

SOM による桁橋の合意形成用景観評価モデル

Scenery Evaluation Model of Girder Bridge for consensus building with Self-Organizing Map

保田敬一*, 白木 渡**, 伊藤則夫***, 堂垣正博****

Keiichi Yasuda, Wataru Shiraki, Norio Ito, Masahiro Dogaki

* 博(工), (株)ニュージェック, 東京本社 技術開発 G (〒135-0007 東京都江東区新大橋 1-12-13)

** 工博, 香川大学教授, 工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

*** 博(工), (有)シー・エー・イー 代表取締役 (〒680-8064 鳥取県岩美郡国府町分上 2-210)

**** 工博, 関西大学教授, 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

The visual expression tool is necessary in the consensus building. Moreover, it is necessary to reflect the scenery evaluation that combines two or more image adjectives in alternatives. In this research, We showed the method that progressed from the design concept to two or more adjectives. And, We proposed the model by whom alternatives were evaluated. We developed the element that composed scene of the color of the girder and shape of substructure, etc. on the map using the self-organizing map (SOM). In addition, we applied the view of the reinforcement learning method for solved the problem.

Key Words: Consensus building, SOM, Reinforcement Learning, Scenery Evaluation

キーワード: 合意形成, SOM, 強化学習法, 景観評価

1. はじめに

近年, 住民が社会資本整備事業に参加する機会が多くなってきており, 住民参加型の合意形成が活発化してきている。住民参加型方式による合意形成時には, プロジェクト案および代替案を提示して合意形成のための協議が行われる。合意形成を図るための要求される機能としては, 経済性, 安全性, 使用性, 施工性, 景観特性, 地域(地球)環境負荷低減性などがある¹⁾。ここで, 景観特性に関して評価される項目とは, 周辺環境との調和やシンボル性があげられる¹⁾。このように, 景観性も要求される機能の一つとして考慮されるようになってきている。

景観設計の代替案提示および合意形成段階においては, 複数のデザイン要素が設定されることが多く, 「美しい」や「調和のとれた」, 「風景に溶け込んだ」などの複数のデザイン要素を組み合わせた評価が求められる。これまで, 著者らは橋梁の複数のデザイン要素と「美しい」との評価結果との関係について, ニューラルネットワークの一種である自己組織化特長マップ²⁾(SOM: Self-Organizing Map)を用いて入力データの分布がどのようになっているかを分析してきた³⁾。さらに, 合意形成の場面で必要とされるのは, 関係者にいかんして分かりやすい評価を提示できるかであり, 著者らは, そのための視覚的ツールとして, 強化学習法⁴⁾の考え方を導入し, 合意形成で特に重要とされるグルー

プ化の視認性が高まったマップを作成した⁵⁾。

しかし, 文献⁵⁾で構築した, 強化学習法を用いた視認性の高いマップは, 美しいという単一の形容詞についてである。実際の合意形成では, 設定されたデザインコンセプトから複数のイメージ形容詞へと展開し, 被験者ごとにそれらの評価を視覚的に提示できることが要求されるが, この機能を実現できる支援ツールの開発までには至っていない。

本研究では, デザインコンセプトから展開される複数の形容詞に対する代替案の評価を被験者ごとに行うことのできる合意形成用景観評価モデルを提案する。この評価モデルは実際の合意形成においてニーズが高いと想定される。景観評価モデルの構築に際しては, 二次元上のマップである SOM を用いて, 桁の色や下部工形状などの景観構成要素をマップ上に展開して, 評価を視覚的に行うことのできる景観評価モデルを構築した。その際, クラス分けが容易でないためにマップが見にくいという問題点を解決するために, 強化学習の概念を導入し, 評価をわかりやすく視覚化することを試みた。この方法を用いることで, 実際の景観設計の流れに沿った合意形成が可能になり, 合意形成で必要とされる機能を満足させることが可能となる。被験者アンケート結果から構築した景観評価モデルの妥当性を検証し, あわせて構築したマップを合意形成関係者に提示して, ツールの有効性, 使用性を検証する。

2. 合意形成段階での景観評価モデルの必要性

合意形成とは、グループまたはメンバー間で意志決定・行動を行う際の提携や譲り合いに至る意志の疎通および意見の調整を図るコミュニケーションのプロセスである。これまでの社会資本整備事業では、計画の策定段階や評価の段階で市民参加による方法はあまり取り入れられてこなかったのが現実である。一般的には、事業の意志決定は、事業主体によって行われるべきであるが、図-1に示すように、計画の策定段階から意見収集という形で市民参加による合意形成は可能であると考えられる⁶⁾。

また、社会資本整備の場合は、構想から計画、設計、施工、運用、維持管理といった各段階でそれぞれの合意形成の内容が異なるので、その違いに留意する必要がある。市民参加における参加者の関わりは、行政主導型、行政市民一体型、第3者組織主体型に分類できる。現在のPI（パブリックインボルブメント）方式は行政主導型に分類できる⁶⁾。

合意形成の手法には、メディア活用型、体験型、討議型に分類できるが、これらの利点や課題を理解した上で、適宜選択もしくは組み合わせて活用する必要がある⁶⁾。

合意形成の基本ステップは、①合意形成に向けての調整、②市民参加の準備、③合意形成の実施、④意志決定と公表、⑤市民参加の継続という段階で実施される⁶⁾。

ここで、各代替案に対する評価を行う際に、何故そういう評価がなされたのか、あるいは代替案のある設計要素、例えば、桁の色などを変更した場合、その評価がどうなるのかを把握しておくことは事業に手戻りを発生させないためにも重要である。また、もう一つ、合意形成段階ではいかにして関係者にわかりやすい資料を提示できるかがポイントとなる。ここに、合意形成段階でのビジュアルでわかりやすい設計・評価のための評価モデルの必要性が示される。

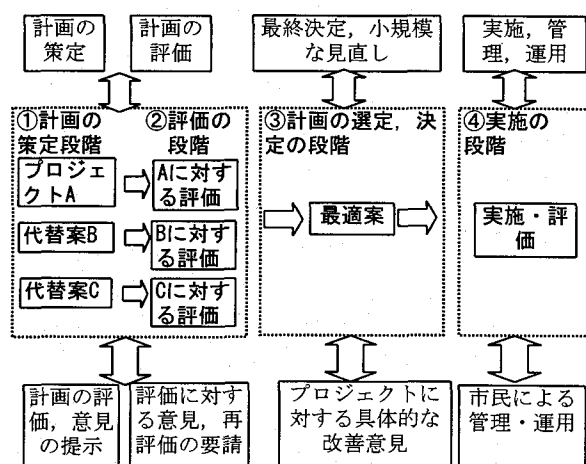


図-1 事業における市民参加の例⁶⁾

3. 自己組織化特徴マップ

SOM は、1988 年にコホーネンによって提唱された教師なし学習アルゴリズムであり、SOM のネットワークはデータを入力する入力層と、入力したデータを元にマップが形成される競合層の2層からなっている(図-2参照)。SOM は多次元空間に分布するさまざまな情報の相互関係を可視化する能力に優れており、パターン分類・パターン認識が得意とされているアルゴリズムである⁷⁾。

