

I-14 ファジィ理論に基づく景観評価のGAによる逆解析に関する一考察

A Consideration on the Inverse Analysis of Scenery Evaluation based on Fuzzy Set Theory
by using Genetic Algorithm

近田康夫* 木下真二** 城戸隆良*** 小堀為雄****
Yasuo CHIKATA Shinji KINOSHITA Takayoshi KIDO Tameo KOBORI

【抄録】 本研究では、ファジィ理論に基づく景観評価の一例として、コンクリート構造物の緑化に関する景観評価を取り上げる。景観の評価項目として、21項目を設定し、 λ -ファジィ測度とファジィ積分により各景観レベルを評価し、その各景観レベルの分布の重心を求めて景観レベルを決定する。

景観評価の各項目の重要度係数と帰属度関数の形状を定めるために、72ケースのアンケート調査の結果を基に遺伝的アルゴリズム(GA)を適用した逆解析を試みた。さらに、逆解析の精度を向上させるために幾つかの検討を行った。

【Abstract】 In this paper, a procedure for the scenery evaluation of planted concrete structures based on fuzzy set theory is presented. 21 items are chosen for evaluation. Fuzzy expected value of each evaluation level is calculated by using λ -fuzzy measure and fuzzy integral. Evaluation level is assumed to be obtained from the center of gravity for fuzzy expected value of each level.

The important coefficients and the membership function profiles of items for evaluating scenery are obtained from inverse analysis on 72 questionnaire results by using genetic algorithm(GA).

【キーワード】 景観評価, ファジィ理論, GA

【Keywords】 Scenery Evaluation, Fuzzy Set Theory, GA

1. はじめに

景観の評価は、各人の嗜好や判断の境界が明確でないことなどから、その評価は個人により種々である。すなわち、評価は各人の主観的な感覚や経験により左右されやすいものとなっている。この場合、たとえ定量的な表現であっても、それらの区分の判断は、各個人の経験に基づいた主観的な判断に負うところが大きい。そのため、

景観評価を行うとき、客観的な立場で判断する手法の開発を目指すのではなく、必要とあらば、主観的な立場で判断をすることがよいと考えられる。このような主観的不確実性を数学的に取り扱う一手法として、1965年にL.A.Zadeh¹⁾によってファジィ集合の概念が提案されている。土木工学の分野では、物性の評価、構造物の劣化や耐力の評価にファジィ理論が応用されている。たとえば、清水ら²⁾は岩盤の等級区分の判断にファジィ理論を応用し、その適合性を評価している。松島ら³⁾もコンクリート構造物の塩害による劣化評価にファジィ理論を応用している。

* 〒920 金沢市小立野2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科 TEL.0762(34)4635

** 金沢大学大学院工学研究科土木建設工学専攻

*** 金沢大学工学部土木建設工学科

**** 金沢大学工学部土木建設工学科

安田ら⁴⁾は、ファジィ理論に基づく景観評価の一例として、コンクリート構造物の緑化に関する景観評価を取り上げ、ファジィ理論の適用において重要度係数と帰属度関数の形状を客観的に求めるために、72ケースのアンケート調査を基に得られた各評価値および総合評価レベルを用いて遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm 以下GA) を適用した逆解析を試みている。

本研究では、この安田らの研究を出発点として、GAによる逆解析の精度をさらに向上させることを目的として、重要度係数と帰属度関数の変数のコーディング法、および、GAの手法に関する両面から検討する。

2. ファジィ理論による景観レベルの評価

(1) 評価手順

ファジィ理論による景観レベル評価方法の流れは、① 既往の研究から景観に及ぼす分類項目 X_{iL} を選択し、② 分類項目の帰属度関数を設定する。さらに、③ 各分類項目 X_{iL} の重み w_{iL} を設定し、④ 各帰属度関数と合わせて対象構造物の景観に対する帰属度関数 $\mu_R(c_N)$ を求める。次に、⑤ 景観の帰属度関数 $\mu_{zL}(c_N)$ を設定し、この関数を被積分関数として、 $\mu_R(c_N)$ によりファジィ積分し、各景観評価の期待値を求める。⑥ ⑤により求めたファジィ期待値を非ファジィ化することにより、景観レベルを決定する。

