

I-29 土木構造物の景観設計支援システム開発のための

3次元形状プリミティブの感性評価機構

A Mechanism of *KANSEI* (sensitivity) Evaluation of 3D Shape Primitives for Development of an Aesthetics Design Support System of Civil Infrastructures

矢吹信喜¹ 李 林甫² 王 少遲³ 森島美佳⁴ 久保 洋⁵ 魚住 超⁶

Nobuyoshi Yabuki, LinFu Li, Shao-Chi Wang, Mika Morishima, Hiroshi Kubo, Takashi Uozumi

【抄録】土木構造物の景観評価は、景観全体の感性評価と構造物や自然環境の諸元とを関連付けるアプローチが主に採用されているが、本研究では、3次元CADシステムをベースとして、ディテールに着目し、3次元形状プリミティブの諸元と見る人々の感性情報をアンケートとファジィ集合理論により関連付け、クラスタ化するアプローチを提案した。本アプローチを円錐プリミティブに適用し、アンケートによる実験と解析を実施した。さらに、設計者が要求する感性情報に応じた3次元形状プリミティブを提示し、設計者各個人に適応した学習機構を有するシステムの設計を行った。また、ダム照明設備への適用について論じた。

【Abstract】 In general, the landscape evaluation of civil infrastructures is done based on the approach which intends to link the *KANSEI* (sensitivity) evaluation of the whole landscape and dimensions of structures and natural environments. In this research, we focused on the details and propose a new approach, which intends to link the dimensions of 3D shape primitives and the *KANSEI* information of people watching the shapes and to cluster similar shapes in terms of *KANSEI* by using questionnaires and the fuzzy set theory. We applied this method to cone primitives and performed questionnaire and analysis. In addition, we designed a system which shows appropriate 3D primitives corresponding to the request of a designer and which has a machine learning mechanism for individual designers. We discussed the application of this methodology to lighting installations of a dam.

【キーワード】 景観, 意匠, SD法, 3次元CAD, プリミティブ, ファジィ集合理論, 感性

【Keywords】 landscape, aesthetics, SD method, 3D-CAD, primitive, fuzzy set theory, *KANSEI* (sensitivity)

1. はじめに

土木構造物は一般に巨大であり、自然あるいは都市環境等にあつて、長い期間多くの人々が日常的に利用し、目にする公共あるいは公益的な社会資本である。従つて、単に安全で要求される機能を満足するにとどまらず、周辺の環境と調和し、多くの人々が違和感を感じることがなく、美しいものであるべきである。我が国においては、戦後の高度経済成長期においては、

あつたが、10数年程前から、景観に対する配慮が通常的になされるようになり、土木工学においても景観工学が一つの学問分野となつてきている。

景観に配慮した設計を行うためには、景観を評価する必要がある。景観評価の一手法として、審美眼を持った専門家に、設計や施工中の構造物をチェックしてもらう方法があるが、主観的かつ個人的なものとなり、そこから一般化された法則のようなものを生み出し、他の人々に方法論を移植することは容易ではない。元

- | | | |
|---|-----------|---|
| 1 | 正会員 Ph.D. | 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助教授 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1
TEL: 0143-46-5219 FAX: 0143-46-5218 Email: yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp |
| 2 | 博(工) | 室蘭工業大学サテライトベンチャービジネスラボラトリ (SVBL) |
| 3 | 博(工) | 元 室蘭工業大学サテライトベンチャービジネスラボラトリ (SVBL) |
| 4 | 博(工) | 岐阜市立女子短期大学生活デザイン学科 助手 |
| 5 | 工博 | 室蘭工業大学工学部情報工学科 教授 |
| 6 | 工博 | 室蘭工業大学工学部情報工学科 助教授 |

来、「美」は主観的なものであり、「美しい」とか「醜い」といった感性は、個人差がある曖昧なものである。

こうしたアプローチに対して、大勢の人々による美の評価の平均値から、何らかの法則を見出し、定量化された客観的な景観評価手法を確立しようとする研究がなされた。そのうちの一つは、橋梁の景観評価を行うために、複数の評価者にいくつかの橋梁の写真を見せて、「美しい-醜い」、「魅力ある-魅力がない」等の感性評価項目についてそれぞれ対になる形容詞の間を5段階で評価してもらい、各橋梁の設計諸元や景観要因データを抽出し、評価と要因との関係をニューラルネットワークにより求めるものであった^{1)~4)}。こうした方法により、橋梁の景観設計を実務レベルである程度、支援できるようになったが、美しくするためには、橋梁のどの部分をどう変化させればいいのか曖昧であった。

そこで、保田ら^{5) 6)}及び白木ら⁷⁾は、感性工学手法を用いることにより、人々の感性と橋梁のデザイン要素との関係を合理的に結びつけることに成功している。しかし、膨大なアンケートを行う必要があることと、関係を視覚的にわかり易く表現しにくい点が指摘された。そこで、自己組織化特徴マップ(SOM: Self-Organizing Map)を用いて、感性評価結果とデザイン要素との関係を視覚化する研究もされている⁸⁾。

