

論文 緑化されたコンクリート擁壁の景観評価の逆解析

松島 学*¹・安田 登*²・近田康夫*³・増井直樹*⁴

本研究は緑化されたコンクリート擁壁の景観評価を判断することを目的としており、このような主観的な立場からファジィ理論を利用する方法を提案する。さらに、ファジィ理論の適用において帰属度関数の形状や、その重要度係数を客観的に求めるために、120ケースのアンケート調査を基に得られた各評価値及び総合評価レベルを用いて遺伝的アルゴリズムを適用した逆解析により、各説明因子を同定することを試みた。

Keywords: 景観評価, コンクリート擁壁, ファジィ理論, 遺伝的アルゴリズム

1. はじめに

コンクリート構造物はもとより、全ての構造物の計画ならびに設計思想の中に、強度や変形と言った安全性あるいは維持管理に関わる耐久性と共に、環境調和を目標とする評価を取り入れる手法の整備が望まれている。

緑化されたコンクリート構造物の景観評価の全体像は、図-1に示すとおり、①対象とする構造物（コンクリート擁壁）、②植生による緑化の状態ならびに③周辺の環境が、本来の目的・機能を持った個々の要素として、お互いに融和して景観を創出していると考えられる。人間は、これら景観の物理的要素を再構築して、人間の心理要素に変換し、景観を評価している。従って、それら個々の要素と調和の関係を考慮して、表-1のように評価項目を選定した。

本研究は、緑化されたコンクリート構造物の景観評価に対し、ファジィ関数を設定し、その関数をアンケート調査を基に逆解析により求めたものである。景観の総合評価の項目として、「安定感のある」を選定した。

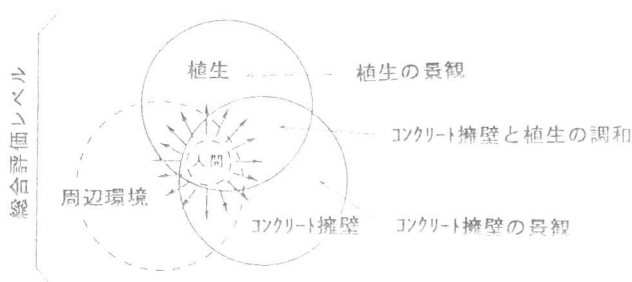


図-1 緑化したコンクリート擁壁の景観評価

2. ファジィ理論による景観レベルの評価

一般に各評価項目は、定性的な表現によるものが多い。たとえ定量的な表現であっても、その境界を明確に区分することは難しく、各個人の主観的評価に負うところが大きい。本研究では、各評価項目に対する判定が、判断者の主観に依存しているという「あいまいさ」、すなわち各人の判定のばらつきを考慮した景観の評価手法を開発するものである。

2.2 景観評価項目の帰属度関数の設定

表-1に示された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

*1 東電設計技術開発本部耐震技術部課長 工博（正会員）
 *2 東京電力技術開発本部電力技術研究所構造研究室主管研究員（正会員）
 *3 金沢大学工学部土木建設工学科助教授 工博
 *4 大林組土木技術本部技術第五部課長 工修（正会員）

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。例えば、評価項目「(9)擁壁の素材は良いですか？」の回答を、A：非常に悪い、B：かなり悪い、C：やや悪い、D：どちらとも言えない(普通)、E：やや良い、F：かなり良い、G：非常に良いの7つに区分する場合の境界の判断は、各評価者個人の主観に依存することになる。本研究では分類した各境界のあいまいさを、ファジィ集合として扱い、判定区分は区間 [0.0, 6.0] を12等分して、式(1)のように全体集合を定義した。

$$C_N = \{0.0, 0.5, 1.0, \dots, 5.5, 6.0\} \quad (N=0 \sim 12) \quad (1)$$

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

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。本研究は表-1に示す評価項目の評価をA～Gの7つに区分し、図-2に示すファジィ集合として置き換えられるものと仮定した。

