

対話型多目的GAを用いて橋梁デザインに住民の意見を反映させる試み

Attempt to reflect an inhabitants' opinion by Interactive Multiple-Objective Genetic Algorithm
for bridge design

古田 均^{*}, 亀田 学広^{**}, 柏木 宙^{***}, 田中 誠子^{****}

Hitoshi FURUTA, Takahiro KAMEDA, Hiroshi KASHIWAGI and Seiko TANAKA

^{*}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）

^{**}修士（情報学）関西大学大学院総合情報学研究科

^{***}関西大学大学院総合情報学研究科

^{****}関西大学総合情報学部

Recently, an attempt is made to take into account inhabitants' opinions in public works. Bridge is an important element of landscape. However, it is rare that inhabitants' opinions are effectively introduced into the decision process of its aesthetic design. In addition, a method how local inhabitants participate in a bridge design is not established.

In this study, an attempt is made to develop an Interactive Multiple-Objective Genetic Algorithm (IMOGA) based on a concept of "the consensus building". Several numerical examples of bridge design are presented to demonstrate the efficiency and applicability of the proposed method using IMOGA.

Key Words: consensus building, Interactive Multiple-Objective Genetic Algorithm

1. はじめに

近年、大規模な構造物を建設する際、住民の意見を取り入れる試みが行われている。その中でも橋梁の建設は、交通アクセスを飛躍的に改善させることはもちろん、同時にまちの風景を一変させるという効果も大きい。つまり、橋梁は都市景観の重要な要素といえる。そのため、橋梁のデザインには地域に根ざしたデザインであることが求められる。住民と行政の両者の意見を反映した橋梁デザインを考える際、両者の橋梁に対する意識、目的、考え方の違いから、意見が対立する可能性がある。地域住民が橋梁のデザインに主体的に関与する方法は手探りで進めている状態である。

評価に対話形式を取り入れた多目的遺伝的アルゴリズム（Multiple-Objective Genetic Algorithm：MOGA）を用いて、両者が妥協点を見いだして合意を形成するのではなく、両者が互いに納得し、満足のいく合意を得てデザインを決定する支援システムを開発する。これにより地域住民も主体的に橋梁のデザインに関与し、さらには橋梁が単なる交通アクセスとしてだけの存在ではなく、地域に根ざしたデザインを持つことにより、まちの文化を育むことにつながる存在となることを目指す。橋梁のデザイン設計問題を例に、その可能性を検討した。

2. 合意形成

合意形成とは、それぞれが持っている目的関数を、コミュニケーションの中、互いの目的関数に修正を加えながら、時には新しい目的関数を受け入れながら、お互いの意志疎通、意見の一致を求めようとするプロセスである。言い換えれば、合意は

プロセスによって生まれ、量は曖昧でも構わない。たとえ同じ解を選択するとしても、そのプロセスによっては、採択される場合とされない場合が起こりうる。

すでに解候補が存在し、そのほとんどを認識できる状態で選択する場合と、解候補を探る(作る)作業が必要な問題では、それぞれの参加者の目的関数の不確定性が異なる。合意形成参加者は、「自分がほしいもの」を具体化したものが、どんなものであるかを明確に把握していない。このような状況では、探索過程で、システムがもつ目的関数を少しずつ変化させるべきである。様々な解候補を見ることで、徐々に目的関数が構築される。これを「意味づけ」と呼ぶ。

合意形成においては、この意味づけ行為が重要であり、もともしほしいものが不確定であるからこそ、その不確定要素の重なる部分で他者との折り合いがつく。この意味づけ行為にはプロセスが重要である。合意参加者が納得するプロセスが必要である。そのため、プロセスが明確、理解できる、簡単であることが求められる。近年の研究では非常に複雑なシステムを通して解を決定するものも多いが、そもそも難解さ故にシステムの採用自体が見送られかねない。そこで本研究では簡単かつプロセスが見えるシステムの開発を試みた。

3. 多目的最適化による合意形成

対立する合意形成参加者は、それぞれトレードオフを持つ目的関数と考えられる。ただしこの目的関数は、曖昧であり、探索の過程で変化しうる。なぜなら実際に解候補をみることで、ほしい物が明確になり、思いもよらないものを発見する可能性

もある．また，多目的遺伝的アルゴリズムでは，ジレンマ解は不要な解として淘汰され，両者がよりよい状態になるパレート最適解が残っていく．従って合意形成を多目的最適化としてとらえることで，有用な解の探索が可能になる(図-1)．