また、景観写真からデザイン要素の抽出方法として、スペクトル解析やフラクタル解析を用いる手法も提案されている^{9) 10)}。しかし、景観は場所や季節等により大きく変わり、特殊性が大きいことから、実務レベルでの利用にはさらなる研究が必要だと考えられる。

以上のように、橋梁と周辺の風景の全体的な景観評価物の設計を、ディテールの部分から生み出すシステムに関する研究はあまり見当たらないようである。例えば、「すっきりした」橋にしたいと設計者が希望した時に、橋梁全体の写真を対象とした景観評価結果からでは、適切な形や色の照明塔やフェンスを、ユーザに提示することは難しいと考えられる。

本研究の目的は、3次元CADシステムをベースとして、土木構造物の景観設計システムを開発するために、ディテールに着目し、3次元形状プリミティブを、設計者が意図する感性用語から、生成させる方法論を構築することである。そのために、様々な形状、色、大きさ等を有するプリミティブなデザインモデルを用いて、視覚から受ける感性評価を計測し、評価結果に対する解析方法について論ずる。また、オンラインで設計者の感性を獲得する個人適応型オブジェクトデザ

インシステムの学習機構を提案する。

2. 景観設計支援システムの開発方法論

本研究における土木構造物を対象とした景観設計支援システムの開発は以下のようなステップによる。

- ① 円錐、直方体、円柱、球等の各3次元形状を対象として、形状や色等を変えて多くのプリミティブモデルを作成し、多くの人々に見せて、どのような印象を持つか、感性用語により表現してもらう。
- ② 各プリミティブの諸元と人々の感性表現との間の関係を解析により求め、クラスタ化する。
- ③ 3次元CADシステムにおいて、設計者の感性的表現による要求に最も近いクラスタの形状を提示し、もし設計者が満足しなければ、試行錯誤により適切な形状を選択し、選定機構に学習させるシステムを開発する。

3. 3次元形状プリミティブの感性評価

3.1 プリミティブの作成

本研究では、形状プリミティブとして、図形認識に関する研究分野において一般的に使用される円錐¹¹⁾を感性評価実験の対象とした。事前に、形状、大きさ、色等が異なる300個の円錐のCG(Computer Graphics)モデルを作成した。具体的には、Visual C++プログラミング言語を用いて、システム実装の際の汎用性を考慮して、RGB表色値、高さ、底面半径、頂点丸み、底面丸み、及び照明RGB表色値を、乱数を発生させて変えながら作成した。作成した円錐の形状プリミティブの中から、無作為に図-1に示す10個を抽出した。抽出したプリミティブの形状や色を表す特性値を表-1に示す。

3.2 アンケートの実施

円錐プリミティブを見た時にどう感じるか、その感性情報を抽出する方法として、本研究では、アンケートを基本とするSD(Semantic Differential)法¹²⁾を使用した。SD法は、形容詞対を評価項目に用いた刺激実験により、人間の感性を測定する手法であり、通常、調査ターゲットの認知行為における心理傾向をつかむ意識調査に使用されている。本研究では、形状と色が異なった円錐を「Bright-Dark」、「Soft-Hard」、「Warm-Cold」、「Flashy-Plain」のような4組の感性用語で評価するアンケートを実施した。この形容詞対の間に7段階のレベルを設け、図-2に示すような枠

