_{x=1}^R p_{xy} \log p_{xy} \quad (11)$$

$$p_{xy} = \frac{(\text{遺伝子座}y\text{に出現した}x\text{番目の記号の総数})}{n} \quad (12)$$

である。また、抗体群の多様性の平均エントロピー $H(N)$ は

$$H(N) = \frac{1}{P} \sum_{y=1}^P H_y(N) \quad (13)$$

表-4 設計案候補の一例

	色彩		橋脚			適応度		美度
	主桁	高欄	橋脚	主桁	高欄	周辺環境	シンボル	
1	若芽色	利休白茶	i	e	c	0.895	0.418	1.004
3	さくら色	紅梅色	c	c	c	0.864	0.471	1.104
5	白茶	紅梅色	a	c	d	0.834	0.506	1.099
6	夕陽色	利休ねずみ	j	b	c	0.803	0.456	1.024
9	ばら色	象牙色	c	e	d	0.712	0.621	1.000
12	あんず色	くり色	c	e	d	0.603	0.725	1.096
13	うす紫	黄	a	b	c	0.522	0.638	1.058
15	橙	濃色	i	c	d	0.339	0.884	1.109
19	赤	黄	c	c	d	0.264	0.889	1.058
20	青紫	黄緑	c	c	e	0.203	0.769	1.015

である。これが N 個の抗体群の多様度である。

本システムでは、多様度の計算を、ハミング距離の計算と同様、遺伝子列ごとではなく景觀構成アイテムごとに行う。すなわち、 P は景觀構成アイテム数(すなわち、5)、 N は初期抗体数、 R は景觀構成アイテムの種類(主桁と高欄の色彩は128、主桁と高欄の形状は5、橋脚の形状は13)である。

平均エントロピーを世代ごとに計算し、GA手法とIA手法の多様度を求めれば、設計コンセプトが「周辺環境との調和」である単目的最適化問題に対して図-6、設計コンセプトが「周辺環境との調和」と「シンボル性」の多目的最適化問題に対して図-7となる。ここに、GA手法とIA手法に固有なパラメータは、探索の範囲が同じレベルになるように配慮し、表-5のように設定した。なお、GA手法の個体群はパレート解であるが、IA手法の場合には設計案の解候補が記憶細胞に保存されているため、その多様度も計算した。

まず、単目的最適化問題の解について考察する。GA手法では、個体群が初期の段階で収束するため、交叉や突然変異の操作を繰り返しても解はほとんど変化しない。その結果、図示しているように、低い多様度を一定に保持している。一方、IA手法の場合、サプレッサー細胞の働きによって、常に新しい抗体が産生されるため、多様度は乱高下している。

また、設計案候補について比較する。前述したように、GA手法の場合、個体群が景觀案の解候補である。一方、IA手法の場合、記憶細胞が景觀案の解候補である。GA手法では、評価値が最高の解に収束するため、当然、多様性は低い。一方、IA手法では、景觀案の解候補は記憶細胞内に保存され、評価値の異なる複数の設計案を内在しているため、多様度が高くなっている。

つぎに、多目的最適化問題について考察する。GA手法では、多様度は微妙に変化するものの0.32付近で安定している。この場合に多様度が高くなったのは、目的関数が2つあるため、一つの解に収束せず、異なった設計案が解候補になっているためと考えられる。一方、IA手法では、単目的最適化問題の場合と同様、サプレッサー

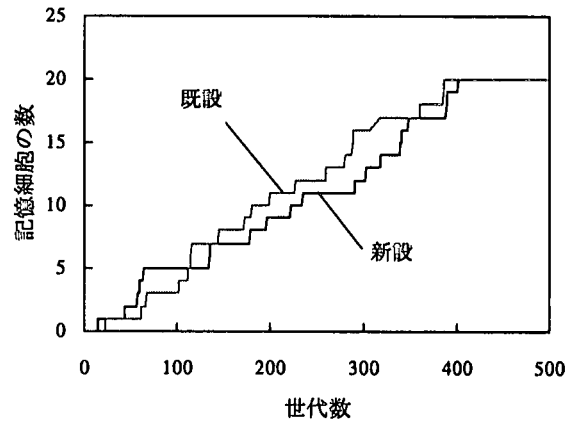


図-5 記憶細胞の数と世代数の関係

表-5 IA手法とGA手法に用いられるパラメータ

	IA 手法	GA 手法
初期個体数	100	100
突然変異率	0.05	0.05
交叉率	世代により異なる	0.6
世代数	1000	1000
濃度の閾値 T_c	0.35	—
記憶細胞の総数 S	20	—