(2) 景観評価の分類項目

緑化したコンクリート構造物の景観の評価項目として、既往の研究⁴⁾を参考に表1の項目を設定した。これらの各評価項目の判定は、定性的に表現されるもので、その区分の境界は明確なものではなく、その設定根拠についてもあいまいなものである。たとえば、表1に見られる評価項目「1. コンセプト」(目的・機能と整合性、特徴の演出)の感じを、1:良くない、2:あまり良くない、3:普通、4:少し良い、5:良いの5つに区分する場合の境界の判断は、各個人の主観に依存することになる。このようなことから、本研究では分類した各境界はあいまいなものとして判断して、ファジィ集合として表現する。判定区分は区間 $[0.0, 4.0]$ を8等分して、式(1)のように全体集合を定義した。

$$C_N = \{0.0, 0.5, 1.0, \dots, 3.5, 4.0\} \dots\dots\dots (1)$$

$(N = 0 \sim 8)$

全体集合 C_N の要素は景観を表す指標であり、この値が大きくなるほど景観の評価が高く、逆に小さいほど景観の評価が低いことを意味している。

表1 評価項目の説明

大項目	No.	小項目	説明	重要度係数
コンセプト	1	目的・機能と整合性	緑化の目的・機能が明確にされている。	1.0
	2	特徴の演出	個性、ポリシーが感じられる。	0.75
配置	3	植栽範囲の的確さ	目的・機能に応じた範囲が設定されている。	0.75
	4	樹種の組み合わせ方法	単一でなく、多種の樹種を用いている。	0.75
	5	立体感の創出	植栽にボリュームがある。	0.5
	6	統一性・対比の演出	目的に応じた統一性または対比性が感じられる。	0.75
形状・寸法	7	樹形選定	場所に応じた樹木の形状が選定されている。	0.75
	8	高さ調整	同一樹木の高さ統一もしくは異種との高さが組み合わされている。	0.5
	9	密度調整	樹木の間隔等に配慮がなされている。	0.75
	10	視点と距離への配慮	遠景・近景に応じた植栽がなされている。	1.0
材料	11	天然材の活用	全ての天然材を用いており、人工材は用いていない。	1.0
	12	補助材の活用	ストリート・ファニチャー等の緑化補助材を効果的に用いている。	0.5
色彩	13	色相への配慮	配色に工夫されている。	1.0
	14	アクセントによる効果	シンボルとなる樹木が設けられている。	0.75
調和	15	対象構造物との調和	コンクリートの人工性を緩和している。	1.0
	16	周辺構造物との調和	隣接構造物との調和が設けられている。	0.75
時間ファクター	17	季節変化への対応	樹木の季節感が考慮されている。	0.75
	18	経時変化への対応	樹木の年齢が感じられる。	0.75
地域特性	19	気候・気象への対応	日照・気温等に応じた植栽がなされている。	0.5
	20	地形・地質条件への対応	平場・斜面等に応じた植栽がなされている。	0.75
	21	緑化空間への配慮	スペースの形状・大きさを考慮した植栽がなされている。	0.75

次に、評価項目の判定区分をファジィ集合として定義する。本研究では表1の小項目を評価1~5の5つに区分し、ファジィ集合として置き換えることができるものと仮定した。本来、各項目には相関性があり、その組合せにより景観評価の判断がなされるものであるが、このように仮定したことで、各項目は独立として取り扱ったことになる。したがって、各分類項目 $X_{iL}(i = 1 \sim 21)$ について、5段階の評価区分を設定して、これらをファジィ集合 $X_{iL}(L = 1 \sim 5)$ とする。ここで、 X_{iL} の帰属度関数を $\mu_{X_{iL}}(c_N)(c_N \in C_N)$ と表す。その結果、 $L = 1 \sim 5$ の評価の各言語表現に対して、次のようなファジィ集合として定義することができる。

- 1 : 良くない : $X_{i1} = 1.0/0.0 + 0.5/0.5$
- 2 : あまり良くない : $X_{i2} = 0.5/0.5 + 1.0/1.0 + 0.5/1.5$
- 3 : 普通 : $X_{i3} = 0.5/1.5 + 1.0/2.0 + 0.5/2.5$
- 4 : 少し良い : $X_{i4} = 0.5/2.5 + 1.0/3.0 + 0.5/3.5$
- 5 : 良い : $X_{i5} = 0.5/3.5 + 1.0/4.0$

また、景観評価の帰属度関数 $\mu_{zL}(c_n)$ も各評価項目の評価区分と同様に定めた。

(3) 評価項目の重要度の設定

景観に及ぼす各評価項目の影響度合は各項目ごとに異なることが考えられる。そこで、評価項目ごとに[0,1]の間の値で重みを与え、その重みをここでは重要度係数 w_{iL} と呼ぶ。ここでは安田ら⁴⁾の経験的判断から表1に示すような値を設定した。