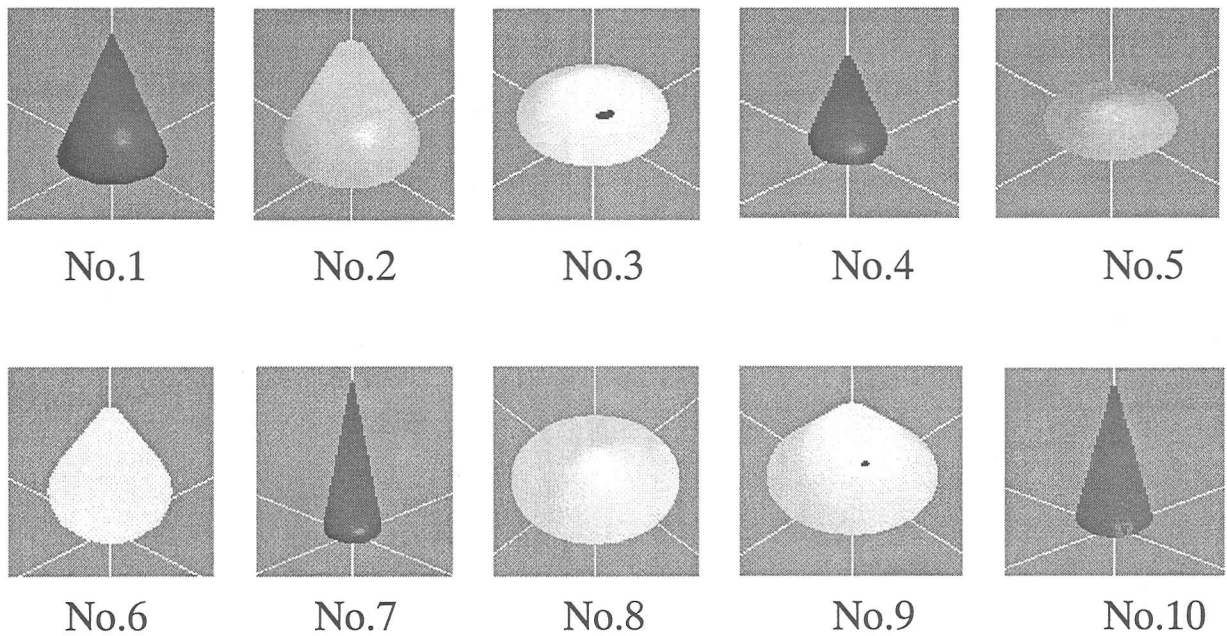


図-1 感性評価対象の円錐プリミティブ

にマークをつけるようにした。アンケートの回答者は、スクリーンに映し出された円錐を自分の感性で判断し、「非常に明るい」と思えば、「Bright-Dark」の最左端にマークをつける。右に行くに従って順次暗くなり、「明るい」「やや明るい」「明るくも暗くもない」「やや暗い」「暗い」「非常に暗い」となる。アンケートは、年齢 18 歳から 69 歳までの、男性 14 名、女性 33 名の計 47 名を対象として行った。

3.3 ファジィ集合理論によるアンケート分析

アンケート回答者の形状プリミティブ認識時におけ

る感性情報の働きを解明するため、ファジィ集合理論を用いてソシオメトリ分析^{1,3)}を行い、意識の類似関係及び相互影響関係を調査した。アンケート分析は以下のように実施した。

k 番目の被験者の感性用語 A_i ($i = 1, 2, 3, 4$) に対する評価得点について、最も強いものを p 、最も弱いものを 1 とし、式(1)に従い、カテゴリカル評定値を定義した。

$$r_{ki} \in \{1, 2, \dots, p\} \tag{1}$$

ここで、 p は評価段階数を示し、本研究では、7 であ

表-1 プリミティブモデルの特性値

プリミティブ モデル番号	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
R	134	39	112	137	102	86	152	237	54	123
G	10	193	252	40	178	235	7	212	240	23
B	230	95	28	36	91	1	184	219	209	236
高さ	106	93	36	146	12	84	150	17	54	145
底面半径	37	43	72	17	84	48	15	81	63	17
頂点丸み	2	18	14	12	2	7	3	6	18	5
底面丸み	1	11	10	8	4	26	6	1	7	9
照明 R	11	115	228	91	169	112	27	59	246	156
照明 G	163	223	197	35	16	130	59	177	96	111
照明 B	51	84	102	175	84	222	236	193	5	252

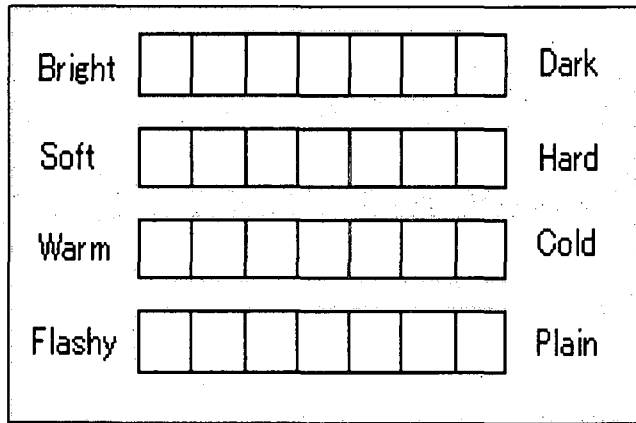


図-2 感性用語アンケートシート

る。カテゴリカル評定値に基づいて決定された評価得点 r_{ki} を、式(2)に従って重み付けを行い、数値的評定値 z_{ki} を算出した。

$$0 < r_{ki} \leq p$$

$$z_{ki} = r_{ki} / p \in (0, 1] \quad (2)$$

数値的評定値 z_{ki} は、本研究の場合 (0.14, 0.29, 0.43, 0.57, 0.71, 0.85, 1.0) の値のいずれかとなる。

得られた数値的評定値 z_{ki} について、ファジィ理論を適用した。式(3)を用い、ファジィ類似係数 s_{ij}, s_{ji} を算出し、評価用語間の類似性を検討した。

$$s_{ij} = s_{ji} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{N_s} |z_{ki} - z_{kj}|}{N_s}, \quad (i, j) \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

ここで、 n は感性用語対数で、 N_s は被験者数を示す、ファジィ類似係数から、ファジィ類似構造行列 $S = (s_{ij})$, $s_{ij} = s_{ji}$ を得ることができる。図-1における1番目の円錐に対して、47人に対するファジィ類似行列 S は式(4)のように得られる。

