

(11) 感性工学に基づく沿岸域の景観評価手法

A study on techniques for aesthetic evaluation of coastal landscapes using artificial neural network

永瀬 恭一^{*}・松原 雄平^{**}・野田 英明^{***}

Kyoichi NAGASE, Yuhei MATSUBARA and Hideaki NODA

^{*}工修 (株)フジタ 技術研究所土木研究部 (〒224 横浜市都筑区大瀬町74)

^{**}工博 鳥取大学助教授 工学部土木工学科 (〒680 鳥取市湖山町南4丁目110番地)

^{***}工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科 (〒680 鳥取市湖山町南4丁目110番地)

In designing the coastal environments, we have to estimate the aesthetic influence on each element composing the coastal landscape. In this paper, the coastal landscape evaluation system is proposed through several stages of analysis. In the first stage, 30 persons as an observer group rate the coastal scenery for projected color slides which were taken at 28 coastal sites. The preference judging of observers are analyzed by the semantic-differential method for all of the presented slides. Using the multivariate technique, we characterize four categories as dominant factors for scenic preferences in principal component analysis. In the second stage, the landscape elements items and the score of scenic preferences obtain by the factor analysis are input to the neural network as initial data. Then relationship between those items and stores are characterized by sensitivity analysis of the neural network. After the verification of the estimation of the network, the coastal landscape evaluating system is developed using the artificial neural network.

Key Words: Kansei engineering, neural network, landscape, S-D index

1. はじめに

市民の自然環境への関心の高まりにともない、海岸保全施設や港湾施設は、その構造物としての本来の機能以外に、地域の風景と調和したランドマーク的あるいはシンボリックな優れた景観機能を合わせ持つことが要求されるようになってきている。しかし現行の設計法では、構造的あるいは経済的な最適設計が追求され、審美性、環境との調和性あるいは人々の感性を取り入れた評価がなされていると言いがたい。一般に審美性や調和性の評価は主観によるところが大きく、感覚的で曖昧な表現で示されるため、定量的に評価して、設計に取り入れることは困難とされてきた。

近年、感性工学¹⁾と言う商品開発分野における顧客のニーズを反映させる新しい設計手法が注目されている。感性工学とは、人間の感性やイメージを物理的なデザイン要素に翻訳し、感性にあった商品进行設計する手法である。人間がもつ「○○のようなモノが欲しい」という曖昧な要求イメージを再現するために、○○とはどういう色か、どのような機能なのかを分析して設計に取込む手法である。この手法はこれまで電化製品などの設計に利用されているが、白木・伊藤²⁾は橋梁の分野で応用を試みている。また、竹林³⁾は、河川景観に取り入れて河川景観感性工学システムを開発している。

本研究では、この感性工学に基づいて、人々が沿岸景

観に求める感覚的で曖昧な表現を、数量的に評価するシステムの構築とその適用性の検証を目的とする。まず、沿岸域の景観を表現する形容詞を利用してアンケート調査を行ない、景観に対する感性形容詞を主成分分析で分類した。この感性形容詞と具体的なデザイン要素（たとえば、都会的な一護岸の面積）の因果関係を、新しい情報処理法として注目されているニューラルネットワーク（以下、NN）を用いて定量的に評価するシステムを構築して、その適用性を検証した。その結果、景観評価システムの構築が可能であることを明らかにした。

2. 感性形容詞の抽出とアンケート調査

(1) 感性形容詞の抽出

前述のように、感性工学とは人間の感性やイメージを物理的なデザイン要素に翻訳して、感性に合った商品进行設計する手法¹⁾である。そこで対象を沿岸域の景観に置き換え、たとえば人々が海洋景観から「広々した」という感性を感じるためには、どのような「護岸の形式」や「砂浜の幅」であるかを分析して、具体的なデザイン要素である「海岸線の形状」「護岸や構造物の色相」などと結び付ける手法である。