2.2 評価項目の重要度係数の設定

景観の総合評価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] の間の重要度係数 W_{il} を与えた。この重要度係数も前述の帰属度関数と同様に、各個人の主観的判断によって設定されるものである。

2.3 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の総合評価レベル(A～Gのレベルを意味し、以降、景観レベルと呼称)の期待値を求める手法を以下に説明する。

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

表-1 緑化されたコンクリート擁壁の景観評価項目

大項目	評価項目	評価	No														
緑化の景観	配置	植栽範囲は的確ですか？	多い 少ない	1													
		樹種の組合せ方法は適切ですか？	適切 不適切	2													
		立体感の創出に配慮されていますか？	有る 無し	3													
	形状寸法	樹木の形状は適切ですか？	適切 不適切	4													
		高さのバランスは適切ですか？	適切 不適切	5													
		樹木の密度は適切ですか？	適切 不適切	6													
	色彩	植栽は背景の色相と合いますか？	合う 合わない	7													
	季節感	季節が感じられますか？	感じる 感じない	8													
擁壁の景観	素材	擁壁の素材は良いですか？	良い 悪い	9													
	形状寸法	擁壁の形状は良いですか？	良い 悪い	10													
	肌合い	擁壁の表面テクスチャーは良いですか？	良い 悪い	11													
調和	緑化と周辺環境	緑化は周辺の地形と馴染みますか？	馴染む 馴染まない	12													
	周辺環境と擁壁	擁壁は周辺環境と馴染んでいますか？	馴染む 馴染まない	13													
和	擁壁と緑化	人工物と自然は調和していますか？	調和 不調和	14													
総合評価		安定感がありますか？	有る 無し	15													
		親しみやすいですか？	有る 無し	16													
【評価尺度】																	
<table style="width:100%; text-align:center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:12.5%;">非常に悪い</td> <td style="width:12.5%;">かなり悪い</td> <td style="width:12.5%;">やや悪い</td> <td style="width:12.5%;">どちらとも言えない</td> <td style="width:12.5%;">やや良い</td> <td style="width:12.5%;">かなり良い</td> <td style="width:12.5%;">非常に良い</td> </tr> <tr> <td>(例) 1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </table>				非常に悪い	かなり悪い	やや悪い	どちらとも言えない	やや良い	かなり良い	非常に良い	(例) 1	2	3	4	5	6	7
非常に悪い	かなり悪い	やや悪い	どちらとも言えない	やや良い	かなり良い	非常に良い											
(例) 1	2	3	4	5	6	7											

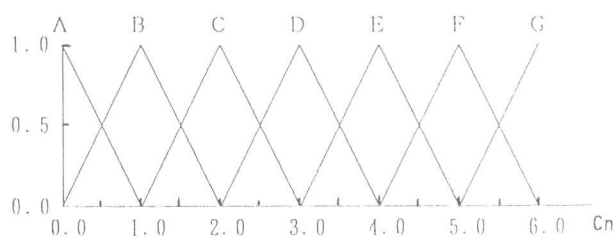


図-2 評価項目のファジィ関数

している程度を表す帰属度関数 $\mu_R(c_n)$ を評価者が判断した区分 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、式(2)の算定式を定義した。

$$\mu_R(c_n) = \sum_{i=0}^{12} W_{iL} \cdot \mu_{x_{iL}}(c_n) \quad (2)$$

ここで、 W_{iL} は重要度係数、 $\mu_{x_{iL}}(c_n)$ は区分 L の帰属度関数である。式(2)の意味は、この帰属度関数 $\mu_R(c_n)$ に与える影響は最も大きな因子で説明できる、とすることである。このように、 $\mu_R(c_n)$ を定める算定式は各個人の感覚や経験により主観的に定められる。

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 g - λ ファジィ測度を用いる。 g - λ ファジィ測度は λ をパラメータとして式(3)で構成される。

$$\left. \begin{aligned} g_\lambda(E_i) &= g_i \\ g_\lambda(E_i) &= g_i + g_\lambda(E_{i-1}) + \lambda \cdot g_i \cdot g_\lambda(E_{i-1}) \end{aligned} \right\} \quad (-1 < \lambda < \infty, i=0 \sim 12) \quad (3)$$