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0.77 & 0.81 & 0.86 \\ 0.77 & 1 & 0.83 & 0.75 \\ 0.81 & 0.83 & 1 & 0.78 \\ 0.86 & 0.75 & 0.78 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

行列 S は、感性用語で円錐を評価する時に、感性用語の類似状態係数を示している。例えば、 s_{12} (= 0.77) は円錐プリミティブ No.1 にとって「明るさ」と「柔らかさ」の間の類似関係が 0.77 であることを表している。図-3に、プリミティブモデル No.1 に対する評価用語間の類似構造グラフを示した。得られた類似係数を用いて

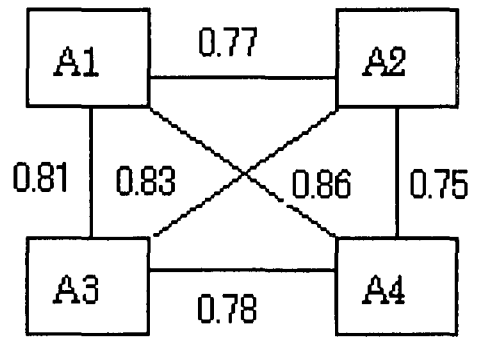


図-3 プリミティブモデル No.1 に対する感性用語間の類似性

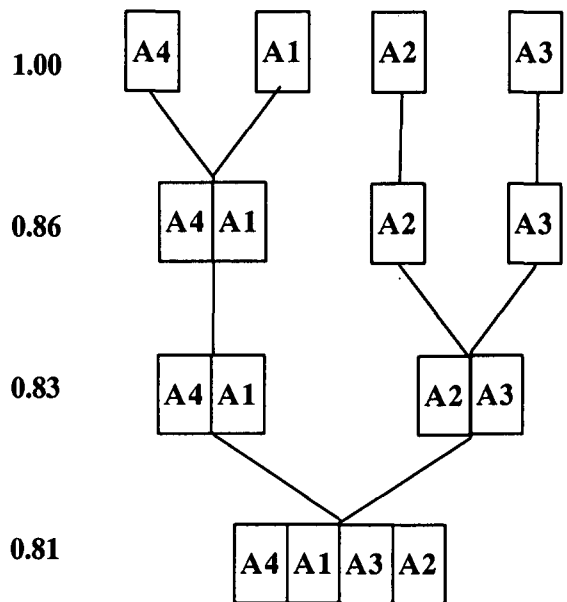


図-4 プリミティブモデル No.1 に対する評価用語のクラスタ分析による分割樹形図

クラスタ分析を行い、評価用語間の分割樹形図を図-4に示した。図-3および図-4から、評価用語 A1「明るさ」と A4「派手さ」間には、ファジィ類似係数 0.86 と、高い類似性があることがわかる。さらに、A2「やわらかさ」と A3「あたたかさ」も類似係数 0.83 で、類似性があると言える。

評価用語 4 対に対する感性評価順位を検討するために、得られたファジィ類似係数に基づき、ファジィ関連係数を算出し、さらに、近似構造分析を行った。まず、式(5)を用い、ファジィ関連係数 t_{ij} を算出した。

$$t_{ij} = \frac{s_{ij}}{1 - z_i + z_j} \quad (5)$$

ここで \bar{z}_i, \bar{z}_j は、数値的評定値の平均値を示す。

ファジィ関連係数から、式(6)に示すようなファジィ関連構造行列 T を得ることができる。

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0.67 & 0.72 & 0.90 \\ 0.90 & 1 & 0.84 & 0.93 \\ 0.93 & 0.82 & 1 & 0.96 \\ 0.82 & 0.62 & 0.66 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

これはモデル感性用語間の関連程度指標を意味する。図-5にプリミティブモデル No.1 についてのファジィ関連構造グラフを示す。得られたファジィ関連構造行列について、式(7)から(9)で定義される近似三値分析を行った。

$$p^* \in [0, 0.5] \quad (7)$$

$$T^* = (t_{ij}^*) \quad (8)$$

$$t_{ij}^* = \begin{cases} 1, & t_{ij} > 0.5 + p^* \\ 0, & t_{ij} < 0.5 - p^* \\ t_{ij}, & \text{others} \end{cases} \quad (9)$$

ファジィ関連構造行列 T に対して、適切な近似三値構造行列 T^* を求めるために、 T と T^* の距離関数 $d(p)$ を式(10)を用いて算出した。式(11)で表した $d(p) < \varepsilon$ を満たす p^* の最小値を算出し、最適なファジィ近似三値構造グラフ T^* を得た。ただし、 ε はファジィ決定による評定値で、通常 0.27, 0.20 等とされる。ここには ε は 0.27 と仮定する。