(4) 景観評価のファジィ期待値の評価

各評価項目の判定結果から景観評価(1~5の評価区分を意味する。以降、景観レベルと呼称する。)の期待値を求める手法は以下のものである。

a) 景観レベルのファジィ集合

評価項目の判定結果と重要度係数を用いて対象構造物の景観レベルのファジィ集合を求める。つまり、景観レベルに属している程度を表す帰属度関数 $\mu_R(c_n)$ は、評定者が判断した評価区分 L の帰属度関数 $\mu_{X_{iL}}(c_n)$ とその重要度係数 w_{iL} を用いて求める。本研究ではこの $\mu_R(c_n)$ を求めるにあたり、次の算定式を定義した¹。

$$\mu_R(c_n) = \bigvee_{i=1}^{21} w_{iL} \cdot \mu_{X_{iL}}(c_n) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 w_{iL} : 重要度係数、 $\mu_{X_{iL}}(c_n)$: 区分 L の帰属度関数である。

b) ファジィ測度^{3),4)}

ファジィ集合は、その対象の意味のあいまいさを表現しているのに対して、ファジィ測度は判定結果のあいまいさを表現するものである。本研究では、この評価尺度として λ -ファジィ測度を用いる。 λ -ファジィ測度は λ をパラメータとして式(4)で構成される。

$$\begin{cases} g_\lambda(E_1) = g_1 & (i=0) \\ g_\lambda(E_i) = g_i + g_\lambda(E_{i-1}) + \lambda \cdot g_i \cdot g_\lambda(E_{i-1}) & (-1 < \lambda < \infty, i=0 \sim 8) \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 $E_i = \{c_0, c_1, c_2, \dots, c_8\}$ で、 C_N の部分集合である。また、 g_i はファジィ密度($0.0 < g_i < 1.0$)であり、式(5)で表される。

¹ $a \wedge b$: a と b のminを表す $\bigwedge_{i=0}^n a_i$: a_i ($i=0 \sim n$)のminを表す
 $a \vee b$: a と b のmaxを表す $\bigvee_{i=0}^n a_i$: a_i ($i=0 \sim n$)のmaxを表す

$$g_i = \alpha \cdot \mu_R(c_i) \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 α は g_i を正規化するための定数で、パラメータ λ を与えた後に、式(6)で求められるものである。

$$1 = \begin{cases} \sum_{i=0}^8 g_i & (\lambda = 0.0) \\ \lambda^{-1} \left[\prod_{i=0}^8 (1 + \lambda \cdot g_i) - 1 \right] & (\lambda \neq 0.0) \end{cases} \quad (6)$$

式(6)は λ と g_i の制約式であり、 λ をパラメータとして E_i の重複する度合を表す尺度である。 λ が小さくなるにつれて全体にファジィ期待値は大きくなる。 $\lambda = 0.0$ のとき $g_\lambda(E_i) = g_i + g_\lambda(E_{i-1})$ と加法的になり、 λ ファジィ測度と確率測度は一致する。なお、本研究では $\lambda = 0.0$ として解析を行った。

c) ファジィ積分による景観レベルの評価^{3),4)}

景観評価は、各評価区分の帰属度関数を被積分関数とするファジィ積分によって行う。 $g_\lambda(E_i)$ は式(4)を用いて $\mu_R(c_n)$ より求められる。ファジィ期待値 $F(L)$ は景観レベルの帰属度関数 $\mu_{zL}(c_n)$ を $g_\lambda(E_i)$ で積分することで得られる。したがって、各景観レベル L のファジィ期待値 $F(L)$ は式(7)で表される。

$$\begin{aligned} F(L) &= \int \mu_{zL} \cdot g_\lambda \\ &= \bigvee_{i=0}^8 \left[\left(\bigwedge_{n=0}^i \mu_{zL}(c_n) \right) \wedge g_\lambda(E_i) \right] \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

式(7)で、 $\mu_{zL}(c_n)$ の順番を $\mu_{zL}(c_0) > \mu_{zL}(c_1) > \mu_{zL}(c_2) > \dots > \mu_{zL}(c_8)$ となるように並び換えて、 $C_N^{(L)} = \{c_0^{(L)}, c_1^{(L)}, c_2^{(L)}, \dots, c_8^{(L)}\}$ とすると、式(7)は式(8)のように書き換えられる。

$$F(L) = \bigvee_{i=0}^8 \left[\mu_{zL}(c_i^{(L)}) \wedge g_\lambda(E_i^{(L)}) \right] \dots\dots\dots (8)$$

式(8)で、 $E_i^{(L)} = \{c_0^{(L)}, c_1^{(L)}, c_2^{(L)}, \dots, c_8^{(L)}\}$ も、 $\mu_{zL}(c_n)$ の大きい順番に合わせて各景観レベル L ごとに並び換えたものである。

d) 景観レベルの決定

求められた各景観レベル L のファジィ期待値 $F(L)$ から景観レベル D_L を決定する。本研究では、この非ファジィ化の方法として、式(9)に示すように各期待値の分布の重心を求めることで決定した。

$$D_L = \sum_{L=1}^5 [F(L) \cdot L] / \sum_{L=1}^5 F(L) \dots\dots\dots (9)$$

3. コンクリート構造物の緑化検討事例

2.で説明したファジ理論に基づき写真1に示す4種類の構造物について緑化による景観評価を行った。

評定者は、9名のデザインに従事する計画技術者(年齢層は40歳代、30歳代、20歳代各3名)である。

写真①は、都心の大型建築物周辺の緑化事例であり、(B)が現状の景観を示しており、このうち高木の効果を見るために(A)を作成した。

写真②は、高速道路コンクリート橋脚下端および周辺道路の緑化事例であり、(B)が現状の景観を示している。ここでは、盛土部の緑化による効果を見るために(A)を作成した。

