

ニューラルネットワークを利用した海岸景観の評価に関する研究

永瀬 恭一*・松原 雄平**・野田 英明***

1. はじめに

わが国の沿岸域, とりわけ大都市域の海岸部では大規模な開発が進められつつあり, 自然海岸は減少の一途をたどっている。一方で市民の環境への関心の高まりとともに沿岸域の環境, 特に海岸景観の役割は, 年々重要度を増してきており, 海岸保全施設や港湾施設は, その構造物としての本来機能の他に, 周辺景観との調和や風景の中のランドマーク的優れた景観機能を要求されている。また, 海岸域の開発行為によって生じる景観の変化を, 人間の価値観とか経済的尺度と関連させ評価することも必要になると思われる。しかし, 一般に景観に対する市民の審美性や調和性の評価は主観によるところが大きく, 「○○のような」とか「○○らしい」というような感覚的で曖昧な表現で示される。したがって, 施設の基本的機能として, 安定性, 耐久性を確保した上で, 景観的に優れた環境を創造するための設計手法を確立させることが急務といえよう。

現在, 景観などを客観的に評価する手法として, SD 法 (Semantic Differential 法) が用いられる (たとえば, 増山; 1996)。著者ら (1998 a) は既に, 沿岸域の景観評価に関して写真の提示方法や調査項目などを変化させたアンケートを行って, この SD 法を利用した海岸景観の評価方法について検証している。本研究では, この結果を元に SD 法を用いたアンケートによって, 海岸景観に関する人々の感覚的で曖昧な表現の定量的な分析を試みる。さらに, 長町 (1989) の提案した感性工学と, ニューラルネットワーク (以下, NN) を用いて, 任意の景観に対して客観的に評価できる手法を提案した。ここで導入した感性工学とは, 顧客 (市民) の商品 (景観) に対する要求イメージを具体的な設計手法に結びつけるテクノロジーで, 既に電化製品や自動車などの設計に用いられている手法である。土木構造物に関しては, 竹林 (1997) が河川景観を具体化するための手法として利用している。

以下では, 海岸景観の定量的評価の確立を目指し, 実証的に行った検討結果について示す。

2. 海岸景観に関する人々の評価

(1) SD 法によるアンケート調査

SD 法は意味差分法とも呼ばれ人間の曖昧な感性を定量的に評価する際に, しばしば使用される。通常は相反する意味をもつ形容詞対を用いて尺度化が図られる。本研究では参考文献等の資料から, 海岸域の景観を表現すると思われるもの形容詞 200 個をあらかじめ選び, 「明るい ⇔ 暗い」のように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, 78 の景観形容詞対を利用して 5 段階で評価するようにした。この中には, 被験者の景観に関する好みを調べるために, 「好き ⇔ 嫌い」という指標も加えた。

被験者は, 全て鳥取大学工学部土木工学科の学生とした。A 4 版に印刷した海岸景観の写真を机上において, 被験者が移動しながら景観に対するイメージを回答する方法をとった。この時, 写真毎の制限時間は設けず自由に回答をさせ, 既に回答を行なった写真に戻ることも自由とした。

アンケート調査に使用された写真は, 書籍 (土木学会 海岸工学委員会; 1994, 日本海洋開発建設協会海洋工事技術委員会; 1995) や著者らが撮影した写真から, できる限り自然海岸, 人工海岸および港湾域などの典型的な海岸域の景観を含むように選ばれた 28 枚である。アンケート結果は統計的処理を行い, ばらつきなどを確かめるとともに, 全員が 5 段階の最も最高点を記録した時に 1.0, 最低点を記録した場合に 0 となるように,

$$P = 0.25 \times (4N_5 + 3N_4 + 2N_3 + N_2 + 0N_1) / \sum_{i=1}^5 N_i$$

として集計した。ここに, N_i : 5 段階の i と評価した被験者の数である。

(2) 主成分分析

アンケート結果を整理したところ, 78 個の指標間で相互に相関の高いものがいくつかあることが分かった。そこで, 相関係数が 0.85 以上のものを取捨選択し, 最終的に残った 56 形容詞対に対して主成分分析を行った。その

* 正会員 工修 (株) フジタ 技術研究所土木研究部
** 正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部土木工学科
*** 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科