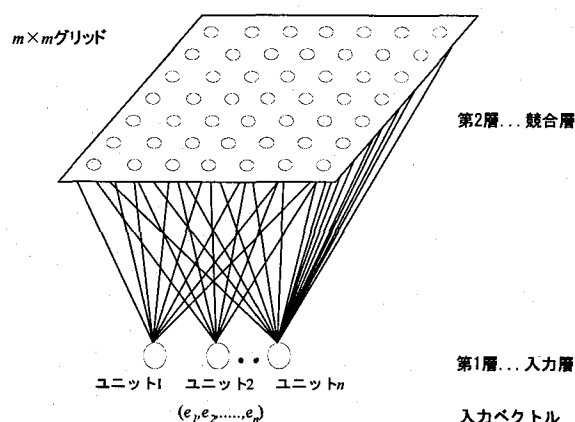


図-2 SOM の基本構造

SOM の学習の特徴として、競合に勝利したニューロンが学習する競合学習、および勝者ニューロンの近傍のニューロンもまた学習する近傍学習の2つがある⁷⁾。

SOM の学習アルゴリズムをまとめると次のとおりである⁷⁾。

- ①入力層と競合層を結ぶ結合重みを乱数で初期化する。
- ②入力層に入力ベクトル X を設定する。
- ③入力ベクトル X と競合層のニューロン i への重みベクトル U_i の一致値 $|X - U_i|$ を式(1)で計算する。

$$d_i = |X - U_i| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - u_{ij})^2} \quad (1)$$

ここで、 x_j は入力ベクトルの各成分、 u_{ij} は入力層のニューロン j と競合層のニューロン i の結合重みである。

④一定値が最小となるニューロン、すなわち入力ベクトル X と最も似通った重みベクトルを持つニューロンを勝者ニューロンとする。

⑤勝者ニューロンの回りに近傍領域と呼ばれる領域を設定する。そして、近傍領域に含まれるニューロンに対して式(2)で重みベクトルの更新を行う。

$$\Delta u_{ij} = \begin{cases} \alpha(t) \{x_j - u_{ij}\} & i \in N_{c(t)} \\ 0 & i \notin N_{c(t)} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 Δu_{ij} は結合重み u_{ij} の更新量、 $\alpha(t)$ 、 $N_{c(t)}$ は学習回数 t における学習率、および勝者ニューロンの周りに設定された近傍領域である。一般的に近傍領域の初期

値は競合層の大きさの1/2~1/3程度、また、学習率の初期値は0.1~0.3程度の値を設定し、学習の進行に従って次第に小さくなり、最終的には0に近づくように設定する。

⑥各入力ベクトルに対して②~⑤を繰り返す。

学習手順の④に示した処理が競合学習であり、⑤が近傍学習と呼ばれるものである。

4. アンケート調査方法

SOMの入力には評価をラベルとして用いるためにアンケート調査が必要となる。ここでは、その調査方法について述べる。

		非常に	どちらで	非常に	
		に	もない	に	
1	女性的な	☐	☐	☐	男性的な
2	若々しい	☐	☐	☐	若々しくない
3	安定感がある	☐	☐	☐	安定感のない
4	自然な	☐	☐	☐	人工的な
5	実用的な	☐	☐	☐	実用的でない
6	直線的な	☐	☐	☐	曲線的な
7	モダンな	☐	☐	☐	クラシックな
8	都会的な	☐	☐	☐	田園的な
9	しゃれた	☐	☐	☐	しゃれていない
10	存在感がある	☐	☐	☐	存在感のない
11	親しみやすい	☐	☐	☐	よそよそしい
12	美しい	☐	☐	☐	美しくない
13	風景に溶け込んでいる	☐	☐	☐	風景に溶け込んでいない
14	すっきりとした	☐	☐	☐	ごみごみした
15	暖かみのある	☐	☐	☐	暖かみのない
16	印象的な	☐	☐	☐	印象的でない
17	バランスの取れた	☐	☐	☐	バランスの取れていない
18	素材感がある	☐	☐	☐	素材感のない
19	ゆとりのある	☐	☐	☐	ゆとりのない
20	立体感がある	☐	☐	☐	立体感のない
21	飽きのこない	☐	☐	☐	飽きのくる
22	機能的な	☐	☐	☐	機能的でない
23	ソフトな	☐	☐	☐	ハードな
24	可愛い	☐	☐	☐	可愛くない
25	重量感がある	☐	☐	☐	重量感のない
26	上品な	☐	☐	☐	上品でない
27	丈夫な	☐	☐	☐	丈夫でない
28	豪華な	☐	☐	☐	豪華でない
29	地域性を含んだ	☐	☐	☐	地域性を含んでいない
30	日本的な	☐	☐	☐	日本的でない
31	洗練された	☐	☐	☐	野暮な
32	カラフルな	☐	☐	☐	カラフルでない
33	優美な	☐	☐	☐	優美でない
34	遊び心のある	☐	☐	☐	遊び心のない
35	個性的な	☐	☐	☐	個性的でない
36	風格のある	☐	☐	☐	風格のない
37	象徴的な(シンボリックな)	☐	☐	☐	象徴的でない
38	開放感がある	☐	☐	☐	圧迫感がある
39	芸術的な	☐	☐	☐	芸術的でない
40	快適な	☐	☐	☐	不快な
41	調和のとれた	☐	☐	☐	調和のとれていない
42	ダイナミックな	☐	☐	☐	ダイナミックでない
43	好ましい	☐	☐	☐	好ましくない

図-3 感性アンケート用紙

調査対象者は、設計の主体となる橋梁設計技術者14名と利用主体である大学生40名(男子学生20名および女子学生20名)とした。女子大生を特に分類した理由としては、今後住民参加などで女性の意見が大きなウェイトを占めるようになると予想されるためである。調査は、被験者にA4横のサイズで橋梁年鑑⁸⁾を元に作成した90枚の桁橋の評価用写真を見せて、予備調査により橋梁の景観設計によく使用されると考えられる感性ワードを43項目選定し、アンケート用紙に5段階(+2,+1,0,-1,-2)のSD(Semantic Differential)尺度による評価を記入してもらう方式とした。SD尺度というのは、1958年に心理学者のオスグッドらが開発した評価

尺度のことで、形容詞を「美しい⇔美しくない」などの対語を両極としてその間を3段階、5段階あるいは7段階に分けて評価する方法である。図-3にアンケート用紙を示す。

このアンケートの前提にあるのは、実物と写真とでは評価に違いが生じるのではないかということであるが、実物とスライドや写真とはよく似た感性を与えることが証明されている^{9),10)}。