この手法を沿岸域の景観評価に利用するためには、人々が沿岸域の景観を表現するために用いる感性形容詞

表-1 主成分分析結果

SD指標	主成分			
	1	2	3	4
雰囲気の良い	0.270	-0.022	0.042	-0.049
バランスのよい	0.263	0.014	0.075	-0.058
快適な	0.256	0.130	0.067	-0.105
親しみのある	0.255	-0.048	-0.120	0.033
落ち着いた	0.252	-0.034	-0.166	-0.169
綺麗な	0.246	0.035	0.208	-0.099
眺めのある	0.239	-0.131	0.180	-0.097
安らぎのある	0.235	-0.085	-0.215	-0.078
上品な	0.234	0.150	0.166	-0.122
潤いのある	0.226	-0.206	-0.045	0.111
都会的な	-0.061	0.427	0.111	-0.048
自然な	0.110	-0.397	-0.008	0.001
懐かしい	0.035	-0.390	-0.240	0.069
潮騒が聞える	0.060	-0.363	0.152	-0.187
安全な	0.109	0.320	-0.242	-0.150
明るい	0.190	0.276	0.064	0.201
動きのある	-0.051	-0.184	0.416	0.135
圧迫感のある	-0.157	-0.060	0.412	-0.009
特色のある	-0.168	0.056	0.317	0.313
優しい	0.240	0.045	-0.241	0.133
暖かい	0.175	-0.027	-0.233	0.474
すっきりした	0.220	0.078	0.130	-0.379
地域性のある	0.192	-0.056	0.237	0.347
広々した	0.203	-0.075	0.078	-0.309
楽しい	0.215	0.168	0.066	0.279

が必要となる。この感性形容詞は、あらかじめ多くの形容詞群の中から、沿岸域の景観を表現する為に用いられるであろうと思われるものから 200 個ほどを選び、「明るい⇔暗い」などと相反する形容詞対を作った。そのうち、重複するものや、意味が不明確なものを取り除き、最終的に表-1 のような 25 対の感性形容詞を選択した。

(2) アンケート調査

鳥取大学工学部土木工学科の学生 30 名を被験者として沿岸域の景観のスライドを見せながらアンケートを行った。スライドは自然海岸、人工海岸および港湾域など典型的な沿岸域の景観を含む写真を、書籍^{4),5)}や著者らが撮影したものの中から 28 枚を選んで作成した。この写真に対して抽出した感性形容詞を 5 段階の SD 指標として回答させた。

村上ら⁶⁾は、CG を利用した河川の景観評価に関するアンケートを行い、橋上から流路方向の映像だけを呈示した場合と、それに合わせてその両岸側 30° の映像を同時に呈示した場合について、被験者の河川景観に対する評価結果を比較している。その結果、呈示方法の相違による景観の評価結果には、大きな違いが出ないことを明らかにしている。本研究では村上らの結果をもとに、一つの景観に対するスライドは一枚だけを呈示して行なった。

(3) 主成分分析

アンケートで得られた得点は写真毎に、全員が最低点

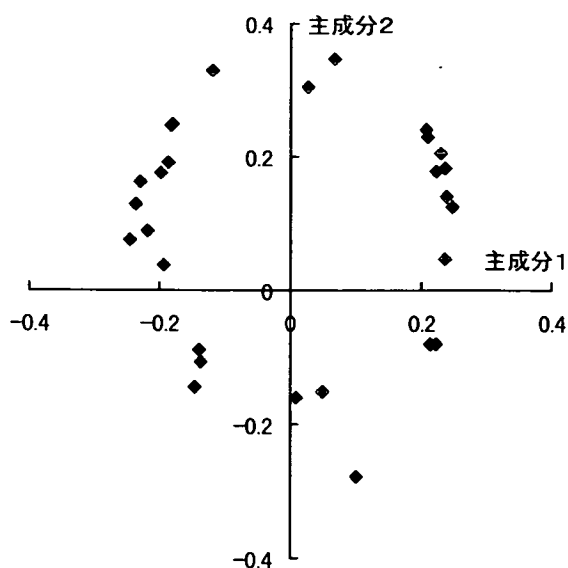


図-1 主成分得点の分布

を答えた場合に 0、最高点を答えた場合に 1.0 となるように集計した。対象者 30 名の回答を主成分分析した結果、表-1 の固有ベクトルが得られ、以下の 4 因子によって感性形容詞を整理できることが分かった。すなわち、