ただし、 $E_i = \{c_0, c_1, \dots, c_i\}$ で、 C_N の部分集合である。 g_i はファジィ密度 ($0.0 < g_i < 1.0$) である。

景観レベルのファジィ期待値 $F(L)$ は、景観レベル L の関数 μ_{zL} に対し、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(3)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。従って、各景観レベル L のファジィ期待値 $F(L)$ は式(4)で表される。

$$F(L) = \int \mu_{zL} \cdot g_\lambda = \sum_{i=0}^{12} \left[\left(\bigwedge_{n=0}^i \mu_{zL}(c_n) \right) \wedge g_\lambda(E_i) \right] \quad (4)$$

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 S_L を決定する。本研究は、この非ファジィ化の方法として、式(5)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。

$$S_L = \frac{\sum_{L=1}^7 [F(L) \cdot L]}{\sum_{L=1}^7 F(L)} \quad (5)$$

3. アンケート調査

アンケートの手法は、写真を提示して表-1に示した景観評価項目に従って7段階の評価を行う方法を採用した。評価の対象は、写真-1に示す12種類の都市郊外にある住宅地内道路脇にある緑化されたコンクリート擁壁であり、その特徴は各写真の脚注に示した。評価者は、景観工学に関連した研究に従事している男女10名(年齢層は40、30、20歳代ほぼ同数名ずつ)を選定した。

4. GAによる逆解析

4.1 逆解析の手順

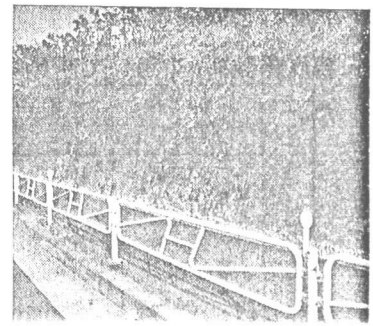
遺伝的アルゴリズム(以降、GAと呼称する)は、生物進化から着想を得た確率論的手法の1つであり、組み合わせ最適化問題をはじめとする多くの問題の適用に利用されている。GAは生物進化の過程をダーウィンの適者生存過程と考え、現存する生物群を環境に対してより高い適合性を持った準最適な生物とみなす。生物進化の過程における繁殖・淘汰、遺伝子交叉、突然変異の各プロセスを簡単な数理モデルに置き換え、最適化の手法として用いようとするものである。