表-1 ブロックの移動実績

変 数 名	主 成 分							因 子
	1	2	3	4	5	6	7	
雰囲気の良い 快適な 潤いのある 美しい バランスが良い	0.209 0.206 0.198 0.190 0.181	-0.026 0.049 -0.088 -0.022 -0.010	0.048 0.020 -0.054 0.115 0.119	-0.030 -0.017 -0.043 -0.069 0.116	-0.047 -0.081 -0.017 -0.009 -0.113	0.000 0.025 -0.083 -0.001 -0.014	-0.041 -0.010 -0.058 -0.058 -0.068	雰囲気が良い 快適な ↓ 調和性
都会的な 斬新な 自然に調和した 素朴な	0.009 0.120 0.095 0.020	0.307 0.213 -0.272 -0.295	0.023 0.038 0.033 -0.026	0.039 -0.170 -0.080 0.106	-0.047 0.065 -0.050 0.007	0.084 -0.054 0.004 -0.004	0.028 0.092 -0.110 0.105	
力強い ダイナミックな 優しい 女性的な	-0.006 0.063 0.141 0.116	-0.065 -0.013 0.057 0.126	0.318 0.312 -0.241 -0.251	-0.091 -0.115 0.062 -0.002	-0.085 0.057 -0.045 0.072	0.115 0.041 -0.053 -0.088	-0.025 -0.090 0.100 -0.052	
広い 開放感のある 安定感のある 落ち着いた	0.044 -0.079 0.105 0.100	-0.014 0.023 0.143 0.133	0.047 0.047 0.114 0.027	0.342 0.330 0.160 -0.278	-0.152 0.070 0.123 0.040	0.054 -0.063 -0.044 0.014	-0.030 0.172 0.111 0.238	
シンプルな 単調な 連綿性のある 個性的な	0.130 0.172 0.088 0.109	-0.043 0.026 0.168 -0.134	0.131 0.011 0.097 -0.088	0.157 0.086 0.169 -0.163	0.302 0.289 -0.222 -0.280	0.012 0.150 0.163 -0.163	0.029 0.035 -0.124 0.139	
明るい すっきりした 繊細な 無機質な	0.109 0.155 0.182 -0.039	0.170 -0.013 0.053 0.110	0.017 0.106 -0.077 0.206	0.018 0.165 0.023 0.074	-0.038 -0.108 -0.037 -0.025	0.429 -0.244 -0.271 -0.363	-0.083 -0.107 0.012 -0.028	明るい ↑ 明美性 ↓ 繊細な
地域性を含んだ 奥行き感のある 工夫された 存在感のある	0.094 0.122 0.083 0.094	-0.219 -0.062 0.229 0.035	-0.033 0.204 -0.110 0.196	-0.124 0.076 -0.119 -0.239	-0.062 0.195 -0.017 -0.004	0.109 -0.041 -0.146 0.028	0.307 0.268 0.257 0.242	
固有价值	20.714	9.518	7.867	6.048	2.513	1.981	1.141	
累積寄与率	0.370	0.540	0.680	0.788	0.833	0.869	0.906	

