

ニューラルネットワークを用いた 河川景観の評価手法

A STUDY ON TECHNIQUES FOR AESTHETIC EVALUATION OF RIVERINE LANDSCAPES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

永瀬 恭一¹・松原 雄平²・野田 英明³

Kyoichi NAGASE, Yuhei MATSUBARA and Hideaki NODA

¹正会員 工修 (株)フジタ 技術研究所土木研究部 (〒224 横浜市都筑区大綱町7-4)

²正会員 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)

³正会員 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)

When designing the river environments, it is very important to analyze the aesthetic influence on each element composing riverine landscape. In this paper, the riverine landscape evaluation system was proposed through two stages of analysis. In the first stage, 30 persons as an observer group rated the riverine scenery for projected color slides which were taken at representative 30 points. The preference judging of observers were analyzed by the semantic-differential method for all of the presented slides. Using the multivariate technique, we characterized 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 obtained by the factor analysis were input to the neural network as initial data. Then relationship between those items and scores were characterized by sensitivity analysis of the neural network. The riverine landscape evaluating system was developed using the artificial neural network.

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

1. はじめに

近年、地域住民の生活空間あるいは環境条件に対する意識向上が著しく、土木工学の分野でも自然の保全や美しい景観の創出に十分に配慮することが、事業計画上欠かせない条件となっている。特に、都市域の河川空間は、自然で開放された貴重な存在として認識されるようになった。このような、市民の要求に応えるように河川改修に際しては、「三面張り」に代表されるような画一的な水路ではなく、生態系に配慮した「多自然型川づくり」やアメニティ性や景観機能を取り入れた「親水公園」などを取り入れた河道計画が一般的な手法として定着してきた。生態系に配慮した河道の設計法に関する研究の進歩はめざましく、既に全国各地で種々の生物に配慮した計画が進められている。

一方、景観に配慮した設計手法に目を転じれば、設計者の主観に負うところが大きく、感覚的で曖昧な表現で示される景観を定量的に評価し、的確に設計に取り入れることは困難で、環境との調和性あるいは人々の感性を取り入れた評価をもとに計画がな

されているとはいいがたい。

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、電化製品などの設計に利用されているが、土木工学の分野では橋梁周辺の景観評価などに応用が試みられている²⁾。著者ら³⁾は、海岸の景観にこの手法を適用して、景観に対する人間の感性を客観的に予測が可能なることを示した。また、竹林は⁴⁾河川景観評価に水域の地形的、歴史的ならびに文化、生活的な要因を取り込んだ風土工学を提案している。本研究は、特に上記要因の中の地形的要素に注目し、同要素の中で河川景観に影響を及ぼす因子を抽出し、さらにその影響を定量的に評価する方法を提案するものである。

すなわち、前述の感性工学に基づいて、人々が河

表-1 主成分分析結果

感性形容詞	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
雰囲気の良い	0.214	0.073	0.060	-0.034
優しい	0.214	-0.001	0.020	-0.030
すがすがしい	0.214	0.004	-0.098	0.043
快適な	0.212	0.100	-0.087	-0.003
落ち着いた	0.212	-0.088	-0.070	-0.078
美しい	0.208	0.126	0.067	0.009
潤いのある	0.207	-0.108	0.134	0.166
安らぎを感じる	0.207	-0.097	-0.053	-0.009
地域性のある	0.194	-0.139	0.087	-0.018
都会的な	-0.083	0.403	-0.167	-0.110
懐かしい	0.130	-0.354	0.127	0.076
自然な	0.136	-0.353	0.067	-0.015
せせらぎの聞こえる	0.175	-0.247	0.168	0.109
明るい	0.193	0.195	-0.112	0.059
上品な	0.195	0.189	-0.018	-0.084
きれいな	0.195	0.182	-0.049	0.033
特色のある	0.154	0.089	0.466	-0.156
工夫された	0.123	0.269	0.402	0.013
目立つ	0.050	0.362	0.385	0.117
安全な	0.150	0.235	-0.260	-0.061
暮らしにとけ込んだ	0.174	-0.071	-0.234	-0.188
すっきりした	0.188	0.197	-0.191	0.067
広々した	0.149	0.008	-0.283	0.555
一体感がある	0.193	-0.082	-0.109	-0.352
色のある	0.166	0.030	0.136	-0.349
空間にとけ込んだ	0.196	-0.108	-0.105	-0.256
眺めのよい	0.205	0.050	-0.075	0.251
バランスのとれた	0.197	-0.031	-0.144	-0.247
親水性のある	0.207	-0.076	0.106	0.227
楽しめる	0.205	0.012	0.067	0.208