また参加者は，システムと対話するだけで，相手の出方などから戦略を練るようなことはなく，単に自らの好みで評価を与えるだけである．これにより，ジレンマの解を選ぶことはない上，相手の選択によって発生したよい解を積極的に採用する可能性もある．多目的最適化の中で，対立する目的関数が修正され，徐々に解候補自体も減っていく可能性もあり，このような可能性をも探索過程で獲得できる仕組みが利点である．

さらに本研究では，探索過程を自分で確認できる「対話型」を採用することで，自分の意見が反映され，解が改善していく様子が見て取れる．これにより，参加者が合意形成プロセスに参加していることを自覚できる．遺伝的アルゴリズムは，一般の人でも理解しやすい概念であるため，システムの仕組みがわかり，安心感を与えられられる．

4．対話型多目的遺伝的アルゴリズムによる合意形成支援システム

人間の感性が関係している問題において，意思決定者が持つ目的関数は曖昧性を含む，あるいは未知であり，実際に解候補を検討した後に明確になる場合が多い．したがって，探索過程を通して常に不変であることは希である．そこで探索途中の各段階で対象者に解候補を示しながら，その評価を取り入れる対話型多目的GAを適用する．

本研究では対話型多目的遺伝的アルゴリズムの有効性，動作を確認するために，まず簡単な配色問題に適用した．その後，橋梁の景観デザイン問題を例に，住民，行政のそれぞれの評価をもとに，対話型多目的遺伝的アルゴリズムを用いて橋梁デザインの検討を行った．多目的遺伝的アルゴリズムは，NSGA (Non-dominated Sorting GA 改良型)を用い，評価値は参加者がすべての解候補に選好順序をつけ，最小化問題として定義した．

4.1 対話型多目的遺伝的アルゴリズムの有用性の検討

評価に対話を取り入れた多目的GAの本研究における有用性を検討するため，まず簡単な2色の配色問題に適用した．落ち着いた色の組み合わせを目指して評価を続けた．落ち着いた色の組み合わせを目指して評価を続けていった結果を図-2，図-3に示す．実行の結果，徐々に似たような解候補があらわれ，一定の値に収束した．

4.2 対話型多目的遺伝的アルゴリズムによる合意形成

橋梁デザインの評価には人間の感性が大きく関係してくる．人間の「欲しいもの」は，最初はぼんやりとしたものであり，実際に「もの」を見ていくことではっきりとした「欲しいもの」となっていく．つまり，合意を形成する過程において，実際のデザインを見ていくことが必要となってくる．

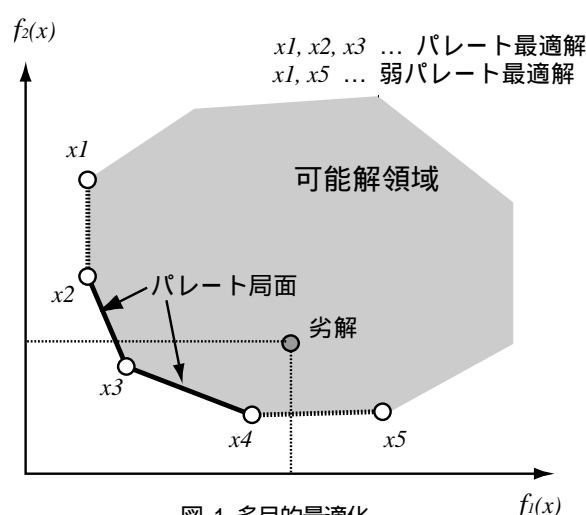


図-1 多目的最適化



図-2 適用前

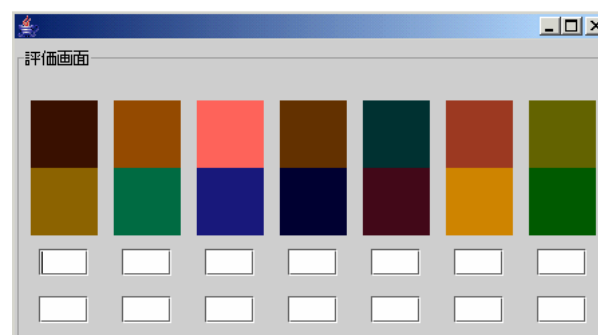


図-3 適用後

Java3Dを用いて実際の橋梁デザインを表示し，それに対して住民，行政それぞれが，独立して順位付け（評価）を行う．その結果をもとに，多目的GAを実行してパレート解，すなわち，両者の意見を反映させた橋梁デザインを求める．本システムの特徴として，評価の部分に対話方式を取り入れることで，目的関数の変更が可能となる．相手の意見にも同調可能であり，目的関数を変化させながら2者にとってよりよい解を探索できる．また，本システムでは，パレート解をみることで，「見えていなかった新しい解を見つけられる」，「コスト最小化原理によるジレンマ解に陥らない」といった利点もある．本システムの流れを図-4に示す．