表-2 主成分得点

写 真	因 子							好ま しい
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0.21	-0.59	0.06	1.26	-0.37	0.01	-1.22	0.54
2	0.27	-0.82	-0.08	0.25	-0.68	-0.65	-0.17	0.63
3	-0.05	-0.64	0.23	-0.57	-0.11	-1.38	0.71	0.58
4	0.61	-0.47	0.97	-0.81	-0.56	0.74	0.83	0.77
5	-0.54	-0.26	1.22	-0.76	0.30	0.63	-0.81	0.44
6	0.31	-0.23	0.59	-0.80	0.10	0.29	-0.15	0.69
7	0.49	-0.35	-0.18	-0.35	-0.08	-0.49	-0.06	0.71
8	0.52	-0.30	-0.51	-0.68	0.49	-1.45	1.06	0.65
9	-0.98	-0.34	-0.86	0.55	1.55	-0.51	-0.52	0.27
10	-0.25	0.92	0.48	0.27	0.01	1.15	-0.35	0.38
11	0.45	0.48	-0.19	0.00	-0.42	-0.55	-0.43	0.58
12	0.25	0.90	0.08	-0.28	-0.08	-0.25	-1.25	0.48
13	0.35	0.17	-0.44	-0.93	0.95	-0.10	0.77	0.65
14	-0.96	-0.12	-0.47	0.67	0.88	-0.16	-0.94	0.29
15	-0.64	-0.18	-0.33	0.63	0.32	-0.40	-0.98	0.35
16	0.66	0.40	-0.17	-0.55	-0.03	-0.85	0.23	0.73
17	-0.01	0.63	0.66	0.61	-1.10	0.97	-0.02	0.52
18	-0.15	0.59	0.29	0.22	-0.06	1.07	0.14	0.52
19	-0.04	0.48	-0.07	0.68	-0.63	-0.32	-0.45	0.46
20	-0.01	-0.60	-0.44	0.60	-0.58	-0.25	0.71	0.54
21	-0.20	-0.65	-0.28	0.59	-0.95	-0.58	-0.04	0.50
22	-0.71	-0.80	-0.55	-0.55	0.82	0.06	2.36	0.35
23	-0.13	0.77	-0.19	0.00	0.77	1.55	-0.48	0.54
24	0.53	1.03	0.26	-0.68	-0.33	0.87	0.17	0.71
25	0.29	0.33	-0.33	0.37	-0.43	-0.42	0.59	0.58
26	-0.10	0.39	-0.07	0.01	-0.21	0.90	0.50	0.52
27	-0.06	-0.40	-0.11	0.37	-0.09	-0.24	-0.07	0.54
28	-0.10	-0.35	0.43	-0.11	0.54	0.33	-0.12	0.54

結果、表-1のように56対の形容詞は大きく7因子に整理されることがわかった。紙面の都合から表には主なものだけを示しているが、主成分ベクトルの値から各因子は、①「雰囲気が良い」など総合的な評価を表す調和性、②「都会的な」が正、「素朴な」が負の都会性、③「力強い」が正、「女性的な」が負の優美性、④「シンプルな」が正、「個性的な」が負の単調性、⑤「広い」が正の開放性、⑥「明るい」が正の明美性、⑦「地域性のある」「工夫された」が正の独自性、のように意味づけられることがわかった。

主成分分析結果は、表-2に示した主成分得点を用いて、各写真の特性比較の手段として利用できる。図-1は、表-2に示した全ての写真の主成分得点のうち、因子②（都会性）と因子③（優美性）の主成分得点をプロットしたものである。この図より、各写真の持つ特性を把握できる。すなわち、アンケートから得た得点では、それぞれの指標がどのような因子について質問しているのかを理解することは難しいが、このように多くの指標から主成分分析を行なって主成分得点を求めることによって、市民の景観に関する感性を客観的に評価することが

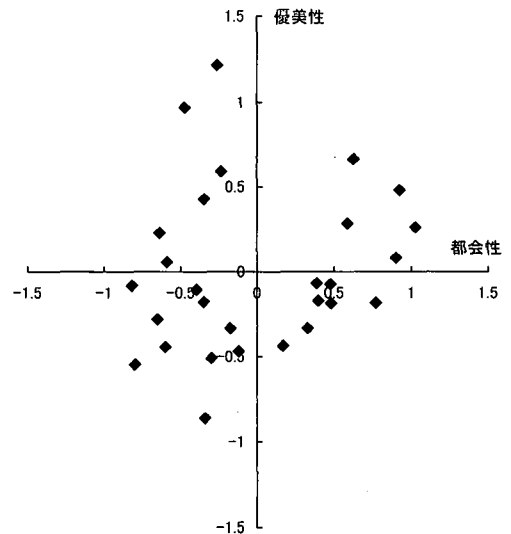


図-1 主成分得点の分布

可能となる。

(3) 重回帰分析

アンケートの「好ましい⇔好ましくない」の得点から、

被験者がどのような景観を好むかを調べた。表-2は、全写真の主成分得点と、アンケートによる「好ましい」という指標の得点を示したものである。主成分得点と「好ましい」の得点について重回帰分析を行った。その結果、各因子の主成分得点を X_i として、「好ましい」の得点 Y を表す重回帰式を求めると、

$$Y = 0.264 X_1 - 0.062 X_2 - 0.0186 X_3 - 0.050 X_4 - 0.012 X_5 + 0.036 X_6 - 0.007 X_7 + 0.538 \dots (1)$$