- 1) 全ての主成分ベクトルが正で、「雰囲気」や「バランス」などの全体的な印象を表現する形容詞が多く**総合的な評価**を表す第 1 因子
- 2) 「都会的な」が正、「自然な」「懐かしい」などが負を示す**都会性**を表す第 2 因子
- 3) 「動きのある」「圧迫感のある」が正、「安全な」「やさしい」が負を示す**動静感**を表す第 3 因子
- 4) 「暖かい」「楽しい」が正、「すっきりした」「広々した」が負となる**空間の利用度**を表す第 4 因子

である。このうち、第 1、第 2 因子に関して主成分得点の分布を示して意味空間を示したのが図-1 である。この図を見れば、それぞれの写真の「総合的な評価」「都会性」に対する評価を客観的に調べる事が出来る。この因子毎に、それぞれ形容詞対を 2 組選び景観評価システムを構築し、その適用性を検証した。

3. 景観評価システムの構築と適用性

(1) 景観評価システムの構築

景観評価システムは、主成分分析で得られた河川域の景観を表現する 4 因子について、NN を用いて個別に構築した。NN には入力として景観に影響を及ぼすデザイン要素（たとえば、前浜の面積の割合）を、出力としてアンケートによる得点を与え学習を行なった。この時、認識誤差の評価には拡散カルマンフィルタを応用したカルマン・ニューロトレーニング法⁷⁾を利用した。

デザイン要素は、表-2 に示す 34 要因を写真情報として計測した。そのうち、海岸線の構造・サイコベクトル・明度・色調関係などについて説明する。

海岸線の構造は、志摩ら⁸⁾が日立海岸の空間構成パタ

ーンについて定義したパターンを参考に、海岸線の全景から次の5種類に分類した。

- ①ほとんど湾曲していない直線海岸
- ②岬などで一方が区切られている湾
- ③岬などで両側が区切られているポケットビーチ
- ④崖などの屏風型
- ⑤自然海岸がほとんど確認できない人工海岸である。

サイコベクトルは、沿岸域の景観の表現に応用するには、どのようなものを採用すればよいか現時点において確立されていないが、①色々な条件で誰が行なっても同じように計測が可能であること②数量的に評価システムに取り込めることなどを考慮して、護岸と海岸線のエッジラインの長さを計測して、写真の幅、高さで無次元化して入力した。明度は、写真をスキャナーで読み込み、計測部分のRGB値を計測して算出する。色調関係は、田口⁹⁾を参考に、同等・類似・調和・不調和に分類した。

波の状況は、筆者の判断で4段階に分類し、人の項目は写真中の人物の顔が分かる程度に近いものを近景として数え、船は船種がわかるものは近景としてその種類を与え、それ以外は遠景として入力した。

以上のデザイン要素を入力層に、アンケートで得た得点を出力層に与えて、主成分分析で選られた因子ごとにNNを構築した。構築したネットワークに、別途デザイン要素のデータを入力すれば、景観に対する評価を得ることができる。

(3) 評価システムの適用性の検証

アンケート行ったスライド28枚から、任意に25枚を抽出してNNの学習データを、残りの3枚から検証用データを得た。これらのデータは各スライドに対してSD尺度による形容詞群から得られた得点とデザイン要素34項目の入力値である。

図-2は、未学習の3枚のスライドに対してNNが予測した結果と実際にアンケートから得られた得点とを比較したものであって、第1因子に分類した「バランスのよい」「雰囲気がよい」についての評価結果を示したものである。評価に使用したNNは、中間細胞数を2~15の間で計算して最も誤差が小さくなった中間細胞6の場合であり、アンケートによる得点を横軸に、NNの得点を縦軸に示している。すなわち、図中の直線からの距離が、NNによる予測誤差にあたる。

まず、「バランスがよい」に関してはアンケートによって得られた得点が0.57~0.64に対して、NNの得点が0.55~0.69となり、あまり大きな得点差は見られない。「雰囲気がよい」では、アンケートの得点が0.53~0.62に対して、NNの得点が0.39~0.61とばらつきが若干大きい。

第2因子に整理した「都会的な」「懐かしい」についての評価結果を図-3に示した。「都会的な」では、アンケートの得点が0.18~0.75と幅広いのに対して、NNの得点が