$$d(p) = \frac{2 \sum_{ij} |t_{ij} - t_{ij}^p|}{n^2 - n} \in [0, 1] \quad (10)$$

$$p^* = \min\{p : d(p) < \varepsilon\} \quad (11)$$

ここに、 n は感性用語対の数を表す。ファジィ関連構造グラフの近似三値グラフ T^* と評価用語間の類似状態を表す分割樹形図 P を総合した感性評価構造グラフ ϕ を図-6で示した。得られた感性評価構造グラフから、A1~A4 の連結性を考察した結果、歩道 A2⇒A4 の全域歩道を得ることができる。さらに、感性評価構造グラフ ϕ の最短距離を考慮すると、A2「やわらかさ」(E1)→A3「あたたかさ」(E2)→A1「明るさ」(E3)→A4「派手さ」(E4)の順序で、評価順位 E_i ($i = 1, 2, 3, 4$) を決定することができる。すなわち、この例では、No.1 モデルの感性評価時に、派手さ→明るさ→暖かさ→柔らかさの順番となる。従って、No.1 モデルを見た場合、「こ

れは派手な円錐ですね」という評価がより一般的な見方と考えられる。また、「この円錐は明るい」や「これはやや暖かい円錐だね」という評価も少なくないと見られる。さらに、「この円錐はあまり柔らかくない」や「これは硬い円錐」といった評価も少なくないと見られる。プリミティブモデル No.2~10 についても No.1 と同様の手法で解析を行った。

図-7に、プリミティブモデル No.1~10 に対する感性評価順位を示した。図中の表左 1 列はプリミティブモデル番号を示し、左 2~5 列は評価順位に従い、評価用語 A1~A4 を表した。また、同じ評価順位を有するプリミティブモデルについてグルーピングを行った。図-7の右側に評価対象プリミティブ No.1~No.10 のグルーピングされた結果を示した。10 個のプリミティブモデルのうち、評価順位によって三つのグループに分けられた。グループ A には No.1, 7, 10, グループ B には No.3, 6, グループ C には No.2, 9 が属する。また、クラスタリングに属さないプリミティブモデル No.4, 5, 8 については、評価モデル数を増加させるとともに、

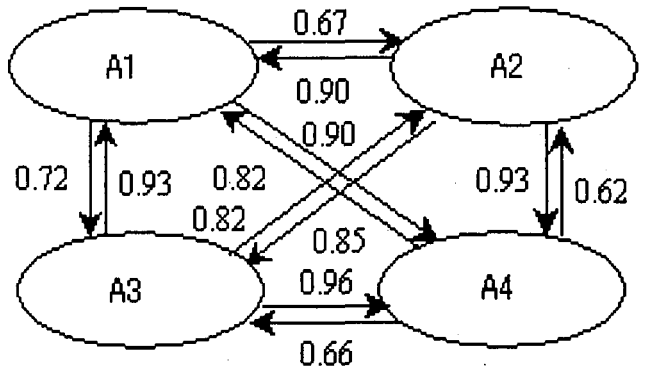


図-5 プリミティブモデル No.1 に対する感性用語間の関連性グラフ

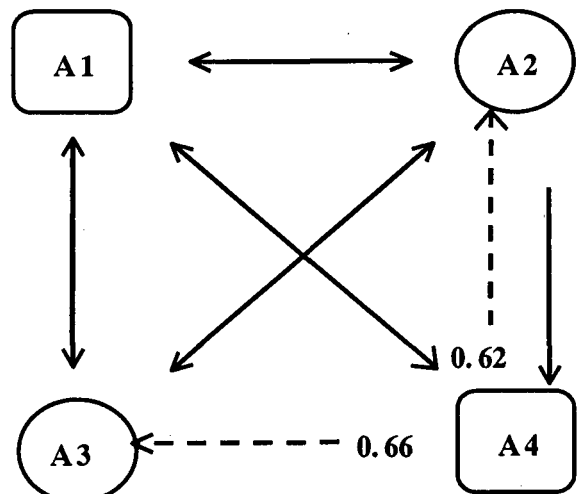


図-6 プリミティブモデル No.1 に対する感性評価構造グラフ

ユーザの感性評価データの自動的な蓄積によりグループに入るものと考えられる。表-1のプリミティブモデルの特性値から見れば、グループA~Cの各特徴量とする表色値RGB値などに着目すると、図-7に示したクラスタ分析結果にも明示されるように、妥当なグループ分けであることが示唆される。

4. オブジェクトデザインシステム

前章で記述した手法を予め、円錐の他に直方体、円柱、球、半球、三角錐、四角錐、湾曲した円柱、湾曲した角柱等の3次元形状プリミティブに対して適用して、感性用語に応じてグループ化をしておくことにより、設計者の感性的な要求、例えば、「硬く、冷たく、明るく、派手な円錐が欲しい」といった要求に対して、予め用意された該当する平均的感性のプリミティブモデルをユーザに提示することが可能となる。しかし、感性には個人差があるため、必ずしもユーザの感覚や期待していたプリミティブとは若干異なるものが提示されることもあり得る。