5. SOMの入力データ

本研究では、桁橋90橋を感性工学手法により分析した際に用いたアイテム/カテゴリ表(表-1参照)および男子学生20名、女子学生20名、橋梁技術者14名のアンケート結果を用いている。

表-1 アイテム/カテゴリ							
		カテゴリ					
No	アイテム	0	1	2	3	4	5
1	主桁形状	等断面	変断面				
2	平面形状	直線桁	曲線桁				
3	桁の色彩	赤	青	アタリ	茶	灰	緑
4	高欄の色彩	灰	茶	白	緑		
5	下部工形状	張出式	柱式	長方形	逆台形		
6	下部工断面	円形	矩形	小判			
7	橋脚数	1	2	3	4	5	5以上
8	高欄形式	壁	縦棧	横棧			
9	排水管	有り	無し				
10	照明柱	有り	無し				
11	検査路/添架物	有り	無し				
12	視距離	近景	中景		視点場の要素		
13	視線入射方向	側面	斜側方				
14	視点高さ	上	水平	下			
15	風景	山岳	平地	河川			
16	背景(上層)の色	白	緑	青	茶		
17	背景(下層)の色	緑	黒茶	青	灰白		
18	クリアランス	大	中	小			
19	並列橋	有り	無し				
20	障害物の有無	有り	無し				

表-2 SOMへの入出力データ		アイテム																				評価ラシ
橋	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	16	17	18	19	20				1~4
8	0	0	1	0	0	2	4	0	1	1	0	1	2	2	2	3	0	1				1
12	0	0	0	0	1	2	4	1	0	0	1	0	1	2	1	2	0	1				1
15	0	0	1	2	0	2	4	2	0	0	0	0	1	2	2	2	3	1				1
25	0	0	0	2	0	2	4	1	1	0	1	0	1	2	1	2	0	2				2
27	0	0	5	2	2	2	3	1	0	1	0	0	0	2	1	2	0	1				1
28	1	0	5	2	2	2	3	1	1	0	1	0	1	2	1	2	0	3				2
36	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	1	0	1	2	1	2	2	1				1
46	0	0	2	0	1	2	2	0	0	1	0	0	1	2	1	2	1	2				2
47	1	1	3	0	1	1	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	1					1
50	0	0	1	2	0	2	3	2	1	0	1	1	1	2	1	0	0	3				3
53	1	0	2	2	0	1	1	0	1	1	0	0	1	2	1	0	0	2				2
54	0	0	3	2	0	1	3	2	0	0	1	0	1	2	0	3	1	2				2
55	0	0	5	2	0	2	3	1	1	0	1	0	1	2	1	2	1	3				3
61	0	0	1	1	0	2	2	1	1	0	1	0	1	2	1	0	1	1				1
62	0	1	0	2	0	1	4	0	0	1	1	0	1	2	1	2	1	2				2
68	0	0	1	2	2	2	4	2	1	0	1	0	1	2	2	0	2	4				4
71	1	0	0	1	1	2	2	2	1	0	0	0	1	1	2	2	3	1				1
72	0	1	0	2	1	1	1	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	3				3
76	0	1	5	2	0	1	4	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	1				1
77	0	0	2	0	3	2	2	0	1	1	1	0	1	2	1	2	0	1				1
83	1	0	0	1	2	2	1	1	0	0	1	0	0	2	1	2	0	3				3
85	1	1	0	1	2	2	0	1	1	0	1	0	1	2	1	2	1	1				1
86	1	0	1	0	0	2	3	1	1	1	1	0	1	2	1	2	2	4				4
90	1	0	1	2	1	2	4	2	1	1	1	0	1	2	1	2	0	3				3

著者等の過去の研究^{3),11)}から、視点場を固定した場合に景観構成要素と評価結果には相関があることがいわれている。

本研究では、視点場を固定した状態での分析を行うために、視点場として、視距離：近景、視線入射方向：斜側方、視点高さ：水平の24橋を抽出してSOMへの入力データとした。

入力データとしては、表-1に示すように、主桁形状、平面形状、桁の色彩など20項目中、視点場の要素（視距離、視線入射方向、視点高さ）を除いた17項目を考える。また、出力には5段階のSDアンケート結果の単純平均値を1,2,3,4（1<2<3<4）でランク分けした値を用いている。入出力データを表-2に示す。

6. 合意形成用景観評価モデル

6.1 景観評価モデルの条件

住民参加型の合意形成では、参加者に対して評価結果が把握できるような評価モデルの提示が必要となる。設定されたデザインコンセプトに合致するかどうかの判定およびデザイン要素を変更した場合に評価がどうなるのかが参加者ごとにうまく把握できるようなモデルが望ましい。評価モデルに求められる条件として、参加者にとって見やすく理解しやすいこと、設定されたデザインコンセプトに自身のイメージがいかにか合致するかどうかである。見やすく理解しやすいためには、二次元のマップに評価のよく似た橋梁をグルーピングして表示させることで対応できると考える。デザインコンセプトにどれほど合致するかに関しては、デザインコンセプトから展開される複数の感性を重み付きで総合評価し、被験者ごとに総合評価のマップを作成すれば参加者自身のイメージからそれほど遠くない評価が得られると考える。

6.2 景観評価モデル

景観評価モデルを式(1)および式(2)のように定義する。

$$\text{Map} = M(h, te) \quad (1)$$

ここに、h：被験者の種別

te：総合評価

$$te = \sum_{i=1}^n k(i) \cdot w(i) \quad (2)$$

ここに、k(i)：デザインコンセプトから展開された複数の感性（i=1~n）のアンケート結果の平均値

w(i)：複数の感性の重み（i=1~n）

n：展開された感性の数

すなわち、被験者種別ごとに、デザインコンセプトから展開された複数の感性のアンケート結果の平均値と重みの積の総和から総合評価を算出し、被験者種別ごとに強化学習法を用いて評価のよく似た橋梁をグルーピングして二次元上のマップに表示させる。図-4にマップの例を示す。この例では、3被験者ごとにそれぞれ異なったマップが得られている。