表-2 デザイン要素

項 目		入 力 値	
1	水平線	無・有	
2	視点	低い(<w.l.+5m), 高い	
3	海岸線の構造	直線・湾・PB・屏風・人工	
4	サイコベクトル	海 和	本文参照
5		水平成分	
6		鉛直成分	
7		護 和	
8		水平成分	
9	鉛直成分		
10	護岸の材質		無・ブロック・構造物
11	護岸の種類		無・直立・傾斜・混合型
12	前浜の幅		無・狭い・広い(海水浴可)
13	前浜の材質		無・岩・礫・砂・シルト
14	波の状況		無・さざなみ・碎波・大波
15	人(近景)		(10人を1として)
16	人(遠景)		(10人を1として)
17	船(近景)		無・漁船・レジャー・観光
18	船(遠景)		無・有
19	ランドマーク	有無	無・自然・人工
20		位置	手前・中央・対岸
21		サイコベクトルの和	本文参照
22		明度	同等・類似・調和・不調和
23	離岸堤の長さ		海岸線の長さを1として
24	突堤の長さ		海岸線の長さを1として
25	構 図	空が占める面積	全体へ対する割合
26		海が占める面積	全体へ対する割合
27		浜が占める面積	全体へ対する割合
28		護岸が占める面積	全体へ対する割合
29		緑が占める面積	全体へ対する割合
30		人工物が占める面積	全体へ対する割合
31	海の明度		本文参照
32	空の明度		本文参照
33	色相の色調と関係		同等・類似・調和・不調和
34	明度の色調と関係		同等・類似・調和・不調和

0.14~0.87と比較的精度よく再現できていることがわかる。また、「懐かしい」については、アンケートの得点0.33~0.56に対して、0.34~0.61と予測されているが、アンケートで0.35のものを0.52と評価しているなど、「都会的な」に比較してばらつきが大きい。

このように、アンケートによる得点をNNで正確に予測できるとはいえないが、全体的には傾向が再現できていることがわかる。入力データの見直しやデータ数を蓄積等によって、改善する余地があるが、沿岸域の景観を客観的に評価して数値的に表現できるシステムが構築可能なことがわかった。

4. デザイン要素と感性形容詞

(1) 感度分析とは

デザイン要素と感性形容詞の関係を明らかにするために、感度分析を行った。感度分析とは、評価システムのある入力値を変化させた場合に、システムによる評価の

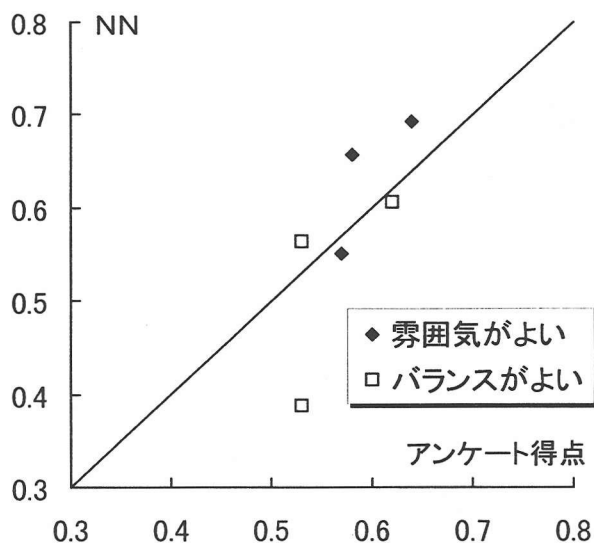


図-2 NNの評価(主成分1)

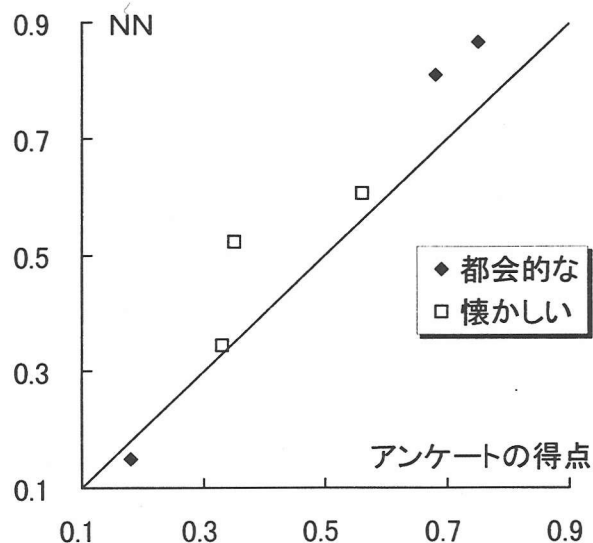


図-3 NNの評価(主成分2)