写真③は、幹線道路の中央分離帯の植栽による効果を見るために(A)、(B)で比較することとした。

写真④は、市街地の歩道およびコンクリート塀付近を緑化した効果を見るために(A)、(B)で比較することとした。

解析結果については以降に示す。

4. 逆解析

前章までは、ファジ帰属関数の形状や重要度係数は事前に与えられていた。その結果、アンケートにおいて、表1の21の判定項目に加えて全体評価も行った場合には、判定項目の結果からファジ積分により算出した景観レベル(D_L)と、アンケートにおける全体評価値とは一般に異なることになる。

また、アンケートの主体(評定者)がどのような人々であるかには無関係であるとして、同一の帰属関数や重要度係数を用いて景観レベル D_L を算出してしまおうとその評価には疑問が残ることになる。

そこで、 D_L とアンケートによる全体評価が一致するように逆解析を行うことにより、アンケート主体の評価特性に対応した帰属関数や重要度係数を求め評価の信頼性を向上させることを試みる。この逆解析の流れを図1に示す。

(1) GA

遺伝的アルゴリズム(GA)は生物進化から着想を得た確率的探索手法であり、組合せ最適化問題をはじめとする多くの問題の適用に利用されている。

GAは、対象となる問題がある評価関数の最大化問題に置き換え、環境により適応した生物を残していく自然淘汰の代わりに、より高い適応度を与える解を残してい

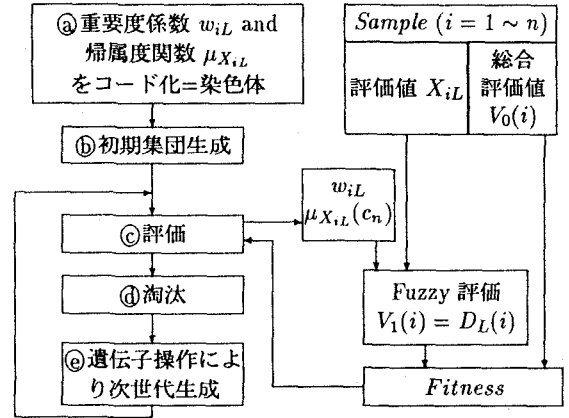


図1 GAによる逆解析フローチャート

く淘汰を繰り返して最大化問題の解を求めるものである。

GAの原理は、高い評価関数値をもつ解の近傍を中心とした、広域的な解探索にあるといえる。

基本的には、①離散化した変数のランダムな値(染色体)の1組を一つの遺伝子として取り扱う。②複数の遺伝子からなる初期集団に対して、③適合度(目的関数の満足度)を評価し、④これに基づく淘汰を行って適合度の低い遺伝子(変数の値の組合せ)を排除する。⑤その後、交差(部分変数列の交換)、突然変異(変数値の変更)などの遺伝子操作により、次世代の集団を生成する。

今回の問題では、離散化した変数(重要度係数および帰属関数の傾き)による線列(遺伝子)を生成し1組みのアンケート結果*i*による21項目の判定値を用いてファジ積分を行って評価値(D_L に相当) $V_1(i)$ を得て、これとアンケートによる総合評価値 $V_0(i)$ により*n*組みのアンケート結果に対する目的関数値 *Object* を次式で得る。

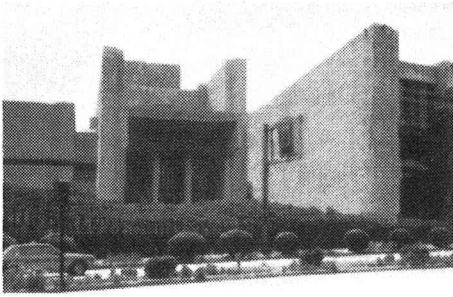
$$Object = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |V_0(i) - V_1(i)| \dots\dots\dots (10)$$

この目的関数値 *Object* を最小にするのであるが、GAでは最大化問題に変換する必要があるので、これを次のように適合度に変換する。

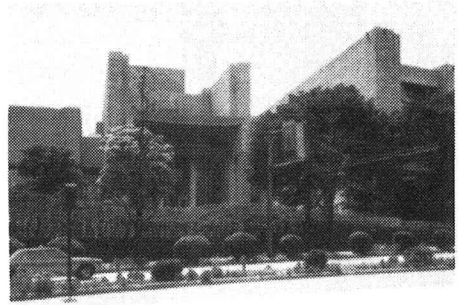
$$Fitness = \frac{1}{Object} \dots\dots\dots (11)$$