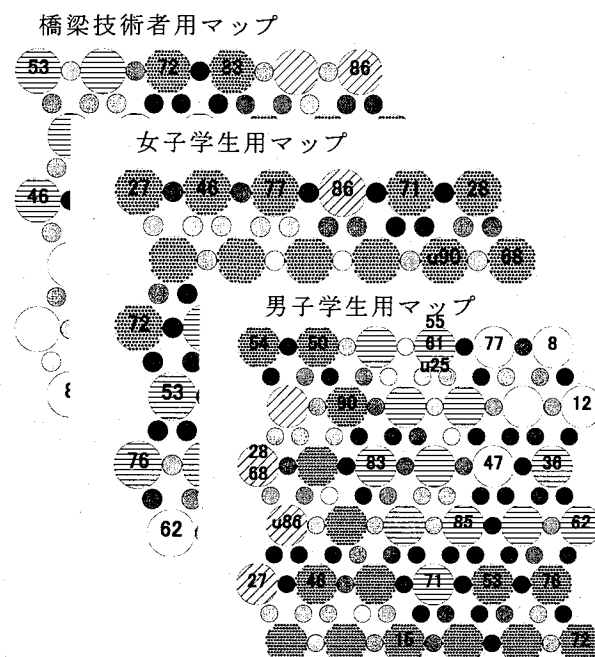


図-4 マップの例（強化学習）

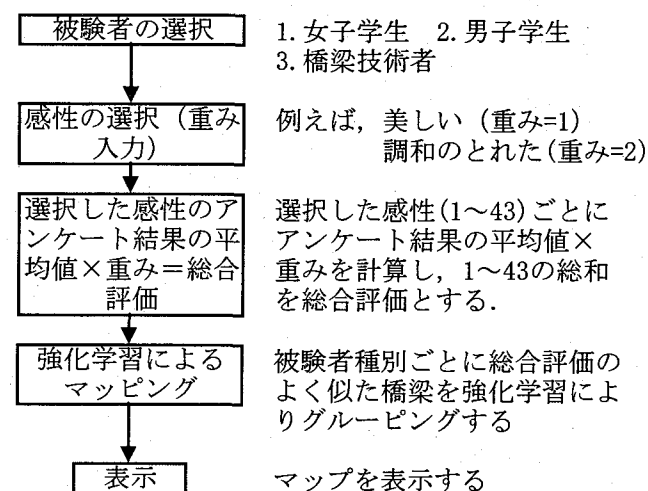


図-5 モデル作成フロー

6.3 評価モデル作成フロー

景観評価モデルの作成フローを図-5に示す。

7. 景観評価への適用

本研究で提案した景観評価モデルを、ある一般地方道路におけるA橋に適用した事例を示す。適用事例の目的は、本研究で提案した景観評価モデルを用いて合意形成用評価マップ作成の方法を具体的に示すことにある。当然のことながら、方法論の有効性を検証するためには、今後の適用事例の蓄積を待たざるを得ないことは言うまでもない。

7.1 A橋の概要

このA橋は、架橋地点が周辺に山が迫った河川に架かる橋で、“自然に溶け込んだ橋”を目差して計画・設計された。別途設定した景観コンセプトにより、上・下部工形状や細部処理（橋面、色など）を検討した。景観コンセプトおよびA橋の諸元を図-6に示す¹²⁾。

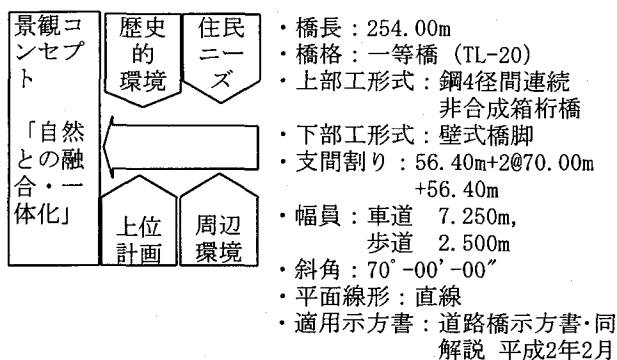


図-6 景観コンセプトおよび橋梁諸元¹²⁾

7.2 デザインコンセプトから形容詞への展開¹²⁾

図-6に示された「自然との融合・一体化」という景観コンセプトを第1次の感性とすると、第2次の感性、すなわち、皆が共通で認識できる具体的な感性に展開していく必要がある。ここでは、自然を“自然な”に、融合を“調和のとれた”に、一体化を“風景に溶け込んだ”という形容詞に展開した。この展開した第2次の感性(形容詞)では、実際にアンケートをとった43項目の形容詞¹¹⁾に展開するようにしている。なぜならば、この43項目の形容詞ならば数量化理論I類によりデザイン要素との関係を把握できているためである¹¹⁾。場合によっては、景観コンセプトから43項目の形容詞に直接展開できない場合もあり、その際には第3次感性、第4次感性というように展開していく必要がある。ここでは、第2次感性として、“自然な(+1)”，“調和のとれた(+1)”，“風景に溶け込んだ(+1)”，“美しい(+0.5)”のように設定した。ここで、括弧内の数字は入力する重みである。このように第n次感性へと展開していく方法は決まったやり方があるわけではない。本研究では、デザイン要素と評価との関係がわかっている43項目の形容詞に展開できるようにした。

“美しい”という形容詞は、デザインコンセプトに含まれていないことが多い。この理由として、“美しい”をイメージしないような橋梁は景観設計の前提から除外されることによる。“美しい”の重みをどう設定するかは、様々な考え方がある。“美しい”は全てのデザインコンセプトを包含する景観の総合指標として用いられることから第1次感性の前の第0次として重みを2倍以上とする方法、あるいは、他の形容詞の半分の重みにする方法などが考えられる。ここでは、“美しい”を総合的景観評価指標とし、コンセプトの上位感性として重みを大きくすると“美しい”が強調されすぎてデザインコンセプトで設定したイメージが評価に影響してこないと考え、他の第2次感性の半分の重みに設定した。“美しい”の重みを他の形容詞に対していくりに設定するかは様々なケースで検討しないと決定できないことは事実である。本論文ではあくまでデザインコンセプトから感性へと展開していく方法を適用例として示したもので、他の重み付けの組み合わせは試行していない。“美しい”の重みを決定するためには、景観設計に携わっ

ている技術者などにアンケートするなどの方法が考えられるが、本論文では実施していない。

次に、このようにして設定したA橋のデザインコンセプトから展開された複数の形容詞の評価ランクとデザイン要素との関係をSOMで分析することを試みる。

7.3 SOMの学習条件

自己組織化マップの学習では、GUI環境下での操作性に優れる、Neural Net Assistant Ver 1.4.10¹³⁾およびSOM Analyzer¹⁴⁾を使用した。自己組織化マップによる学習では、望ましい結果が得られるように、適切な学習条件を設定する必要がある。本研究での学習条件を表-3に示す。これらの値の設定に関しては、何種類かの事前検討を踏まえて決定した。

表-3 SOMの学習条件

パラメータ	値
競合層	6×6個
学習回数	500回
初期近傍領域	2
初期学習率	0.15

7.4 デザイン要素ごとのマップ

表-2をSOMへの入力データとして、SOMによる学習を行った結果を図-7～図-9に示す。

先に述べたようにSOMは情報の相互関係の可視化を得意とするアルゴリズムであって、これに類似する従来手法としてはクラスター分析がある。SOMのマップに示された情報の相互関係の理解を助けるために、マップにクラスター分析の分析結果を重ね合わせることは有効な方法である。図-7は、SOMのマップにウォード法によるクラスター分析¹⁵⁾の結果を用いてラベリングを施したものである。マップのラベルは橋梁Noを示している。