そこで、もしユーザが違和感を感じた場合、画面上に提示されたプリミティブモデルに対して、個人的感性評価を行う。すると、システムは、機械学習(Machine Learning)機構を用いて、式(12)の重み w_i を更新し、新たに得られた期待値 V をインデックスとしてデータベースに保存されたモデルの物理情報をロードする。

$$V = w_1d_1 + w_2d_2 + \dots + w_nd_n \quad (12)$$

V は感性評価変数を表す。 w_i はファジィ類似係数である。 d_i は感性評価用語である。 V はファジィ類似係数 w_i と感性評価用語 d_i で表現され、 n 次の式を得ることができる。式(12)において、ファジィ類似係数 w_i は、集中核を基準値とし、式(12)で示される拘束条件を有する。よって、感性評価計測において用いた円錐No.1については、 $w_1=0.86, w_2=0.75, w_3=0.78, w_4=1.00$ となる。ここで、重み w_i について式(13)に示す拘束条件を加えることにより、式(12)は式(14)のようになる。

$$w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \quad (13)$$

$$V = 0.25d_1 + 0.22d_2 + 0.23d_3 + 0.30d_4 \quad (14)$$

以上の手順で得られた感性評価変数 V を、データベース上でのマッピング関数とし、データベースへ個人のユーザの感性情報を蓄積する。同時に、そのユーザの感性を表現するであろうプリミティブモデルのクラスタを推論して読み出す。読み出されたプリミティブモデルのクラスタに対し、ユーザの嗜好に見合い、満足するものが存在すれば、採用するモデルが決定される。一方、ユーザの感性にマッチするものがなければ、感性および嗜好に見合うものがあるまで、試行を繰り返す。このプロセスを図-8に示す¹⁴⁾。