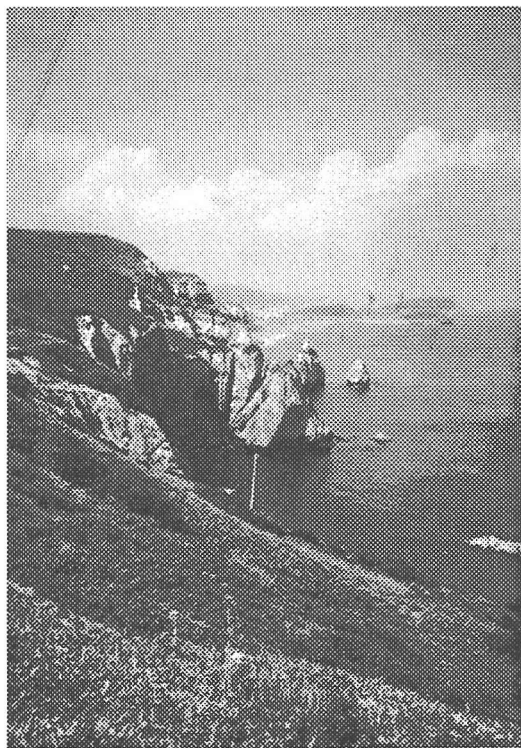


写真-1 岩崖海岸(室蘭海岸)⁴⁾

変化を分析し、両者の因果関係を明らかにすることである。たとえば、「霧囲気がよい」という形容詞に対する得点を高めるためには「〇〇を目立たなくすればよい」というような対処方法を整理しておけば、市民の景観への要求を反映するための手法を具体的に提案する手掛かりを見つけ出すために利用できる。

以下では、アンケートを行なった全ての写真に関するデータを用いて新たにNNを構築して、種々のデザイン要素に関する感度分析を行なって、その結果からシステムの適用性とデザイン要素と景観形容詞の因果関係について考察を加える。



写真-2 都市部の干潟(東京港野鳥公園)⁵⁾

(2)感度分析結果

第1因子で高い得点と低い得点を得た、2枚の写真に関するデザイン要素を元に、特定要素の入力値だけを変化させて算出した得点の変化によって検討を行なった。写真-1は、北海道の室蘭海岸⁴⁾である。この海岸は、切り立った岩崖で、人々には近寄りがたい印象をあたえるが、眺望が開けているためアンケートでは、「霧囲気がよい」で 0.82, 「バランスがよい」で 0.71 と、28枚の写真の中で、それぞれ1, 2位の高得点を得ている。この写真に対して感度分析を行なったのが表-3である。写真の中では中央右側に 1/10 程度見えている水平線を仮想的に見えないとして得点を計算してみると、それぞれ 0.66, 0.59 となり、0.16 および 0.12 減少する。

同様に、写真-2に示す都市部の干潟⁵⁾に対して検討を行なったのが表-4である。この写真では水平線が見えていないが、もし仮想的に水平線が見えるとして評価をすれば、2形容詞の得点はそれぞれ 0.34, 0.24 から 0.53, 0.50 へと大きく上昇し、水平線のあることによって、得点が向上することがわかる。この2枚の写真について水平線が見えることによって第1因子の2形容詞につい

表-3 感度分析結果（写真1）

			因子1	
			雰囲気	バランス
アンケートの得点			0.82	0.71
変更	水平線	あり→無し	0.67	0.59
	人（近景）	0→10人	0.83	0.67
	人（近景）	0→50人	0.78	0.59
	ランドマーク	無し→自然	0.90	0.79