また、適合度判定のためのデータは前述のアンケート結果から、4(写真数)×2(緑化前・後)×9(評定者)=72組である。

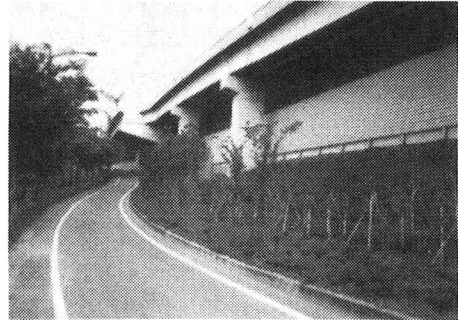
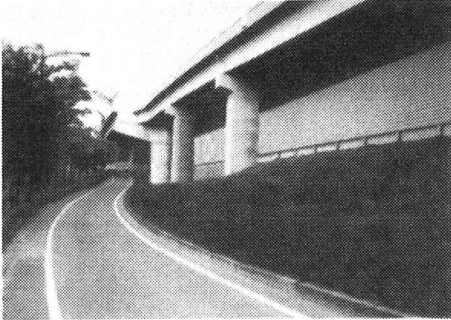
緑化前(A)



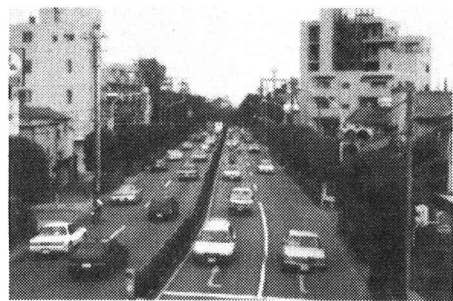
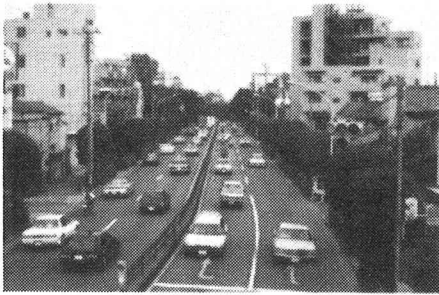
緑化後(B)



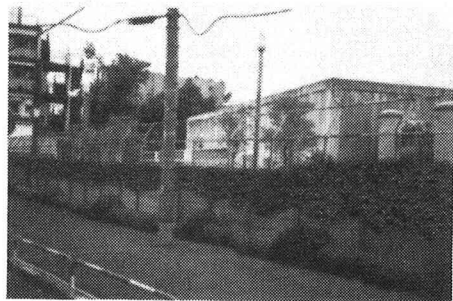
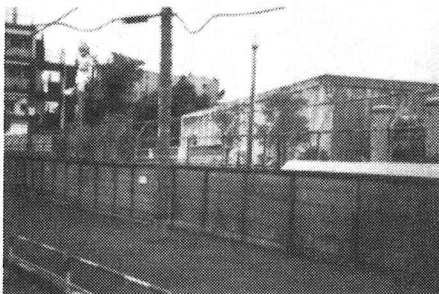
写真① 大型建築物



写真② 高速道路



写真③ 幹線道路



写真④ 市街地

写真-1 緑化景観評価事例

ここでGAには、特殊な付加操作を加えずに淘汰、交叉、突然変異の3つのオペレータからなる最も基本的な単純GAを採用した。ただし、一世代の中での適合度の値のレンジが比較的小さいのでエリート個体の保存および適合度のスケリングを施した後に、ルーレットによる淘汰を行っている。

(2) 変数のコーディング

a) 重要度係数

重要度係数を [0.5, 1.0] の範囲で 0.1 ピッチで離散化する。組合せの数は、 6^{21} となる。

b) 帰属度関数

帰属度関数の傾き (左右対称) を変数として離散化する。変数の数は 5 判定値/判定項目 \times 21 判定項目で 105 となる。傾きを 21 に離散化したので組合せの数は 21^{105} となる。

(3) 逆解析結果

解析結果を表 2(A,B 欄)、表 3($V_0 - V_A, V_0 - V_B$ 欄)、図 2 に示す。表 3 中においては、主観的に与えた重要度係数 (表 1) および帰属度関数を用いた評価値と GA による逆解析により求めた評価値のアンケートによる判定者の総合判定との差を比較のために示してある。