以上のオブジェクトデザインシステムを実装することにより、コンピュータ上で仮想的に試作することが可能となり、設計がしやすくなることが期待される。

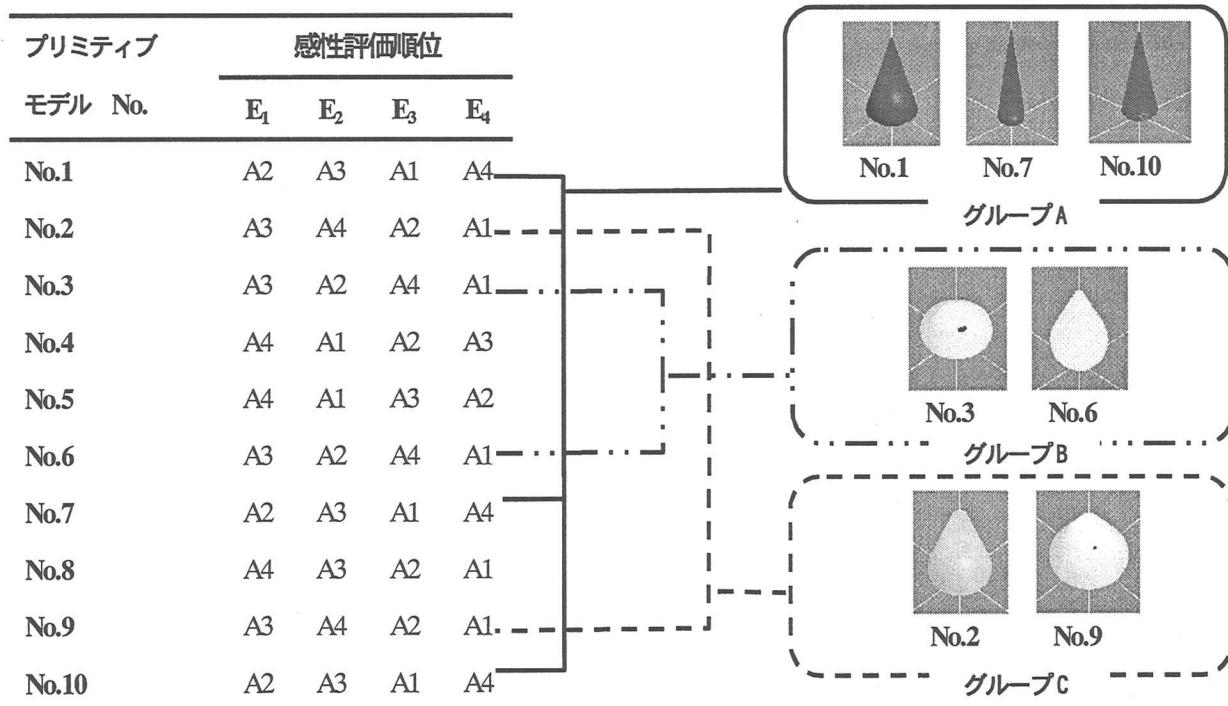


図-7 プリミティブモデル No.1~10 の分類結果

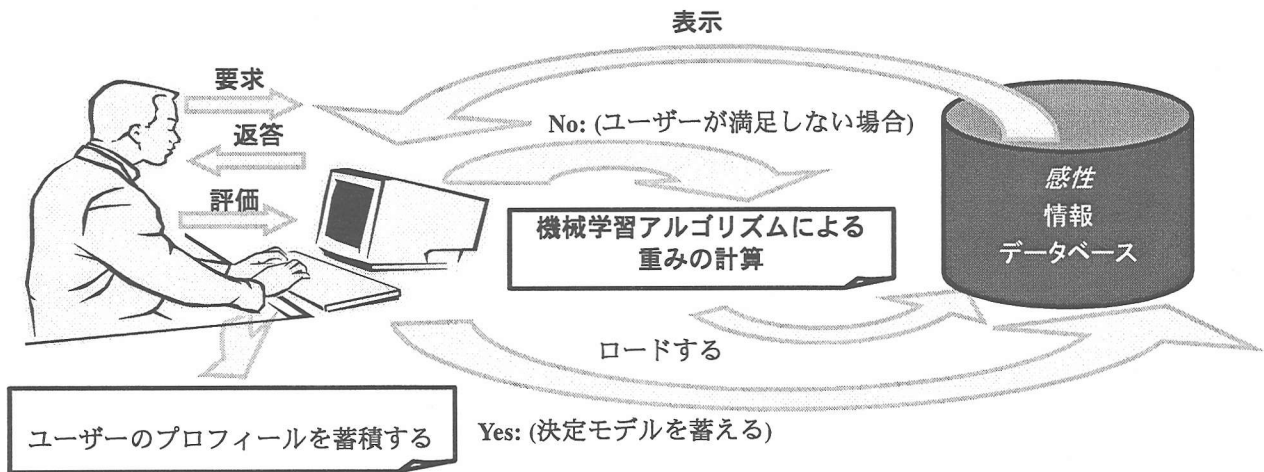


図-8 感性評価を反映させたオブジェクトデザインシステムの概要

5. ダムの照明柱の設計への応用

土木景観設計分野では、橋梁が対象構造物として多く取り上げられているが、ダムが対象となった事例は数少ない。ダムは、「ダムはムダ」「自然破壊の悪者」などといった必ずしも正しくない評価をマスコミや評論家が行っており、もっと一般市民に親しまれ、その目的や環境への配慮を理解してもらう努力が必要だと考えられる。そのためには、ダムも景観に配慮した設計あるいは、既設構造物の場合は、景観を意識した付帯設備工事が有効だと思われる。また、ビルディングや橋梁の一部では夜間のライトアップの検討をされることがあるが、ダムでは昼間の方が検討の対象となることが多いと考えられる。しかし、今後、ダムも都市部に近い地点に立地されている場合、夜間も美しい景観を演出して、一般市民に親しまれるようにすることが重要だと考えた。そこで、ただ単にライトアップの目的だけに照明設備を設置するのではなく、天端道路の照明柱や付帯設備の照明と合わせて設置することを検討することとした。

本研究では、コンクリート重力式ダムの天端に照明柱を設置することを想定して、オブジェクトデザインシステムの景観設計への適用を検討した。まず、ダム周辺の等高線データを3次元CADシステムに入力し、サーフェスを生成させて地面を表現する。次に、ダムの基本的な断面を基に3次元モデルを生成し、地表面と合わせる。これに、照明灯に傘が付いた照明柱を加える。この時、傘の形状を円錐とし、設計者はなるべく周辺の景観と調和するように、感性用語から、円錐プリミティブの提示を景観設計支援システムに要求する。例えば、「硬く、冷たく、明るく、派手な」ものを要求した場合は、感性評価順位が A2→A3→A1→A4

であることから、図-7に示すグループAに属するものであることがわかる。さらに該当するプリミティブとして、図-1及び表-1のNo.1の円錐（青紫色で、頂角が小さく、頂点が鋭い）が選択され、提示される。これをダムの3次元モデルに、照明の形状として挿入すると図-9のようになる。同様に「冷たく、単純で、柔らかく、明るい」ものを要求した場合は、No.9の円錐プリミティブ（水色で、頂角が広く、頂点がやや丸みを帯び、明るい）が選択され、提示される。これを用いると、図-10に示すような状況となる。このように、3次元CADシステムに、種々の形状のパーツを、感性情報により配置し、照明を点けた場合にどのようにライトアップされるかを、特に、見晴台や駐車場等の視点から検討することにより、景観を検討していくことが可能だと考えられる。

6. まとめ

本研究では、土木構造物の景観設計支援システムに関する既往の研究を概観し、従来の景観全体の感性評価から部材の諸元等を評価する手法とは別に、3次元CADシステムをベースとして、ディテールに着目し、3次元形状プリミティブと感性情報から構造物を生成させる景観設計支援の方法論を提案した。次に、ファジィ集合理論を用いて形状と色が異なった数多くの円錐を対象として、感性用語で表現するアンケートを47人の人々に実施し、SD法により、3次元形状モデルのユーザ感性評価の評価順位を算出し、順位に応じて、クラスタ化できた。各クラスタにおける感性評価変数を算出し、それをマッピング関数としてオブジェクトデザインシステムに採用することを提案した。デザインシステムでは、個人の感性情報を蓄積し、それに基