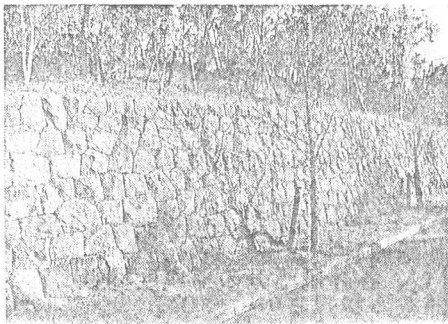
(I) 格子状ブロック組
裏込栗石法尻草地有り



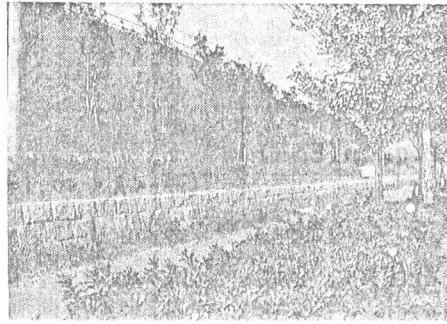
(II) 標準品矩形ブロック積み
疎な街路樹有り



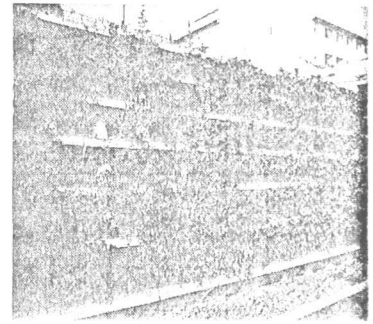
(III) 自然石風ブロック積み
上部法肩密な植栽有り



(IV) 自然石風ブロック積み
上部法肩植樹有り



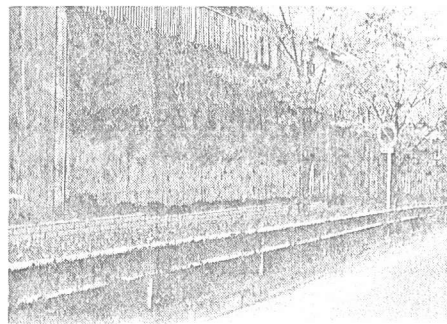
(V) 上部直壁下部ブロック
2段式中間植樹有り



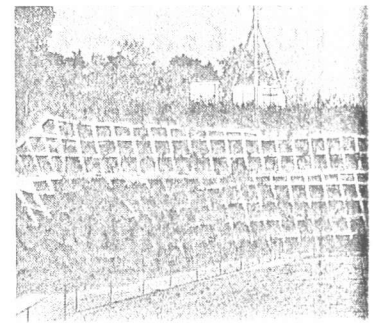
(VI) 格子状ブロック組
枠内きつき植込有り



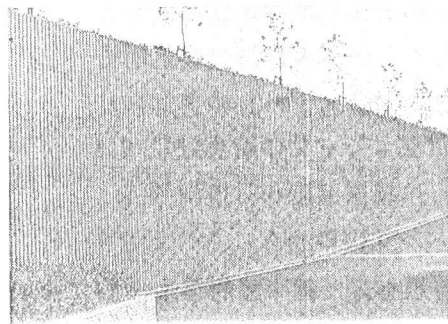
(VII) 標準品矩形ブロック積み
上部法肩植樹有り



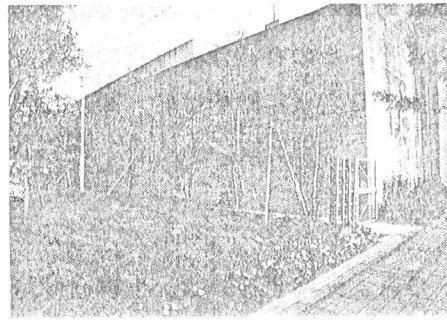
(VIII) 直壁上部ツル科植物の
垂下り下部植込有り



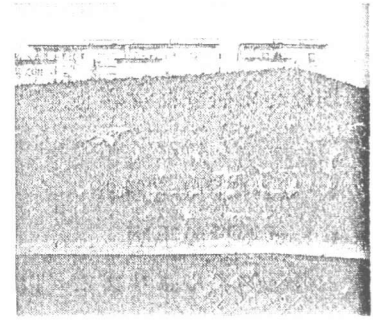
(IX) 急斜面現場打本法枠
ブロック枠内散草風



(X) 表面テクスチャー直壁上部疎な
植樹下部分植込有り



(XI) 直壁全面植樹と庭園風
植込有り



(XII) 緩斜面現場打本法枠
ブロック枠内散草風

写真 1 景観評価に用いたコンクリート擁壁

具体的には、離散化した求めるべき未知パラメータの変数（遺伝子）による線列を生成し、一組のアンケート結果*i*による表-1の14項目の評価値を用いてファジィ測度を求め、ファジィ積分を行うことによりファジィ評価値 $S_L(i)$ を得る。これとアンケート調査から得られた景観の総合評価レベル $V_0(i)$ から適合度 $F_{it}(i)$ を式(6)で定義した。

$$F_{it}(i) = 10 - |V_0(i) - S_L(i)| \quad (6)$$

すなわち、2つの評価値が完全に一致したときの適合度が10となる。従って、*n*組のアンケート結果に対する適合度 F_{sum} は、式(7)で定義できる。

$$F_{sum} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n F_{it}(i)^2 \quad (7)$$