細胞の働きによって、多様度が乱高下している。IA手法の記憶細胞とGA手法の解との多様度を比較すれば、IA手法の場合の方が0.05ほど高くなっている。これは、IA手法による設計案がより多様性のあることを示している。

5. あとがき

中小桁橋を対象に、設計コンセプトに合致する設計案が探索できる景觀設計支援システムを構築した。5つの景觀構成アイテムからなる設計案は、設計コンセプトに対する適応度が異なる。景觀構成アイテムの組合せからなる景觀案が莫大なため、その最適解が効率的に求められる免疫アルゴリズムを最適化手法に適用した。

最適案の探索過程では、つぎのことを行った。設計案を構成する景觀構成アイテムの景觀評価を行うため、橋梁の色彩と形状の景觀をイメージする16個の形容詞対を設け、景觀評価ルールを作成した。つぎに、形容詞対

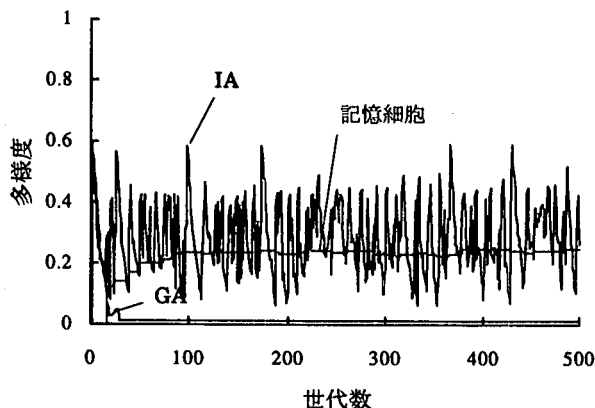


図-6 単目的での多様度の推移

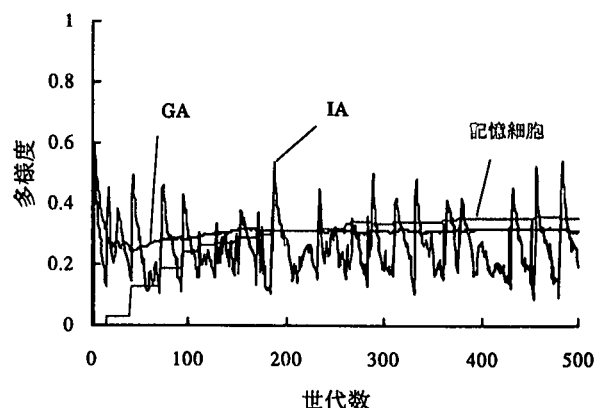


図-7 多目的での多様度の推移

を設計コンセプトと結びつけるため、曖昧な評価に適したファジィ推論によってルールを作成した。さらに、橋梁の主桁と高欄の色彩と周辺環境の色彩との調和を評価するため、ムーン・スペンサーの色彩調和論を用いた。さらに、景観評価の数量化にバークホフの美度を用いた。開発した景観設計支援システムによって設計コンセプトに合致した設計案を提示し、免疫アルゴリズムの有用性を検証した。

本研究をまとめれば、つぎのようである。

- 1) 最適化手法に IA 手法を採用した。GA 手法では探索できない、パレート解より評価の劣る設計案が求められた。すなわち、さまざまな設計案を示すことで多様な設計ができるようにシステムを改良した。
- 2) 単目的 IA 手法を多目的 IA 手法に改良し、複数の設計コンセプトに合致する設計案を提示した。多様なニーズに応えられるシステムに改善した。
- 3) IA 手法では、抗体を抑制するサプレッサー細胞の働きで、サプレッサー細胞と同一か類似の抗体を消滅できる。その結果、同一か類似の設計案が再生されず、局所解に陥らないように解の探索ができた。

- 4) 免疫アルゴリズムが最適な景観案の探索に優れていることが 1) ～3) からわかった。

なお、この研究の一部は、平成 13 年度関西大学重点領域研究助成金によって行った。

参考文献

- 1) 古田 均・藤田靖司・堂垣正博：多目的GAによる中小橋梁の景観設計支援システムに関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.45A, pp.465-475, 1999-3.
- 2) 古田 均・中村幸一郎・堂垣正博：桁橋の景観設計支援システムに関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.46A, pp.321-331, 2000-3.
- 3) 森 一之・築山 誠・福田豊生：免疫アルゴリズムによる多峰性関数最適化, 電気学会論文誌, Vol.117-C, No.5, pp.593-598, 1997-5.
- 4) 日本橋梁建設協会編：橋梁年鑑, 昭和63年-平成12年版, 1988-2000.