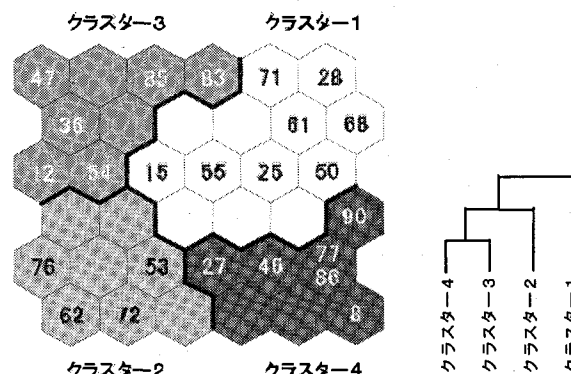


図-7 クラスター分析によるマップ図

分析の対象とした24の橋梁は大きく4つのクラスターに分類される。図-7右に樹形図の一部を示しているが、これからわかるように、まず、右上隅からマップ中央にかけてのクラスター1が形成され、続いてマップ左下隅に当たるクラスター2が、そして、最後に左上隅および右下隅のクラスター3,4が形成される。

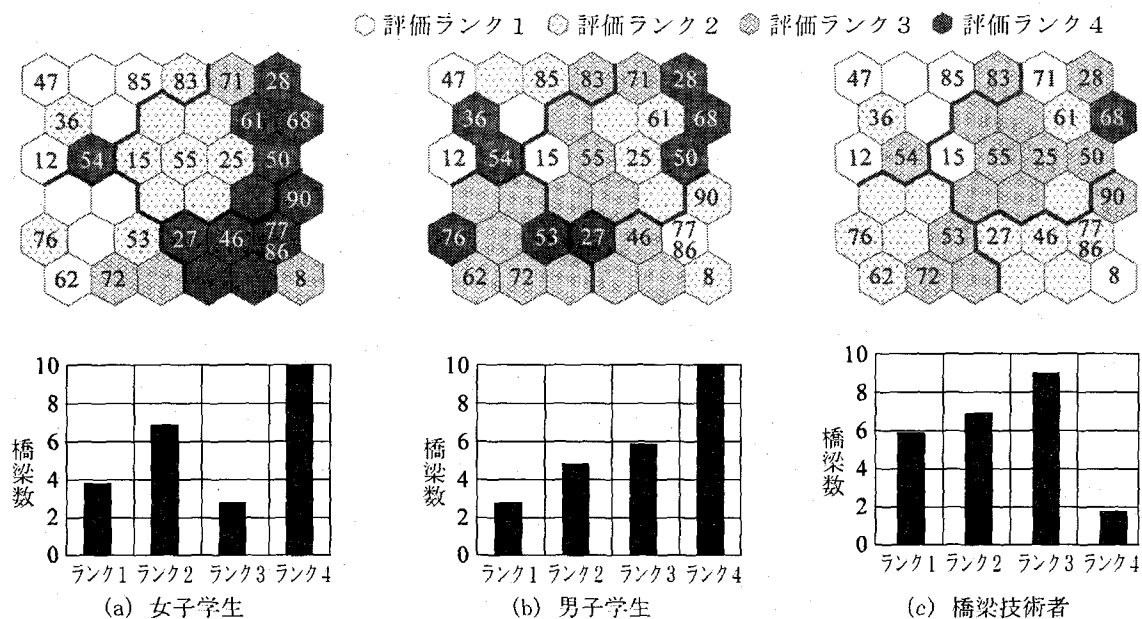


図-8 マップ図 (風景に溶け込んだ)

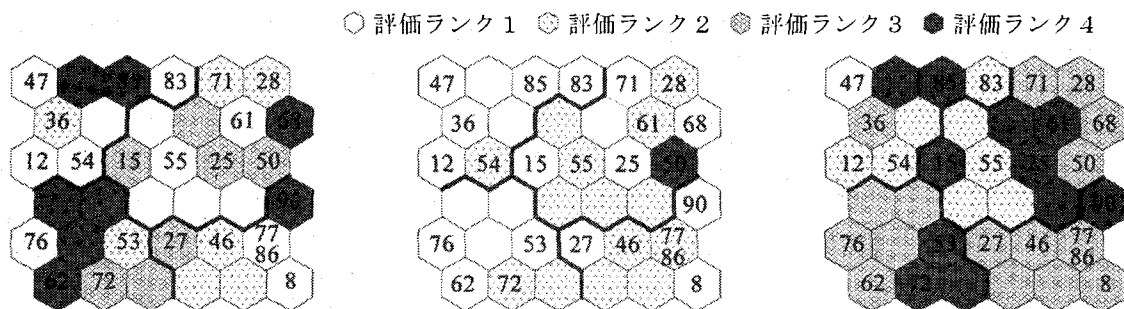


図-9 マップ図 (女子学生)

クラスター分析によると、分析の対象とした24の橋梁は図-7右に示した樹形図のように大きく4つのクラスターに分類される。このクラスターとマップを対比すると、最初に形成されるクラスター1はマップの右上隅から中央にかけて分布し、クラスター2はマップの左下隅に、そして、クラスター3,4はそれぞれマップの左上隅および右下隅に位置していることがわかる。

図-8では、女子学生、男子学生および橋梁技術者の3つの被験者グループごとの、形容詞「風景に溶け込んだ」に関する評価を示している。図の各ニューロンは、ニューロンの重みパターンに最もよく似た橋梁が得た評価に従って塗り分けられている。そして、各橋梁のデータパターンに最も近いニューロン上にその橋梁の番号を記している。なお、評価ランクは1~4の4つとし評価ランク1は最も評価が低く、評価ランク4は最もよい評価である。この表現方法はこれ以後の図でも同様である。図-8では、各評価ランクに属する橋梁数を表すヒストグラムも合わせて示している。

図-8から、3つの被験者グループの中で女子学生が最も明確に良否を評価している様子がわかる。図-8(a)からわ

かるように、女子学生の評価が高い橋梁はクラスター1および4に属しており、マップの右側に集まっている。ヒストグラムでわかるようにランク3に評価される橋梁が少ないことから、評価の高低がマップに明確に示されている。

男子学生の「風景に溶け込んだ」についての評価基準は女子学生とはかなり異なっていると考えられるが、図-8(b)から明確に読み取ることはできない。

橋梁技術者の場合(図-8(c))、全体に評価が厳しく、ランク4を得た橋梁はNo68とNo86の2橋のみである。図-8(c)でNo86は評価ランク2の領域にプロットされているが、これは、入力データのパターンとしてはランク2と評価された橋梁No77に類似しているためである。

図-8(a)と図-8(c)を比較すれば、評価の相違はあるものの評価基準については女子学生と橋梁技術者は似通っているものと思われる。マップの中央部に縦に並ぶ部分では女子学生がランク2と評価しているが橋梁技術者はランク3としておりおおむね同じ程度の評価をしている。マップの右側の部分では、女子学生がランク4としたのに対して橋梁技術者はランク2と低く評価しており、大きな差が生じている。