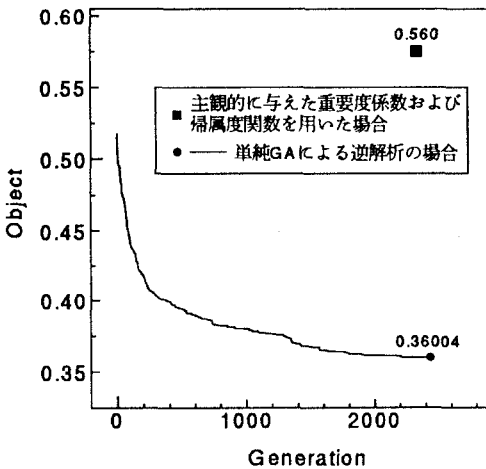


図 2 世代と目的関数値の変化

図 2 をみると、単純 GA による逆解析結果の方が主観的に与えた重要度係数 (表 1) および帰属度関数を用いた場合よりも目的関数値を十分小さくすることができたことが分かる。すなわち、ファジィ理論を援用した解析

において逆解析結果による重要度係数および帰属度関数の形状を与えた方が評定者の判断をよりよく再現できることになる。

5. 逆解析の精度向上のための検討

(1) GA の手法に関する検討

前章の逆解析には、最も基本的な単純 GA を用いたが、解探索の効率化を図るために、並列分散 GA を用いて逆解析を行った。

並列分散 GA とは、同じ個体数を持つ複数の集団を並列処理させ、何世代かごとに集団間で個体を移住 (migration) させるというものである。計算処理回数を等しくするために、各集団の個体数の和は、単純 GA の個体数と等しくした。

図 3 から分かるように、単純 GA よりも並列分散 GA の方がより良い結果が得られた。このように、並列分散 GA は解の質の向上と収束速度の高速化を同時に得ることができ、また、局所解が全体に広がるのを防ぐ効果もあると考えられる。そこで、本研究では、この並列分散 GA を用いて逆解析を行うものとした。

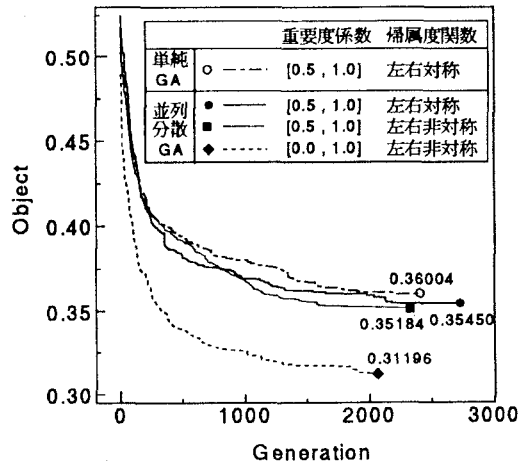


図 3 世代と目的関数値の変化

(2) 変数のコーディングに関する検討

a) 帰属度関数

帰属度関数の傾きを左右非対称に変数として離散化する。変数の数は 5 判定値+3/判定項目 \times 21 判定項目で 168 となる。傾きを 21 に離散化したので組合せの数は 21^{168} となる。

図 3 から分かるように、目的関数値をわずかながら、引き下げることができた。これは、帰属度関数の傾きを非対称にすることにより、1 項目につき変数が 3 つずつ増加することになるので、より精密な逆解析ができたものと考えられる。

b) 重要度係数

重要度係数の範囲を [0.0, 1.0] に拡大し、0.1 ピッチで離散化する。組合せの数は、 11^{21} となる。

図 3 から分かるように、目的関数値をかなり、引き下げることができた。これは、重要度係数のレンジを広げたため、当然考えられることであるが、表 2 の E 欄より GA 逆解析の結果では、項目 1:目的・機能と整合性、2:特徴の演出、7:樹形選定、10:視点と距離への配慮の各項目がかなり重要視されているが、しかし、項目 3,4,5,8,9,11,12,13,14,15,18,19,20 の 13 項目は重要度係数が 0 に収束し、これらは、全く評価に関係しない項目という結果となった。

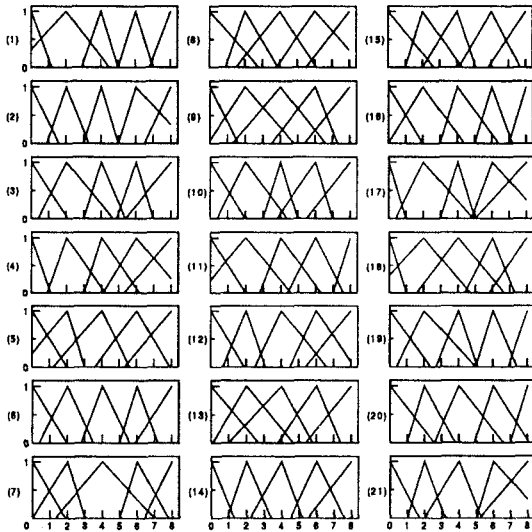
また、全ての逆解析の場合で重要度の高い項目は、一貫して項目 1,2,7,10 であるので、これらは、信頼性の高い結果と言えよう。