こうして*n*組のアンケート結果に対して全体的な適合度 F_{sum} を最良値10として定義でき、適合度を最大にするようにGAにより世代交代をおこなうことになる。換言すれば、 F_{sum} を最大とした目的関数の最適化問題である。求める未知パラメータは、①重要度係数、②帰属度関数、③変数 λ とした。帰属度関数は、図-3に示すようにその関数の傾きを変化させることで、重複度が変化するようにしている。なお、左右の傾きを独立して変化させることにより、平均値の変化も併せて表現している。

4.2 逆解析

重要度係数は、[0.0,1.0]の範囲で0.1ピッチに離散化し、組み合わせ数は 11^{14} となる。帰属度関数は、左右独立に傾きを28分割し、 $28^2=784$ に離散化した。変数の数については判定値が7種類で評価項目が14であることより $7 \times 14=98$ であることより、組み合わせ数は 784^{98} となる。また、基本的なGAパラメータは表-3に示す通りである。本パラメータは、上述の組み合わせ数を考慮して、今までの経験から設定した。

表-3 GAのパラメータ

個体数	100
交差率	0.8
突然変異率	0.03
世代数	1000
線列群数	4

4.3 逆解析結果

得られたアンケート結果を用いて、GAによる逆解析を行った。各項目毎の重要度係数の逆解析結果を、図-4に示す。重要度係数の感度が高い評価項目は、「色彩」と「緑化の調和」に関するもので、従来景観の重要な要素であると考えられる項目が今回の逆解析でも明らかとなった。また、14項目のうち半数の項目は重要度係数に対する感度が全く無いことも明らかとなった。特に、緑化に関して樹木の高さや密度など、物理的尺度への変換が容易と考えられる項目が、景観評価を代表する項目として、必ずしも適切でないことを示唆している。