川空間から感受す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を検証した。まず、河川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、護岸形式）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。NNを利用した河川景観の評価手法としては、6つの河川構成要素と被験者の個性情報を用いた土山ら⁵⁾の例がある。著者らは、可能な限り多くのデザイン要素を取り入れて最終的に34項目を導入したシステムを構築している。

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。そこで対象を河川景観に置き換えれば、人々が河川域の景観から「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「河道の幅」などが組み合わされた場合なのかを分析して、具体的なデザイン要素を結び付ける手法である。

この手法を河川域の景観評価に利用するためには、まず、人間が河川域の景観を表現するために用いる

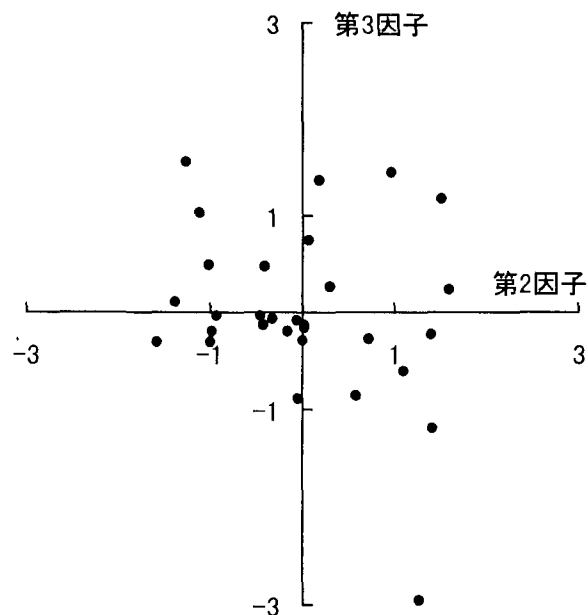


図-1 主成分得点の分布

感性形容詞の抽出が必要となる。この作業は、あらかじめ多くの形容詞群の中から、河川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を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30対を抽出した。

(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、河川景観のスライドを上映しながらアンケート調査を行なった。スライドは、自然⇔人工、上流⇔下流、大規模⇔小規模などの典型的な河川域の景観を含むよう、書籍⁶⁾や著者らが撮影したものから30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⁷⁾は、CGを利用した景観評価に関するアンケート行ない、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兩岸側30°の映像を同時に呈示した場合について、被験者の河川景観へ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

アンケートで得た得点は写真毎に、全員が最低点を答えた場合に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「雰囲気の良い」「快適な」など、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

表-2 視点と河道の構造

	名 称	岸 a	岸 b	備 考
1	視点	x	岸 a (0) 中央 (0.5) 岸 b (1)	構図上大きい方を岸 a
2		y	0~3m, 3~6m (高水敷), 6m~ (堤防・橋上)	水面から
3	視準方向	岸 a (0) 中央 (0.5) 岸 b (1)		
4	河道幅	なし, 0~10m, 10~30m, 30~100m, 100m~		
5, 6	高水敷	Ba(b)	なし, 0~5m, 5~15m, 15m~	
7, 8	築堤	Ra(b)1	なし, 緩勾配, 急勾配, ブロック, コンクリート	
9, 10	低水護岸	Ra(b)2	なし, 土, 木材, ブロック, コンクリート	
11	河道の湾曲	左, 緩く左, 直線, 緩く右, 右		
12	護岸の緩衝物	なし, 緑, 石		