この逆解析により得られた帰属度関数を図 4 に示す。これは、アンケートで答えられている判定区分のみに対応しているものであり、全く誰にも判定されていない区分については、無関係に定まっている。

表 2 重要度係数

項目	A	B	C	D	E
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.75	1.00	0.90	1.00	0.60
3	0.75	0.60	0.50	0.50	0.00
4	0.75	0.50	0.50	0.50	0.00
5	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
6	0.75	0.80	0.80	0.50	0.10
7	0.75	1.00	1.00	1.00	0.90
8	0.50	0.50	0.50	0.60	0.00
9	0.75	0.80	0.80	0.50	0.00
10	1.00	1.00	0.90	1.00	0.60
11	1.00	0.50	0.50	0.50	0.00
12	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
13	1.00	0.50	0.50	0.50	0.00
14	0.75	0.60	0.70	0.50	0.00
15	1.00	0.80	0.80	0.50	0.00
16	0.75	0.70	0.70	0.50	0.10
17	0.75	0.80	0.80	0.60	0.20
18	0.75	0.50	0.50	0.50	0.00
19	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
20	0.75	0.50	0.50	0.50	0.00
21	0.75	0.50	0.60	0.50	0.20

- A : 主観的に与えた重要度係数 (表 1) および帰属度関数を用いた場合
- B : 重要度係数 ([0.5, 1.0]), 帰属度関数 (左右対称) を変数とした単純 GA による逆解析の場合
- C : 重要度係数 ([0.5, 1.0]), 帰属度関数 (左右対称) を変数とした並列分散 GA による逆解析の場合
- D : 重要度係数 ([0.5, 1.0]), 帰属度関数 (左右非対称) を変数とした並列分散 GA による逆解析の場合
- E : 重要度係数 ([0.0, 1.0]), 帰属度関数 (左右非対称) を変数とした並列分散 GA による逆解析の場合
- V_0 : アンケート結果による最終評価値



注) 図中の () 内の数字は、表 1 の評価項目 No.
これは、重要度係数 ([0.0, 1.0]), 帰属度関数 (左右非対称) を変数とした並列分散 GA による逆解析の場合 (表 2.E)

図 4 逆解析による帰属度関数の形状

6. まとめ

本研究では、ファジィ理論に基づく景観評価の GA による逆解析の精度を向上させるための考察を行った。本研究で得た知見を以下にまとめる。

- (1) 同じ計算処理回数の逆解析を行う場合、並列分散 GA を援用するのがより効果的であった。
- (2) 帰属度関数の傾きを左右非対称として変数にとることにより、わずかではあるが、精度の向上を果せた。
- (3) 重要度係数のレンジを広げた場合は、目的関数値をかなり引き下げることができたが、21 項目中、13 項目の重要度が 0 となり、景観評価に実際に関ったのは、残りの 8 項目にすぎないという結果となった。つまり、人が景観を判断する時は、このような多く