表-4 感度分析結果（写真2）

			因子1	
			雰囲気	バランス
アンケートの得点			0.24	0.34
変更	水平線	無し→あり	0.50	0.53
	人（近景）	0→10人	0.24	0.36
	人（近景）	0→50人	0.30	0.47
	ランドマーク	無し→自然	0.29	0.30

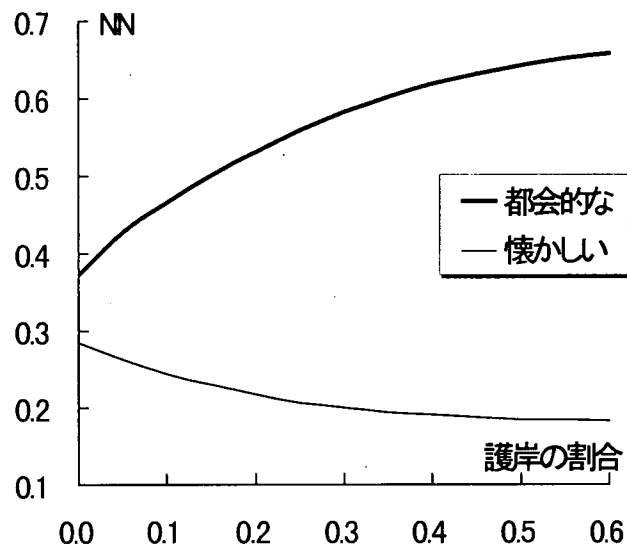


図-4 感度分析結果（主成分2）

てはその評価が高くなることが理解できたが、その変化の割合が一定ではなく、デザイン要素の影響は単純な重ねあわせではなく、その他の要素も従属的に影響していることがわかる。このように、NNによる景観評価システムは人間の複雑な感性を再現することが可能であることがわかる。

次に、写真中の人の有無についても解析したところ、興味深いことがわかった。写真-1,2 共にアンケートを行なった写真には人が見当たらないが、仮想的に50人いるとして解析したところ、写真-1 では得点が減少するのに対して、写真-2 の場合には得点が増加することがわかった。すなわち、写真-1 のように人工物がほとんど無く、自然が豊富なため「雰囲気がよい」で高得点を得ている景観に人間が多数いると得点は減少するが、写真-2 のように都市部の景観で得点が低い景観では、人間が集まることによって雰囲気がよくなったと判断することがわかった。同様にランドマークなどの要素でも、得点に同じような影響を与えることがわかった。

このように、存在の有無によって景観得点に影響を与える場合に対して、存在している因子の程度、すなわち数値の変化によって得点に影響する場合についても、感度分析を行なった。一例として、護岸の面積について検討した結果を図-4 に示す。ここでは、第2因子に整理された「都会的な」「懐かしい」に関して、デザイン要素のうち護岸の面積を変化させた。この時、空や前浜の面積な

表-5 デザイン要素と因子の関係

因子		1	2	3	4
1	水平線	○	○	—	○
2	視点	—	○	△	—
3	海岸線の構造	—	—	—	—
4	サイコベクトル	和	△	—	—
5		水平成分	—	—	—
6		鉛直成分	—	—	—
7		和	—	—	—
8	護岸	水平成分	—	—	—
9		鉛直成分	—	—	—
10	護岸の材質	△	○	△	○
11	護岸の種類	—	○	—	△
12	前浜の幅	—	○	—	○
13	前浜の材質	△	○	—	—
14	波の状況	○	○	○	△
15	人（近景）	○	○	○	○
16	人（遠景）	—	○	○	○
17	船（近景）	—	○	△	△
18	船（遠景）	△	○	—	△
19	ランドマーク	有無	—	△	△
20		位置	△	○	○
21		サイコベクトル	—	○	○
22		明度	—	△	○
23	離岸堤の長さ	△	○	△	—
24	突堤の長さ	—	○	△	—
25	構図の割合	空の面積	△	○	—
26		海の面積	—	△	△
27		浜の面積	—	○	—
28		護岸の面積	—	△	—
29		緑の面積	—	○	△
30		人工物の面積	—	△	△
31	海の明度	—	△	—	—
32	空の明度	△	△	△	—
33	色相の色調と関係	△	△	○	○
34	明度の色調と関係	△	○	△	△