表-3 構図に関する入力項目

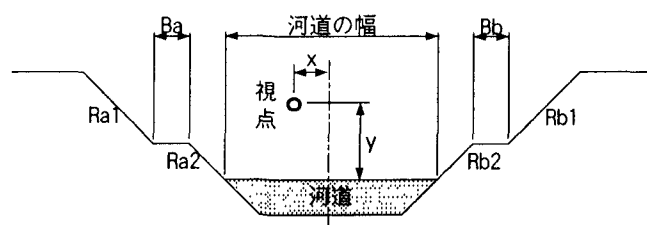


図-2 河道の構造図

会的な」が正, 「自然な」「懐かしい」などが負を示し, 都会性を表す第2因子, ③「特色のある」「工夫された」が正, 「安全な」などが負を示し, 独自性を表す第3因子, ④「広々とした」「眺めのよい」が正, 「色のある」「バランスの取れた」が負を示し, 眺望美を表す第4因子である。このうち第2, 第3因子に関して, 主成分得点の分布を示し意味空間を示したのが図-1である。この図を見ると, それぞれの写真の「都会性」と「独自性」に対する評価を見ることが出来る。このように, 主成分分布の結果を利用すれば, それぞれの写真の得点を客観的に評価することができる。この因子ごとに, 2組の形容詞対を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, 河道の構造や構図の割合)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⁸⁾を利用した。

デザイン要素には35要因を計測した(表-2, 3参照)。まず, 河川工学の見地から, 河道の形態と視点場ならびに景観構成アイテムを図-2のように整理した。この時, 1枚の写真では上下流が判断できないので, 写真の中で構図として大きい方を岸a, 構図が小さいまたは構図上に無い方を岸bと分類した。数量化しやすい視点xなどの項目は, 岸a, bの築堤上をそれぞれ0, 1というように定義して入力し, 数

	項 目	入 力 値
1	サイコベクトル	和
2		水平成分
3		鉛直成分
4	護岸	和
5		水平成分
6		鉛直成分
7	構図の奥行き	~50, 50~100, 100~300, 300~(m)
8	広場の勾配	急, 緩, 直立
9	広場の面積	全体に対する割合
10	階段護岸の勾配	急, 緩, 直立
11	階段護岸の面積	全体に対する割合
12	堤内地の利用形態	なし, 山林, 田園, 住宅地, 街
13	人(近景)	(10人を1として)
14	人(遠景)	(10人を1として)
15	構 図	空
16		水
17		護岸
18		緑
19		人工物
20	水の明度	本文参照
21	空の明度	本文参照
22	色相の色調と関係	同等・類似・調和・不調和
23	明度の色調と関係	同等・類似・調和・不調和

量化し難い築堤の種類のような項目は, なし(構図上見えない場合も含む), 緩勾配, 急勾配, ブロック, コンクリート(擁壁護岸も含む)というようにカテゴリーに分類した。築堤, 低水護岸に関しては勾配や材質などに付いても計測したが, それぞれの要因間の相関係数を算出したところ, 高い相関が確認されたので絞り込みを行なって入力項目の簡素化を図った。

構図に関する入力項目を表-3に示す。ここで, サイコベクトルとは, 「視覚を刺激して人々の関心を引き起こす心理的な力としての『誘引力』を表すもの」と定義され, 橋梁工学⁹⁾などの分野で利用されている。河川景観を表すサイコベクトルとして, 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

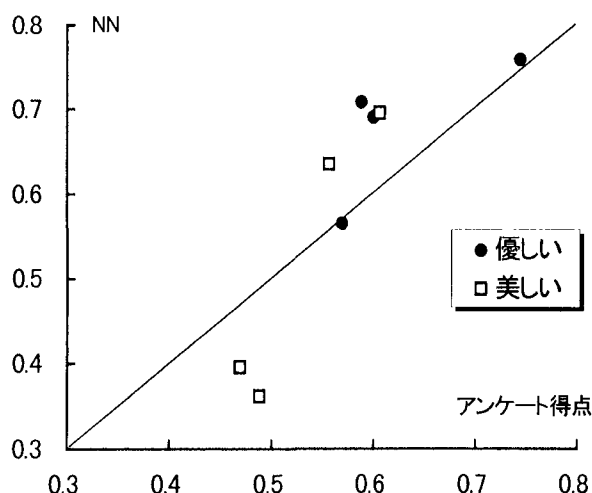


図-3 NNとアンケートの比較

システムに取り込めることなどを考慮して、水面と護岸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。

広場・階段護岸に関しては、人々が河川空間へアメニティ性を要求する際に、最も重要な要因と考えて、その面積や勾配などを入力した。明度・彩度は、写真をスキャナーで読み込み、計測部分のRGB値を計測して算出し、そのデータをもとに、護岸と全体景観との色調関係を、同等・類似・調和・不調和に分類した¹⁰⁾。この時、全体景観の色相・明度を算出するのは困難なため、構図の中でもっとも面積の広い部分の色を計測して景観を代表する値とした。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、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構築したNNに、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。NNの構築では、中間層を一層とした3層のネットワークとした。