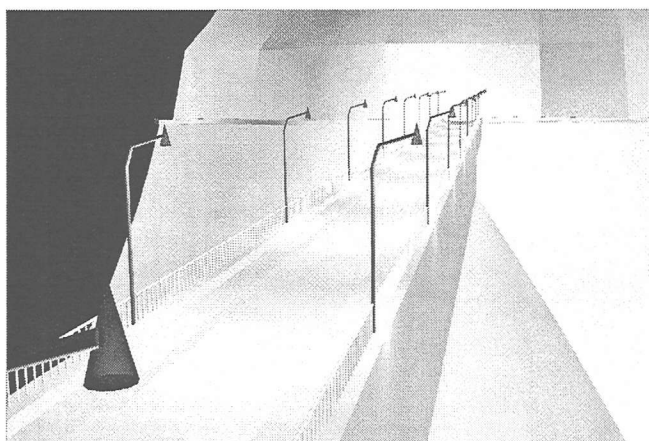


図-9 ダムの照明設備設計への適用事例①

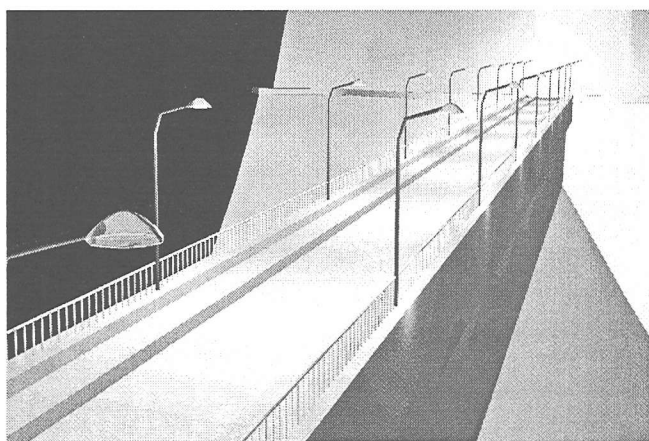


図-10 ダムの照明設備設計への適用事例②

づくオンラインの個人適応型学習機構を有するシステムの設計を行った。最後に、ダムの照明柱への適用について論じた。

もとより景観は非常に複雑で千差万別であるから、単純な形状プリミティブの積み重ねのみで、周辺環境と調和する構造物の設計は難しいものと思われる。しかし、ディテールは全体とも通じるものであり、また、ディテールの提示が可能なシステムは、大いに設計者を支援するものになると考えられる。

参考文献

- 1) 白木渡, 松保重之, 高岡宣善: ニューラルネットワークによるアーチ橋の景観評価システム, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.687-697, 1991.
- 2) 古田均, 大谷祐生, 中林正司, 白石成人: ニューラルネットワークの橋梁景観設計への応用, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.669-675, 1991.

- 3) 白木渡, 松保重之: 色彩を考慮したアーチ橋の景観設計へのニューラルネットワークの適用, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.595-606, 1993.
- 4) 保田敬一, 白木渡, 木村晃: 新しい情報処理手法による橋梁景観設計へのアプローチ, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.561-569, 1997.
- 5) 保田敬一, 白木渡, 堂垣正博, 河津圭次郎, 安達誠: 桁橋の景観評価・設計への感性工学手法の適用に関する研究, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.543-551, 1999.
- 6) 保田敬一, 白木渡, 安達誠, 三雲是宏, 堂垣正博: 感性工学手法による桁橋の景観評価・設計に関する一考察, 土木学会論文集, No.665/VI-49, pp.103-116, 2000.
- 7) 白木渡, 野田英明, 長町三生, 松原雄平, 安達誠: アーチ橋の感性データベースの構築とその景観評価への応用, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.553-560, 1999.
- 8) 保田敬一, 白木渡, 木村孝介, 堂垣正博: 桁橋の景観の分類と評価への SOM の適用, 土木情報システム論文集, Vol.11, pp.45-54, 2002.
- 9) 小川進, 清原哲哉, 阿部思行: 舗装を主体とする街路景観のフラクタル解析, 土木学会論文集, No.520/V-2, pp.135-141, 1995.
- 10) 吉岡正泰, 岩松幸雄, 原田隆郎, 阿久津孝之: フラクタル次元・1/f ゆらぎを応用した橋梁の景観評価支援システム, 土木情報システム論文集, Vol.2, pp.73-80, 1993.
- 11) Long Quan: Conic Reconstruction and Correspondence from Two Views, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.18, No.2, pp.151-160, 1996.
- 12) Osgood, C.E., et al.: The Measurement of Meaning, Univ. of Illinois Press, 1957.
- 13) 山下元, 津田栄, 他: ファジィグラフを応用したソシオグラム分析, 電子情報通信学会技術研究報告, ET, pp.89-109, 1989.
- 14) 王少暉, 森島美佳, 久保洋, 疋田弘光, 井野秀一, 伊福部達: 個人適応型デザインを目指した形状モデル認識機構の解析, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002, pp. 511-514, 2002.