となった。このとき、重回帰係数は 0.97、標準誤差は 0.037 であった。回帰式 (1) の係数を見れば、因子①(調和性)の係数が特に大きいことがわかる。しかし、表-1に示したように因子①に関する係数が大きい指標として、「雰囲気が良い」「美しい」など、総合的な評価を示しているものが多く、「好ましい」と同じような指標であることがわかる。そこで、因子①を除いて、因子②～⑦の主成分得点を用いて、重回帰分析を行ったところ、

$$Y = -0.038 X_2 - 0.117 X_3 - 0.2176 X_4 - 0.171 X_5 + 0.032 X_6 - 0.041 X_7 + 0.538 \dots (2)$$

となった。この場合の重回帰係数は 0.805、標準誤差は 0.088 であった。回帰式 (1)、(2) の係数の絶対値を比較すれば、因子③、④、⑤に関するものが大きく、被験者の好みを支配していることがわかる。すなわち、被験者は優美で、個性的で、自然な景観を望んでいることがわかった。このように、主成分分析によって各因子の持つ意味を明らかにしておけば、景観の客観的な評価に用いることができる。

3. 景観評価システム

(1) システムの構築

通常、景観評価を行う度にアンケート調査を実施するのは困難である。そこで、NN を用いて景観を客観的に評価できるシステムを構築した。入力値として景観評価に影響を及ぼすと考えられるデザイン要素(たとえば、前浜の面積など)を与えて、あらかじめ人々の景観に対する感性を学習させておけば、学習させた NN から任意の景観に対する得点が出力されるシステムである。

デザイン要素としては、表-3に示す 34 要因を写真から計測した。そのうち、海岸線の構造・サイコベクトル・明度・色調と関係について以下に示す。

海岸線の構造とは、志摩ら (1995) が日立海岸の空間構成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

表-3 デザイン要素

項 目		入 力 値	
1	水平線	無・有	
2	視点	低い (<w.l.+5 m), 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	和	本文参照
5		水平成分	
6		鉛直成分	
7		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・砕波・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 造	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	色相の色調関係	同等・類似・調和・不調和	
34	明度の色調関係	同等・類似・調和・不調和	

である。

サイコベクトルは、橋梁などの景観設計で用いられる指標で、山本 (1980) によれば、視覚を刺激して人々の関心を引き起こす心理的な力をあらわすものとされている。海岸域の景観に関して視覚を刺激するものとして、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、護岸や海岸線のエッジラインの長さを計測して、写真の幅や高さで無次元化して入力した。また、景観の中で最も特徴的なランドマーク的なものを選んで、その位置や人工物が自然物の区別などを入力した。

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。色調と関係は、田口 (1965) を参考に、同等・類似・調和・不調和に分類した。

波の状況は、筆者らの判断で 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、主成分分析で選ばれた因子ごとに

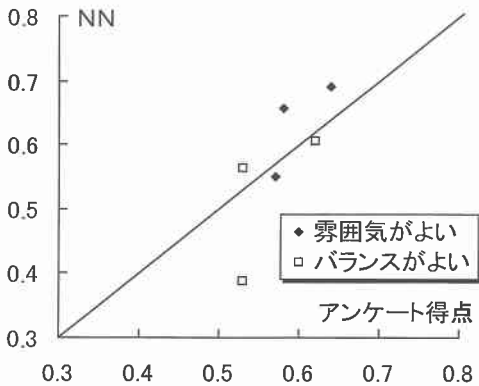


図-2 NN による評価とアンケートの比較

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。

(2) 景観評価システムの検証

アンケートを行った 28 枚の写真のうち、検証用に用いる 3 枚分のデータを除き、残りの 25 枚の写真に関するデザイン要素データを NN に学習させた。NN を構築する際に、中間細胞の層数やその個数に関しては、以下のように試行錯誤的に決定した。まず、中間細胞を一層としてその個数を 3~15 個程度として構築した。その後、検証用の 3 のデータを入力した結果とアンケートの得点を比較し、最も誤差の小さい中間細胞の個数を採用した。このシステムに、検証用の未学習の 3 枚のデザイン要素を与えて得られた、因子① (調和性) に関する結果を図-2 に示す。NN で評価した得点と、アンケートによる得点を比較した。「バランスのよい」で両者に違いが見られるが、全体的には良好な一致が見られる。