帰属度関数についての逆解析結果は、図-6に示すとおりである。初期に左右対称で与えたファジィ関数が左右非対称となって

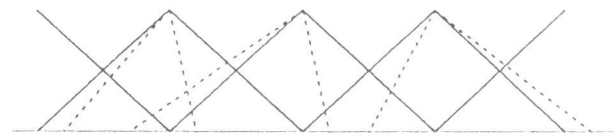


図-3 帰属度関数の傾きの変化

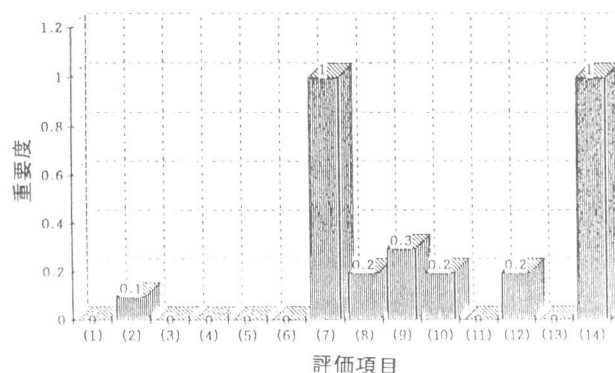


図-4 重要度に関する逆解析結果

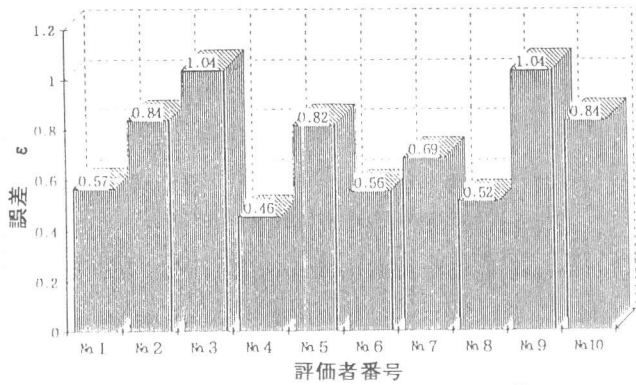


図-5(a) 評価者毎の誤差

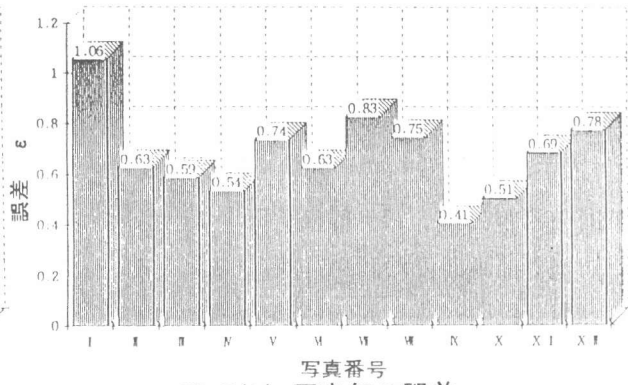


図-5(b) 写真毎の誤差

おり、特に非対称性が強くなっている部分は、評価値が大小の極端な場合つまり「非常に」や「かなり」の評価値に対するものと、前述の重要度の感度が高い評価項目である。このことは、着目する評価項目に、大小極端な評価点が与えられた場合に、総合評価に最も影響を及ぼし、その影響度合いは非線形に大きくなることが予想される。逆解析によって得られた総合評価とアンケート結果の誤差を評価者毎ならびに写真毎に集約して示したのが、図-5(a), (b)である。誤差 ϵ の定義は式(8)で示すとおりとした。

$$\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(S_L(i) - V_0(i))]^2 \quad (8)$$

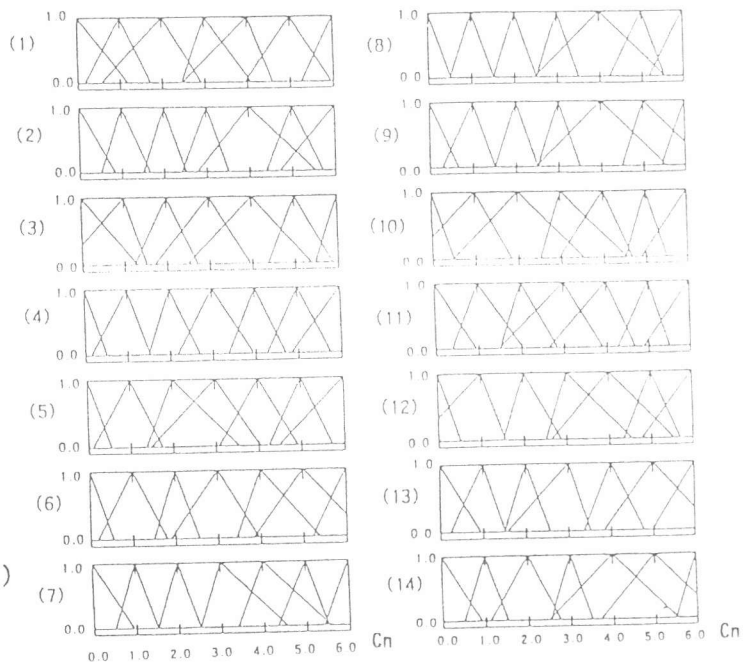


図-6 帰属度関数に関する逆解析結果

評価者毎の誤差は0.46から1.04と、評価者によって多少異なっている。誤差の少ない評価者は、評価が安定しており適切であると考えても良いが、全体的に見て評価点の誤差は、ほぼ1.0程度の範囲であり、総合評価が7段階であることを考慮すれば、今回行った景観評価の質が良いことを示唆している。また、写真毎の誤差はさほど特徴的な傾向は少ないが、写真によっては若干誤差が大きく、評価が難しいものも含まれていたと考えられる。

5.まとめ

本研究は、緑化されたコンクリート擁壁の景観評価を判断することを目的としており、主観的な立場からファジィ理論の利用を提案している。本研究で得られた知見は次の通りである。

- (1) 緑化された擁壁の景観評価に対し、ファジィ理論を用いることにより、景観を求める思考過程を数量化ができ、主観的な判断を定量的に表すことができる。
- (2) GAによる逆解析から求めた重要度係数の内、感度が高い項目は、「色彩」や「緑化の調和」など、極めて少数の要因で景観評価が可能であり、逆に樹木の密度などの物理的尺度への変換が容易な項目が必ずしも景観評価に重要ではないことが示唆される。