(2) 評価システムの適用性の検証

アンケートに使用したスライド30枚から、任意に26枚を抽出してNNの学習用データを、残りの4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る得点である。第1因子に分類された「優しい」「美しい」に対するNNによる得点評価を図-3に示す。ここで示したのは、中間細胞数を2～15の間で計算して最も誤差が小さかった、中間細胞6の場合であり、図中にはアンケートによる得点を横軸に、NNによる得点を縦軸に示している。図中の直線からの距離が、NNによる予測の誤差にあたる。

形容詞「優しい」に関しては、アンケート結果よりもNNがやや過大に評価しているのに対し、「美しい」についてはばらつきが大きくなっている。検証が4例と十分でないため、さらに検証データを増やしてNNの評価精度を議論すべきであろうが、本システムで景観評価に対する全般的傾向を把握でき

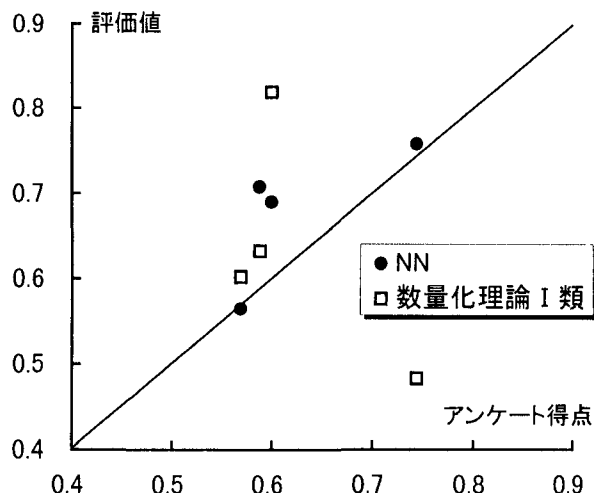


図-4 NNと数量化理論I類の比較

ると考えられる。

一方、数量化理論I類を用いて評価システムを構築して「優しい」に対する評価を予測した結果を図-4に示す。図中には、NNによって予測した得点を同時に示す。この図より、数量化理論による予測値がNNの評価よりも大きくばらついていることがわかる。ここには示していないが、他の形容詞についても同様の結果を得ており、NNによる景観評価手法が予測精度の面では優れていることがわかる。

以上のように、河川域の景観を客観的かつ数量的に評価するシステムを構築可能なことがわかった。しかし、更に入力データの見直しやデータの蓄積等によって、改善する余地がある。

4. NN感度分析による考察

(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、評価システムの入力値のあるデータを変化させた場合に、システムによる評価の変化を分析し、両者の因果関係を明らかにすることである。たとえば「雰囲気が良い」という形容詞に対する得点を高めるためには、どのデザイン要素を変化させれば効果があるかを、客観的に調べる事が可能になる。同様にして、デザイン要素と景観形容詞の因果関係を整理しておけば、市民の景観への要求を反映するために、具体的な提案の手掛かりを見つけ出すことが容易になる。

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検証と、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。