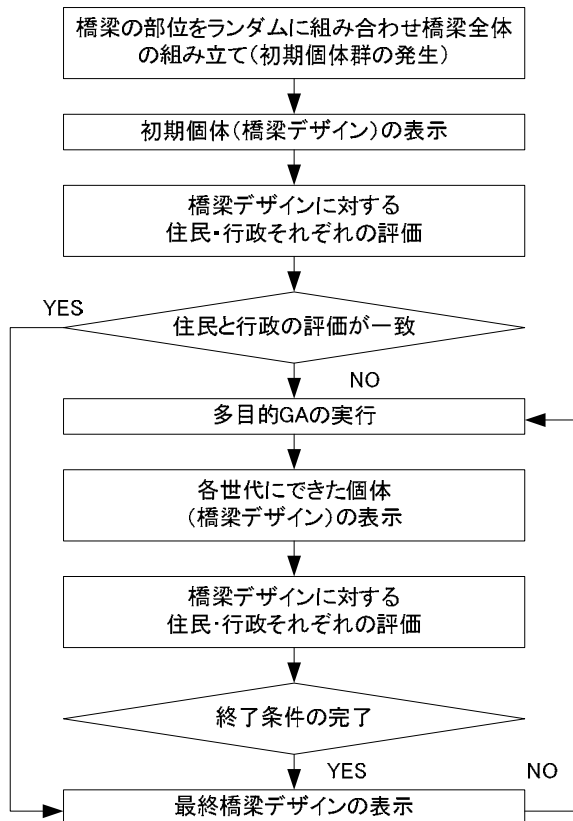


図-4 対話型多目的 GA の流れ

4.3 適用例

本研究で提案した対話型多目的遺伝的アルゴリズムを橋梁の景観デザイン問題に適用した。

(1) 橋梁を構成する部材・色

本研究では、主桁、高欄、橋脚の3部材で構成される桁橋を対象とする。人による橋梁の景観評価に影響を与えるものとして、主桁および高欄の色彩、主桁、高欄、橋脚の形状が考えられる。それゆえ、この5つの要素を橋梁デザイン構成要素とし、これらを組み合わせることで橋梁デザインを作成していく。

(2) 主桁、高欄、橋脚

主桁、高欄、橋脚のデザインは一般的に採用される機械が多いとされる形状を用いた。

主桁：代表的な等断面と変断面の中から5種類を用いた(図-5)。

高欄：デザイナーが考案するような特殊な形状を除き、5種類を用いた(図-6)。

橋脚：デザイナーが考案するような特殊な形状を除き、13種類を用いた(図-7)。

(3) 色

色の表現方法はRGBを用いる。RGBとは、光の三原色である、赤(Red)、緑(Green)、青(Blue)の3つの要素(3原色)に分解し、それぞれの強さによって、色を表す方法である。