4. デザイン要素と因子の因果関係

NN の重みや感度分析によるデータから、デザイン要素と因子との結びつきを明らかにしておけば、景観をデザインする際の有効な資料となる。たとえば、開放性を高くしたい場合には〇〇を増加させれば良いというような手法に応用できると考えられる。

(1) NN の重み係数

NN は、入力層、中間細胞、出力層がシグモイド関数とそれに乗ずる重み W で構成されている。この重みから入力層のデザイン要素と出力層の景観評価得点の因果関係を調べることができる。図-3 は因子① (調和性) に関する NN の重み W を示したもので、ネットワーク内の要素間の結合状況を表す。図中には中間細胞と出力層間の重みから $|W| > 0.7$ のものを示した。そのうち大きな重みで結ばれている中間層細胞 2 つを選び入力層との重みを

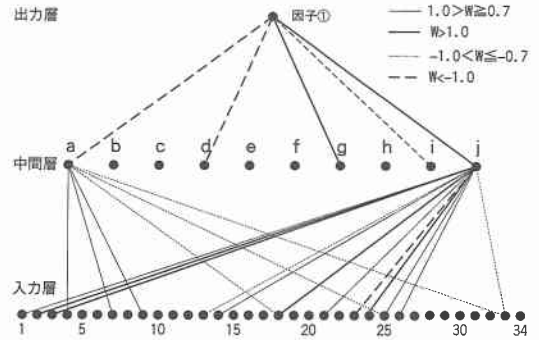


図-3 NN の結合状態 (因子①)

示した。また、入力層の番号は、表-3 に示した番号である。同図の中の細胞 j に注目すれば、視点、海岸線の構造、船(遠景)、離岸堤、突堤などの重みが大きく、これらが複雑に組み合わせられて「調和性」に結びついていることがわかる。

(2) 感度分析

感度分析とは、構築した NN で入力項目である景観アイテムのうち一つだけを変化させて、その他の入力データは平均的な数値を与えて、特定のアイテムに対する変化を調べ、入力値と出力値の因果関係を明らかにする数値実験のことである。たとえば、アンケートの「都会的な」でほとんど人工物が見られず得点の低かった景観 A と、樹木など自然なものがほとんどみられず得点が高い景観 B に関して、護岸の面積を変化させた場合の因子⑤ (解放性) に関する評価を図-4 に示す。図中の得点は、因子⑤の主成分ベクトルが大きい「シンプルな」に関するものである。

両者とも、護岸の面積が大きくなるにしたがって、評価が減少することが分かる。他の要因については一定としているので近似的ではあるが、護岸面積の増加によって景観評価が下がっていくことが明示されている。この