○依存する、△少し依存、—ほとんど依存しない

ど、他の入力データには平均的な数値を与えてシステムの出力を表示した。図-4 に示されるようにNNは、護岸の面積が増えれば「都会的な」という評価が増し、「懐かしい」という評価が減少すると判断することがわかった。これらの結果についてはさらに検証する必要があるが、NNによってデザイン要素の割合など数値的な変化についても評価できることがわかった。

(3) デザイン要素と因子の因果関係

ここまで、一部の感性形容詞とデザイン要素の因果関係について説明して、景観評価システム適用性を検証したが、その他のデータについても同様の検討をすすめ、整理したのが表-5である。図中には、感性形容詞とデザイン要素の関係について感度分析を繰り返し、○：依存する、△：少し依存する、－：ほとんど依存しないというように整理した。

表によれば、第1因子は水平線、波の状況、人（近景）などの入力値に大きく依存することがわかる。同様に第2～4因子に関しても、それぞれ依存するデザイン要素が明らかになり、因子によって依存する要素とその数が違うことがわかる。

また、デザイン要素に注目すると、ほとんどの因子に影響を与えているものと、サイコベクトルのようにあまり影響を与えないものがある。サイコベクトルは橋梁などの計画には重要視されてはいるが、沿岸域の景観などにはあまり影響を与えないことがわかった。このことは、サイコベクトルの定義に問題があるとも考えられるが、他の要素に相関が高いものが存在するため、サイコベクトルには依存する必要が無かったためとも考えられる。

以上のように、感度分析によって市民の景観に対する要請に対応するために、どのような要素について変更を行えば有効かを明らかにすることができた。今後、この結果を参考にして、評価にはあまり影響をあたえないデザイン要素を削除したり、大きく支配する要素については細分化して、景観評価システムの再構築を行ないたい。

5. おわりに

沿岸域の景観を表す感性形容詞と写真を用いてアンケート調査によって集計したデータを用いて、主成分分析を行うとともに、NNを用いた景観評価手法を提案した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) アンケート結果を主成分分析した結果、4つの主要因子に整理できることがわかった。
- 2) デザイン要素とアンケートの得点を用いて、NNによる景観評価システムを構築して、人間の主観を評価することが可能なことがわかった。

- 3) 感度分析によって、デザイン要素と感性形容詞の関係が明らかになった。

今後は、更にアンケート調査を重ねて教師データを蓄積するとともに、本研究で明らかになったデザイン要素と感性形容詞の関係を更に詳細に検証する必要があるだろう。また、人間工学的なアプローチを取り入れて、景観評価システムに与えるデータを再検討して、デザイン要素の絞り込みや追加を行なって、より高度な評価システムの構築を検討したい。また、システムの汎用性と信頼性を高める為にはアンケートデータの蓄積が必須であり、広範囲の被験者から多くのデータを集積するために、近年急速な発達をしているインターネットによるアンケートを試みるとともに、景観シミュレーション技術を組み合わせた、景観設計支援システムの構築を目指して検討を進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 長町三生：感性工学, p138, 海文堂, 1989.
- 2) 白木 渡・伊藤則夫：感性工学手法による斜張橋の景観評価に関する研究, 第51回土木学会年次学術講演会概要集, pp.244～245, 土木学会, 1996.
- 3) 竹林征三：風土工学序説, 技報堂出版, pp.294～299, 1997.
- 4) 土木学会海岸工学委員会：日本の海岸と港, 第2集, p.218, 土木学会, 1994.
- 5) 日本海洋開発建設協会海洋工事技術委員会：これからの海洋環境づくり, p.213, 山海堂, 1995.
- 6) 村上三郎, 西名大作, 村上浩之：河川画像の呈示方法による被験者評価結果の比較, 日本建築学会計画系論文報告集, 第426号, pp.45～55, 1991.
- 7) 村瀬治比古・小山修平・石田良平：カルマン・ニューロコンピューティング, p175, 森北出版, 1994.
- 8) 志摩邦雄・小柳武和・山形耕一・秋元孔宏：日立海岸における空間構成パターンとその特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.1161～1165, 1995.
- 9) 山本 宏：橋梁美学, 森北出版, 1980.
- 10) 田口三郎：色彩学, 共立出版, 1965.