図-9では女子学生の「美しい」、「自然な」、「調和

のとれた」についての評価ランクを用いてラベリングしている。「美しい」に関してはクラスター2（左下隅）に属する橋梁の評価がやや高いことが伺えるが、「自然な」、「調和のとれた」については明確でない。

「自然な」では約95%がランク2以下、「調和のとれた」では約80%がランク3以上の評価となっている。このように評価の偏りが大きいと明確な傾向が見られなかったものと考えられる。

7.5 形容詞の組合せによる総合評価

橋梁に対する総合評価を前述の評価モデルにあてはめた。各橋のアンケート結果に“自然な (+1)”，“調和のとれた (+1)”，“風景に溶け込んだ (+1)”，“美しい (+0.5)”の重みを乗じ、その合計値に対して1～4の評価ランクを総合評価として再定義した。評価ランク再定義の例を表-4に示す。そして、再定義した評価ランクによりラベリングしたマップを図-10に示す。

女子学生の場合（図-10(a)），マップの右側および下辺に配置される橋梁（クラスター1,4）の評価が高い傾向が、図-8(a)よりさらに明確になっている。

男子学生の場合（図-10(b)），まだあまり明確ではないが女子学生の場合と同様にクラスター1,4の評価が高い傾向が見え始めている。

橋梁技術者の場合（図-10(c)），クラスター4の評価が下がる傾向が図-8(c)よりさらに進み、クラスター1および2が高く評価されている様子が見られる。

7.6 強化学習法を用いた評価ランクの予測

(1) 入力条件の与え方

計画中の橋梁がどのような評価を受けるかを予測するために強化学習法⁴⁾を用いてマップを作成する。

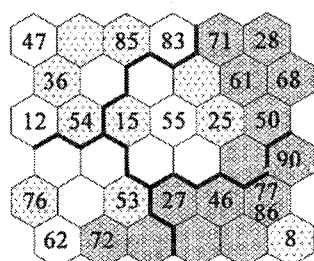
強化学習法では、これまでラベルとして用いていた「自然な」、「調和のとれた」、「風景に溶け込んだ」、「美しい」の評価ランクを新たな入力アイテムとして自己組織化マップへ入力する。そして、その際、評価ランクによるグループ分けが確実に行われるように、評価ランクについては他の変数に対して何倍かの重み付けを行う⁴⁾。

表-1のアイテムに表-4で再定義した総合評価ランクを加えた18項目を入力してSOM学習を行った。学習条件は表-3と同じである。

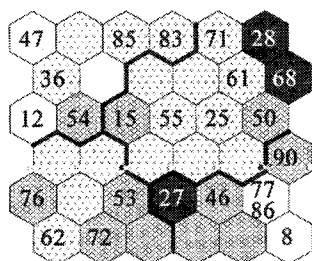
表-4 評価の組み合わせによるランク再定義

橋No.	アンケート結果				重み考慮				総合評価 ランク
	4	12	13	41	1.0	0.5	1.0	←重み 合計	
	自然な	美しい	風景に溶 込んだ	調和のと れた	自然な	美しい	風景に溶 込んだ	調和のと れた	女子学生
8	-0.6	-0.6	0.3	0.3	-0.6	-0.3	0.3	0.3	2
12	-0.8	-0.7	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	-0.4	-0.3	1
15	-1.1	0.3	-0.3	0.4	-1.1	0.1	-0.3	0.4	2
25	-0.7	0.3	-0.2	0.7	-0.7	0.2	-0.2	0.7	2
27	-0.4	0.2	0.9	0.2	-0.4	0.1	0.9	0.2	3
28	-0.3	-0.3	0.5	0.3	-0.3	-0.1	0.5	0.3	3

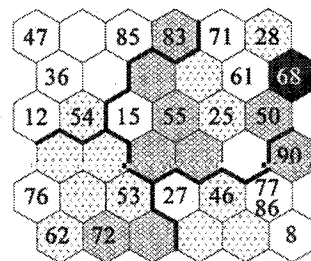
○ 評価ランク1 ● 評価ランク2 ● 評価ランク3 ● 評価ランク4



(a) 女子学生



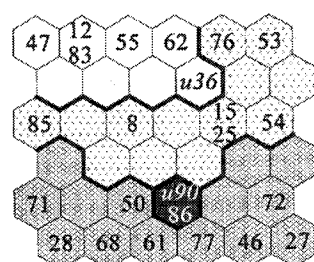
(b) 男子学生



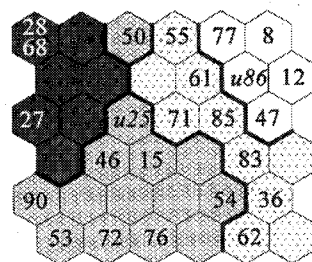
(c) 橋梁技術者

図-10 マップ図（形容詞の組合せ）

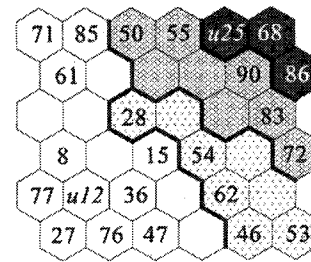
○ 評価ランク1 ● 評価ランク2 ● 評価ランク3 ● 評価ランク4



(a) 女子学生



(b) 男子学生



(c) 橋梁技術者

図-11 マップ図（強化学習による形容詞の組合せ）

評価ランクに与える重み付けは、大きくしすぎると他の要因の影響がわかりにくくなるため、うまくグループ分けが行われる大きさでできるだけ小さい方が望ましい。本研究では数種類の倍率について計算し、全入力要素に関する重みの分布を観察し結果、うまくグループ分けができていて、なおかつ他の入力要素も正しく分類にかかわっていると判断できる大きさとして5倍を採用することとした。

(2) 総合評価ランクの予測

強化学習法を用いて学習を行ったマップに総合評価ランクを用いてラベリングしたものが図-11である。このマップでは、被験者の評価も入力データに含んでいるため、評価ランク毎にきれいな分離線が描け、図-8～図-10に比べて見やすいマップとなっている。

評価ランクを予測するために、学習には用いていない検証用データをマップ上にプロットした。検証用データは、図-11に斜体で示した最初にuの付いた橋梁である。

図-11(a)に示す女子学生のマップでは、検証用のNo.36はランク1と2の境界線付近に表示されている。No.36の評価ランクは2であることから、うまくランクを予測できたといえる。また、検証用のNo.90(評価ランク:3)は評価ランク4の領域にプロットされたが、評価ランク3の領域に隣接しており、これもうまく予測できたといえる。