表3 逆解析結果

判者	写真	植栽	V_0	$V_0 - V_A$	$V_0 - V_B$	$V_0 - V_C$	$V_0 - V_D$	$V_0 - V_E$	判者	写真	植栽	V_0	$V_0 - V_A$	$V_0 - V_B$	$V_0 - V_C$	$V_0 - V_D$	$V_0 - V_E$			
1.	①	前	4	1.000	0.859	0.830	0.804	0.769	5.	③	前	2	-0.806	-0.964	-0.972	-0.892	-0.819			
		後	3	-0.000	-0.120	-0.170	-0.029	-0.059			後	2	-0.806	-0.964	-0.972	-0.892	-0.819			
	②	前	3	0.350	-0.001	-0.019	0.010	0.102		④	前	1	-1.304	-0.964	-0.964	-0.927	-0.881			
		後	3	0.350	0.137	0.137	0.251	0.454			後	2	-0.304	-0.038	-0.019	-0.068	0.000			
	③	前	3	-0.000	-0.206	-0.391	-0.176	-0.276		①	前	2	-0.792	-0.534	-0.534	-0.549	-0.464			
		後	4	1.000	0.699	0.259	0.482	0.025			後	4	1.000	0.352	0.681	0.664	0.604			
	④	前	2	0.286	0.091	0.091	0.053	0.031		②	前	2	-0.650	-0.722	-0.485	-0.522	-0.628			
		後	3	0.258	-0.001	-0.010	0.103	0.045			後	3	0.000	-0.185	-0.319	-0.251	-0.396			
	2.	①	前	2	-0.250	0.057	0.038	-0.006		0.009	6.	③	前	3	0.096	0.000	0.000	0.002	0.020	
			後	4	0.607	0.103	0.145	0.024		0.002			後	3	-0.000	-0.265	-0.708	-0.439	-0.633	
		②	前	2	-0.261	0.049	0.076	-0.046		0.000		④	前	1	-1.250	-0.887	-0.887	-0.976	-0.776	
			後	3	0.226	0.042	-0.001	0.177		0.200			後	3	-0.000	-0.326	-0.775	-0.518	-0.959	
③		前	3	0.194	-0.004	-0.001	-0.003	-0.114	①	前		4	0.500	0.147	0.142	0.079	0.041			
		後	4	1.121	0.849	0.462	0.535	0.097		後		2	-0.500	-0.091	-0.091	-0.103	0.000			
④		前	1	-0.333	-0.268	-0.281	-0.199	-0.105	②	前		3	0.500	0.180	0.291	0.134	0.191			
		後	3	0.350	0.280	0.280	0.579	1.001		後		3	0.500	0.126	0.296	0.188	0.191			
3.		①	前	3	0.453	0.342	0.255	0.207	0.106	7.		③	前	3	-0.453	-0.409	-0.401	-0.202	-0.029	
			後	4	1.000	0.311	0.311	0.216	0.257				後	4	0.500	0.147	0.132	0.079	0.041	
		②	前	2	-0.304	0.057	0.057	0.020	0.031			④	前	2	-0.182	0.000	0.000	0.000	0.031	
			後	3	0.096	0.101	0.288	0.084	0.191				後	4	0.500	0.147	0.132	0.079	0.060	
	③	前	3	0.000	-0.011	-0.011	0.002	-0.019	①		前	4	0.900	0.319	0.224	0.440	-0.020			
		後	4	1.000	0.670	0.677	0.800	0.891			後	2	-0.742	-0.915	-0.932	-0.898	-0.955			
	④	前	1	-1.250	-0.943	-0.943	-1.000	-0.969	②		前	3	0.194	-0.003	0.001	0.002	0.028			
		後	3	-0.096	-0.230	-0.426	-0.207	-0.169			後	2	-0.806	-0.834	-0.857	-0.429	-0.046			
	4.	①	前	2	-0.955	-0.762	-0.766	-0.527	-0.006		8.	③	前	3	0.293	-0.001	-0.002	0.085	0.097	
			後	2	-1.057	-0.873	-0.898	-0.686	-0.587				後	3	0.293	-0.001	0.000	0.085	0.097	
		②	前	5	1.742	1.491	1.111	1.099	0.657			④	前	2	0.286	0.267	0.291	0.113	0.289	
			後	1	-1.955	-1.222	-1.215	-1.318	-0.776				後	4	1.194	0.841	0.677	0.838	0.724	
③		前	3	-0.059	0.164	0.133	0.285	0.485	①	前		4	0.650	0.450	0.007	0.041	-0.156			
		後	2	-1.226	-0.730	-0.504	-0.918	-0.564		後		1	-1.250	-0.964	-0.964	-0.836	-0.881			
④		前	1	-0.714	-0.360	-0.361	-0.359	-0.105	②	前		2	-0.250	0.019	0.019	0.000	0.000			
		後	2	-0.650	-0.216	-0.194	-0.849	-0.560		後		3	0.250	-0.001	-0.005	0.103	0.092			
5.		①	前	4	1.019	0.616	0.557	0.271	-0.023	9.		③	前	3	0.194	-0.001	-0.001	0.002	0.040	
			後	3	0.293	0.002	0.006	0.525	0.716				後	3	0.194	-0.037	-0.048	0.002	-0.040	
		②	前	3	0.089	-0.110	-0.124	-0.105	-0.169			④	前	2	-0.250	0.000	0.000	0.014	0.011	
			後	3	0.222	0.002	-0.002	0.019	0.000				後	4	1.194	0.841	0.663	0.911	0.831	
													V_0 との差の平均(目的関数値)		0.560	0.360	0.355	0.352	0.312	

の項目では判断していないと言え、今後評価項目の見直しが必要であると考えられる。

今後、さまざまな構造物の景観を対象とした調査を行い、今回提示した逆解析法に一般性を与えることが望まれよう。

参考文献

- 1) Zadeh, L.A. : Fuzzy Sets Information and Control, Vol.8, pp338~353, 1965.
- 2) 清水則一, 桜井春輔 : ファジィ理論を用いた岩盤分類の構成方法に関する研究, 土木学会論文報告集, 第370号/III-5, pp.225~232, 1986.6.
- 3) 松島 学, 関 博, 松井邦人 : ファジィ理論に基づいた海岸施設の劣化診断, 土木学会論文集, 第432号/V-15, pp.254~261, 1991.8.

- 4) 安田 登, 近田康夫, 松島 学, 木下真二 : ファジィ理論に基づく緑化されたコンクリート構造物の景観評価の逆解析, 第3回 システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.11~20, 1993.12.
- 5) Goldberg, D.E. : GENETIC ALGORITHMS in search, optimization and machine learning, Addison-Wasley, 1989.
- 6) 北野宏明 編 : 遺伝的アルゴリズム, pp.3~88, 産業図書, 1993.