(2) 護岸の面積と第2因子

写真-1,2に第2因子の「都会的な」「懐かしい」で高い得点と低い得点を得た2枚の写真を示す。写真-1は、鳥取市を流れる千代川支流の袋川で、低水

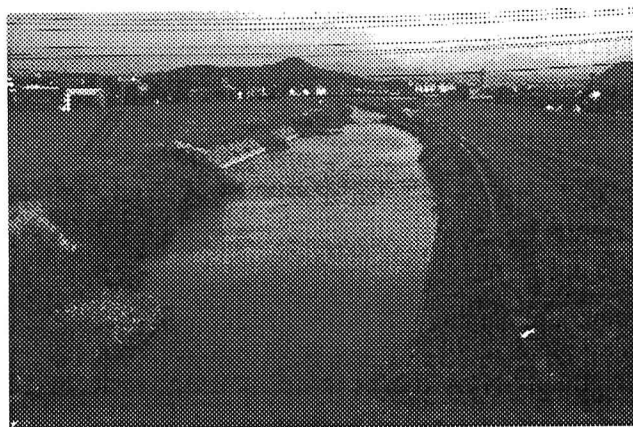


写真-1 袋川（鳥取市）

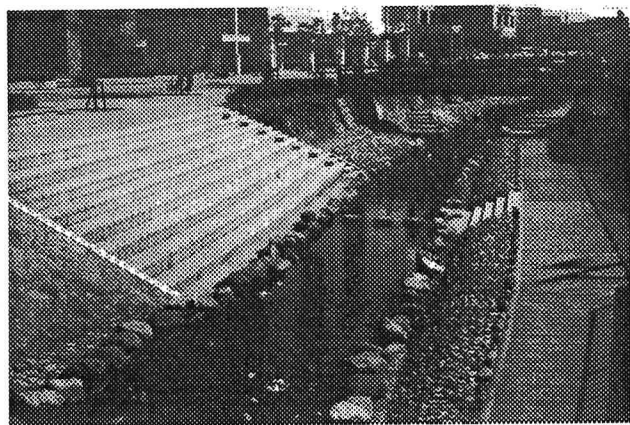


写真-2 親水公園（鳥取市）

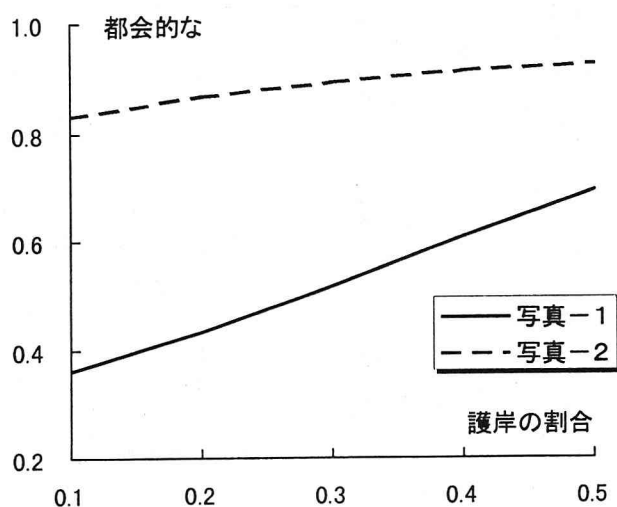


図-5 感度分析結果（都会的な）

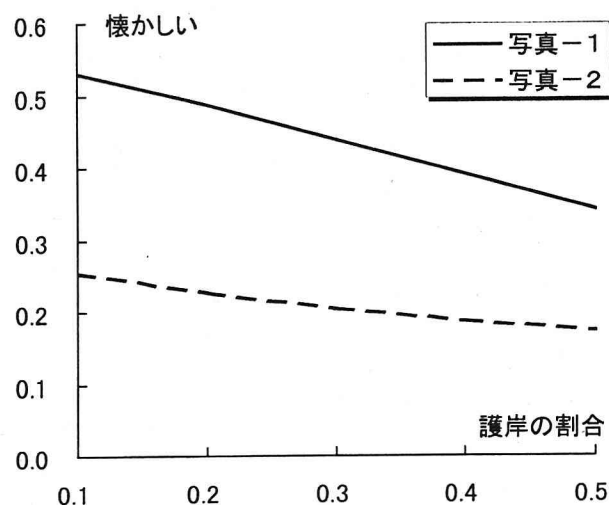


図-6 感度分析結果（懐かしい）

護岸にブロックが用いられてはいるものの、その他の部分には植生が繁茂しており、アンケートの結果によれば、都会的な0.36、懐かしい0.53という得点を得ている。一方、写真-2は、鳥取市内に整備された親水公園で、全体に人工構造物が配置されており、都会的な0.83、懐かしい0.23という得点を得ている。この2枚のデザイン要素を元に、入力値のうち「護岸の面積」だけを変化させてNNによる得点を算出したのが、図-5,6である。まず、図-5によれば、護岸の面積が大きくなるにしたがって、「都会的な」の得点が写真-1,2ともに増加することがわかる。しかし、その勾配は異なり、「都会的な」の得点が低かった写真-1のほうが大きく変化することがわかる。同様に図-6の「懐かしい」でも両者の得点は護岸の面積が増加するにしたがって減少する傾向は共通であるが、写真-1の変化する割合の方が大きいことがわかる。以上のように、感度分析を行なったところ、あるデザイン要素を変化させてもその出力である得点の変化率はその他の要素の得点によって違い、一次式の重ねあわせである数量化理論Ⅰ類などの手法よりも、人間の感性などを表現するには脳細胞の認識状態を模倣したNNのようなシステムの方が適用性が高いことがうかがえる。