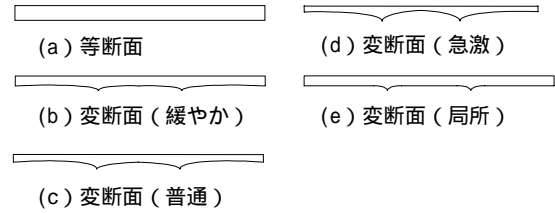


図-5 主桁の形状

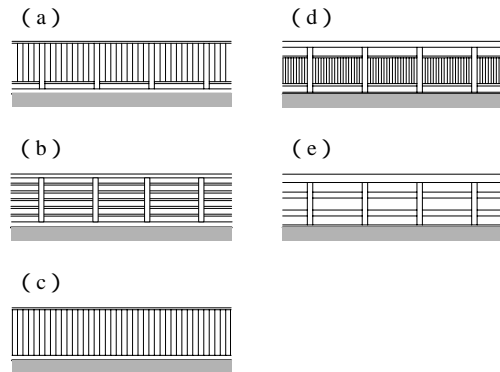


図-6 高欄の形状

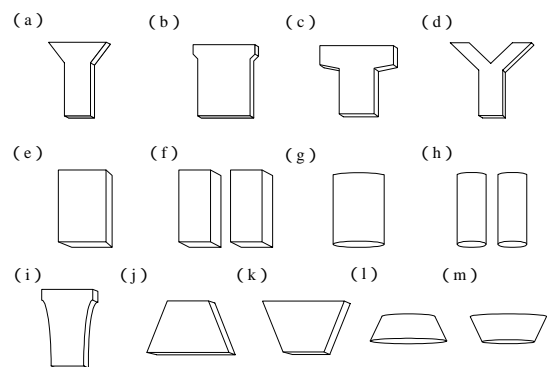


図-7 橋脚の形状

これは、人間の目が3原色の混合比によって色を識別する性質を利用している。各要素は、それぞれ0から255まで段階がある。つまり、色の組み合わせは256の3乗通りあるので、全部で16777126種類の色を表現できる。RGBは光の強さによる表現方法であるため、各要素の数字が大きくなればなるほど色は明るくなり、また、各要素の数字が小さくなればなるほど暗くなる。

(4) 初期個体の発生

主桁、高欄、橋脚、色それぞれに2進数で番号をつけ、それをランダムに組み合わせることにより、遺伝子列を作成する。これを繰り返すことで初期個体群が作成される。

遺伝的アルゴリズムの実行パラメータは、個体数30、交叉率0.5、突然変異率0.01、世代数50とした。

(5) 住民、行政の評価

遺伝子情報をもとに橋梁デザインを作成し、表示する。住民と行政はそれぞれ表示された30個の橋梁デザインを見て好感的なデザインから順に順位をつけていく。終了条件が満たされるまで、各世代の評価でこの作業を行う。

(6) 多目的遺伝的アルゴリズムの実行

本研究では、多目的遺伝的アルゴリズムの中でも、アルゴリズムが簡易で効率的であるNSGA2を用いる。

まず、最初に現在個体の中でパレート最適解（非優劣解）をFront1とする。次にFront1を除いた解候補の中で、パレート最適解になるものをFront2とし、解がなくなるまでFrontを繰り返す（図-8）。非優劣ソートは、解候補の増大に従い、指数関数的に計算時間が増える。NSGA2では、各解候補が優越する解のリストを効率よく操作し、ソーティング時間を短縮している。基本コンセプトはNSGAと同じである。

次に得られたFrontを順に次世代プールに格納する。プールが満タンになった時点のFront内の個体は、混雑度によって、どの解候補を残すかが決められる（図-9）。混雑度とは、解空間上における隣接する個体間の距離を意味する。NSGA2では、隣接する個体は、各Front内の個体群をいずれかの目的関数でソートし、その順序によって定義する。すなわち、順序 i の隣接する個体は、 $i-1$ 、 $i+1$ となる。個体ごとに隣接する個体との距離を計算し、その和が小さいものほど、混雑していると定義する。

住民、行政の順位が一致した時、もしくは、似通ったデザインばかりが表示されるようになってきた時、終了する。

4.4 適用結果

今回は、住民の目標を「まちと調和するデザイン」とし、行政の目標を「シンボル性があるデザイン」として評価を行った。試行前の橋梁デザインの一部と10回試行を繰り返した時の橋梁デザインの一部をそれぞれ図-10、図-11に示す。

適用前は統一感がなくばらばらだったデザインが試行を繰り返していくことで、似通ったデザインに収束していている。また、高欄に特徴的なデザインが適用されているので行政の目標であった「シンボル性のあるデザイン」を満たしているといえる。