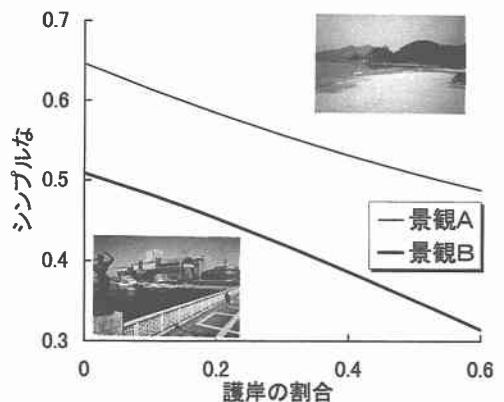


図-4 感度分析

表-4 デザイン要素と因子の因果関係

項 目	因 子						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
1 水平線	○	△	—	△	○	△	○
2 視点	△	—	△	—	—	○	△
3 海岸線の構造	—	△	○	—	—	△	△
4 サイコベクトル	—	—	—	—	—	—	—
5 海岸線	—	—	—	—	—	△	—
6 水平成分	—	—	—	—	—	△	—
7 鉛直成分	—	—	—	—	—	△	—
8 和	—	—	—	—	—	△	—
9 護岸	—	—	—	—	—	△	—
10 水平成分	—	—	—	—	—	△	—
11 鉛直成分	—	—	—	—	—	△	—
12 護岸の材質	—	△	○	○	—	△	—
13 護岸の種類	○	△	○	—	—	△	○
14 前浜の幅	○	—	○	△	△	—	—
15 前浜の材質	△	△	○	△	△	—	△
16 波の状況	△	—	○	—	○	○	△
17 人 (近景)	○	○	○	△	○	○	○
18 人 (遠景)	—	△	—	△	○	—	—
19 船 (近景)	—	△	△	—	—	○	△
20 船 (遠景)	○	△	△	○	—	—	—
21 ランド	—	—	○	△	—	○	—
22 マン	○	△	○	△	○	○	—
23 ク	○	○	△	○	△	○	△
24 有無	△	○	△	△	—	○	△
25 位置	△	○	△	△	—	○	△
26 サイコベクトル	△	○	△	△	—	○	△
27 明度	△	○	△	△	—	○	△
28 離岸堤の長さ	△	—	△	△	○	○	△
29 突堤の長さ	○	○	△	△	—	△	—
30 空	—	—	△	—	—	△	—
31 海	—	—	—	—	—	—	—
32 前浜	△	—	△	○	—	△	△
33 護岸	△	○	△	○	—	△	—
34 緑	—	△	—	△	—	△	—
35 人工物	—	○	—	△	—	○	△
36 海の明度	—	—	△	△	—	△	—
37 空の明度	—	○	○	○	△	—	—
38 色相の色調関係	○	○	△	△	○	○	○
39 明度の色調関係	○	—	○	—	△	△	△

“○依存する, △少し依存, —ほとんど依存しない”

ように NN による評価は、図-3 に示したようにいくつかの要因が複雑に影響している構造ならびに、その影響度を調べる上で有効であるといえる。

(3) デザイン要素と評価の因果関係

以上の分析を、すべてのデザイン要素と因子に関して繰り返した結果を表-4 に示す。この表によると因子によって、依存するデザイン要素の数や種類が違うことが分かる。

デザイン要素毎に注目すれば、サイコベクトルのように、ほとんどの因子に影響を与えないものや、色相の色調関係のようにすべての因子に影響を与えるものと分けられる。サイコベクトルに関しては、海岸線や護岸のエッジラインの長さを計測して入力したが、あまり評価に影響を与えないことがわかった。この要素自体が意味の小さいものであるのか、他の要素に含まれているの

か、判別することはできなかった。一方で、人 (近景) や護岸の種類、空の明度等への依存が大きく現れている。今後、影響の大きい要素を細分して精度の向上を図るなど、要素の再検討を行う必要があると思われる。

5. おわりに

SD 法を用いたアンケートから海岸域の景観を客観的に評価する方法を示し、そのデータをもとに NN を用いた景観評価システムを構築した。その結果、以下のことが明らかになった。

1) SD 法で得たデータを主成分分析した結果、海岸域の景観評価に関して 7 つの因子を確認できた。また、主成分得点の応用性について論じた。

2) NN を使った景観評価システムで、人間の主観を評価することが可能である。

3) NN の重みを調べたり感度分析を行なうことによって、デザイン要素と評価の因果関係を明らかにした。この結果は、海岸域の景観設計などにも応用できることがわかった。

以上のように、著者らが提案した手法が、海岸域の景観評価などに利用できることが分かった。実務に利用するためには感度分析の結果などを参考にして、デザイン要素の見直しを行うなどの改良を進める必要があると思われる。また、デザイン要素毎に詳細な検討がさらに必要であると考えられる。今後、CG などを利用して評価システム適用性を高めていきたい。

参 考 文 献

- 志摩邦雄・小柳武和・山形耕一・秋元孔宏 (1995): 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.
- 田口三郎 (1965): 色彩学, 共立出版, 164 p.
- 竹林征三 (1997): 風土工学序説, 技報堂出版, pp. 294-299.
- 土木学会海岸工学委員会 (1994): 日本の海岸と港, 第 2 集, 土木学会, 218 p.
- 永瀬恭一・松原雄平・野田英明 (1998a): 沿岸域の景観評価に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 495-500.
- 永瀬恭一・松原雄平・野田英明 (1998b): ニューラルネットワークを用いた河川景観の評価手法, 水工学論文集第 42 巻, pp. 295-300.
- 長町三生 (1989): 感性工学, 海文堂, 138 p.
- 日本海洋開発建設協会海洋工事技術委員会 (1995): これからの海洋環境づくり, 山海堂, 213 p.
- 増山英太郎 (1996): 都市景観評価における SD 法, 景観デザインにおけるシミュレーション・評価・プレゼンテーションの活用とその実際, 工業技術会, pp. 200-218.
- 山本 宏 (1980): 橋梁美学, 森北出版, 317 p.