図-11(b)の男子学生のマップでは、検証用のNo.25(評価ランク2)は評価ランク3の領域にプロットされており予測は良好といえるが、No.86(評価ランク4)については評価ランク1の領域にあり、予測が大きく外れている。

図-11(c)の橋梁技術者のマップでは、検証用のNo.12(評価ランク1)は評価ランク1の領域内にあり、認証がうまくいっていることを示している。一方、検証用のNo.25の評価ランクは2であるが、評価ランク4の領域にあり、評価が2ランク異なっている。

本研究で用いたデータは検証用データも含めて24件しかなく、データ数が不足していることは否定できない。今後さらにアンケート調査を実施しデータの増強を図れば予測精度を高めることが可能であると考えられる。

8. 検証

8.1 モデルの有効性の検証

検証に用いたA橋の写真を別の被験者に見せて、写真からうける印象をアンケートした¹²⁾。被験者は、工学部の学生(女子学生10名、男子学生10名)および橋梁技術者7名であり、アンケート用紙に5段階(-2,-1,0,+1,+2)のSD尺度による評価を記入してもらった。表-5にアンケート結果の平均値を載せる¹²⁾。このアンケート結果から式(1)および式(2)により総合評価を求めた(表-6参照)。7.6

(2) 総合評価ランクの予測と同じように、表-7に示すA橋のアイテム/カテゴリを景観評価モデルに入力して、A橋を検証用としてマップ上にプロットした。なお、重みはマップ作成時点と同じとした(7.5参照)。

表-5 A橋のアンケート結果¹²⁾

	女子学生	男子学生	橋梁技術者
自然な	0.90	0.60	0.429
調和のとれた	1.10	0.70	0.714
風景に溶け込んだ	1.40	1.60	1.286
美しい	0.70	1.00	0.714

表-6 A橋のアンケート結果による総合評価

		アンケート結果	重み	総合評価
女子学生	自然な	0.9	1	0.9
	調和のとれた	1.1	1	1.1
	風景にとけ込んだ	1.4	1	1.4
	美しい	0.7	0.5	0.35
男子学生	自然な	0.60	1	0.6
	調和のとれた	0.70	1	0.7
	風景にとけ込んだ	1.60	1	1.6
	美しい	1.00	0.5	0.5
橋梁技術者	自然な	0.429	1	0.4286
	調和のとれた	0.714	1	0.7143
	風景にとけ込んだ	1.286	1	1.2857
	美しい	0.714	0.5	0.3571
	合計			3.75
	合計			3.4
	合計			2.786

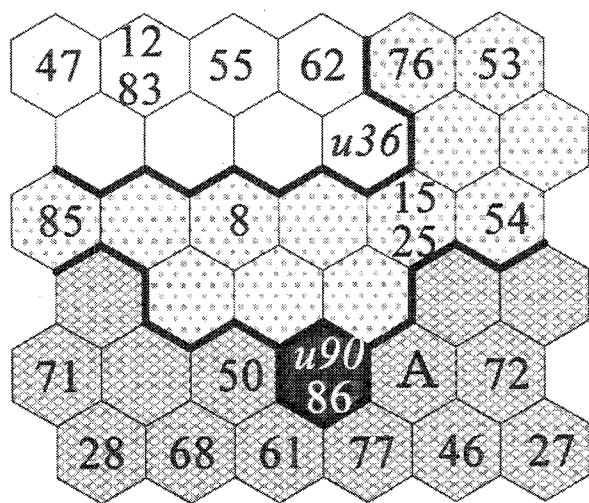
表-7 A橋のアイテム/カテゴリ

No	アイテム	カテゴリ	No	アイテム	カテゴリ
1	主桁形状	変断面	11	検査路/添架物	無し
2	平面形状	直線桁	12	視距離	—
3	桁の色彩	青	13	視線入射方向	—
4	高欄の色彩	灰	14	視点高さ	—
5	下部工形状	逆台形	15	風景	河川
6	下部工断面	小判	16	背景(上層)の色彩	緑
7	橋脚数	5以上	17	背景(下層)の色彩	青
8	高欄形式	縦棧	18	クリアランス	中
9	排水管	無し	19	並列橋	無し
10	照明柱	有り	20	障害物の有無	無し

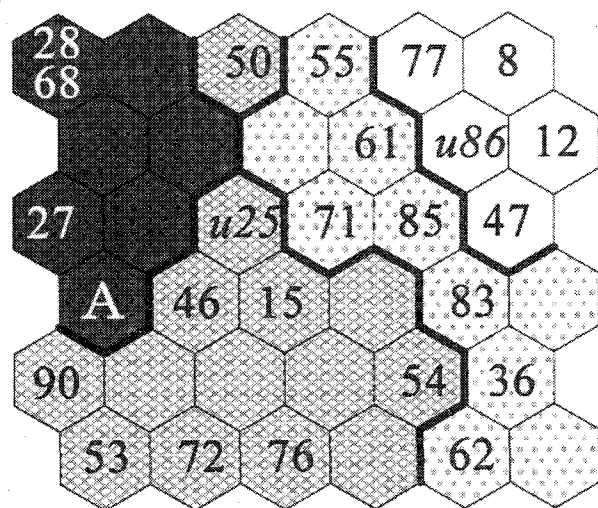
図-11に示すマップ図に、A橋の総合評価ランクであるAという記号を表示したのが図-12(a)～(c)である。A橋は女子学生、男子学生、橋梁技術者全てで総合評価得点が高く、特に女子学生が高い。図-12(a)～(c)からも、A橋は評価の高いランクに位置しており、アンケート結果とほぼ一致することがわかる。

総合評価からは、女子学生、男子学生および橋梁技術者ともに、評価ランク4となっている。図-12(a)～(c)では、女子学生でA橋が評価ランク3に、橋梁技術者が同じく評価ランク3に表示されている。男子学生では、アンケート結果のとおり評価ランク4に表示されている。女子学生と橋梁技術者とが予測が1ランク異なっているが、評価ランク4の領域にほぼ近い箇所にA橋はあり、予測はほぼうまくできているといえる。

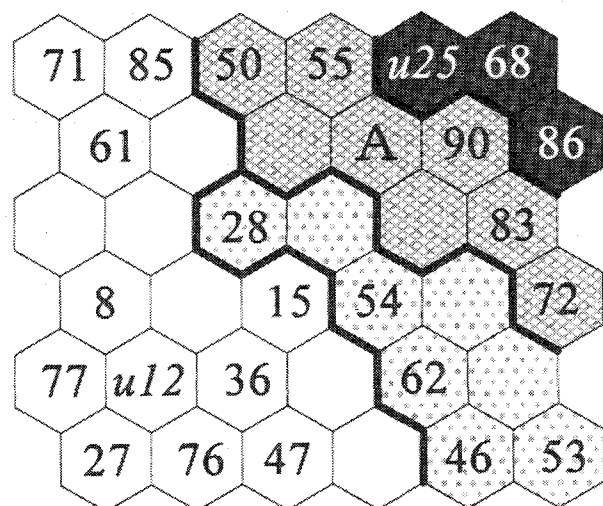
このように、新設橋梁のアイテム/カテゴリを構築した景観評価モデルであるSOMに入力することで、被験者ごとに評価がどうなるのかが予測できるので、合意形成時に発生する様々な関係者の意見をマップ上に即座に反映させ、デザイン要素が部分的に変化した場合でも評価を知ることが可能となる。