(3) デザイン要素と因子

前節では第2因子と「護岸の割合」の因果関係を示したが、その他の因子とデザイン要素の関係についても感度分析を繰り返し整理したのが表-4である。表には、感性形容詞とデザイン要素の関係について、○：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て示している。

第1因子には視点x、高水敷の幅Ba、広場の幅、などに大きく依存することがわかった。同表では、岸bの低水護岸の形式Rb2にも大きく依存するという結果が出ているが、構図中での面がの大きい岸Ra2よりも高く依存するという結果は注意すべき点である。すなわち、入力した写真のデザイン要素の中には、両岸が撮影されていないものも多く、この値に対する依存が高いということを、そのまま利用することは出来ない。このRb2は全ての因子に高く依存しているが同じような注意が必要と考える。

因子2～4に注目すると、大きく依存する項目が、それぞれ9,10,18項目であることがわかる。このように、因子ごとに依存する要素とその数が違うことがわかる。一方、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ていないものが存在する。サイコベクトルは、橋梁などの構造物を建設

する際には重要視されてはいるが、河川景観ではあまり影響を与えないことがわかった。このことは、河川景観のサイコベクトルの定義に問題あったことや、他の要素に相関の高いものが存在したためと考えられる。以上のように、感度分析は河川景観に対する市民の要請に効果的に対応しうる手法であるといえる。

本来、多峰的でかつ曖昧性を伴う人間の感性空間を、線形理論で取り扱うことは多くの誤差を丸め込む可能性が大きい。ここでは、NNを導入することで定量的な感性の評価が可能であることを示した。

5. おわりに

河川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を行い、その結果をもとに主成分分析を行なって、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、被験者の個性情報による影響なども考慮できるよう、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。さらに、システムの汎用性と信頼性を高めるため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, 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, 1996.
- 3) 永瀬恭一, 松原雄平, 野田英明：感性工学に基づく沿岸域の景観評価手法, 第5回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp. 63～68, 1997.
- 4) 竹林征三：風土工学序説, p. 402, 技報堂出版, 1997.
- 5) 土山茂希, 後藤孝臣, 林 保志, 山本大輔：ニューラルネ

表-5 デザイン要素と因子の関係

	因子	1	2	3	4
1	視点	x	○	○	△
2		y	△	△	△
3	視準方向		△	△	○
4	河道幅		△	○	○
5	高水敷の幅	Ba	○	△	○
6		Bb	△	△	△
7	築堤	Ra1	△	△	△
8		Rb1	△	△	△
9	低水護岸	Ra2	△	△	△
10		Rb2	○	○	○
11	河道の湾曲		—	△	△
12	護岸緩衝物		△	—	○
13	サイコベクトル	和	—	—	△
14		水際線	水平成分	—	—
15			鉛直成分	—	△
16		護岸	和	—	—
17			水平成分	—	—
18			鉛直成分	—	—
19	構図の奥行き		△	○	○
20	広場の幅		○	△	—
21	材質		△	△	△
22	階段護岸	幅	△	△	○
23		面積	△	△	○
24	堤内地の利用形態		△	○	△
25	人（近景）		△	△	△
26	人（遠景）		△	○	○
27	構図の割合	空の面積	—	—	△
28		水の面積	△	△	△
29		護岸の面積	△	○	△
30		緑の面積	—	△	△
31		人工物の面積	△	○	△
32	水の明度		△	—	○
33	空の明度		△	△	△
34	色相の色調と関係		△	○	△
35	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

ットワークによる河川景観要素が景観評価に及ぼす影響検討, 第52回土木学会年次学術講演会概要集, pp. 698～699, 1997.

- 6) たとえば, (財)リバーフロント整備センター編：川の風景を考える, 山海堂, 1993.
- 7) 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.
- 8) 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, 森北出版, 1994.
- 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.

(1997.9.30受付)