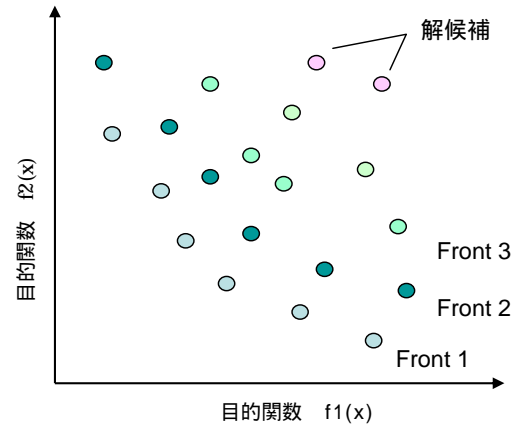


図-8 Non dominated sorting

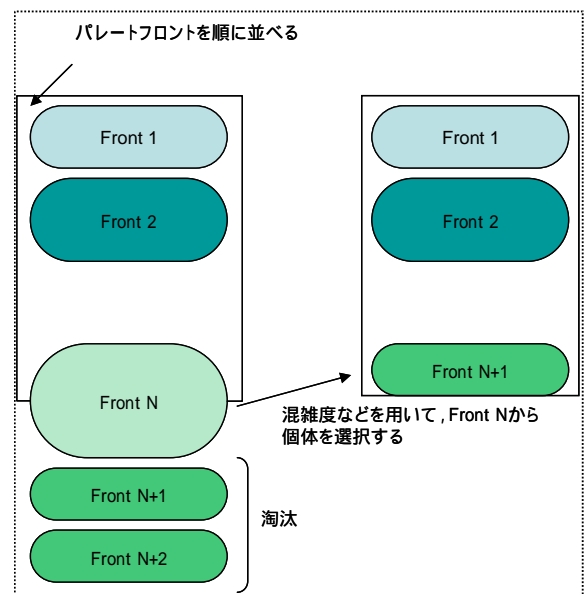


図-9 ソーティング後の選択方法

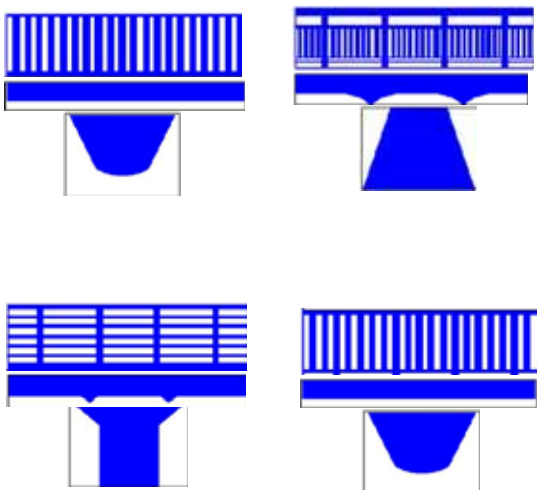


図-10 試行前

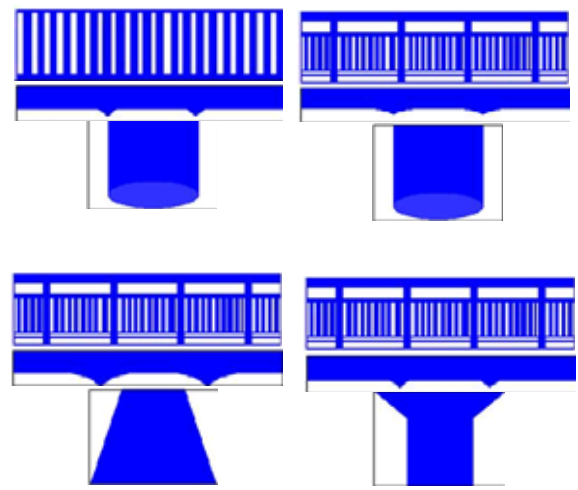


図-11 試行後

5. おわりに

本研究では、合意形成に必要なものは、明確かつわかりやすいシステムが必要であることを示し、プロセスの重要性を指摘した。このようなプロセスを実現するため対話型多目的遺伝的アルゴリズムを開発し、橋梁の景観デザイン問題を例にその可能性を検討した。その結果、次のような成果を得た。

(1) 対話型多目的遺伝的アルゴリズムの有用性を簡単な配色問題を用いて検討した。落ち着いた色の組み合わせを目指して評価を続けていった結果、徐々に似たような色の組み合わせが残っていき、一定の値に収束した。

(2) 橋梁の景観デザイン問題を例に、住民、行政のそれぞれの評価をもとに、対話型多目的遺伝的アルゴリズムを用いて橋梁デザインの検討を行った。多目的遺伝的アルゴリズムは、

NSGA (Non-dominated Sorting GA 改良型)を用いた。その結果、統一感なくばらばらだったデザインが、似通ったデザインに収束していった。

参考文献

- 1) 深谷昌弘，田中茂範：カオスの時代の合意学(合意学の構図から)，創文社，1994
- 2) K. Deb, Samir Agrawal, Amrit Pratap and T. Meyarivan. A Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization, Parallel Problem Solving from Nature(PPSN VI), 2000
- 3) 伊庭斉志：遺伝的アルゴリズムの基礎 GAの謎を解く，オーム社，1994.