図－1 2 (a) A 橋の評価（女子学生）



図－1 2 (b) A 橋の評価（男子学生）



図－1 2 (c) A 橋の評価（橋梁技術者）

8.2 合意形成用ツールとしての検証

本研究で構築した景観設計代替案の評価を視覚的に行なう SOM を用いた景観評価モデルに関して、橋梁設計の技術

者 8 名および合意形成または公聴会などに参加した経験のある人 7 名にアンケートを行い、有効性や機能性の評価などを検証した。なお、アンケートは集合形式で行った。デザインコンセプトを複数の形容詞へと展開し、景観評価モデルによる被験者ごとのマップ作成、アイテム/カテゴリの入力による評価の予測方法などを A 橋の結果をもとに説明した後に、アンケートに回答していただいた。アンケート結果を表－8 に示す。

表－8 アンケート結果

	橋梁設計技術者		合意形成参加経験者	
	合意形成時に有効である	合意形成時に有効でない	合意形成時に有効である	合意形成時に有効でない
①複数の形容詞に重みを考慮して総合評価が出来る点	6 (75%)	2 (25%)	7 (100%)	0 (0%)
②異なる被験者毎に評価ができる機能	3 (37%)	5 (63%)	4 (57%)	3 (43%)
③予測用のマップを提示できる機能	6 (75%)	2 (25%)	6 (86%)	1 (14%)
④構築した SOM による評価用マップは視覚的に有効か、あるいは、見やすいか	5 (63%)	3 (37%)	6 (86%)	1 (14%)

①複数の形容詞に重みを考慮して総合評価が出来る点に関しては、有効と回答した人が橋梁設計技術者で 75%、合意形成経験者で 100% となり、この方法が有効であることが示された。特に、合意形成参加者の有効であるという回答率が高いのは、実際の合意形成では本論文で示したようなデザインコンセプトから展開した複数の形容詞による総合評価が求められることが、実際に合意形成事業に参加した経験のある人にとってはよく認識されているためと推察できる。

②異なる被験者ごとにマップを構築し、評価ができる点に関しては、合意形成時に有効であるという回答が技術者では 37%、合意形成経験者では 57% と低い結果となった。この理由として、設計技術者は設計の際に、属性の異なる合意形成参加者ごとの代替案作成は想定していないためと考えられる。一方、合意形成経験者は実際の合意形成では異なった属性の関係者ごとの評価が必要であるという認識が高いことによると思われる。

③評価および予測用のマップを提示できる機能は合意形成段階あるいは代替案作成時点で有効かという質問に関しては、有効と回答した人が橋梁設計技術者で 75%、合意形成経験者では 86% と非常に高い率であり、マップ上で予測ができる機能は合意形成時に必要であることが示せた。

④構築した SOM による評価用マップは視覚的に有効か、

あるいは、見やすいかという点に関しては、橋梁設計技術者が63%、合意形成経験者では86%の人が見やすいという回答であり、SOMによるマップは合意形成時点で見やすく、視覚的に結果を示すことの出来る評価モデルであることを示している。特に、合意形成経験者の有効であるという回答数が多いのは、実際の合意形成では何よりも視覚的な評価モデルが求められていることを示していると言える。

9. まとめ

本研究では、合意形成時の景観設計代替案の評価でよく用いられる、デザインコンセプトから展開される複数の形容詞を組み合わせた評価を被験者毎に視覚的に行う方法として合意形成用景観評価モデルを示した。具体的には、設定した形容詞毎および被験者毎のマップをクラスター分析により考察を加えた。そして、デザイン要素および評価結果を入力とする強化学習法をSOMに適用し、評価のクラス分けを容易にした。合意形成段階では提示された代替案の評価を関係者の種別毎に行うが、デザインコンセプトに合致した被験者毎の評価マップを作成することで、デザイン要素を変更した場合でも被験者毎の評価が視覚的に行えることが特徴である。構築した景観評価モデルの妥当性を被験者アンケート結果から検証し、さらにこのマップを橋梁設計技術者と合意形成参加経験者に提示して、合意形成段階で視覚的に見やすいかという検証もあわせて行い、合意形成段階でのマップの有効性を検証した。なお、合意形成では最終的に一つの設計案に修練させることを行うが、本論文では、あくまで被験者ごとの代替案の作成を目的としたものであり、代替案を一つの設計案に修練させることは本論文の対象外である。

今後の課題としては、①合意形成で関係する主婦、子供、高齢層など多様な感性を収集し、感性DBを充実させること、②デザインコンセプトから第1次、第2次感性へと展開していく方法の確立などである。

参考文献

- 1) (社)土木学会：環境負荷低減型土木構造物設計ガイドライン，2001.4.
- 2) T.Kohonen 著，徳高平蔵・岸田 悟・藤村喜久朗訳：自己組織化マップ，シュブリンガー・フェアラーク東京株式会社，1996.6.
- 3) 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，I-6，pp.45-54，2002.10.
- 4) 坂井 優：産業の時系列分析への適用，第2回自己組織化マップ研究会論文集，pp.79-84，2001.3.
- 5) 保田敬一，白木 渡，藤原 寛，堂垣正博：強化学習法を用いたSOMによる桁橋景観評価写真の分類と評価，土木学会，土木情報利用技術論文集，Vol.12，I-1，pp.1-10，2003-10.
- 6) (社)土木学会コンサルタント委員会 市民合意形成小委員会：合意形成プロデュース ～コンサルタントの新しい役割へ，pp.5-40，2003.6.
- 7) 伊藤則夫，白木 渡：斜面崩壊予測システムへのSOM・CPNの応用，土木学会，第6回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集，pp.17-22，1999.12.
- 8) (社)日本橋梁建設協会：橋梁年鑑，S62～H5
- 9) 長町三生：感性工学，海文堂，1989.
- 10) 長町三生：感性工学のおはなし，日本規格協会，1995.7.
- 11) 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.103-116，2000.12.
- 12) 保田敬一，白木 渡，堂垣正博：桁橋の景観設計における合意形成用代替案作成時の留意事項，構造工学論文集，土木学会，Vol.50A，pp.287-294，2004.3.
- 13) Neural Net Assistant Ver 1.4，(有) シー・エー・イー，2002.
- 14) SOM Analyzer Ver 2.0.，(有) シー・エー・イー，2003.
- 15) 田中豊・垂水共之・脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編，共立出版株式会社，1984.9.

(2005年9月10日受付)